

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA
SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO, LIMÍTROFE
CON EL EMBALSE CERRON GRANDE.**

PRESENTADO POR:

**VÍCTOR ALBERTO LEÓN DELGADO
ANTONIA BEATRIZ MONTOYA LÓPEZ
ADÁN ELÍAS RIVERA GALDÁMEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2013.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

Ph.D. ING. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título :

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA
SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO, LIMÍTROFE
CON EMBALSE CERRON GRANDE.**

Presentado por :

**VÍCTOR ALBERTO LEÓN DELGADO
ANTONIA BEATRIZ MONTOYA LÓPEZ
ADÁN ELÍAS RIVERA GALDAMEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA
ING. SILVIO ANTONIO TICAY AGUIRRE**

San Salvador, Mayo de 2013.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA

ING. SILVIO ANTONIO TICAY AGUIRRE

AGRADECIMIENTOS.

La conclusión satisfactoria de esta investigación fue posible gracias al apoyo invaluable de muchas personas e instituciones, a las cuales les dedicamos las siguientes líneas para expresarles nuestros más sinceros agradecimientos.

A nuestros docentes directores:

Ing. Susan Elizabeth Campos de Orellana. Por su esmero en este trabajo, ya que ha sido nuestra asesora, facilitadora y editor; sus consejos han sido una guía clara en este largo camino.

Ing. Silvio Antonio Ticay Aguirre. Por compartir con nosotros sus conocimientos y dedicarnos su valioso tiempo; trabajar con usted ha sido una experiencia muy enriquecedora para nuestra vida.

Lic. Ludwin Morán. Por su colaboración en el área de la geofísica aplicada, le agradecemos su disponibilidad y paciencia; su ayuda fue tan valiosa que le consideramos como un asesor más.

A las instituciones cooperantes y su personal:

Asociación Salvadoreña de Ayuda Humanitaria PRO-VIDA. Por su colaboración con la extracción de muestras de agua y la realización de ensayos físico-químicos y bacteriológicos; así como proporcionando información referente a la calidad de agua. Gracias Licda. Karen Ramírez por creer en la importancia de este trabajo, también agradecemos la amable atención del *Ing. Ronal Cortez, Omar Barahona* y de todo el personal que labora en la institución.

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, UES. Por su facilitar el equipo y el personal necesario para llevar a cabo la prospección geofísica, parte medular de este trabajo. Agradecimientos especiales para MSc. Ing. David Enoc Escobar, nuestro primer contacto dentro de dicha facultad y al Lic. Tomás Soriano que facilitó el préstamo del equipo de su unidad.

Escuela de Ingeniería Civil, UES. Muy importante ha sido la colaboración de nuestra escuela para el desarrollo de la investigación. Especialmente agradecemos a *PhD. Edgar Peña*, que nos colaboró con gestiones de recursos tanto dentro como fuera de la universidad; al Ing. Oswaldo Rivera Flores, que siempre tuvo a disposición el equipo de la escuela para nuestra utilización y Roxana López por su amabilidad y cooperación en la realización de trámites administrativos.

Unidad de Investigación e Hidrogeología, ANDA. Especialmente al MSc. Lic. Dagoberto Arévalo, quién nos indicó posibles zonas de estudio y además nos proporcionó información que permitió realizar la interpretación hidrogeológica.

Ministerio de Salud. Por su colaboración a través de la Unidad de Salud y la Unidad de Saneamiento Ambiental del municipio de Chalatenango. El acompañamiento y la información proporcionada por la Promotora de Salud *Daisy Salinas* fueron importantes en el desarrollo de la investigación. Así como los datos proporcionados por el inspector ambiental *Ing. Mardoqueo Alex Ramírez*.

Dirección General del Observatorio Ambiental. Los datos climatológicos proporcionados resultaron de mucha utilidad, al igual que las publicaciones que en esa institución se generan.

Policía Nacional Civil. Por el acompañamiento durante la campaña geofísica; brindado seguridad al equipo y al personal que trabajo en campo.

A nuestros amigos:

Primero agradecemos especialmente a ***Merlin Baños***, tu apoyo en múltiples tareas de esta investigación ha sido vital.

Queremos reconocer el esfuerzo de aquellos que nos acompañaron a realizar el trabajo de campo en exhaustivas jornadas: ***Víctor Serrano, Jorge Chicas, Mauricio Cornejo, Brajan León y Stanley Grijalva.***

También queremos agradecer a aquellos que proporcionaron algún tipo aporte que contribuyó a la culminación del trabajo: Carla Galdámez, Nazira Saravia, Tania Maltez, Guillermo Cornejo, Osmin Córdoba, Borromeo López, Juan Montes, Gonzalo Mena, Breyen Ríos y Miguel Alvarenga.

A nuestros familiares:

Agradecemos a las ***familias León-Lara, Montoya-López y Rivera-Galdámez***, porque han representado para nosotros un soporte muy importante; la paciencia, comprensión y las palabras de aliento recibidas por parte de ustedes nos han permitido salir adelante.

¡MUCHAS GRACIAS!

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo el cual conlleva a la culminación de una carrera profesional, a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación, en especial a:

Mi madre *Victoria Del Carmen León*, su sacrificio, el espíritu de lucha para alcanzar las metas que se propone y la bondad para con cualquiera, han sido una fuente de inspiración. Gracias mamá por siempre estar conmigo.

Mi tía *Ana María Lara León*, quien ha estado conmigo durante toda mi vida y ha sido mi mentor y amiga; su apoyo ha sido y sigue siendo fundamental en todas las etapas de mi existencia.

Mi abuelita *María Celsa Lara*, quien me ha apoyado incondicionalmente durante toda mi formación.

Mis hermanas *Ana Marcela y Alejandra Beatriz*, porque siempre han estado allí para brindarme su ayuda y cariño.

Mis primos *Brajan León, Glenda Rubio, Walberto Lara y Gerardo León*, aunque somos expertos en perder el tiempo, son esos momentos los que vale la pena recordar en la vida.

Mis amigos del ClubFifa, siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas: *Juan Montes, Giovanni Hueso, Gonzalo Mena, Héctor Aldana, Roberto Martínez, Caleb Nájera, Adán Rivera, Eliezar Gil y Miguel Alvarenga*.

Mis amistades de la universidad, ustedes hicieron de la vida de estudiante una experiencia única.

A todos ustedes ¡Gracias Totales!

Vítor León.

DEDICATORIA.

En primer lugar, a **DIOS TODOPODEROSO**, por haberme guiado, protegido, por darme la fuerza de voluntad ante las adversidades, la confianza, la determinación para seguir adelante y haber alcanzado uno de mis mayores propósitos en la vida.

A mi hijo Jairo Damián por las fuerzas que me dio cuando lo necesite, lo quiero mucho.

A mis padres José Arnoldo y Ana María, por su dedicación y sacrificio para darme todo lo que necesité en esta etapa de mi vida, todo lo que soy se los debo a ustedes y este logro es también suyo.

A mi primo José López, por el apoyo primordial que he obtenido y por creer siempre en mí.

A mi jefa Arq. Martita, por brindarme su apoyo en los permisos que necesite.

A mis compañeros de Tesis, por brindarme la confianza, su amistad y el apoyo.

A todos mis amigos que siempre me dieron ánimos.

A todos quiero decirles que les agradezco de todo corazón que Dios los bendiga.

Antonia Beatriz Montoya

DEDICATORIA.

A mis padres y hermanos.

A mis tíos y abuelos.

A mis compañeros de tesis.

A mis amigos y amigas.

A todos los que han hecho posible la finalización del presente trabajo de graduación.

Fórmula de mi felicidad: un sí, un no, una línea recta, una meta...

Friedrich Nietzsche.

ADAN ELIAS RIVERA GALDAMEZ.

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1.	ANTECEDENTES.....	2
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3.	OBJETIVOS.....	6
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.4.	ALCANCES.....	7
1.5.	LIMITACIONES.....	7
1.6.	JUSTIFICACIÓN.....	8
1.7.	DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	9

CAPÍTULO II: GEOLOGÍA.

2.1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.2.	FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA.....	14
2.2.1.	CONCEPTOS BÁSICOS.....	14
2.2.2.	TIPOS DE ROCA Y SU FORMACIÓN.....	16
2.2.3.	ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.....	23
2.2.4.	METEORIZACIÓN Y FORMACIÓN DE SUELO.....	31
2.2.5.	GEOMORFOLOGÍA.....	36
2.2.6.	MÉTODOS DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA.....	40
2.2.7.	MAPAS GEOLÓGICOS.....	42

2.3.	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE EL SALVADOR.....	46
2.3.1.	ROCAS DE EL SALVADOR.....	46
2.3.2.	TECTÓNICA DE EL SALVADOR.....	48
2.3.3.	GEOMORFOLOGÍA DE EL SALVADOR.....	50
2.4.	METODOLOGÍA DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA.....	53
2.5.	ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE AL ESTE LÍMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	55
2.5.1.	ROCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	55
2.5.2.	TECTÓNICA.....	57
2.5.3.	GEOMORFOLOGÍA.....	58
 CAPÍTULO III: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.		
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	60
3.2.	NOCIONES GENERALES DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	61
3.2.1.	CONCEPTOS BÁSICOS.....	61
3.2.2.	CICLO HIDROLÓGICO.....	64
3.2.3.	LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	93
3.3.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE EL SALVADOR.....	109
3.4.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL EMPLEADO EN EL CANTÓN SAN JOSÉ.....	112
3.5.	CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS, CLIMATOLÓGICAS Y DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	113

3.5.1. CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LAS REGIONES HIDROGRÁFICAS COMPONENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	113
3.5.2. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	116
3.5.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	118
3.5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN.....	120
CAPÍTULO IV: GEOFÍSICA APLICADA.	
4.1. INTRODUCCIÓN.....	124
4.2. FUNDAMENTOS DE GEOFÍSICA APLICADA.....	125
4.2.1. DEFINICIÓN Y MÉTODOS DE PROSPECCION GEOFÍSICA.....	125
4.2.2. PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS.....	128
4.2.3. MÉTODO ELÉCTRICO.....	133
4.2.4. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV).....	143
4.3. METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA REALIZADA EN EL CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO DE CHALATENANGO.....	147
4.4. RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA REALIZADA EN EL CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO DE CHALATENANGO.....	154
CAPÍTULO V: HIDROGEOLOGÍA.	
5.1. INTRODUCCIÓN.....	170
5.2 FUNDAMENTOS DE HIDROGEOLOGÍA.....	171
5.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	171
5.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA.....	171

5.2.3	CLASIFICACIONES DE LOS ACUÍFEROS.....	172
5.2.4	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS FUNDAMENTALES.....	176
5.2.5	MOVIMIENTO DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS.....	188
5.2.6	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA.....	189
5.3.	HIDROGEOLOGÍA DE EL SALVADOR.....	192
5.3.1.	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN EL SALVADOR.....	193
5.4.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGÍCA.....	195
5.5.	HIDROGEOLOGÍA DE LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE, LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	197
5.5.1.	ACUIFERO LIBRE.....	198
5.5.2.	ACUIFERO LOCAL GENERADO POR FALLAS.....	199
5.5.2.	ACUIFERO PROFUNDO.....	200

CAPÍTULO VI: BALANCE HIDRICO.

6.1	INTRODUCCIÓN.....	217
6.2.	ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS BALANCES HÍDRICOS.....	218
6.2.2.	ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE HÍDRICO.....	218
6.2.3.	INDICE DE ESCASEZ.....	220
6.3.	MODELO DE BALANCE HÍDRICO UTILIZADO EN EL SALVADOR.....	221
6.3.1.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	221
6.3.2.	METODOLOGÍA DEL MODELO DE BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO DE EL SALVADOR.....	224
6.3.3.	RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINÁMICO DE EL SALVADOR, 2005.....	224

6.4.	METODOLOGÍA DE BALANCE HÍDRICO, PARA EL ACUÍFERO SOMERO DEL CANTÓN SAN JOSÉ.....	227
6.5.	BALANCE HÍDRICO DEL ACUIFERO SOMERO DEL CANTÓN SAN JOSÉ.....	239

CAPÍTULO VII: HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA.

7.1.	INTRODUCCIÓN.....	242
7.2	FUNDAMENTOS DE HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA...243	
7.2.1	CONCEPTOS BÁSICOS.....	243
7.2.2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE EL AGUA.....	244
7.2.3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS.....	260
7.2.4.	INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA.....	268
7.2.5.	CLASIFICACIONES DE LAS AGUAS.....	272
7.2.6.	CONTAMINANTES DEL AGUA.....	276
7.2.7.	NORMATIVA SALVADOREÑA PARA LA CALIDAD DE AGUA.....	280
7.2.8.	PROTOCOLO PARA EL MUESTREO FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO.....	286
7.3.	HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DE AGUA EN EL SALVADOR.....	291
7.4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEO-QUÍMICA Y DE CALIDAD DEL AGUA.....	298
7.4.2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.....	298
7.4.3.	MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA PROVENIENTE DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	299

7.5.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEO-QUÍMICA Y DE CALIDAD DE AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	305
7.5.2.	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS PROVENIENTES DE OTROS TRABAJOS.....	305
7.5.3.	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS A MUESTRAS PROVENIENTES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	309

CAPÍTULO VIII: VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

8.1.	INTRODUCCIÓN.....	319
8.2.	FUNDAMENTOS DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.....	320
8.2.1.	DEFINICIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.....	320
8.2.2.	MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.....	320
8.2.3.	MAPAS DE VULNERABILIDAD. 326	
8.3.	ALGUNOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS DESARROLLADOS EN EL SALVADOR.....	327
8.4.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS EN LA SUBCUENCA DE RÍO MUCA Y MICROCUENCAS DE QUEBRADAS AL OESTE, LÍMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.....	329
8.5.	VULNERABILIDAD “GOD” DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS DE QUEBRADAS AL OESTE UBICADAS LÍMITROFES CON EL CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.	337
8.5.1.	VULNERABILIDAD “GOD” DE LOS ACUÍFEROS SOMEROS Y LOCAL LIMITADO POR FALLAS.....	337

8.5.2. VULNERABILIDAD “GOD” DEL ACUÍFERO PROFUNDO.....	338
9.1. CONCLUSIONES.....	340
9.2. RECOMENDACIONES.....	343
GLOSARIO.	344
BIBLIOGRAFÍA	358
ANEXO A: FICHAS PARA CAPTURA DE DATOS.	
ANEXO B: TABLAS CON DATOS DE INTERÉS GENERAL.	
ANEXO C: DESCRIPCIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS GEOLÓGICO Y CLASIFICACIÓN DE ROCAS.	
ANEXO D: MEMORIA DE CÁLCULOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.	
ANEXO E: PETROGRAFÍA.	
ANEXO F: REGISTRO GEOLÉCTRICO.	
ANEXO G: RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS, REALIZADOS A AGUA DE POZOS.	
ANEXO H: MAPA GEOLÓGICO Y MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE, LÍMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.i	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Delimitación de la zona de estudio.....	11
Figura 2.1. Escala de tiempo geocronológica.....	15
Figura 2.2. Ejemplos comunes de rocas ígneas.....	17
Figura 2.3. Ejemplos de rocas sedimentarias.....	19
Figura 2.4. Ejemplos de rocas metamórficas.....	20
Figura 2.5. Ciclo de las Rocas.....	21
Figura 2.6. Deformación de la corteza terrestre provocada por las fuerzas tectónicas y sus esfuerzos asociados.....	24
Figura 2.7. Esquemas de falla, zona de fallas y zona de cizalla.....	25
Figura 2.8. Clasificación de las fallas según su desplazamiento.....	26
Figura 2.9. Pliegues y sus partes constituyentes.....	27
Figura 2.10. Nomenclatura de pliegues en base a su forma y polaridad de capas.....	28
Figura 2.11. Distribución posible de sistemas de diaclasas.....	29
Figura 2.12. Tipos de discordancias.....	31
Figura 2.13. Ciclo geomórfico (ciclo geográfico o de erosión).....	37
Figura 2.14. Algunos tipos de relieve.....	38
Figura 2.15. Estructuras volcánicas comunes en El Salvador.....	39
Figura 2.16. Algunas tramas litológicas utilizadas en el Mapa Geológico de El Salvador.....	43
Figura 2.17. Colores litológicos utilizados en el Mapa Geológico de El Salvador.	43
Figura 2.18. Símbolos utilizados para definir estructuras geológicas en mapas.....	44

Figura 2. 19. Ejemplo de mapa geológico.....	45
Figura 2.20. Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del Graben Central en El Salvador.....	50
Figura 2.21. Distribución de unidades geológicas dentro de la zona de estudio.....	57
Figura 2.22. Disposición de fallas dentro de la zona de estudio.....	58
Figura 3.1. El ciclo hidrológico.....	65
Figura 3.2. Psicrómetro.....	66
Figura 3.3. Tanque evaporímetro (Clase A).	68
Figura 3.4. Formación de la precipitación.....	75
Figura 3.5. Figura esquemática de la formación de la precipitación por convección.....	76
Figura 3.6. Figura esquemática de la formación de la precipitación por orografía.	76
Figura 3.7. Figura esquemática de la formación de la precipitación ciclónica.....	77
Figura 3.8. Instrumentos para la medición de la precipitación.....	79
Figura 3.9. Hietograma de una lluvia.....	84
Figura 3.10. Proceso de Intercepción del agua de precipitación.....	84
Figura 3.11. Configuraciones del flujo superficial.....	87
Figura 3.12. Mapa para la aplicación de factores de relación precipitación- escorrentía en el cálculo de la escorrentía.....	92
Figura 3.13. Definición del parteaguas y longitud axial de la subcuenca del río Muca, Chalatenango.....	95
Figura 3.14. Orden de las corrientes (u) subcuenca del Río Muca, Chalatenango.	98
Figura 3.15. Esquema gráfico del método de pendientes compensadas.....	101
Figura 3.16. Curva hipsométrica de una cuenca.....	105
Figura 3.17. Tipo de cuenca según su forma.....	106

Figura 3.18. Delimitación de las regiones hidrográficas componentes de la zona de estudio.....	113
Figura 3.19. Fotografía del cauce del Río Muca en época seca, ubicado entre los Caseríos La Concepción y Agua Caliente, Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.....	121
Figura 3.20. Fotografía del flujo del Río Tamulasco en época seca, a 100 m de su desembocadura en Embalse Cerrón Grande.....	122
Figura 3.21. Fotografía de obra de captación de manantial el Ojushte, Municipio de San de San Miguel de Mercedes, Departamento de Chalatenango....	122
Figura 4.1. Interacción de cargas puntuales.	135
Figura 4.2. Líneas de campo eléctrico.....	136
Figura 4.3. Dispositivo electródico lineal y asimétrico.....	139
Figura 4.4. Configuración Wenner.....	140
Figura 4.5. Configuración Schlumberger.....	140
Figura 4.6. Dispositivos electródicos dipolares.....	141
Figura 4.7. Corte geoelectrico.....	144
Figura 4.8. Curvas de Resistividad Verdadera para cortes geoelectricos.....	145
Figura 4.9. Curva de Resistividad Aparente obtenida de datos de campo al efectuar un SEV.....	146
Figura 4.10. Fotografías de accesos existentes en la zona de estudio.....	148
Figura 4.11. Mapa de distribución de Sondeos Eléctricos Verticales y orientaciones de aberturas AB.....	150
Figura 4.12. Resistivímetro SARIS empleado en la técnica de SEV.....	151
Figura 4.13. Distribución de perfiles geoelectricos sobre la zona de estudio.....	154
Figura 4.14. Modelo de interpretación del SEV 01. CRV tipo KQHA.....	155
Figura 4.15. Modelo de interpretación del SEV 02. CRV tipo HKQHA.....	155

Figura 4.16. Modelo de interpretación del SEV 03. CRV tipo KHA.....	156
Figura 4.17. Modelo de interpretación del SEV 04. CRV tipo QHA.....	156
Figura 4.18. Modelo de interpretación del SEV 05. CRV tipo HKHA.....	157
Figura 4.19. Modelo de interpretación del SEV 06. CRV tipo HKHA.....	157
Figura 4.20. Modelo de interpretación del SEV 07. CRV tipo HKHA.....	158
Figura 4.21. Modelo de interpretación del SEV 08. CRV tipo HKQHA.....	158
Figura 4.22. Modelo de interpretación del SEV 09. CRV tipo HKHA.....	159
Figura 4.23. Modelo de interpretación del SEV 10. CRV tipo QQHA.....	159
Figura 4.24. Perfil geoelectrico A-A'. Común Las Marías, Caseríos Los Amates, Agua Caliente y La Concepción; Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	153
Figura 4.25. Perfil geoelectrico B-B'. Caseríos Los Amates y Gualcho, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	154
Figura 4.26. Perfil geoelectrico C-C'. Caseríos Los Amates y Agua Caliente, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	155
Figura 4.27. Perfil geoelectrico D-D'. Caseríos Gualcho, Los Amates y Agua Caliente; Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	156
Figura 4.28. Perfil geoelectrico E-E'. Camino a Cuesta de Marina, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	157
Figura 4.29. Perfil geoelectrico F-F'. Caseríos Los Amates, Agua Caliente y Cantón San José, Municipio de Chalatenango.....	158
Figura 5.1. Tipos de acuíferos según su textura.....	173
Figura 5.2. Esquema de acuífero libre.....	174
Figura 5.3. Esquemas de acuífero confinado.....	175
Figura 5.4. Esquema de acuífero semiconfinado.....	175
Figura 5.5. Esquema de funcionamiento de un porosímetro.....	179

Figura 5.6. Esquema del método de trazadores para determinar porosidad eficaz.	181
Figura 5.7. Esquema de permeámetros de carga constante.....	184
Figura 5.8. Esquema de permeámetros de carga variable.....	185
Figura 5.9. Esquema de un permeámetro diferencial.....	186
Figura 5.10. Esquema de la definición del coeficiente de almacenamiento de un acuífero confinado.....	187
Figura 5.11. Perfil del suelo y subsuelo.....	188
Figura 5.12. Trazo de curvas isopiezas.....	191
Figura 5.13. Distribución de pozos de poca profundidad en el Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.....	199
Figura 5.14. Mapa de Isopiezas e identificación de la dirección del flujo subsuperficial en la zona de la Subcuenca del Río Muca y quebradas al Oeste limítrofes con El Embalse Cerrón Grande.....	200
Figura 5.15. Ubicación de pozos profundos en el Cantón San José, Chalatenango	202
Figura 5.16. Perfil hidrogeológico A-A´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	210
Figura 5.17. Perfil hidrogeológico B-B´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	211
Figura 5.18. Perfil hidrogeológico C-C´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	212
Figura 5.19. Perfil hidrogeológico D-D´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	213
Figura 5.20. Perfil hidrogeológico E-E´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	214
Figura 5.21. Perfil hidrogeológico F-F´ en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	215
Figura 6. 1. Representación esquemática de las variables que conforman el modelo de Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador.....	223

Figura 6. 1. Representación esquemática de la variación de demanda doméstica de Agua en un periodo de un año. 229	
Figura 7.1. Ejemplo de diagrama de Collins, para la interpretación química del agua.....	269
Figura 7.2. Ejemplos de diagramas circulares.....	270
Figura 7.3. Ejemplo de clasificación química de un agua en el diagrama de Piper.....	271
Figura 7.4. Ejemplos de diagramas de Stiff modificados.....	272
Figura 7.5. Mapa de sitios muestreados en la realización de estudios de calidad de agua de la cuenca del río Lempa.....	296
Figura 7.6. Ubicación de puntos de muestreo en el Cantón San José.....	300
Figura 7.7. Fotografía muestreo de agua en punto 6 del Cantón San José.....	301
Figura 7.8. Diagrama de Piper para las muestras 1, 2, 4, 8 y 9.....	315
Figura 8.1. GOD; sistema empírico para la rápida evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos.....	330
Figura 8.2. Profundidad del nivel freático interpolada para acuífero somero, verano 2012.....	333
Figura 8.3. Zonas de Influencia asociadas a SEV en el Cantón San José, para la determinación de la profundidad del acuífero profundo.....	334
Figura 8.4. Mapa de Vulnerabilidad GOD, para el acuífero somero y el limitado por fallas de la región hidrográfica del Río Muca y microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	337
Figura 8.5. Mapa de vulnerabilidades GOD, para acuífero profundo ubicado en la región hidrográfica del Río Muca y microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	338

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de rocas sedimentarias detríticas según el tamaño de sus partículas.....	18
Tabla 2.2. Formaciones geológicas de El Salvador.....	47
Tabla 3.1. Regiones hidrológicamente homogéneas de El Salvador.....	89
Tabla 3.2. Ecuaciones de relación entre caudales medios anuales y el área de la cuenca, con rango de área de validez.....	89
Tabla 3.3. Distribución mensual de los caudales medios anuales de El Salvador (%).....	90
Tabla 3.4. Factores de relación precipitación-escorrentía.....	91
Tabla 3.5. Tamaño relativo de los sistemas hidrológicos.	97
Tabla 3.6. Clases de orden de corriente.....	97
Tabla 3.7. Clases de densidad de drenaje.....	99
Tabla 3.8. Clases de valores de pendiente del cauce.....	101
Tabla 3.9. Clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente-promedio de laderas.....	104
Tabla 3.10. Clasificación de una cuenca por su tamaño.....	105
Tabla 3.11. Características Morfométricas de las Regiones Hidrográficas que componen la zona de estudio.....	114
Tabla 3.12. Temperaturas máximas, mínimas y promedio mensual y anual de estación Cerrón Grande (B10), en °C.....	119
Tabla 3.13. Precipitación promedio mensual y anual, en mm de estaciones Concepción Quezaltepeque y Cerrón Grande.....	120
Tabla 3.14. Evapotranspiración potencial y anual de la zona de estudio, en mm.....	120

Tabla 3.15. Coeficientes de Relación Escorrentía Superficial y/o Precipitación (E/P), zona 6, en mm.....	121
Tabla 4.1. Constantes dieléctricas de rocas y minerales.....	129
Tabla 4.2. Resistividad de las aguas naturales.....	131
Tabla 4.3. Resistividades de algunas rocas.....	132
Tabla 4.4. Variación de la resistividad de las rocas con respecto a la humedad.....	133
Tabla 4.5. Clasificación de los SEV según su longitud AB final.....	144
Tabla 4.6. Equipo utilizado para la realización de los SEV y misceláneos.....	151
Tabla 4.7. Perfil litológico asociado a SEV 08.....	160
Tabla 5.1. Comportamiento de las formaciones geológicas frente al agua.	172
Tabla 5.2. Porosidades totales y eficaces de diversos materiales geológicos.....	177
Tabla 5.3. Valores de porosidad eficaz de materiales aluviales.....	180
Tabla 5. 4. Valores de permeabilidad de materiales más comunes.....	182
Tabla 6. 1 Categorías del índice de escasez.....	220
Tabla 6. 2 Evaluación de recurso hídrico promedio por región hidrográfica en El Salvador para el período de 1971-2001 en Millones de metros cúbicos.....	226
Tabla 6. 3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.....	228
Tabla 6. 4. Cálculo de la evapotranspiración en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	235
Tabla 6. 5. Clasificación de suelo en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	236
Tabla 6.6. Valores de la capacidad ponderada de humedad en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	236

Tabla 6.7. Variaciones del consumo doméstico mensuales en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	237
Tabla 6.8. Variaciones de consumo de agua mensual por el ganado en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	237
Tabla 6. 9. Demanda interna durante el año en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.....	238
Tabla 6. 10. Balance hídrico medio anual en el Cantón San José Chalatenango.	239
Tabla 7.1. Sustancias químicas mayoritarias o fundamentales de las aguas.....	245
Tabla 7.2. Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero.....	273
Tabla 7.3. Clasificación de las aguas en base al residuo seco.....	275
Tabla 7.4. Clasificación de las aguas en base a la dureza.	276
Tabla 7.5. Comparación de valores máximos permisibles para parámetros microbiológicos, físicos y químicos, en la evaluación de la calidad del agua potable. Norma Salvadoreña obligatoria de Agua potable, Norma regional CAPRE y guía para la calidad del agua del agua potable de la Organización Mundial de la Salud.....	281
Tabla 7.6. Parámetros a determinar para análisis microbiológicos y físico-químicos por tipo de frecuencia.....	283
Tabla 7.7. Intervalos entre muestras para análisis bacteriológicos.....	284
Tabla 7.8. Número de muestras y frecuencia de muestreo para análisis físico-químicos.....	284
Tabla 7.9. Parámetros límites según aptitud de uso del agua.....	285
Tabla 7.10. Técnicas y tiempo máximo de preservación de muestras; previo a su análisis a su análisis físico-químico en laboratorio.....	290
Tabla 7.11. Evaluaciones de calidad de agua en ríos (%), a través de la aplicación del Índice de calidad de agua propuesto por la DGOA.....	293

Tabla 7.12. Resultados de algunos análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en diferentes puntos de la cuenca del río Lempa, en distintos trabajos de investigación.....	294
Tabla 7.13. Equipo utilizado en campo para toma de muestras de agua.....	302
Tabla 7.14. Análisis realizados por los laboratorios PROVIDA y LECC en el contexto de esta investigación.....	303
Tabla 7.15. Información de análisis físico-químicos y bacteriológicos históricos de la zona de estudio y Río Tamulasco.....	306
Tabla 7.16. Resumen de análisis microbiológicos, físico-químicos y de traza de metales, de agua proveniente de la zona de estudio.....	310
Tabla 7.17. Comparación de resultados de análisis físico-químicos con respecto a límites para distintos usos del agua.....	313
Tabla 7.18. Balance iónico de análisis de muestras 1, 2, 4, 8 y 9.....	314
Tabla 7.19. Diagramas de Stiff y Clasificación de las aguas del Cantón San José.....	316
Tabla 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.....	321
Tabla 8.2. Valoración del parámetro G, para los acuíferos de la región hidrográfica del Río Muca y microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	331
Tabla 8.3. Valoración del parámetro O, para la litología probable de la región hidrográfica del Río Muca y microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	332
Tabla 8.4. Valoración del parámetro profundidad D, para el acuífero somero y el limitado por fallas.....	333
Tabla 8.5. Valoración del parámetro profundidad D, para el acuífero profundo de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	334
Tabla 8.6. Obtención del índice de vulnerabilidades GOD, para el acuífero somero y el limitado por fallas de la región hidrográfica del Río	

Muca y microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.....	335
Tabla 8.8. Valoración del índice GOD para la vulnerabilidad de los acuíferos.....	336

SIGLAS

- ANDA; Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados.
- CARA; Red Centroamericana de Recurso Hídricos.
- CEL; Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica Río Lempa.
- CONACYT; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- CONSUDE; Agencia Suiza para el Desarrollo.
- CRV; Curva de Resistividad Verdadera.
- DBO; Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- DGOA; Dirección General del Observatorio Ambiental.
- FIAS; Fortalecimiento Institucional de ANDA para el estudio de Aguas Subterráneas.
- ICA; Índice de Calidad general del Agua.
- MARN ; Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- NMP; Número Más Probable.
- OIR; Oficina de Información y Respuesta.
- OMS; Organización Mundial para la Salud.
- PRO-VIDA; Asociación Salvadoreña de Ayuda Humanitaria PROVIDA.
- SNET; Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (Actualmente DGOA)
- SEV; Sondeo Eléctrico Vertical.

ABREVIATURAS.

°C; Centígrado.

A; Ampere.

C; Coulomb.

cm; Centímetro.

F; Farad.

g; galón

J; Joule

km/h; Kilómetros por hora

km; Kilómetros.

km²; Kilómetros cuadrados.

l; Litros.

m.s.n.m.; Metros sobre el nivel del mar.

m; Metros.

m²; Metros cuadrados.

ml; Mililitro

mm; Milímetros.

ppm; partes por millón

V; volt

Ω-m ; Ohm metro

PRÓLOGO.

El presente trabajo consiste en caracterizar la hidrogeología de la zona sur del Municipio de Chalatenango, limítrofe con Embalse Cerrón Grande, la cual se ha delimitado como zona de estudio y tiene una superficie de drenaje de 23.45 km², ubicándose geográficamente entre las latitudes 319,130 y 323,484 norte y las longitudes 498,099 y 506,533 oeste.

La zona de estudio está formada por la región hidrográfica del Río Muca y las Microcuencas de las Quebradas El Chaparro, Quebrada Oliva y Quebrada sin nombre, su clima se clasifica en Sabana Tropical Caliente, la elevación está comprendida entre los 240 y 550 m.s.n.m., donde las temperaturas oscilan entre los 22 y 28 °C, con una precipitación media anual de 2229 mm; el Río Muca es el drenaje principal de la zona de estudio, que en términos generales se puede considerar como de tipo dendrítico; el cual drena directamente al Río Tamulasco. La Subcuenca tiene una longitud del cauce más largo de 7.8 km, con la pendiente media del 14% y elevación media de 340.5 m.s.n.m.

Debido a que al inicio de esta investigación no se contaba con las características hidrogeológicas de la zona de estudio y se desconocía el comportamiento del agua subterránea, los principales alcances de la investigación, están basados en la elaboración del Mapa Hidrogeológico de dicha zona, en escala 1:10,000 y en un perfil hidrogeológico, que permita identificar la interacción que tiene el embalse con los posibles acuíferos de la zona, así como establecer el posible comportamiento del agua subterránea en los distintos estratos geológicos.

La metodología utilizada para la realización del trabajo se dividió en tres partes: Recolección de la información existente, recolección de datos de campo y análisis e interpretación de la información recopilada. La recolección de la información existente se llevó a cabo a partir de las bases de datos de instituciones como la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), Centro Nacional de Registro (CNR), Dirección General de Observatorio Ambiental (DGOA), Ministerio de Salud

Pública (MSP) y las Alcaldías de Chalatenango y Azacualpa. La recolección de los datos de campo se realizó en cuatro etapas: Verificación geológica, inventario de fuentes de agua, campaña geofísica (Sondeos Eléctricos Verticales) y toma de muestras para análisis físico-químicos y bacteriológicos.

Como resultado de cada una de las etapas anteriores, en el capítulo II, se resume la geología de la zona estudiada, la cual está constituida principalmente de rocas formadas lavas básicas e intermedias a ácidas con intercalaciones de piroclastos de edad Oligocénica. Comprende las Formaciones Bálsamo (26.34%), Cuscatlán (14.70%), Chalatenango (7.17%), Depósitos Fluviales Recientes (2.29%) y la Formación Morazán (49.50%). Su geomorfología presente es la unidad estructural geológica tectónica denominada Fosa Central.

Con respecto a la Hidrología Superficial, capítulo III, se identificaron los aspectos hidrológicos que definen la zona de interés, describiendo las características físicas de las regiones hidrográficas y sus cauces principales que conforman la zona de estudio, así como las condiciones climatológicas que las definen durante todo el año.

En el capítulo IV Geofísica Aplicada, se determinaron las litologías probables en profundidad de la zona de estudio, que pudieran constituir un acuífero detallándose la metodología adoptada en esta investigación, donde se determinó la presencia de tres posibles acuíferos.

En el capítulo V que se refiere a la Hidrogeología probable de la zona de estudio, se describe cada unidad hidrogeológica presente y además de qué forma está siendo aprovechado el recurso hídrico. Se elaboró un inventario de fuentes de agua de la zona de estudio, que puede ser consultado en la versión digital de este trabajo el cual consta de 126 fuentes de agua.

Con el objetivo de conocer la disponibilidad de agua de la Subcuenca del Río Muca y Microcuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande, se realizó el cálculo de

Balance Hídrico en el capítulo VI, considerando los parámetros que influyen en la zona, de acuerdo a las condiciones climatológicas, datos disponibles y condiciones geográficas propias del lugar.

En el capítulo VII Hidrogeoquímica y Calidad de Agua, se presenta un resumen de estudios de calidad de agua, enfocados principalmente en el estado actual de las aguas superficiales de El Salvador, en esta misma sección se presentan estudios de calidad de agua realizados en 8 pozos de la zona de estudio, 1 muestreo en el Embalse Cerrón Grande y 1 en el Río Tamulasco en el área del Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango. En este mismo capítulo se expone la metodología desarrollada en el muestreo, así como la evaluación de los resultados para la determinación de la composición química y de calidad del agua extraída.

En este mismo estudio se evaluó la vulnerabilidad de los acuíferos somero, profundo confinado y acuífero limitado por falla de la zona de estudio, cuya metodología es planteada en el capítulo VIII; en la determinación de dicha vulnerabilidad ha sido el GOD, el método aplicado tomando en consideración la información disponible.

Una vez recopilada y procesada toda la información de las distintas características de la zona y por medio de la utilización del programa ArcGis v.10 (versión de prueba), se elaboró el Mapa Hidrogeológico de la zona a escala 1:10,000.

Para complementar la información presentada en esta investigación se adjunta los siguientes documentos: Anexo A: Fichas para captura de datos, en éste se presentan las hojas de campo utilizadas durante la verificación geológica, inventario de fuentes de agua, campaña geofísica y en el muestreo de agua.

En el Anexo B. Tabla con datos de Interés General, se presentan diferentes tipos de datos como por ejemplo, registros de precipitaciones de las estaciones pluviométricas que fueron utilizadas en este estudio, así como también valores recomendados por algunos autores para el cálculo de diferentes variables hidrológica y de otras índoles.

El Anexo C, presenta la descripción de los puntos de interés geológico y la clasificación de las rocas según su textura, realizadas en el marco de la verificación geológica.

El Anexo D. Memoria de Cálculo de Características Morfométricas, presenta un ejemplo de cómo calcular estas características para cualquier región hidrográfica, se presenta el cálculo realizado para la Subcuenca del Río Muca.

En el Anexo E. Petrografía, se presenta el resultado del análisis petrográfico elaborado por LaGeo, a una muestra de mano de roca Brecha Volcánica obtenida en el Caserío Agua Caliente, Cantón San José, Municipio de Chalatenango. Para complementar esta información se adjunta en este anexo el procedimiento que se siguen los laboratoristas para realizar este tipo de análisis.

El Anexo F, presenta el registro geoelectrico tomado en la campaña geofísica, para los 10 sondeos realizados; mientras que el anexo G, presenta los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos efectuados a las muestras de agua obtenidas del Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Para finalizar el anexo H, presenta los Mapas Geológico e Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Muca y Quebradas al Oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

CAPÍTULO I:
INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES.

A nivel mundial los sistemas de agua subterránea proporcionan entre el 25% y 40% del agua utilizada para el consumo humano. En El Salvador estos sistemas constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable, debido a que más del 90% de las aguas superficiales no son aptas para el consumo humano sin métodos de potabilización. Se estima que en el país escurren anualmente 6,155 millones de metros cúbicos de agua subterránea, recurso que es explotado a través de pozos perforados y captaciones de manantiales.

Para el año 2009 se registró un consumo total de agua potable de 239.3 millones de metros cúbicos de los cuales 202.4 millones corresponden a sistemas administrados por ANDA, 21.1 millones son de explotación privada y 15.8 millones pertenecen a los sistemas administrados por operadores descentralizados. En ese año la población de la región metropolitana tuvo un consumo equivalente al 54.8%, la región central el 18.2%, la región occidental el 16.7% y la región oriental el 10.3% del consumo total del país.

Durante los años 1979-1982, el Gobierno de la República de El Salvador promovió la elaboración del Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos. En ese estudio se estableció la regionalización hidrográfica del país, la cual fue clasificada por regiones, sub-regiones y zonas. Las regiones hidrográficas se identificaron con las letras de la "A" a la "J", haciendo un total de diez regiones. Los acuíferos más importantes se encuentran constituidos por materiales geológicos como lavas andesíticas, piroclastos y depósitos aluviales cuaternarios, los cuales se ubican en las unidades geomorfológicas conocidas como Valle Central, Valle Interior y Planicie Costera.

En el año de 1997 surgió como un esfuerzo conjunto de la Agencia Suiza para el Desarrollo (COSUDE) y la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) el proyecto: “Fortalecimiento Institucional de ANDA para el estudio de Aguas Subterráneas” (FIAS). Uno de los objetivos principales del proyecto era la elaboración

del Mapa Hidrogeológico de El Salvador en escala 1:100,000 (año 2008), para ello fue necesario dividir la investigación para cada una de las diez Regiones Hidrográficas del país. Estas regiones se definieron como unidades geográficas básicas de planificación, en las cuales se identificaron los principales acuíferos presentes¹.

En la región hidrográfica “A” correspondiente a la cuenca del río Lempa se encuentra el Embalse del Cerrón Grande que fue construido en el año 1973, para servir de reservorio a la Central Hidroeléctrica del Cerrón Grande, actualmente está identificado como uno de los cuerpos de agua más contaminados de El Salvador. Este humedal recibe una descarga mensual de más de 8.5 millones de libras de excretas del Río Acelhuate, procedentes de 18 sistemas de aguas negras que drenan más de 1.5 millones de hogares del área metropolitana de San Salvador. Los ríos Suquiapa, Sucio y Acelhuate que representan el 30% del caudal que entra al humedal del Cerrón Grande, trasladan descargas contaminantes de 157 fuentes: 54 industrias, 55 beneficios de café, 7 ingenios azucareros, 29 redes de alcantarillas y 9 rastros municipales. El río Acelhuate recibe descargas de la región metropolitana de San Salvador, de 17 industrias de metal y afines, 22 textileras, 7 fábricas de pintura y 11 plantas fabricantes de papel. De un total de 145, sólo 9 tratan sus desechos. De 120 industrias que generan desechos líquidos, sólo el 14% realiza algún tipo de tratamiento.

En términos generales, las municipalidades ribereñas inmersas en el humedal Cerrón Grande, carecen de sistemas adecuados de abastecimiento de agua potable. En diez municipios de la zona, sólo en un caso se estimó que más del 60% de la población contaba con acceso domiciliar a agua potable, mientras que en siete casos el porcentaje era menor al 14%. Muchas familias se abastecen mediante pozos en los márgenes del embalse; situación que implica un serio problema sanitario, puesto que los tipos y niveles de contaminantes dispersos en el embalse son altos y consecuentemente la calidad del agua de consumo humano proveniente de pozos es muy baja. Se ha estimado

¹ Mapa Hidrogeológico de El Salvador disponible para descarga en <http://www.anda.gob.sv> (Inicio/Temas/Mapa hidrogeológico).

que el agua de los pozos presenta cantidades elevadas de coliformes fecales (16,000 NMP/100 ml). No existen sistemas de tratamiento de aguas negras y servidas en la zona, vertiéndose éstas a fosas en algunos casos o directamente a las calles, quebradas o al lago en su mayoría.

El Municipio de Chalatenango es parte de las municipalidades ribereñas al embalse, se abastece por captación de agua en la parte alta del río Tamulasco, administrada por ANDA, el agua obtenida se utiliza principalmente para la zona urbana. Los cantones ubicados al sur del de este son abastecidos por medio de captación de agua a través de pozos. Existen cinco pozos industriales profundos situados en el Cantón San José y son 2 administrados por ANDA, 1 por la Alcaldía Municipal de Chalatenango, 1 Alcaldía Municipal de Azacualpa y 1 por ADESCO “Caserío La Concepción”. Además, existen pozos artesanales en las viviendas de la zona; se estima que al menos existen 119 pozos de este tipo en el Cantón San José, los cuales son utilizados para abastecer de agua para uso humano a los propietarios y a sus vecinos.

La calidad del agua de los pozos industriales es monitoreada regularmente por la Unidad de Salud de Chalatenango, según el registro que lleva esta unidad se encuentra con calidad adecuada para el consumo humano. Los pozos artesanales que se encuentran en esta zona también son monitoreados por esta misma unidad, pero estos no han sido analizados periódicamente, ni en su totalidad. En cuanto a la calidad del agua de los pozos artesanales, algunos análisis han mostrado que tienen una alta concentración de coliformes, como principal problema.

En marzo del año 2012 ANDA ejecutó un proyecto de factibilidad de agua potable domiciliar para 142 viviendas ubicadas en los Caseríos Agua Caliente, Los Amates y Gualcho. Esto beneficiará a la mayor parte de la población pero no en su totalidad, ya que según datos poblacionales proporcionados por promotora de salud de la zona, en estos tres caseríos se localizan un total de 168 viviendas y no todas las familias han optado acceder a este servicio por diferentes razones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En El Salvador la mayor parte del recurso hídrico superficial está contaminado; la degradación de la calidad está relacionada con las acciones humanas tales como el uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, vertidos industriales y aguas residuales sin tratamiento previo, así como también la deforestación en las zonas de recarga hidrográfica.

Estas causas agotan la capacidad de auto-regeneración de los ríos, situación que disminuye la posibilidad de aprovechamiento del agua, ya que los métodos de potabilización se vuelven cada vez más costosos al aumentar los índices de contaminación, por lo que actualmente se ha optado por explotar los acuíferos subterráneos.

Por lo anterior los estudios del recurso hídrico subterráneo son fundamentales, desde un primer lugar para verificar la cantidad y calidad del agua a explotar y finalmente para asegurar el aprovechamiento adecuado del recurso. Además del estudio hidrogeológico inicial son importantes los monitoreos constantes del agua que se está explotando y estudios enfocados a determinar la vulnerabilidad de los acuíferos.

La región hidrográfica del Río Muca incluyendo los Caseríos Concepción, Los Amates y Gualcho, del Cantón San José de Chalatenango; al igual que otras comunidades de distintos municipios que rodean el embalse Cerrón Grande se abastecen de agua a través de pozos, tanto industriales como artesanales, por lo que surgen las siguientes preguntas ¿Es adecuada para el consumo humano el agua que se está extrayendo de los pozos?, ¿Qué grado de vulnerabilidad presenta el o los acuíferos de la zona?, ¿Está interactuando el agua del embalse Cerrón Grande con el o los acuífero de la zona?, ¿En qué zonas y a qué profundidad se extrae agua de calidad para consumo humano?. Es por tales cuestiones que surge la presente investigación.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar una caracterización hidrogeológica en la zona sur del Municipio de Chalatenango, limítrofe con el embalse Cerrón Grande.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Verificar las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.
- Determinar las características hidrológicas regiones hidrográficas que conforman la zona de estudio.
- Identificar las formaciones geológicas de la zona de estudio mediante prospección geofísica, utilizando la técnica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).
- Crear un inventario de pozos y manantiales de la zona de estudio.
- Determinar la calidad de agua mediante análisis físico-químicos y bacteriológicos, en algunos puntos de la zona de estudio.
- Determinar el grado de vulnerabilidad del recurso hídrico por medio del método GOD (Ground Overall Depth).
- Presentar un mapa hidrogeológico a escala 1:10,000.
- Presentar un perfil hidrogeológico a escalas 1:10,000 horizontal y 1:2,500 vertical.

1.4. ALCANCES.

- Presentar un mapa hidrogeológico de las regiones hidrográficas del Río Muca y quebradas al oeste de ese río, limítrofes al embalse Cerrón Grande; en plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa informático ArcGis 10 versión de prueba. Dicho mapa incluirá las siguientes coberturas de información: delimitación de la zona de estudio, topografía, geología (formaciones y fallas geológicas), hidrología superficial (ríos y quebradas), localización de pozos y manantiales, unidades hidrogeológicas.
- Presentar un perfil hidrogeológico de la región hidrográfica del río Muca, quebradas al oeste de este río, limítrofes al embalse Cerrón Grande; que permita identificar la interacción que tiene el embalse con el o los posibles acuíferos de la zona.

1.5. LIMITACIONES.

- Confidencialidad de la información en las entidades públicas y privadas, en el momento de la consulta de antecedentes.
- La disponibilidad de equipo de geofísica para ejecutar la cantidad pertinente de sondeos y la capacidad de penetración debido a topografía, humedad y geología de la zona de estudio.
- El número de análisis físico-químicos y bacteriológicos fue limitado en función de la disponibilidad de las instituciones cooperantes.

1.6. JUSTIFICACIÓN.

En el caso de comunidades rivereñas al embalse Cerrón Grande, algunos estudios de calidad de agua, han demostrado que el agua extraída a través de pozos que se encuentran en las cercanías éste, tienen un alto nivel de contaminación al igual que el embalse, siendo el contenido de coliformes totales el parámetro que resulta más elevado.

Debido a lo anterior, es necesario elaborar estudios en las zonas rivereñas al embalse que permitan caracterizar el recurso hídrico con que cuentan; y determinar la afectación que hace el embalse sobre los acuíferos; para con ello determinar si existen acuíferos explotables aptos para el consumo humano y que sirvan como base en los planes de gestión y manejo de los recursos hídricos.

Este trabajo de investigación se concibe como un avance en la caracterización hidrogeológica de la región del embalse Cerrón Grande, ya que limítrofes a éste se encuentran trece municipios y el presente estudio está enfocado a la zona sur del Municipio de Chalatenango, limítrofe con el embalse.

Por otra parte, esta investigación es importante desde el punto de vista de la calidad de agua para consumo humano, ya que caracteriza una parte de la totalidad del recurso hídrico del Municipio de Chalatenango, el cual actualmente se encuentra en crecimiento económico y poblacional, por lo que además contribuiría a los planes de ordenamiento territorial de la región y a las nuevas políticas hídricas nacionales.

1.7. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El área de estudio tiene un área superficial aproximada de 23 km² y se encuentra definida por la región hidrográfica del río Muca, río afluente al Tamulasco y por las micro-cuencas de drenaje directo al embalse cerrón grande de las quebradas Oliva, El Chaparro y otras que no poseen nombre ubicadas al oeste de la zona del río Muca. De lo anterior se concluye que los límites de la región de estudio son: al norte, río Tamulasco y el límite de la región hidrográfica del río Muca; al Este, límite de la región hidrográfica del río Muca; al Sur, límite de la región hidrográfica del río Muca y de quebrada sin nombre que descarga en el mismo punto que la quebrada Oliva; finalmente al Oeste, el embalse Cerrón Grande, tal como se muestra en la figura 1.1.

La zona de estudio se encuentra entre las latitudes 319,130 y 323,484 norte y las longitudes 498,099 y 506,533 oeste (coordenadas en base a la proyección cónica conforme de Lambert, esferoide de Clarke 1866, datum norteamericano de 1927, utilizado por el Instituto Geográfico Nacional de El Salvador), ubicada en el Municipio y Departamento de Chalatenango, Azacualpa y San Luis de Mercedes. Los cantones que comprende la zona de estudio son: San José del Municipio de Chalatenango (principalmente), Cuesta de Marina de Azacualpa y El Matazano del Municipio de San Luis de Mercedes. Según límites municipales de cartografía nacional. En la figura 1.1. se muestra la división municipal de la zona de estudio.

La concentración poblacional se sitúa principalmente en el Cantón y Caserío San José, en la zona central conocida únicamente por San José y en los Caseríos La Concepción, Agua Caliente, Los Amates y Gualcho de Chalatenango. La población se estima que ronda las 400 familias, equivalentes a 2000 personas aproximadamente.

Es una zona que comprende elevaciones que van desde los 240 msnm, en las riveras del embalse Cerrón Grande (a nivel máximo del embalse), hasta elevaciones de 550 msnm en la cúspide del Cerro Oliva.

La red vial principalmente está compuesta por la carretera que conduce del casco urbano del Municipio de Chalatenango, hacia el Cantón San José, de la cual a la altura del Caserío La Concepción se deriva la carretera que conduce a San Francisco Lempa. Ambas carreteras son de carácter secundario y poseen una capa de rodadura no pavimentada, exceptuando pequeños tramos en la carretera que conduce a San Francisco Lempa, como en los Caseríos La Concepción y Los Amates, que poseen capa de rodadura de concreto hidráulico, en al menos 300 metros. En general las carreteras y caminos se mantienen en buen estado y pueden ser transitadas por cualquier tipo de vehículo durante el verano, mientras que en el invierno es necesario utilizar vehículos de doble tracción.

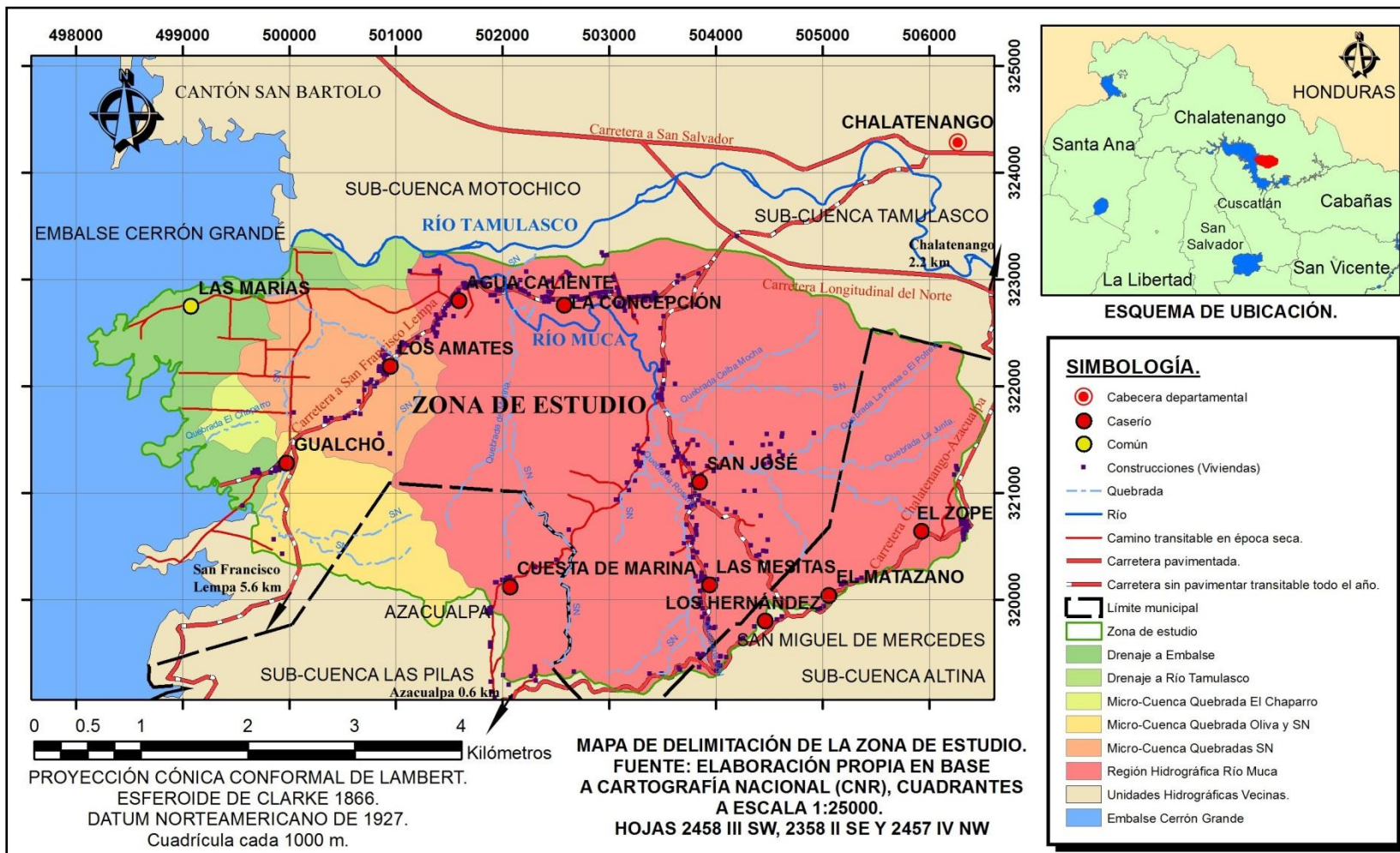


Figura 1.1. Delimitación de la zona de estudio.

La zona de estudio está compuesta por Región hidrográfica del Río Muca y Microcuencas al Oeste, limitrofe con el Embalse Cerrón Grande. Lugar correspondiente principalmente al Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, en base a cartografía nacional, realizado por medio del programa informático ArcMap v10.

CAPÍTULO II:
GEOLOGÍA.

2.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo “Geología”, se aborda una etapa de un estudio Hidrogeológico, la cual consiste en identificar los rasgos geológicos de la zona de interés para relacionar posteriormente con la posible agua subterránea que se encuentre. Los rasgos que se identifican son: Formaciones rocosas, geotectónicas y geomorfológicas.

Para identificar apropiadamente los rasgos antes mencionados es importante tanto la documentación que se pueda encontrar, como las observaciones de campo que se realicen, ya que el país no cuenta con una base geológica a detalle, pero si, con un mapa geológico nacional a escala 1:100000. En esta investigación se consideró apropiado realizar una verificación en campo de las unidades geológicas que presenta el Mapa Geológico de El Salvador, dentro de la zona de estudio.

En este capítulo se abordan los *Fundamentos de Geología* (sección 2.2), que describe la teoría elemental para la realización de este tipo de investigación, empezando por conceptos geológicos básicos, tipos de rocas, estructuras geológicas, formación de suelo, geomorfología, métodos de exploración geológica y finalizando con conceptos de interpretación y confección de mapas geológicos.

En cuanto a la sección 2.3 *Geología y geomorfología de El Salvador*, menciona un panorama general de los rasgos geológicos a nivel nacional, para tomarlos como punto de partida en la verificación geológica. Por su parte la sección 2.4 *Metodología de la verificación geológica*, plantea de forma breve el procedimiento seguido en esta primera etapa de la investigación. Finalmente la sección 2.5 *Aspectos geológicos y geomorfológicos de la zona de estudio*, resume la información geológica que definen el área de interés, y describe la información presentada en el Mapa Geológico de la Subcuenca del Rio Muca y Microcuencas al oeste limítrofes con el Embalse Cerrón Grande , expuesto en Anexo H.1.

2.2. FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA.

2.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

GEOLOGÍA.

Geología es una palabra de origen griego cuyas raíces son: “geo” que significa Tierra y “logos” que es estudio; por lo que se refiere a la ciencia que estudia a la Tierra en su totalidad, desde su origen, historia, estructura, composición hasta los procesos que dieron lugar a su estado actual.

TECTÓNICA DE PLACAS.

La tectónica de placas es una teoría que propone un modelo cinemático en el que la estructura rígida externa de la Tierra (litósfera) está dividida en placas oceánicas y continentales que pueden deslizarse sobre la astenósfera (capa superior del manto). Estas placas que están en constante movimiento unas con respecto a otras, cuando interactúan a lo largo de sus márgenes, dan lugar a importantes procesos geológicos como la formación de cadenas montañosas, volcanes y los terremotos.

TIEMPO GEOLÓGICO.

El concepto de Tiempo Geológico se origina con la necesidad de comprender y hacer notar la magnitud “del tamaño” de tiempo en que ha evolucionado la Tierra. En Geología es importante la apreciación de la magnitud del tiempo geológico, porque muchos procesos son tan graduales que se necesitan enormes lapsos de tiempo antes de que se produzcan resultados significativos.

En líneas generales, el tiempo geológico del planeta se divide y distribuye en bloques de años relacionados con acontecimientos importantes que los han caracterizado. Cuando se habla de tiempo geológico la unidad base es el millón de años y siempre debe de relacionarse con el “antes del presente”.

Existen varias formas de definir los límites de cada lapso en el que se divide la historia geológica del planeta; pero el más utilizado es el de unidades geocronológicas. Estas unidades son las más conocidas y dividen el tiempo geológico, en orden descendente de jerarquía, de la siguiente manera: Eones, Era, Período, Época y Edad. A continuación en la figura 2.1, se muestra la escala de tiempo geocronológica.

<u>Eón</u>	<u>Era</u>	<u>Período</u>	<u>Época</u>	<i>Desarrollo de plantas y animales.</i>				
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno 0,01	Desarrollo de los seres humanos (Edad de los mamíferos)				
			Pleistoceno 1,8					
		Terciario	Plioceno 5,3					
			Mioceno 23,8					
			Oligoceno 33,7					
			Eoceno 54,8					
	Paleoceno 65,0	Extinción de los dinosaurios y otras muchas especies						
	Mesozoico	Cretácico	144	(Edad de los reptiles)	Primeras plantas con flores.			
					Jurásico	206	Primeras aves	
					Triásico	248	Dinosaurios dominantes	
					Paleozoico	Pérmico	290	(Edad de los anfibios)
	Carbonífero	Pensilvaniense	323	Grandes pantanos carboníferos				
		Misisipiense	354	Anfibios abundantes				
	Proterozoico	Arcaico	Devónico	(Edad de los peces)	Primeros insectos fósiles Peces dominantes Primeras plantas terrestres			
					Silúrico	417	Primeros peces	
					Ordovícico	443	Trilobites dominantes	
					Cámbrico	490	Primeros organismos	
Hádico					540	Primeros organismos pluricelulares		
				Denominado colectivamente precámbrico, abarca alrededor del 88 por ciento de la escala de tiempo geológico				
				Primeros organismos unicelulares				
				Origen de La Tierra				

Figura 2.1. Escala de tiempo geocronológica.

Las cifras indicadas en la escala vertical representan el tiempo en millones de años antes del presente.

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de Edward J. Tarbuck, "Ciencias de la Tierra", 8va Ed, página 6.

MINERALES.

Un mineral es un compuesto químico, homogéneo, de origen natural, formado como consecuencia de un proceso geológico, inorgánico, dotado de una composición química definida que puede variar dentro de ciertos límites, y con una estructura interna ordenada que cumple las propiedades de periodicidad, simetría, anisotropía y homogeneidad. (Manuel Pozo et al. 2004).

ROCAS.

En geología se conoce como roca a la mezcla o conjunto de uno o varios minerales que se consolidan a partir de procesos naturales.

MAGMA.

El Magma es el material fundido generado en el interior de la tierra por fusión de materiales a temperatura superior a 600° C. Su enfriamiento y consolidación da origen a las rocas magmáticas.

LAVA.

La lava es el magma que alcanza la superficie terrestre, cuya composición química es similar a la del magma con la diferencia que ha perdido los gases debido al cambio de presión.

2.2.2. TIPOS DE ROCA Y SU FORMACIÓN.

En geología las rocas se dividen desde el punto de vista de su origen en tres grandes grupos: Rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas. Cada grupo está relacionado con los demás por procesos que actúan sobre y dentro del planeta Tierra. A continuación se describen estos tres grupos básicos y se explica su relación a través del ciclo de las rocas.

ROCAS ÍGNEAS.

La palabra ígnea proviene del latín “ignis” que significa fuego, por lo que las rocas ígneas son aquellas que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica. A medida que este se enfría, se van formando y creciendo los cristales de varios minerales que conforman las rocas.

El proceso de enfriamiento del magma puede darse de dos formas, la primera es cuando éste permanece en el interior profundo de la corteza y se enfría lentamente durante miles de años, esta pérdida gradual de calor permite el desarrollo de cristales relativamente grandes antes de que toda la masa de la roca se solidifique por completo. A este tipo de roca ígnea se le denomina *plutónica o intrusiva*. La segunda forma de enfriamiento se da cuando el magma se abre paso hacia la superficie de la Tierra durante una erupción volcánica, como éste se enfría con rapidez en un ambiente superficial, la roca fundida se solidifica muy deprisa y no hay tiempo de que crezcan grandes cristales minerales, por lo que se produce la formación simultánea de muchos cristales pequeños, a este tipo de roca ígnea se le denomina *volcánica o extrusiva*. En la figura 2.2, se muestran rocas ígneas de El Salvador.



Figura 2.2. Ejemplos comunes de rocas ígneas.

En la figura se muestran: a) Basalto, roca ígnea extrusiva común en El Salvador; b) Granito, roca ígnea intrusiva, se encuentran formaciones de carácter granítico-diorítico en zonas cercanas a Metapán y Chalatenango en El Salvador.

Fuente: sitio web <http://ampliaciongb.blogspot.com/>, mayo 2012.

ROCAS SEDIMENTARIAS.

Son rocas formadas a partir de la litificación de sedimentos. Los sedimentos se acumulan en capas en la superficie de la Tierra; los cuales son materiales que se derivan de rocas preexistentes por procesos de *meteorización*.

Los sedimentos que se originan y son transportados como partículas sólidas se denominan sedimentos detríticos y las rocas que éstos forman son las llamadas rocas sedimentarias detríticas, cuya clasificación está basada principalmente en la dimensión de sus partículas. En la tabla 2.1, se presenta la clasificación de las rocas sedimentarias detríticas y en la figura 2.3a un ejemplo de una roca sedimentaria detrítica, denominada conglomerado.

Tabla 2.1. Clasificación de rocas sedimentarias detríticas según el tamaño de sus partículas.

Tamaño del grano.	Clase.	Sedimento.		Roca.
256 mm	Ruditas.	Bloques.	Gravas.	Conglomerado. (Clasto redondeado).
		Clastos.		Brecha. (Clasto anguloso).
1 mm ½ mm ¼ mm 1/8 mm	Arenas.	Arena de grano muy grande. Arena de grano grande. Arena mediana. Arena fina. Arena muy fina.		Arenisca.
1/256 mm	Lutitas.	Limo.		Limolita.
		Arcilla.		Arcillita.

Fuente: Ing. Susan Campos, Materiales de la Tierra, Geología Aplicada, UES, 2007.

También dentro de las rocas sedimentarias podemos distinguir las rocas sedimentarias químicas, las cuales se forman cuando el material disuelto en el agua precipita. La principal base para distinguir las rocas sedimentarias químicas es su composición mineral. El ejemplo más común es la caliza, roca sedimentaria que está compuesta principalmente por el mineral calcita (carbonato de calcio, CaCO_3), la cual se muestra en la figura 2.3b.

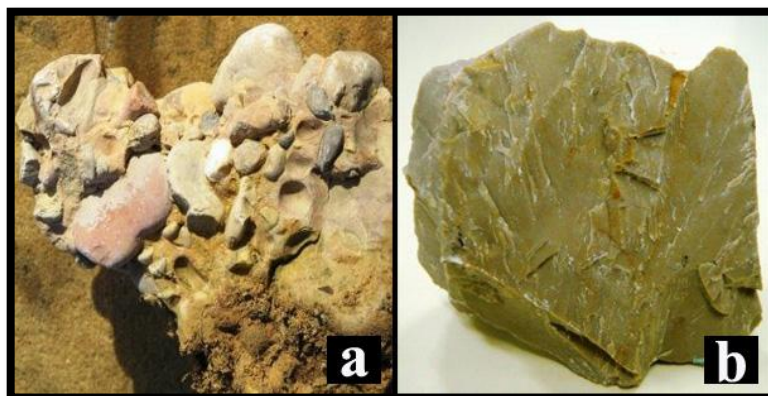


Figura 2.3. Ejemplos de rocas sedimentarias.

En la figura se muestran: a) Conglomerado, roca sedimentaria común en márgenes de ríos; b) caliza, roca sedimentaria química, que en El Salvador se encuentra en yacimientos en la zona de Metapán.

Fuente: sitio web <http://www.jisanta.com/Geologia/index%20minerales.htm>, mayo 2012.

ROCAS METAMÓRFICAS.

Metamórfico es un adjetivo que significa “cambiar de forma”, esto resulta muy adecuado utilizarlo ya que las rocas metamórficas son aquellas que se producen a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso de otras rocas metamórficas, por lo que cada roca metamórfica tiene una roca madre a partir de la que se ha formado. La mayoría de cambios tienen lugar a temperaturas y presiones elevadas que se dan en la profundidad de la corteza terrestre y el manto superior.

La mayor parte del metamorfismo sucede por una de las siguientes causas:

1. *Cuando un cuerpo magmático intruye en una roca, tiene lugar el metamorfismo térmico o de contacto. En este caso, el cambio está controlado por un aumento de la temperatura dentro de la roca huésped que rodea a la intrusión ígnea.*
2. *El metamorfismo hidrotermal, que implica alteraciones químicas que se producen cuando el agua caliente rica en iones circula a través de las fracturas de la roca. Este tipo de metamorfismo suele asociarse con la actividad ígnea que proporciona el calor necesario para provocar reacciones químicas y hacer que estos fluidos circulen a través de la roca.*

3. *Durante la formación de las montañas, grandes cantidades de roca enterrada a una gran profundidad están sujetas a presiones dirigidas y a temperaturas elevadas asociadas con la deformación a gran escala. Durante este proceso, se generan cambios en la roca, conociéndose este tipo de metamorfismo como metamorfismo regional.*

El metamorfismo a menudo progresa de una manera gradual desde cambios ligeros (metamorfismo de grado bajo), hasta cambios sustanciales (metamorfismo de grado alto). Del que se puede mencionar, a manera de ejemplo es el de la roca sedimentaria lutita, pues al tener un metamorfismo de grado bajo se convierte en una roca metamórfica más compacta denominada pizarra; mientras que al sufrir un metamorfismo de grado alto, provoca una transformación tan completa que no se puede determinar la identidad de la roca madre.

Durante el metamorfismo la roca debe permanecer esencialmente sólida, ya que, si se funde por completo, se entra en el ámbito de la actividad ígnea.

En la figura 2.4, se presentan fotografías de rocas metamórficas de grado bajo.

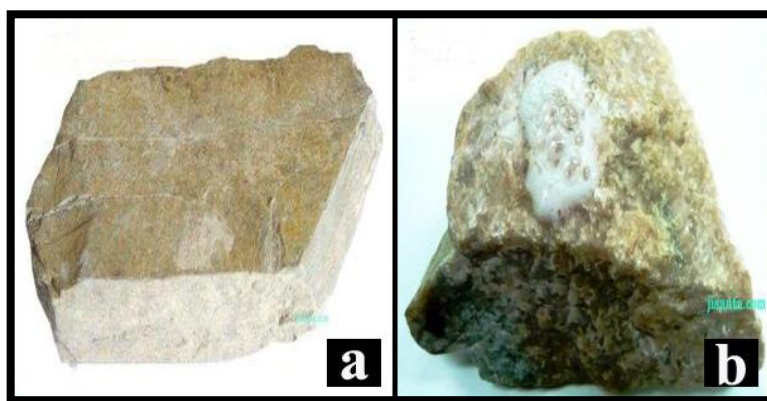


Figura 2.4. Ejemplos de rocas metamórficas.

En la figura se muestran: a) Esquisto, roca proveniente del metamorfismo de grado bajo en la roca basalto, y en b) Mármol, roca proveniente del metamorfismo de grado bajo en la roca caliza.

Fuente: sitio web <http://www.jisanta.com/Geologia/index%20minerales.htm>, mayo 2012.

CICLO DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS.

La Tierra es un sistema, por lo que está compuesto de muchas partes interactuantes que forman un todo complejo. El ciclo de formación de las rocas permite examinar las interrelaciones de diferentes partes del sistema Tierra y además ayuda a comprender el origen de los diferentes tipos de rocas. En la figura 2.5 se muestra un esquema del Ciclo de formación de las Rocas.

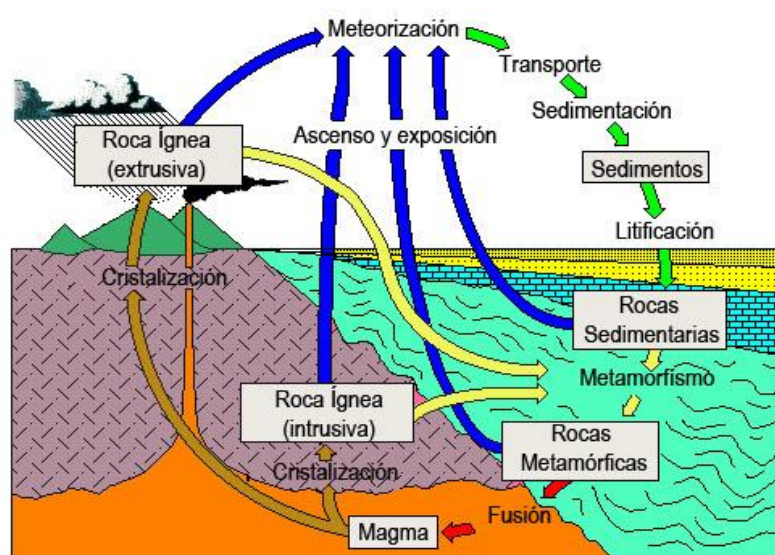


Figura 2.5. Ciclo de las Rocas.

Fuente: Elaboración propia en base a

<http://www.washington.edu/uwired/outreach/teched/projects/web/rockteam/WebSite/rockcycle.htm.htm>, julio 2012.

El ciclo básico de formación de las rocas se puede comenzar describiendo a partir de la generación del magma (ruta exterior de la figura 2.5), el cual se forma a gran profundidad por debajo de la superficie de la Tierra, con el tiempo este magma se enfría y se solidifica, proceso que se conoce con el nombre de **Cristalización** y puede ocurrir tanto por debajo de la superficie terrestre o sobre ella después de una erupción volcánica. En cualquiera de las dos situaciones el resultado será la formación de **rocas ígneas**.

Aquellas rocas ígneas que afloran en la superficie, experimentarán el proceso de **meteorización**, en el cual la acción atmosférica descompone y desintegra lentamente las rocas. Los materiales resultantes pueden ser desplazados pendiente abajo por gravedad

antes de ser captados y transportados por algún agente erosivo como las aguas superficiales, los glaciares, el viento o las olas. Al final estos materiales (partículas y sustancias disueltas) denominados *sedimentos*, son depositados. La mayoría de sedimentos acaban llegando al océano y a otras zonas de acumulación como llanuras de inundación de ríos, desiertos, pantanos y dunas.

Luego los sedimentos pueden experimentar el proceso de *litificación* (conversión en roca), que es debido al peso de las capas suprayacentes y posteriormente cuando los sedimentos son cementados conforme a que el agua subterránea de infiltración llena los poros con materia mineral.

Si la roca sedimentaria resultante se entierra profundamente dentro de la tierra e interviene en la dinámica de la formación de montañas, o si es intruida por una masa de magma, estará sometida a grandes presiones o a un calor intenso, o a ambos. Ante tales situaciones las rocas sedimentarias reaccionarán ante el ambiente cambiante y se convertirán en el tercer tipo de rocas, denominadas *rocas metamórficas*. Cuando las rocas metamórficas son sometidas a cambios de presión adicionales o a temperaturas aún mayores, se fundirán y darán paso a un magma, que posteriormente se cristalizará y se repetirá el ciclo.

Anteriormente se describió de forma básica el ciclo de formación de las rocas, esto es, desde el punto de vista de un ciclo cerrado, pero este puede tener cursos alternos, que son igual de probables que resulten, y que los cuales se pueden identificar en la figura 2.5 por medio de las flechas internas; cursos que a continuación se describen.

Es probable que rocas ígneas en lugar de ser expuestas a la meteorización y posterior erosión en la superficie terrestre, puedan permanecer enterradas profundamente. Esas masas logran acabar siendo sometidas a grandes fuerzas de compresión y a elevadas temperaturas asociadas con la formación de montañas y las rocas ígneas se transforman directamente en rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas y sedimentarias, así como los sedimentos, no siempre permanecen enterrados ya que las capas superiores pueden ser eliminadas, dejando


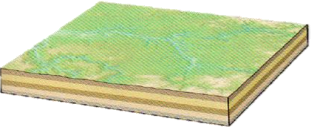

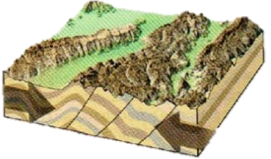
descubiertas las rocas, si esto sucede los materiales son expuestos a meteorización y convertidos en nueva materia prima para la formación de rocas sedimentarias.

2.2.3. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

La Tierra por ser un sistema dinámico, se ve sometida a procesos externos como la meteorización, procesos gravitacionales y la erosión que modelan continuamente el paisaje de la superficie terrestre. Además de los procesos antes mencionados, las fuerzas tectónicas deforman las rocas de la corteza, algunas se han inclinado, otras han alcanzado la ruptura, otras se han plegado y otras se han elevado o hundido.

¿Qué son las fuerzas tectónicas? Son aquellas fuerzas que se generan debido al movimiento de las placas tectónicas y las interacciones a lo largo de los límites de estas placas. Estas fuerzas son las causantes de las deformaciones de las masas rocosas y para describir estas fuerzas los geólogos utilizan el término esfuerzo, que es la cantidad de fuerza aplicada sobre un área determinada. Los esfuerzos pueden aplicarse de manera uniforme a lo que se conoce como presión de confinamiento, o también pueden aplicarse de manera no uniforme, conocido como esfuerzo diferencial.

A continuación en la figura 2.6, se presentan los esfuerzos diferenciales causantes de las deformaciones de las masas rocosas.

Esfuerzo	Esquema ilustrado del Esfuerzo	Causa	Esquema del efecto sobre Estrato	Descripción del Efecto
A) SIN ESFUERZO	 CUBO DE ROCA	Ninguna		Estrato sin deformar al no recibir ningún esfuerzo diferencial.
B) COMPRESIÓN		Esfuerzos asociados a colisiones entre placas tectónicas.		Estos esfuerzos tienden a acortar y a engrosar la corteza terrestre mediante pliegues y fallas.

Esfuerzo	Esquema ilustrado del Esfuerzo	Causa	Esquema del efecto sobre Estrato	Descripción del Efecto
C) TENSIÓN		Esfuerzos asociados a los límites de placas divergentes en donde las placas se están separando.		nales tienden a alargar los cuerpos rocosos situados en la corteza superior mediante el desplazamiento a lo largo de las fallas, en profundidad el desplazamiento es producto de un flujo plástico
D) CIZALLA		Esfuerzos que se producen en superficies de debilidad paralelas y estrechamente espaciadas, como los planos de estratificación, foliación y las microfallas.		Los esfuerzos de cizalla provocan desplazamientos a lo largo de las zonas de falla o por el flujo dúctil.

Figura 2.6. Deformación de la corteza terrestre provocada por las fuerzas tectónicas y sus esfuerzos asociados.

En la figura se observa: A) estrato antes de la deformación, B) estrato sometido a esfuerzos compresionales, C) estrato sometido a esfuerzos tensionales y D) estrato sometido a esfuerzo de cizalla.

Fuente: Edward J. Tarbuck, "Ciencias de la Tierra", 8a edición, Tipos de esfuerzos, página 285.

Ahora que se conocen las fuerzas tectónicas y los tipos de esfuerzos que deforman la corteza terrestre, se procede a describir las estructuras geológicas básicas asociadas con la deformación, las cuales son: Fallas, Pliegues y Diaclasas, también se estudiarán otros tipos de estructuras geológicas conocidas como discordancias.

FALLAS.

Una *falla* es una discontinuidad, generalmente plana, entre bloques de roca que se han desplazado uno con respecto de otro en una dirección paralela a la discontinuidad. (Figura 2.7.b). La amplitud del desplazamiento puede ser de unos pocos metros como el de fallas que pueden observarse en taludes de carreteras o como el de la falla de San Andrés en California, que tiene un desplazamiento de cientos de metros. Otros conceptos asociados a las fallas se describen a continuación.

Zona de falla: Es una región tubular que contiene muchas fallas paralelas. Estas zonas son regiones de deformación frágil localizada de la roca. (Figura 2.7.c).

Zona de cizalla: Es una zona a través de la cual se han desplazado bloques de roca a modo de falla, pero sin desarrollo evidente de fallas visibles. Así, las zonas de cizalla son regiones de deformación dúctil localizada de la roca. (Figura 2.7.d).

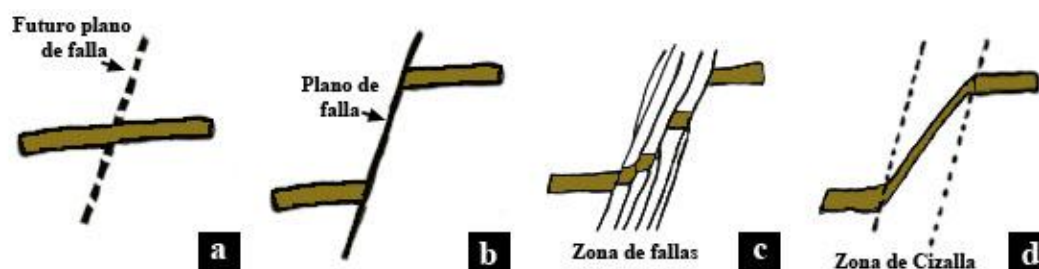


Figura 2.7. Esquemas de falla, zona de fallas y zona de cizalla.

Representación esquemática de: a) Estrato antes de sufrir una falla, b) Falla en estrato, c) Zona de fallas (estrato con múltiples fallas) y d) Zona de cizalla (estrato con deformación dúctil).

Fuente: Elaboración propia en base a guion de clases de Geología Aplicada, "Geodinámica Interna", UES, 2006, página 3.

Los geólogos clasifican las fallas por sus movimientos relativos, que pueden ser predominantes en dirección vertical, horizontal u oblicua. En la figura 2.8 se muestra la clasificación común de las fallas según su desplazamiento.

Clasificación por desplazamiento predominante.	Tipo de falla.	Esquema.	Característica.
Sin desplazamiento.	a) Sin falla.		<p>Posición de las masas rocosas antes de sufrir algún esfuerzo diferencial. Se presenta la futura localización de falla, Techo (superficie rocosa situada por encima de la falla), y Muro (superficie rocosa situada por debajo de la falla).</p>

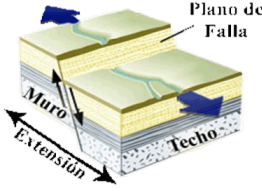
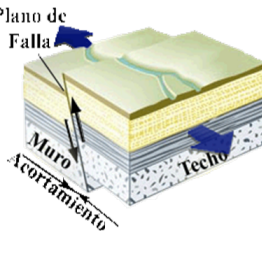
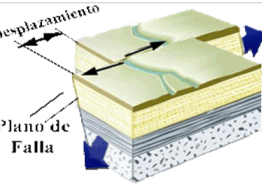
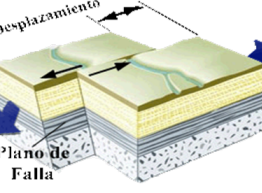
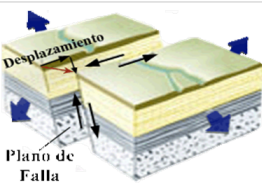
Vertical.	<p>b) <i>Falla normal</i></p>		<p>Se clasifican así cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo en relación con el bloque de muro. La mayoría poseen un buzamiento de 60°. Estas fallas acomodan el alargamiento o la extensión de la corteza.</p>
	<p>c) <i>Falla inversa</i></p>		<p>Se da esta clasificación cuando el bloque de techo se desplaza hacia arriba en relación con el bloque de muro. Cuando el ángulo de buzamiento es menor a 45° se denomina a la falla como cabalgamiento. Estas fallas reflejan un acortamiento de la corteza terrestre.</p>
Horizontal.	<p>d) <i>Falla de rumbo dextral</i></p>		<p>Falla con desplazamiento paralelo a su rumbo, en la cual un observador situado sobre un bloque y mirando al otro, el bloque opuesto parece haberse desplazado hacia su derecha.</p>
	<p>e) <i>Falla de rumbo sinistral</i></p>		<p>Falla con desplazamiento paralelo a su rumbo, en la cual un observador situado sobre un bloque y mirando al otro, el bloque opuesto parece haberse desplazado hacia su izquierda.</p>
Ambas direcciones.	<p>f) <i>Falla oblicua</i></p>		<p>Se denominan de esta manera las fallas que han sufrido tanto desplazamiento vertical como horizontal. Para este caso es una falla oblicua normal sinistral.</p>

Figura 2.8. Clasificación de las fallas según su desplazamiento.

Se muestra la clasificación de fallas según su desplazamiento y su nomenclatura (las flechas color negro y rojo representan la dirección del desplazamiento, mientras que las azules representan la dirección del esfuerzo).

Fuente: Elaboración propia en base a <http://www.funvisis.gob.ve/glosario.php>, mayo 2012.

PLIEGUES.

Durante la formación de las montañas, las rocas sedimentarias y volcánicas suelen doblarse en una serie de ondulaciones semejantes a ondas a las cuales se les denominan como pliegues. (Figura 2.9). La mayoría de estos pliegues se producen como consecuencia de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza.

Los pliegues se localizan frecuentemente en una serie de ondulaciones, aunque hay casos en los que aparecen aislados. Estos pueden encontrarse en variedad de tamaños desde estructuras microscópicas muy apretadas en las rocas metamórficas, hasta unidades rocosas ligeramente dobladas con centenares de metros de grosor.

Para comprender adecuadamente los pliegues y el plegamiento, se describe a continuación la terminología utilizada para nombrar las partes de éstos.

- **Flancos:** Se denomina de esta manera a los dos lados de un pliegue. Siendo el flanco derecho el que se encuentra a la derecha de un observador que tenga de frente el pliegue, y por otro lado flanco izquierdo, el que un observador ve a su izquierda.
- **Charnela:** Es la línea que se traza a lo largo de los puntos de máxima curvatura de cada estrato, también conocida como *Línea de Charnela*. En algunos pliegues, como el de la figura 2.9 la charnela es horizontal, o paralela a la superficie; pero, en pliegues más complejos, la charnela del pliegue está inclinada según un ángulo conocido como *inmersión*.
- **Plano axial:** Es una superficie imaginaria que divide un pliegue de la manera más simétrica posible.

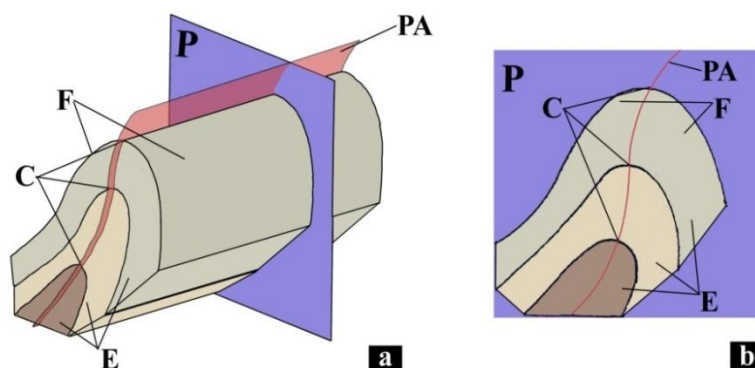


Figura 2.9. Pliegues y sus partes constituyentes.

- a) Esquema de un pliegue en 3D y sus partes constituyentes. En la que: PA es el plano axial, C las líneas de charnela, E son los diferentes estratos rocosos, F flancos del pliegue y P el plano de corte para obtener el perfil b).
- b) Representación de un perfil del pliegue.

Fuente: Elaboración propia basada en guión de clases de Geología Aplicada, "Geodinámica Interna", UES, 2006, página 2.

Cuando los flancos de un pliegue convergen hacia arriba se conocen como *Pliegues Antiformes*. Mientras que cuando estos flancos convergen hacia abajo se les conoce como *Pliegues Sinformes*. Siendo ésta la clasificación en base a su forma, en cuanto a su aspecto estratigráfico se emplean los términos *anticlinal* y *sinclinal* y se refieren a pliegues cuyos estratos más antiguos están en el núcleo del pliegue (parte más interna del pliegue) para el primer caso o si los estratos más jóvenes están en el núcleo para el segundo caso.

A continuación se muestra la clasificación de los pliegues según su forma y polaridad de las capas.

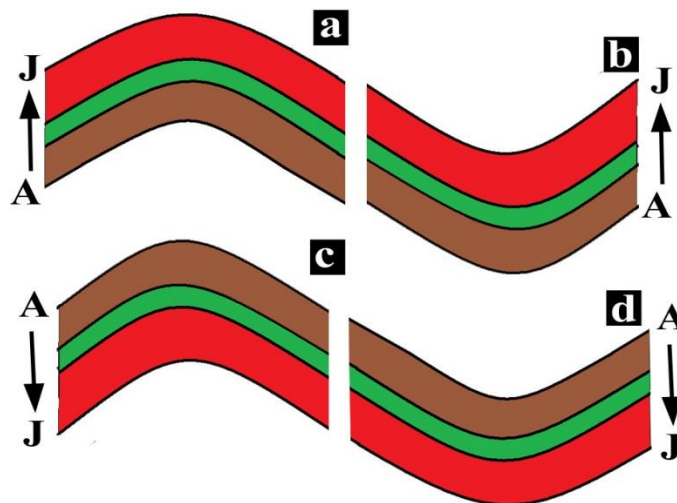


Figura 2.10. Nomenclatura de pliegues en base a su forma y polaridad de capas.

Se muestra la clasificación de los pliegues según su forma y polaridad de capas en a) Pliegue anticlinal, b) Pliegue sinclinal, c) Pliegue sinclinal antiforme y d) Pliegue anticlinal sinforme. En la figura las letras A y J representan la ubicación de las capas más antiguas y más jóvenes respectivamente.

Fuente: Elaboración propia en base a guion de clases de Geología Aplicada, "Geodinámica Interna", UES, 2006, página 2.

Entonces de la figura 2.10 podemos deducir que a) es un pliegue *anticlinal antiforme*, al que se le conoce simplemente como *anticlinal*, b) es un pliegue *sinclinal sinforme*, conocido solamente como *sinclinal*, c) es un pliegue *sinclinal antiforme* y d) es un pliegue *anticlinal sinforme*.

DIACLASAS.

Estas estructuras geológicas también conocidas como *juntas*, son muy comunes y a diferencia de las fallas, las diaclasas son fracturas a lo largo de las cuales no se ha producido ningún desplazamiento apreciable. Aunque algunas diaclasas tienen una orientación aleatoria, la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos.

Las juntas son originadas generalmente por una de las siguientes razones: algunas pueden estar asociadas a fallas próximas, otras al enfriamiento de las rocas ígneas ya que se desarrollan fracturas de retracción que producen columnas alargadas en forma de pilares (*diaclasas columnares*) o cuando se expande gradualmente la roca y se produce erosión eliminando la carga suprayacente, produciéndose un lajamiento que modela diaclasas suavemente curvadas en paralelo a la superficie del gran cuerpo ígneo.

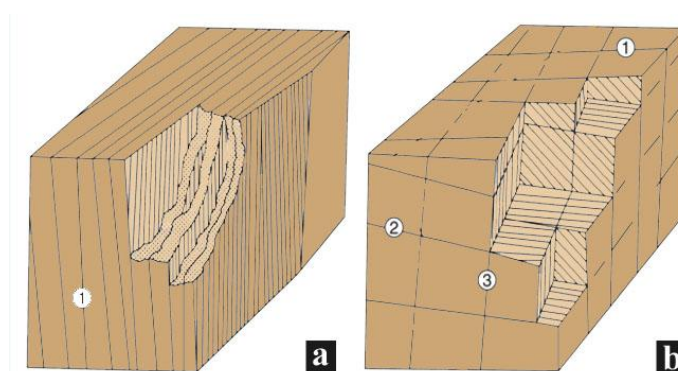


Figura 2.11. Distribución posible de sistemas de diaclasas.

a) Bloque rocoso con 1 juego de diaclasas alineadas y b) Bloque rocoso con 3 juegos de diaclasas alineadas.

Fuente: <http://explorock.wordpress.com/2012/01/10/discontinuidades-y-deformacion-de-las-rocas/>, junio 2012.

DISCORDANCIAS.

Una discordancia es una discontinuidad estratigráfica en la que no hay paralelismo entre los materiales infra y suprayacentes. El concepto de discordancia es fundamental para la estratigrafía y para la interpretación de la secuencia de eventos tectónicos o geológicos en general, que tuvieron lugar durante el proceso de deposición de las capas en los sedimentos discordantes. Los procesos que dan lugar a las discordancias son la sedimentación, fuerza tectónica y erosión.

En geología se distinguen cuatro tipos básicos de discordancias: la discordancia angular, discordancia paralela erosional o disconformidad, discordancia paralela no erosional o para conformidad y discordancia litológica o inconformidad, las cuales se describen a continuación y se muestran esquemáticamente en la figura 2.12.

- ***Discordancia angular:*** Discordancia en la que los estratos antiguos han sufrido buzamiento (inclinación), con un ángulo diferente al que poseen los estratos más jóvenes, lo que ha implicado algún movimiento tectónico. En la figura 2.12a1 se muestran los estratos A, B, C y D antes de soportar las fuerzas tectónicas, pero en 2.12a2, los estratos antes mencionados han sido plegados (comprimidos), y posteriormente se han depositado sobre ellos los estratos E, F, G y H, teniendo las últimas 3 capas un ángulo diferente al de las primeras, por lo que se considera como una discordancia angular.
- ***Discordancia paralela erosional o disconformidad:*** Es una discordancia con estratos paralelos por abajo y por encima de una superficie de erosión, la cual es visible. En la figura 2.12b1, se distinguen los estratos sedimentarios A, B, C y D antes de ser sometidos a procesos de erosión, mientras que en la figura 2.12b2, se muestran los estratos A, B en su estado original, el estrato C parcialmente erosionado (desapareciendo por completo el D) y un estrato E que ha sido depositado posteriormente a la erosión. Entre el estrato C y E, se encuentra una superficie discontinua que evidencia la erosión que ha sufrido el estrato C.
- ***Discordancia paralela no erosional o paraconformidad:*** Es una discordancia paralela sin superficie de erosión visible. En la figura 2.12c1 se muestran los estratos sedimentarios A, B, C y D antes de sufrir erosión, mientras que en la 2.12c2, se muestra como el estrato D desapareció completamente y sobre el estrato C se deposita el estrato E perfectamente paralelo al anterior, por lo que no se aprecia erosión, pero se conoce que debería haber un estrato intermedio entre ellos.
- ***Discordancia litológica o inconformidad:*** Es una discordancia entre rocas ígneas o metamórficas que están expuestas a la erosión y que después quedan

cubiertas por sedimentos. En la figura 2.12d1 se muestran varios estratos sedimentarios A, inmediatamente después de su litificación sin sufrir ningún otro tipo de cambio, mientras que en la figura 2.12d2, estos estratos (A), han sido intruídos por la formación ígnea B y sufrido proceso de metamorfismo, posteriormente quedó expuesto, fue erosionado y luego ha sido cubierto por nuevos estratos sedimentarios C.

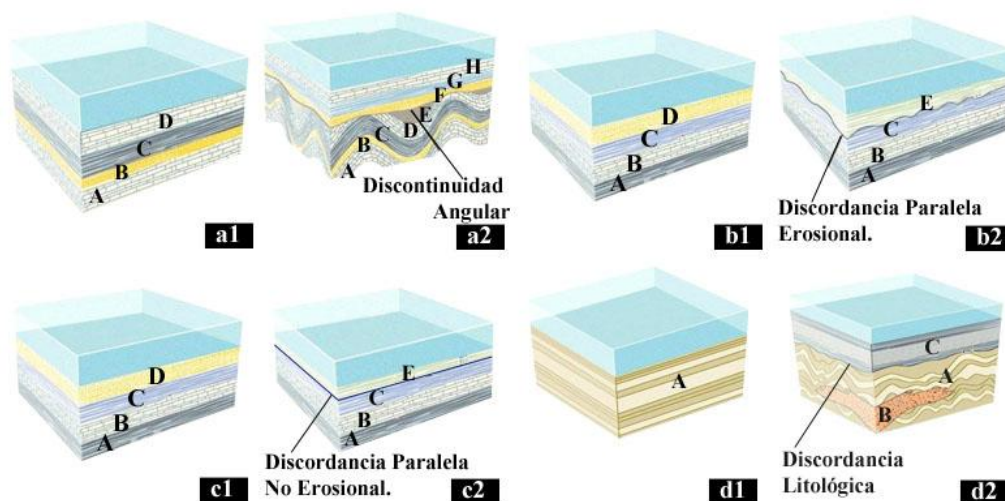


Figura 2.12. Tipos de discordancias.

En las figuras a1, b1, c1 y d1 se muestran estratos sedimentarios (antes de sufrir los procesos que dan como resultado las discordancias). Mientras que en a2 se muestra una discordancia angular sobre estratos plegados, en b2 discordancia paralela luego de erosión, en c2 discordancia paralela en la que no hay señales de erosión, y en d2 discordancia litológica entre estrato metamorfozido y erosionado.

Fuente: Basada en presentación Discordancias (Unconformities), por Cecilia I. Caballero Miranda.

2.2.4. METEORIZACIÓN Y FORMACIÓN DE SUELO.

La superficie terrestre como se mencionó anteriormente está cambiando continuamente, tanto por los procesos internos mencionados en la sección 2.2.3, como por los procesos que se dan en la superficie terrestre como lo son la erosión, procesos gravitacionales y meteorización.

J. Tarbuck define de la siguiente manera a cada uno de los procesos externos:

- a) **Erosión:** Eliminación física de material por agentes dinámicos como el agua, viento o hielo.
- b) **Procesos gravitacionales:** Transferencia de roca y suelo pendiente abajo por influencia de la gravedad.
- c) **Meteorización:** Es la respuesta de los materiales terrestres a un ambiente cambiante y esta puede ser fragmentación física (desintegración) y alteración química (descomposición) de las rocas en la superficie terrestre, o cerca de ella. Los factores que afectan la velocidad en que se da la meteorización son las *características de la roca, clima y la meteorización diferencial* (debido a que las rocas no se meteorizan de una forma uniforme).

Los tres procesos anteriores son muy importantes para que se desarrolle el ciclo de formación de las rocas porque conforme la meteorización separa las rocas, la erosión y los procesos gravitacionales retiran los derrubios. Este transporte del material mediante la erosión y procesos gravitacionales desintegran y descomponen aún más las rocas.

El proceso de meteorización es complejo y se puede dar por procesos físicos y químicos de la siguiente manera:

Meteorización mecánica o meteorización física.

Este tipo de meteorización por desintegración, se lleva a cabo por fuerzas físicas que rompen la roca en trozos cada vez más pequeños sin modificar la composición mineral de la roca y en la naturaleza hay cuatro procesos importantes que inducen la fragmentación de la roca:

- 1) **Fragmentación por helada:** Esta se da por ciclos repetidos de congelación y deshielo; ya que cuando el agua es congelada aumenta en 9% su volumen, provocando un aumento de presión en la roca, cuando se ha filtrado entre las fisuras de las rocas y se congela.
- 2) **Expansión provocada por la descompresión:** Cuando las grandes masas de roca ígnea que estaban enterradas quedan expuestas (por el proceso de erosión), éstas

sufren una gran pérdida de presión al ya no tener materiales sobre ellas, por lo que se expanden creando así un lajamiento, producto de la fractura de las rocas.

- 3) **Expansión térmica:** Se cree que el ciclo diario de temperatura puede meteorizar las rocas, en particular en los lugares con grandes variaciones de ésta. El calentamiento de una roca le produce dilatación (expansión), mientras que el enfriamiento produce una contracción, por lo que si minerales con diferentes índices de expansión son sometidos a dichos cambios, pueden éstos provocar cierta tensión sobre la capa externa de la roca.
- 4) **Actividad biológica:** La actividad de los organismos, entre ellos las plantas, animales excavadores y el ser humano, contribuye en la meteorización de las rocas. Por ejemplo, las raíces vegetales se introducen entre las fracturas en busca de nutrientes y éstas crecen y luego resquebrajan la roca. Por su parte los animales excavadores transportan rocas a lugares en donde son más vulnerables a la meteorización y el ser humano las utiliza como materia prima para desarrollar sus construcciones, descubriendo masas rocosas enterradas, que luego las extrae y las fractura, etc.

Meteorización química.

Este tipo de meteorización se da por medio de complejos procesos que descomponen las rocas y las estructuras internas de los minerales. Procesos que convierten los constituyentes en minerales nuevos o los liberan al ambiente circundante. Los principales procesos de meteorización química (en los que el agua juega un papel importante como disolvente) son los siguientes:

- 1) **Disolución:** Este es un proceso que se entiende con facilidad al recordar cómo se disuelve el azúcar en el agua y esto lo hacen ciertos minerales. Uno de los minerales más hidrosolubles es la halita (sal común), que está compuesta por iones de sodio y cloro, este compuesto aun estando en neutralidad eléctrica general, sus iones individuales conservan sus cargas respectivas y al entrar en contacto con el agua, se generan nuevos enlaces químicos.

- 2) **Oxidación:** Este proceso se da cuando el oxígeno se combina con el hierro para formar el óxido férrico, producto de la pérdida de electrones del hierro en favor del oxígeno. Este tipo de descomposición es importante en minerales ferromagnesianos como el olivino, piroxeno y la hornblenda; y es la razón de colores herrumbrosos (rojos, anaranjados y marrones) que aparecen en las superficies de las rocas ígneas oscuras, como el basalto.
- 3) **Hidrólisis:** Es la reacción de cualquier sustancia con el agua y esto se da ya que los iones de hidrógeno atacan y sustituyen a otros iones positivos encontrados en el retículo cristalino, destruyendo la disposición ordenada original de los átomos y descomponiendo el mineral. Ya que en la naturaleza, el agua contiene normalmente otras sustancias que contribuyen con iones de hidrógeno adicionales, se acelera en gran medida el proceso de hidrólisis.

SUELO.

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos. Es una combinación de materia mineral y orgánica, agua y aire; por lo que se considera que es la porción de regolito que sustenta el crecimiento de las plantas. Aunque las proporciones de los principales componentes que hay en el suelo varían, siempre están presentes los mismos cuatro componentes:

- a) Materia mineral (roca desintegrada y descompuesta).
- b) Humus (restos descompuestos de vida animal y vegetal, parte orgánica).
- c) Aire.
- d) agua.

En donde la materia mineral ocupa junto con el humus alrededor de la mitad del volumen del suelo, mientras que la otra mitad consiste en espacios entre las partículas sólidas por donde circula el aire y el agua.

El suelo es producto de la interacción compleja de varios factores que se describen a continuación:

- a) **Roca madre:** Es la fuente de material mineral meteorizado a partir del cual se desarrolla el suelo y es el factor fundamental que influye en la formación del mismo. La roca madre puede ser una roca subyacente o una capa de depósitos no consolidados (suelos transportados). La naturaleza de la roca madre influye en la rapidez de meteorización, es decir, lo rápido que se formará el suelo e influye en su fertilidad, que depende de la composición química de la roca madre.
- b) **Tiempo:** La naturaleza del suelo se ve muy influida por la duración de los procesos que han estado actuando; por ejemplo, si se ha producido meteorización durante un tiempo corto el carácter de la roca madre determina en gran medida las características del suelo, conforme aumenta el tiempo de meteorización, los otros factores formadores del suelo proporcionan las características a éste.
- c) **Clima:** La temperatura y las precipitaciones son elementos que ejercen el efecto más fuerte sobre la formación del suelo, de acuerdo a estas dos características se determina si predominará la meteorización química o la mecánica y también en gran medida en la velocidad y profundidad de la meteorización. En climas húmedos y cálidos predomina la meteorización química; en cambio en un clima frío y seco predomina la meteorización mecánica.
- d) **Plantas y animales:** Los tipos y la abundancia de organismos presentes en el suelo tienen una fuerte influencia en sus propiedades físicas y químicas. La principal fuente de materia orgánica es la vegetal, aunque contribuyen los animales y los microorganismos; al descomponerse la materia orgánica, se suministra nutrientes importantes a las plantas, animales y microorganismos, por tanto la fertilidad de los suelos está relacionada en parte con la cantidad de materia orgánica presente.
- e) **Topografía:** La disposición del terreno puede variar en distancias cortas, esas variaciones topográficas pueden inducir al desarrollo de una variedad localizada

de tipos de suelo, muchas de las diferencias existen porque la pendiente tiene un efecto significativo sobre la magnitud de la erosión y el contenido de agua del suelo. En pendientes inclinadas el suelo se desarrolla poco (también hay poca presencia de agua), mientras que en tierras bajas (suelos mal drenados), los suelos suelen ser gruesos y oscuros por la gran cantidad de materia orgánica que acumulan, ya que las condiciones saturadas retrasan la descomposición vegetal. El terreno óptimo para el desarrollo de un suelo es una superficie plana o ligeramente ondulada en tierras altas, ya que habrá buen drenaje, erosión mínima e infiltración suficiente del agua en el suelo.

2.2.5. GEOMORFOLOGÍA.

La *geomorfología* (del griego, geos “Tierra”, morféé “forma” y logos “estudio”), es la rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y su desarrollo.

El relieve de la superficie terrestre está en constante evolución en la dinámica del *ciclo geomórfico (ciclo geográfico o de erosión)* mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por fuerzas de gravedad (equilibrando los desniveles), haciendo que las zonas elevadas tiendan a caer en las zonas bajas (ver figura 2.13). Los desencadenantes de los procesos geomorfológicos se agrupan en los siguientes grupos:

- a) *Factores geográficos*: Estos factores son el relieve, suelo, clima (presión, temperatura y viento), y cauces (ríos y quebradas); factores que son considerados favorables a los procesos erosivos.
- b) *Factores bióticos*: Estos factores se oponen a los procesos de modelado y especialmente se considera la vegetación, aunque algunos animales colaboran con los procesos erosivos.

- c) **Factores geológicos:** Factores tales como la tectónica, el diastrofismo, la orogénesis y el vulcanismo, son procesos constructivos y de origen endógeno que se oponen al modelado e interrumpen el ciclo geomórfico.
- d) **Factores antrópicos:** La acción del hombre sobre el relieve es muy variable, dependiendo de la actividad que se realice, en este sentido y como comúnmente pasa con el hombre es muy difícil generalizar, pudiendo incidir a favor o en contra de los procesos erosivos.



Figura 2.13. Ciclo geomórfico (ciclo geográfico o de erosión).

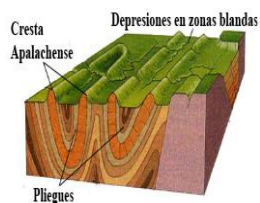
En (a) se muestra una formación joven que se ha elevado sobre el nivel del mar, con pocas o ninguna llanura de inundación, lagos y algunos flujos de agua. En (b) la formación en su madurez cuenta con un terreno bien drenado, con laderas, llanuras de inundación y ríos. En (c) la formación ya está en su etapa de vejez, posee grandes valles con arroyos serpenteantes, ya no hay mayores efectos de erosión, alcanza otra vez el nivel del mar para posteriormente elevarse sobre él y comenzar otra vez el ciclo. Este ciclo no suele completarse por ser interrumpido por los factores antes mencionados.

Fuente: Sitio web <http://www.infoescuela.com/geologia/ciclo-geografico/>, mayo 2012.

Luego de conocer los factores que intervienen en el ciclo geomórfico y que contribuyen a la modelación del relieve terrestre, se procede a presentar en la figura 2.14 diferentes tipos de paisajes que han sido modelados a partir de las características litológicas, estructurales y ambientales propias de algunos lugares.

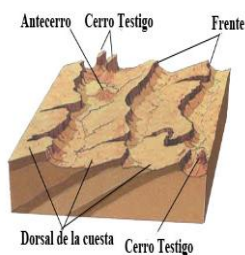
También en el caso de las regiones que poseen gran actividad tectónica, los volcanes son estructuras que forman parte importante del relieve, tal es el caso de El Salvador.

En la figura 2.15, se describen las estructuras volcánicas más comunes y son ejemplificadas con un volcán local.



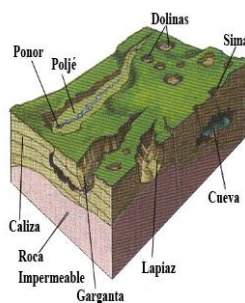
a) *Relieve apalachense.*

Se forma sobre un relieve montañoso herciciano que ha sido arrasado y nivelado por la erosión, el cual experimenta un rejuvenecimiento que la reactiva. La erosión diferencial deja al descubierto capas duras que forman crestas paralelas, largas y estrechas, de altitudes similares separadas por depresiones abiertas en las capas blandas.



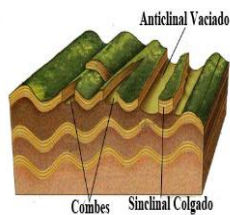
c) *Relieve en cuesta.*

Cuando los estratos están suavemente inclinados y alternan materiales duros y blandos, se forman cuestas. En ellas se distingue un dorso formado por el estrato duro inclinado y un frente que tiene una parte superior de gran pendiente formada por la capa dura, con parte inferior concava en la zona blanda.



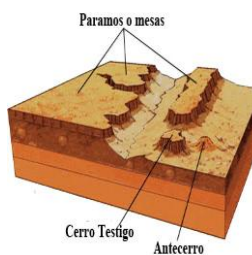
e) *Relieve cárstico.*

Se forma en lugares en que la roca caliza es dominante, esta es una roca dura pero permeable que se disuelve fácilmente con el agua lluvia originando un relieve complejo lleno de surcos abiertos (lapiaces), valles estrechos (gargantas), depresiones cerradas de fondo horizontal (poljés), cuevas y aberturas que unen la superficie con galerías subterráneas (simas).



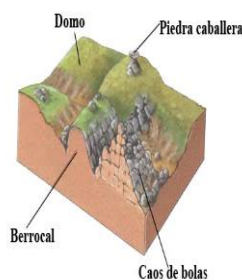
b) *Relieve jurásico.*

Se forma en cordilleras jóvenes, constituidas por una alternancia de pliegues anticlinales y sinclinales. En los pliegues anticlinales la erosión del agua crea valles perpendiculares y paralelos a la cumbre. El vaciamiento de los pliegues anticlinales deja levantados los antiguos pliegues sinclinales de modo que el relieve queda invertido.



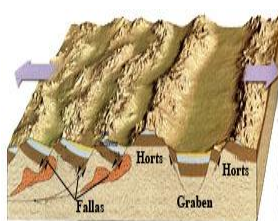
d) *Relieve horizontal.*

Cuando los estratos son horizontales y alternativamente, duros y blandos, la red fluvial separa plataformas (mesas o páramos), que tienen la cima horizontal coincidiendo con el estrato duro y flancos suaves coincidiendo con los estratos blandos, al ser estos erosionables reducen las mesas a cerros testigos y al perder el estrato duro se convierten en anteceros.



f) *Relieve granítico.*

Predomina la roca granito. El modelado está determinado por las características de esa roca cristalina, rígida, dura que suele fracturarse en bloques. Permiten el desarrollo de Domos (paisajes suavemente ondulado), quedan en la superficie formaciones de rocas amontonadas una sobre otras (berrocales), bolas caballeras y de forma aleatoria (caos granítico).



g) *Montañas limitadas por fallas.*

Este tipo de relieve se da por sistemas de fallas normales. Los movimientos de las fallas han producido bloques de falla elevados de forma alterna (horts), y bloques hundidos llamados graben (zanja). Los horts generan cordilleras elevadas, mientras que los grabens forman cuencas.

Figura 2.14. Algunos tipos de relieve.

Fuente: Sitio web <http://es.scribd.com/doc/61517876/Tema-1>, mayo 2012 y Edward J. Tarbuck, "Ciencias de la Tierra", 8va edición, página 298.



a) Estrato volcán.

Es un tipo de volcán cónico de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos alternantes y cenizas volcánicas. Se caracterizan por un perfil escarpado y eruciones periódicas y explosivas. Son comunes en zonas de subducción donde la corteza oceánica se desliza bajo la continental, formando cadenas a lo largo de los límites de las placas tectónicas.

Ejemplo: **Volcán Chaparrastique (Volcan de San Miguel).**

Situado en el Departamento de San Miguel, posee una altura 2130 m.s.n.m. Su última erupción conocida es de 1976.



b) Depresión volcano-tectónica.

Depresión limitada por escarpes de falla formados por hundimiento del terreno después de erupciones muy violentas, en las que se lanzan grandes volúmenes de material volcánico.

Ejemplo: **Caldera de Ilopango (Lago de Ilopango).**

Situado entre los Departamentos de San Salvador, Cuscatlán y La Paz; esta situado a una altura 438 m.s.n.m., con una extensión de 72 km² y una profundidad de 230 m. Su última erupción en 260 D.C. dio paso a su forma actual. Meyer-Abich (1956), lo caracterizaron como de origen de depresión volcano-tectónica.



c) Cráter de explosión.

Son formados cuando ocurre una erupción volcánica, la presión ejercida por los gases y la temperatura extrema del vapor de agua, buscan otra salida donde haya menos resistencia y ocurre una explosión en un área relativamente cercana al volcán, formando un cráter o maar por el cual son expulsados los gases y material piroclástico; poseen una forma circular u ovalada con un fondo plano poco profundo, paderones bajos y un diámetro por lo general menor de 1000 m.

Ejemplo: **Laguna de Chanmico.**

Esta se ubica en el Municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad. A una altura de 490 m.s.n.m., su extensión es de 0.78 km² y una profundidad máxima de 60 m.



d) Cráter por hundimiento

Estos se forman cuando la roca fundida o magma del interior de un volcán no puede soportar el peso de la roca o lava que hay por encima, lo que puede suceder después de que la mayor parte del magma haya sido expulsado durante una erupción. A estos cráteres también se les conoce como Calderas.

Ejemplo: **Lago de Coatepeque.**

Esta situado al sur de Santa Ana, tiene una elevación de 745 m.s.n.m., una extensión de 25.3 km² y una profundidad de 115 m.



e) Cono de escoria.

Un cono de escoria es un montículo cónico de fragmentos volcánicos que se acumulan alrededor y viento abajo de una chimenea volcánica. La altura de los conos de escoria puede variar entre diez a cientos de metros.

Ejemplo: **Boqueroncito.**

Este se formó dentro del Boqueron en el complejo volcánico de San Salvador durante la última erupción del volcán en 1917, está situado a una elevación de 1839 m.s.n.m., en los departamentos de San Salvador y La Libertad.

Figura 2.15. Estructuras volcánicas comunes en El Salvador.

Fuente: Sitios web <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/paginas/volcanesactivos.htm>, <http://my.opera.com/Andros/blog/show.dml/35332>, <http://www.elsalvador-online.com/ecologia/Suelo/Geolog%EDa/volcanes2.htm>, <http://elsalvadoreshermoso.com/2010/11/volcan-de-san-miguel-el-tercer-volcan-mas-alto-de-el-salvador.html>, <http://humedalesdeelsalvador.blogspot.com/>, http://es.wikipedia.org/wiki/Lago_de_Coatepeque.

2.2.6. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN GEOLÓGICA.

La exploración geológica es el procedimiento simplificado para la elaboración de modelos geológicos factibles para propósitos como búsqueda de yacimientos de materias primas, extracción minera, mapeo de zonas de interés, etc. Los métodos de exploración geológica pueden ser tanto indirectos como directos.

MÉTODOS INDIRECTOS.

Son aquellos métodos con los que se obtiene información del lugar de estudio sin entrar directamente en contacto con las formaciones rocosas del lugar; estos métodos pueden ser *interpretación de imágenes y métodos geofísicos*.

- a) **Interpretación de imágenes:** Las imágenes pueden ser fotografías aéreas o imágenes satelitales. La interpretación de dichas imágenes es una forma de reconocer áreas grandes de extensión en un tiempo corto, aunque se debe complementar con una verificación de campo. Las características principales que pueden ser reconocidas por este método son de carácter *litológico, estructural, estratigráfico, geohidrológico y geomorfológico*.
- b) **Métodos geofísicos:** Proporcionan información de la litología y de las estructuras geológicas del subsuelo, lo cual es de primordial importancia para cualquier tipo de proyecto. Entre los métodos geofísicos más comunes tenemos:
 - **Método eléctrico:** Consiste en la aplicación de corriente eléctrica al suelo por medio de electrodos, lo que permite evaluar la resistividad media del subsuelo mediante la medición de la diferencia de potencial.
 - **Método electromagnético:** Consiste en medir las variaciones de conductividad eléctrica aparente de la tierra en función de la profundidad.
 - **Método geotérmico:** Consisten en la medición de las variaciones de temperatura en el subsuelo.

- **Método gravimétrico:** Consiste en la medición de la aceleración de la gravedad en distintos puntos, registrando variaciones anómalas de dicha aceleración, que sugieren cambios bruscos en la densidad de un terreno.
- **Método magnético:** Consiste en evaluar las variaciones de la distribución de fuerzas magnéticas en la corteza terrestre y las anomalías causadas a consecuencia del magnetismo propio de los elementos pétreos del subsuelo.
- **Método radiométrico:** Consiste en la medición de la radioactividad de los materiales, utilizando equipos que detectan la presencia de radiación.
- **Método sísmico:** Consiste en la provocación de perturbaciones dinámicas en la superficie del terreno que crean ondas y son registradas por geófonos.

Estos métodos son descritos en el capítulo IV.

MÉTODOS DIRECTOS.

Son métodos que permiten conocer las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de estudio, mediante la observación de características in situ de suelo y rocas, obteniendo muestras de las mismas para su posterior análisis. Entre estos métodos tenemos:

- a) **Levantamiento geológico:** Estos pueden ser tanto superficiales como subterráneos, los primeros inspeccionan el campo para identificar, clasificar y cartografiar las principales unidades geológicas existentes en el área de estudio; mientras que los segundos son estudios del techo y paredes de un socavón, galería o túnel; cuyo objetivo es proporcionar datos relacionados a las unidades geológicas que se están atravesando.
- b) **Pozos a cielo abierto y trincheras:** Son excavaciones realizadas de tipo manual que se efectúan desde la superficie del terreno en sentido vertical, realizadas con profundidad variable (excepcionalmente mayor de 10 m), las secciones son cuadradas de entre 1.5 y 2 m por lado. Por medio de estas excavaciones es posible conocer directamente la columna geológica, las características de cada uno de los materiales atravesados y la profundidad a la que se encuentra la roca sana.

- c) **Perforaciones:** Proporcionan información acerca de la composición, espesor y extensión de cada una de las formaciones del área, la profundidad a la que se encuentra roca sana, la profundidad del agua subterránea, permiten realizar pruebas de permeabilidad y la obtención de registros geofísicos de pozo. La perforación puede ser por percusión (hincado de un penetrómetro en el terreno por medio de impactos), presión (el penetrómetro se hinca ejerciendo presión sobre el terreno) y rotación (un motor hace girar una tubería de perforación con una corona en su extremo inferior que corta y muele el terreno).

2.2.7. MAPAS GEOLÓGICOS.

Un mapa geológico es la representación en dos dimensiones de la intersección de los diferentes elementos geológicos con la superficie terrestre. Por lo tanto, un mapa geológico debe presentar información topográfica y geológica.

INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.

Esta es la base de todo mapa geológico y comprende datos de altimetría representados por medio de las curvas de nivel y puntos de elevación máxima, datos planimétricos como coordenadas (se utilizan las proyecciones cartográficas de acuerdo a cada región) y escala, así como toda la información toponímica que sea necesaria para la correcta interpretación de estructuras geológicas.

INFORMACIÓN GEOLÓGICA.

La información geológica que se simboliza corresponde a volúmenes (estratos o capas) y planos (contactos entre materiales y fallas), los cuales se representan en el mapa por medio de superficies y de líneas respectivamente. Esta información debe permitir interpretar las estructuras geológicas tanto en el espacio (cortes geológicos) y en el tiempo (reconstrucción de historia geológica), por lo que la información que debe presentar un mapa geológico se estructura en tres tipos de elementos: Litología, edad y estructura; las que se describen a continuación:

Litología.

Las capas o estratos en un mapa geológico aparecen representados como superficies. Para representar las diferentes litologías se suelen rellenar esas superficies con tramas. Aunque existe una serie de litologías que siempre se representan con la misma trama, estas tramas pueden variar de un mapa a otro, por lo que siempre suelen aparecer en la leyenda. En la figura 2.16 se presentan algunas tramas litológicas utilizadas en el Mapa Geológico de El Salvador.

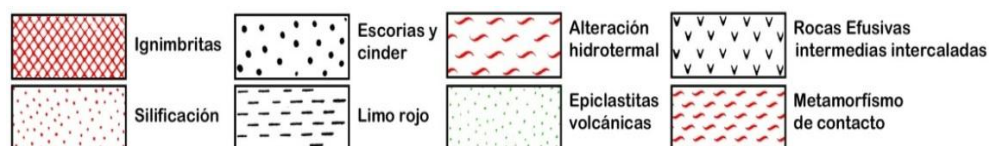


Figura 2.16. Algunas tramas litológicas utilizadas en el Mapa Geológico de El Salvador.

Fuente: Elaboración propia en base a Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100000.

Edad.

Las edades de los materiales suelen representarse mediante diferentes tonos de colores. Existe un cierto acuerdo para usar una serie de colores específicos que hacen referencia a los diferentes períodos geológicos (en mapas a color). En este trabajo se utilizarán los colores propuestos en el Mapa Geológico de El Salvador, los cuales se presentan en la figura 2.17.

ts'm	va	m2'a	ch2	b3	c3	s3'a	s5'a	Q'f
ts	m1'a	m2'b	b1	c1	s1	s3'b	s5'b	
yo	m1'b	ch1	b2	c2	s2	s4	s5'c	

Figura 2.17. Colores litológicos utilizados en el Mapa Geológico de El Salvador.

En la figura *ts'm* y *ts* son del periodo Jurásico y Cretáceo inferior; *yo* y *va* del periodo Cretáceo y las épocas del Paleoceno al Oligoceno; *m1'a*, *m1'b*, *m2'a* y *m2'b* de las épocas del Oligoceno y Mioceno; *ch1* y *ch2* del Mioceno; *b1*, *b2* y *b3* de las épocas del Mioceno y Plioceno; *c1*, *c2* y *c3* pertenecen a las épocas del Plioceno y Pleistoceno; *s1*, *s2*, *s3'a*, *s3'b*, *s4*, *s5'a*, *s5'b*, y *s5'c* son de las épocas del Pleistoceno y Holoceno; *Q'f* representa a los depósitos sedimentarios del periodo Cuaternario.

Fuente: Elaboración propia en base a Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100000.

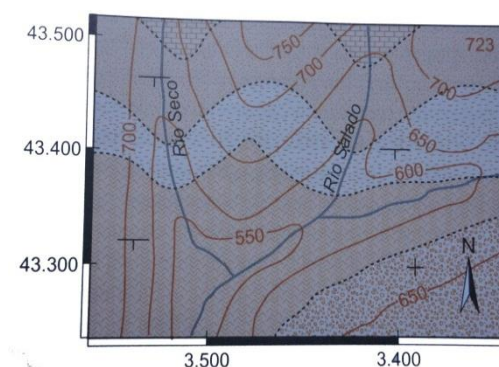


Figura 2. 19. Ejemplo de mapa geológico.

Fuente: Manuel Pozo R. et Al. Geología Práctica. 2004. Página 211.

Además de toda la información antes descrita, los mapas geológicos deben poseer los siguientes datos:

- **Título:** Se coloca en la parte superior del mapa, con un tamaño de letra notablemente mayor, generalmente se le agrega entre paréntesis la escala del mapa.
- **Escala (tanto gráfica como numérica):** Ambas son útiles, la primera en el caso de fotocopiado de mapas y la segunda para identificar rápidamente la escala.
- **Leyenda geológica:** Debe contener toda la simbología utilizada en el mapa, en base a tramas convencionales.
- **Leyenda topográfica:** En esta se incluyen todos los símbolos utilizados en el mapa que no pertenecen a estructuras geológicas, con el fin de que cualquier persona pueda interpretarlo apropiadamente.
- **Esquema de ubicación:** Esquema que ubique la zona interés, dentro de una región de mayor extensión (por ejemplo ubicación dentro de un país).
- **Autores y fecha de publicación:** Personas responsables del levantamiento y confección del mapa, así como la fecha de su publicación.
- **Flecha de Norte:** Ubica la dirección del norte geográfico, como referencia.
- **Uno o más perfiles geológicos:** Se acostumbra colocar al menos dos perfiles geológicos en direcciones perpendiculares.

2.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE EL SALVADOR.

2.3.1. ROCAS DE EL SALVADOR.

Desde el punto de vista geológico, El Salvador es un país joven, ya que está conformado aproximadamente en una cuarta parte por rocas de edad pleistocénica y otras tres cuartas partes por rocas del periodo terciario, predominando la época pliocénica; todas estas rocas con pocas excepciones son de origen volcánico, en algunos lugares se encuentran rocas de origen intrusivo que pertenecen a la época miocénica; también está cubierto en aproximadamente un 5% por capas de edad cretácica, las cuales son rocas de origen sedimentario marino; en raros casos se conoce de rocas metamórficas, las que se presentan en lugares de contacto térmico entre cuerpos intrusivos y rocas sedimentarias que han producido un metamorfismo y silificación intensos; tal es el caso en Metapán donde se conoce la existencia de mármol originado por metamorfización de caliza, hornfels derivados de cualquier roca de grano fino, mientras que en Chalatenango, conglomerados de cuarzo y calcita recristalizados, en áreas muy limitadas.

Las formaciones rocosas del país, fueron estudiadas por la Misión Geológica Alemana entre los años de 1967 y 1977, dando como resultado el Mapa Geológico de El Salvador; el cual se encuentra en dos presentaciones, una a escala 1:500,000 (1 hoja) y otra con escala de 1:100,000 (6 hojas tituladas como: Hoja Santa Ana la cual contiene una explicación temática, Hoja Sonsonate que contiene la leyenda del mapa, Hoja Chalatenango, Hoja San Salvador, Hoja Carolina y Hoja San Miguel).

Este mapa geológico describe 26 unidades litológicas agrupadas en nueve formaciones; éstas últimas representadas desde la de mayor a menor edad son las siguientes: Formación Todos Santos, Formación Yojoa, Formación Valle de Ángeles, Formación Morazán, Formación Intrusivas, Formación Chalatenango, Formación Bálsamo, Formación Cuscatlán y Formación San Salvador; las cuales se describen en forma resumida en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Formaciones geológicas de El Salvador.

Formación. Origen. (Edad).	Descripción.
Formación Todos Santos. Sedimentario. (Período Jurásico y Cretáceo inferior).	Esta formación consiste en una secuencia de conglomerados, areniscas rojas, limolitas, lutitas, con proporciones variables de detritos volcánicos, básicas a intermedias, e intercalaciones menores de pizarra; color de la roca de rojo a café localmente gris y verde; se localizan en el extremo noroeste del país, al norte, este y oeste de Metapán en el Departamento de Santa Ana, al sur de Citalá a orillas del río Lempa y en el río Sumpul jurisdicción de San Fernando, Chalatenango.
Formación Yojoa. Sedimentario. (Período Cretáceo)	Secuencia de rocas clásticas y carbonáticas que sobreyacen concordantemente a la Formación Todos Santos; el cambio entre ambas unidades es gradual, con la disminución de material clástico por carbonáceo; ésta se localiza en el área de Metapán.
Formación Valle de Ángeles. Sedimentario. (Épocas del Cretáceo superior al Oligoceno).	Secuencia de depósitos terrestres y rocas volcánicas entre la Formación Yojoa y las rocas volcánicas del Terciario, son capas rojas (conglomerados de cuarzo y caliza, areniscas, siltitas y lutitas), localmente vulcanitas intermedias intercaladas; se localiza en Metapán.
Formación Morazán. Extrusivo. (Épocas Oligoceno y Mioceno).	Secuencia de piroclastitas ácidas hasta intermedias en la base, localmente efusivas intermedias hasta intermedias ácidas, bajo secuencia de rocas efusivas e ignimbritas, localmente piroclásticas, epiclastitas volcánicas con evidencias de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal; éstas están en contacto inferior con la Formación Valle de Ángeles y se encuentran al noroeste del país y algunas exposiciones en Chalatenango.
Formación Intrusiva. Intrusivo. (Época Mioceno).	Rocas intrusivas ácidas hasta intermedias, en el sector occidental del país (Metapán), donde se reportan dioritas; existen afloramientos de granito en San Rafael (Chalatenango), granodiorita al norte de Tejutla (Chalatenango) y en Metapán; monzonitas en Metapán y al oeste de Concepción de Oriente expuestas como grupo intrusivo rodeado de tobas ácidas.
Formación Chalatenango. Extrusivo. (Época Mioceno).	Rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, en el noreste del país. El miembro superior a lo anterior está constituido por rocas efusivas ácidas de tipo riolítico y piroclastitas subordinadas, afloran principalmente en el sector norte, al este y oeste del país.

Continuación de tabla 2.2. Formaciones geológicas de El Salvador.

Formación. Origen. (Edad).	Descripción.
Formación Bálsamo. Extrusivo. (Épocas Mioceno y Plioceno).	Formación más joven que las ignimbritas ácidas de la Formación Chalatenango, pero anteriores a la Formación Cuscatlán; una sección está constituida por epiclastitas volcánicas, piroclastitas e ignimbritas localmente efusivas básicas e intermedias intercaladas, facies claro y limo rojo; alteraciones hidrotermales; otra sección por rocas volcánicas de tipo efusivas básicas intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas localmente con alteraciones hidrotermales y limos rojos; como parte superior del miembro de la Formación Bálsamo, rocas efusivas básicas-intermedias, localmente con alteraciones hidrotermales, silicificación y limos. Encontradas en Cordillera del Bálsamo, Ilobasco y Ahuachapán.
Formación Cuscatlán. Extrusivo. (Épocas Plioceno y Pleistoceno).	Secuencia vulcano-sedimentaria, constituida por tobas ácidas en la base, seguida de lavas ácidas intermedias y andesitas-basaltos, en la parte superior; se encuentran ubicadas en su mayor parte a lo largo de una depresión de rumbo noroeste cuencas Metapán, Lempa, río Titihuapa y Olomega, las unidades volcánicas sobreyacen en el oriente y centro del país.
Formación San Salvador. Extrusivo. (Épocas Pleistoceno y Holoceno).	Esta formación sobreyace principalmente a la Cuscatlán, consiste en piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas básicas intermedias, rocas volcánicas básicas-intermedias, piroclastitas subordinadas, efusivas ácidas, tobas de lapilli, cinder, cenizas y sedimentos del cuaternario. Se encuentran ubicadas en las regiones volcánicas laterales del país y la faja volcánica joven.

Fuente: Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100000 y Pastora Chévez Eric, Comprobación cartográfica geológica de Suchitoto, Departamento de Cuscatlán, Trabajo de Graduación, UES, 2003.

2.3.2. TECTÓNICA DE EL SALVADOR.

La estructura tectónica prominente en la región Centroamericana, la constituye el Graben Central Centroamericano que se desarrolla en la placa continental del Caribe; formado por esfuerzos regionales de compresión en conjunto con esfuerzos distensivos en las partes superiores de la litosfera, que indujeron su formación durante las épocas del Plioceno y Pleistoceno.

Además los procesos geodinámicos producidos por el fenómeno de subducción de la placa de Cocos en dirección NE bajo la placa del Caribe, se reflejan en la tectónica y la geología estructural del istmo Centroamericano. La evidencia está en la concentración

de volcanes activos en la región, generando una de las zonas de mayor densidad volcánica en el mundo.

En El Salvador desde el punto de vista estructural no se ha encontrado indicios de plegamiento; pero sí se identifican tres sistemas principales de fracturación (ver figura 2.20), los cuales son:

- *Sistema tectónico principal WNW-ESE*: Este es el sistema más importante en El Salvador y su rumbo aproximado es de N 70° W. Fallas de este sistema definen los límites norte y sur del Graben Central, es donde se ha desarrollado el frente volcánico activo y donde han ocurrido los terremotos más destructivos. Dentro del país se reconocen cinco ejes principales dentro de este sistema:
 - *Primer eje*: Forma el límite sur de las montañas norteñas y está representado por dislocaciones verticales de alrededor de 1000 m.
 - *Segundo eje*: Se caracteriza por un volcanismo individual apagado en la parte norte del país.
 - *Tercer eje*: Está situado más al sur; es el más prominente, con dislocaciones tectónicas, la más importante de ellas atraviesa el país, la fosa central y con un vulcanismo individual joven, en parte todavía activo. También se encuentran depresiones vulcano-tectónicas y cúpulas de lava. Los eventos sísmicos que aún ocurren en esta zona, indican que los movimientos tectónicos continúan.
 - *Cuarto eje*: Se localiza en el Océano Pacífico a una distancia de 25 km de la costa salvadoreña y se caracteriza por una actividad sísmica frecuente.
 - *Quinto eje*: Se encuentra más al Sur, formando una fosa marina que corre paralela a la costa salvadoreña y muestra cierta actividad sísmica. Existen elevaciones de forma cónica que se levantan desde más de 3000 m de profundidad hasta el nivel del mar, considerándose éstos como volcanes.
- *Sistema tectónico transversal NNE-SSW*: Este sistema es caracterizado por las numerosas fallas normales y depresiones vulcano tectónicas. Algunas trazas de estas fallas son claras en la parte noroeste de El Salvador y la frontera de

Guatemala. Los volcanes de Ilamatepec (Santa Ana), Chaparrastique (San Miguel) y el Complejo volcánico de San Salvador, son atravesados por esas fallas a lo largo de las cuales se ha desarrollado actividad magmática reciente.

- Sistema Neotectónico NNW-SSE: Este sistema de fallas predomina al oeste de El Salvador muy cerca de la frontera con Guatemala, donde las estructuras son normales.

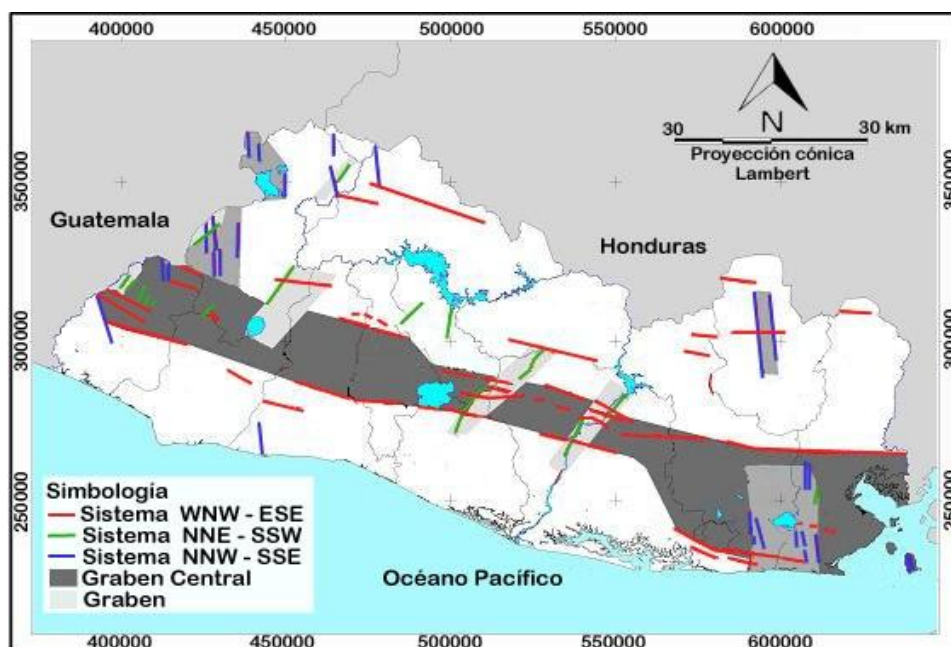


Figura 2.20. Sistemas de fallas asociadas a la formación y evolución del Graben Central en El Salvador.

Fuente: SNET, Marco geológico regional, 2004.

2.3.3. GEOMORFOLOGÍA DE EL SALVADOR.

El relieve Salvadoreño está compuesto en un 13% por la planicie costera, 49% de áreas montañosas y 38% de zonas de relieves bajos, pequeñas lomas y valles; en las cuales la topografía es desde muy suave en las zonas costeras con pendientes inferiores al 15%, hasta muy fuerte con pendientes superiores al 70% en volcanes y montañas del norte del país. La altura del relieve máxima en El Salvador es de 2730 m.s.n.m. y se localiza en el Cerro El Pital, municipio de San Ignacio, departamento de Chalatenango.

Desde el punto de vista geomorfológico, El Salvador puede dividirse en las siguientes unidades:

- *Graben Central:* Esta planicie posee una elevación media de 620 m.s.n.m. cortada por valles de ríos que descansan entre dos cadenas montañosas volcánicas que corren de este a oeste; siendo estas al norte la Cordillera Fronteriza y al sur la cadena volcánica reciente y la cadena costera. Esta depresión forma parte del Graben Centroamericano y en su paso por El Salvador posee un ancho irregular que varía entre los 15 y 30 km, con un área aproximada de 7985 km² abarcando los departamentos de Ahuachapán, Santa Ana, Chalatenango, La Libertad, San Salvador, Cuscatlán, Cabañas, San Vicente, Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión.
- *Planicie Costera o Llanura Costera:* Esta ubicada al sur del país, entre la Cadena Costera y el Océano Pacífico, la cual es una estrecha franja de entre 8 y 20 km, con un declive medio del 1%; que se extiende desde la frontera con Guatemala hasta el golfo de Fonseca. Es una zona muy fértil debido a las cenizas volcánicas que sobre ella se han depositado.
- *Montaña interior:* Es la cadena volcánica que se encuentra al sur de las montañas norteñas, con una faja de volcanes individuales que atraviesan el territorio y a estos pertenecen, el Volcán de Guazapa en San Salvador y Cuscatlán, Volcán Sihuatepeque en San Vicente y el Volcán Cacahuatique Morazán; estos volcanes son del periodo Terciario, no presentan signos de actividad sísmica o fumarólica, considerándolos como extintos o apagados y además se encuentran deformados por efectos de la erosión, pero en general la estructura volcánica predominante son los estrato-volcanes.
- *Cadena Costera:* Esta cadena es el conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico paralelas al litoral, separadas por planicies aluviales y drenadas por importantes cursos fluviales de carácter perenne y temporal. Está compuesta por las sierras de Tacuba, Bálsamo y Jucuarán. Abarca una extensión de aproximadamente 2750 km.

- *Cadena volcánica reciente:* Esta cadena se encuentra al sur del país paralela a la costa pacífica, la cual forma parte del Cinturón de Fuego Circumpacífico; dentro del país tiene una longitud aproximada de 170 km y cubre un área aproximada de 3600 km². A esta faja pertenecen 50 volcanes, de entre los cuales se encuentran Laguna Verde, Ilamatepec, Izalco, Complejo volcánico de San salvador, Chichontepec, Tecapa, Chaparrastique y Conchagua, estos volcanes se consideran jóvenes ya que son del período Cuaternario y de éstos algunos se encuentran aún activos y bien conservados. La cadena volcánica presenta las siguientes estructuras: Estrato volcanes (predominante), depresiones vulcano-tectónicas, cráteres de explosión, cráteres por hundimiento y conos de escorias.
- *Montaña Septentrional o Montaña Fronteriza:* Se extiende a todo lo largo del borde norte de El Salvador en su frontera con Honduras y Guatemala con una extensión de aproximadamente 4400 km². Esta cordillera presenta un rango de elevaciones desde los 300 hasta los 2730 m.s.n.m. y constituye una prolongación de la Cordillera Centroamericana que se extiende hacia el sur de Honduras. Las formas de la tierra están en una fase incipiente de erosión y presentan cimas angulosas, con pendientes bien pronunciadas y profundamente disectadas, valles angostos y cañones profundos. Comprende la parte norte de los departamentos de Santa Ana, Chalatenango, Cabañas, San Miguel, Morazán y La Unión.

2.4. METODOLOGÍA DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA.

En el país se cuenta con un mapa geológico con escala de 1:100000, no siendo idónea esta escala para investigaciones de detalle, por lo cual, se vuelve necesario realizar reconocimientos de campo, para verificar la información expuesta en el Mapa Geológico de El Salvador. En este trabajo para complementar la información geológica del área de estudio, se siguieron los siguientes pasos:

Planteamiento de Objetivos.

Se plantearon los siguientes objetivos:

- Verificar en campo las formaciones rocosas visibles dentro de la zona de estudio con respecto a las que presenta el Mapa Geológico de El Salvador.
- Elaborar un Mapa Geológico de la zona de estudio a escala de 1:10000.

Recopilación de documentación de Referencia.

Se tomó como referencia el Mapa Geológico elaborado en el “Plan de desarrollo territorial para la región de Chalatenango” que posee escala de 1:65000, el Mapa Geológico de El Salvador en escala 1:100000 (Hojas Chalatenango y Sonsonate, esta última posee la leyenda del mapa), cuadrantes topográficos en escala 1:25000 (Chalatenango, San Bartolo y San Luis Del Carmen) e imágenes satelitales extraídas de Google earth versión 6.2.2.613 (compilación 11/4/2012)

Planificación de actividades de campo.

- Se elaboraron formatos de captura de datos de campo (Anexo A.1), así como viñetas para etiquetar las muestras de rocas extraídas (Anexo A.2).
- Se coordinó la primera visita (visita de reconocimiento) con promotora de salud de la zona y se planificaron las rutas a recorrer.

Recolección de datos en campo.

Este trabajo consistió en un recorrido por las principales carreteras y caminos que se encuentran dentro de la zona de estudio; identificando puntos estratégicos de interés geológico (como afloramientos, cauces de ríos/quebradas y taludes) los cuales se

muestran en el Anexo C, Mapa C.1. La actividad tuvo una duración de tres días no consecutivos (24/03, 04/04 y 12/05 de 2012), recolectando la siguiente información:

- Datos de ubicación y descripción del punto estudiado, de acuerdo al Anexo 1.
- Fotografías.
- Clasificación de rocas existentes en el lugar según su textura y su composición química probable de acuerdo a su color. (Anexo A.3).

Elaboración de mapa de la zona de estudio.

Para realizar el mapa geológico de la zona de estudio se utilizó el programa informático ArcMap 10, en el cuál se digitalizaron en primer lugar los cuadrantes topográficos y Mapa Geológico; posteriormente se geo-referenciaron las imágenes satelitales (a partir de puntos de referencia). Sobre estas capas se plotearon los puntos de interés geológico visitados (ajustando sus coordenadas y elevaciones con respecto a la cartografía nacional). Partiendo de esta información se procedió a comparar la información existente en el Mapa Geológico de El Salvador, con la encontrada dentro de la zona de estudio. Se trazaron formaciones geológicas observadas en campo y fallas que se pueden inferir por las condiciones morfológicas del terreno y por las características de los afloramientos vistos.

Reporte Geológico.

Se elaboró una descripción detallada de la geología de la zona de estudio y se describe en la sección 2.5, describiendo las unidades geológicas, tectónica y geomorfología observada.

2.5. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.

2.5.1. ROCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Los estratos de rocas que se encuentran dentro de la zona de estudio pertenecen a los períodos Terciario y Cuaternario. Las formaciones encontradas corresponden a la Formación Morazán (Épocas Eoceno y Oligoceno), Formación Chalatenango (Época Mioceno), Formación Bálsamo (Épocas Mioceno y Plioceno) y Formación Cuscatlán (Épocas Plioceno y Pleistoceno).

Las unidades geológicas localizadas dentro de la zona de estudio comenzando por la más antigua son las siguientes:

- ***m2'a (Formación Morazán):*** Andosoles correspondiente a efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclastitas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal). Esta se encuentra en la parte sur de la zona de estudio, en los lugares correspondientes a los Caseríos Gualcho, Cuesta de Marina y San José. Evidencia de esta unidad se encontró en un afloramiento ubicado en Caserío San José, el cual está conformado por Tobas Riolíticas; también se observó este mismo tipo de roca en talud ubicado entre los Caseríos los Hernández y El Matazano del Municipio San Miguel de Mercedes. (Ver Anexo C, punto de verificación geológica # 3 y 17; y muestra número 1); Se constató la existencia de alteración hidrotermal en rocas encontradas sobre la carretera que conduce a Azacualpa (Ver Anexo C, punto de verificación geológica # 5 y muestras números 2, 3, 4 y 5). Los suelos que se encuentra dentro de esta zona son de color claro que evidencia la acidez de sus rocas madres (Ver Anexo C, punto de verificación geológica #4).

- **ch1 (Formación Chalatenango):** Unidad correspondiente a piroclastitas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas localmente efusivas ácidas intercaladas. Esta se encuentra en la parte noroeste de la zona de estudio limítrofe con el Embalse Cerrón Grande y río Tamulasco. Estos productos piroclásticos se observan en el talud del cauce del río Tamulasco, en el que son fácilmente identificables pómez incrustada en la matriz de ceniza (Ver Anexo C, punto de verificación geológica # 9).
- **b1 (Formación Bálsamo):** Unidad correspondiente a epiclastitas volcánicas y piroclastitas; localmente efusivas básicas - intermedias intercaladas. Se encuentra en dos pequeñas porciones de terreno ubicadas en la zona del caserío Cuesta de Marina, según el Mapa Geológico de El Salvador.
- **b2 (Formación Bálsamo):** Unidad a la que corresponden efusivas básicas-intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos). Esta se encuentra en la parte sur de la zona de estudio en el lugar del Caserío Cuesta de Marina y además se evidencia en los cerros y lomas ubicados en toda la parte norte de la zona de estudio. Los cerros y lomas de basalto encontradas denotan un alto grado de meteorización y fractura, los suelos formados en estas zonas son arcillas rojas (Ver Anexo C, punto de verificación geológica # 14 y 15; y muestra número 14).
- **b3 (Formación Bálsamo):** Unidad correspondiente a efusivas básicas-intermedias. Esta es encontrada en la parte central y este de la zona de estudio, en los lugares conocidos como Caserío Agua Caliente, Caserío Los Amates y en el Municipio San Miguel de Mercedes (Cerro El Zope). Evidencia de esta formación se encuentra en afloramientos y estratigrafías descubiertas en pozos excavados (Ver Anexo C, punto de verificación geológica # 2, 7 y 18).
- **c1 (Formación Cuscatlán):** Unidad a la que corresponden piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas. Estas se encuentran en toda la parte norte de la zona de estudio a lo largo del río Tamulasco, según el Mapa Geológico de El Salvador corresponden principalmente a depósitos fluviales y lacustres. El espesor de ésta

capa es de al menos 6 metros según perfil litológico de pozo perforado por ANDA, en el Caserío La Concepción. (Anexo B1).

- **Depósitos Fluviales (Qf):** Depósitos fluviales recientes (período Cuaternario), cantos rodados de tamaños variables (de hasta 50 cm), encontrados en los cauces de los ríos y quebradas que atraviesan la zona de estudio.

En general todas las unidades observadas presentan algún grado de meteorización y en muchos casos alteraciones hidrotermales.

En la siguiente figura (2.21) se presenta la distribución de las diferentes unidades geológicas presentes dentro de la zona de estudio.

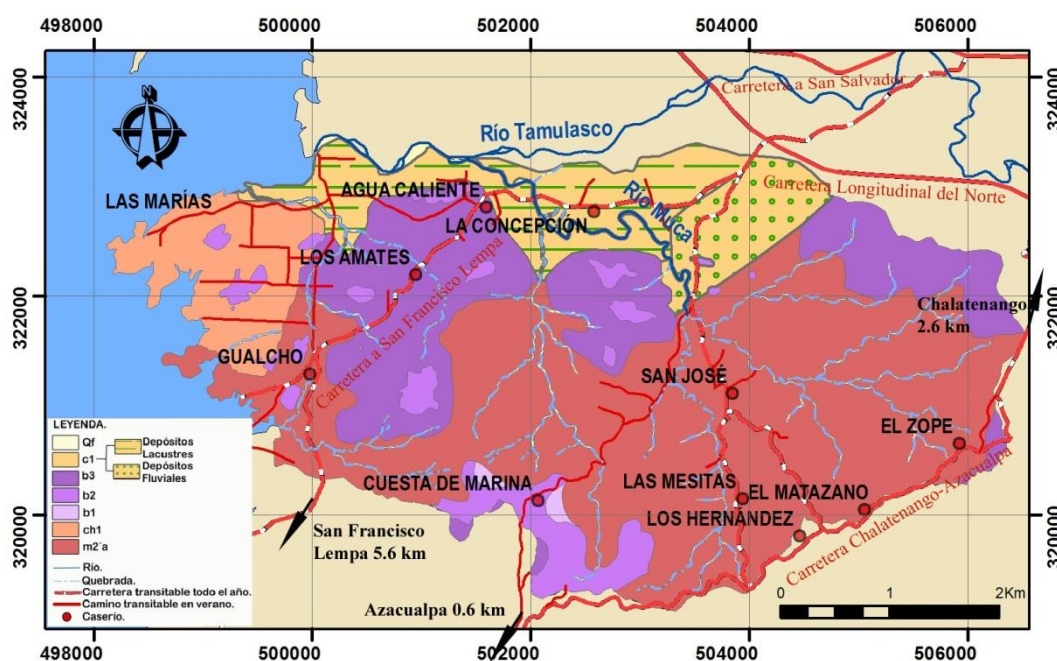


Figura 2.21. Distribución de unidades geológicas dentro de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía nacional, Mapa Geológico de El Salvador y observaciones de campo.

2.5.2. TECTÓNICA.

Según el Mapa Geológico de El Salvador dentro de la zona de estudio se encuentra una falla, con rumbo NE-SW, que se asocia al sistema tectónico transversal NNE-SSW y

ésta delimita las zonas de mayor elevación y el valle (a la derecha e izquierda respectivamente en la figura 2.22).

A demás se pueden inferir a partir de los alineamientos de los ríos Tamulasco y Muca (los cuales en zonas planas serpentean) y de los afloramientos que se encuentran muy fracturados; cuatro fallas, dos con rumbo NNE-SSW y otras dos con rumbo NW-SE.

La disposición de las fallas antes mencionadas se muestra en la figura 2.22.

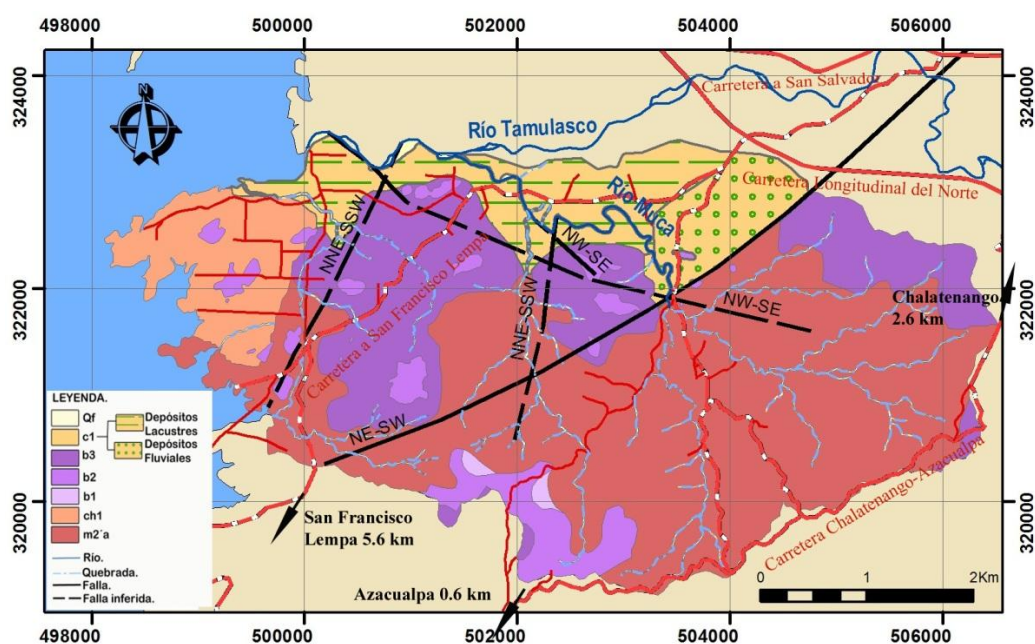


Figura 2.22. Disposición de fallas dentro de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía nacional, Mapa Geológico de El Salvador y observaciones de campo.

GEOMORFOLOGÍA.

La zona de estudio está ubicada dentro del “Valle Alto” del río Lempa, las elevaciones varían desde los 240 y 550 m.s.n.m; en la parte norte y oeste el terreno posee pendientes suaves (menores al 15%), mientras que al sur y al este el terreno es ondulado (pendientes alcanzan el 50%).

La planicie de este valle es de carácter aluvial, dentro del cual destacan al menos 13 lomas y cerros (edificios volcánicos, sin cráter). Ver Mapa Geológico de la zona de estudio.

CAPÍTULO III:
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

3.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo “Hidrología Superficial”, se aborda la otra etapa de un estudio hidrogeológico, la cual consiste en identificar los aspectos hidrológicos que definen la zona de interés.

En este capítulo se tratan las siguientes secciones: sección 3.2, “*Nociones Generales de Hidrología Superficial*”, en la que se detalla el fundamento teórico que se debe de conocer para caracterizar hidrológicamente una región; esta sección abarca desde aspectos de la hidrología en general (ciclo hidrológico), hasta aspectos propios de la hidrología superficial (escorrentía).

En la sección 3.3, “Características climáticas de El Salvador”, se hace referencia a las características climáticas que caracterizan al país como temperatura, precipitaciones y vientos. En la sección 3.4, se da a conocer la metodología utilizada para la obtención de la caracterización hidrológica de la zona de estudio.

Finalmente, en la sección 3.5, se describen las características físicas de las regiones hidrográficas y sus cauces principales que conforman la zona de estudio, así como las condiciones climatológicas que las definen durante todo el año, concluyendo con el cálculo aproximado de la escorrentía que escurre durante cada mes del año, datos que serán retomados en el capítulo VI, referente al Balance Hídrico.

3.2. NOCIONES GENERALES DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

3.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

HIDROLOGÍA.

La Hidrología es la ciencia que trata sobre el agua de la tierra, su existencia, incidencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas, así como su influencia en el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. (Linsey, 1998).

La hidrología tiene aplicación en las obras de ingeniería relacionadas al control y uso del agua, ya que provee parámetros útiles en su diseño y operación. Como por ejemplo: Redes viales, puentes, embalses, alcantarillas, agua potable, etc.

Los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es posible que nunca se les entienda en su totalidad. Sin embargo, en ausencia de un conocimiento perfecto, pueden representarse en forma simplificada por medio del concepto de “sistema”. Siendo un sistema un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo. En el apartado 3.2.2, se aborda el sistema que es estudiado por la hidrología, denominado *ciclo hidrológico*.

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

La hidrología superficial describe la relación entre las precipitaciones y el escurrimiento, que son de importancia para los diversos usos del agua, ya sea para uso doméstico, agricultura, generación de energía eléctrica, además en el control de inundaciones y drenajes rurales y urbanos. Esta describe la dinámica del flujo del agua en sistemas superficiales (ríos, canales, corrientes, lagos, etc.).

TIEMPO.

En hidrología y meteorología, el tiempo se define como el estado de la atmósfera en un determinado momento. Se considera la humedad (absoluta y relativa), la temperatura y la presión atmosférica, en un determinado lugar y momento. Como cada uno de los

instantes es más o menos prolongado en el tiempo y en extensión, se le denomina *tipo de tiempo*.

A continuación se definen los elementos del tiempo.

- ***Humedad Absoluta:*** Es la cantidad de vapor de agua (generalmente medida en gramos) por unidad de volumen de aire ambiente (medido en metros cúbicos).
- ***Humedad Relativa:*** Es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.
- ***Temperatura atmosférica:*** Se refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinados. Esta es medida por medio de termómetros y en nuestro medio es común utilizar la escala de grados Celsius (°C). Los servicios meteorológicos habitualmente registran las temperaturas extremas (máxima y mínima) diarias.
- ***Presión atmosférica:*** La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Por tanto, ésta varía con la presión y la temperatura.

CLIMA.

Se define como clima a la sucesión de tipos de tiempo que tienden a repetirse con regularidad en ciclos anuales. Es decir, el clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Los factores naturales que afectan al clima son las estaciones del año, latitud, altitud, relieve, continentalidad (o distancia al mar) y corrientes marinas, su incidencia en el clima se define a continuación.

- ***Estaciones del año:*** Las estaciones son los periodos del año en los que las condiciones climáticas imperantes se mantienen, en una determinada región, dentro de un cierto rango. Estos períodos son normalmente cuatro, duran

aproximadamente tres meses y se denominan: primavera, verano, otoño e invierno (en nuestro medio se distinguen únicamente dos: el verano como época seca y el invierno como época de lluvias). Las estaciones se deben a la inclinación del eje de giro de la Tierra con respecto al plano de su órbita solar, que hace que algunas regiones reciban distinta cantidad de luz solar según la época del año, debido a la duración del día y con distinta intensidad según la inclinación del Sol sobre el horizonte (ya que la luz debe atravesar más o menos atmósfera).

- **Latitud:** Incide en la temperatura ya que determina la inclinación con la que caen los rayos del Sol y la diferencia de la duración del día y la noche. Es determinante en la precipitación, ya que determina la localización de los centros de acción que dan origen a los vientos: anticiclones (centros de altas presiones) y ciclones (áreas de baja presión o depresiones).
- **Altitud:** La altura del relieve incide en el clima ya que hay cambios sustanciales de temperatura con respecto a la altitud (incide además la vegetación y el tipo de relieve).
- **Orientación del relieve:** La orientación del relieve tiene una incidencia en la penetración de los rayos del Sol a la superficie (en zonas tropicales no es relevante esta condición), además determina la existencia de vertientes de los vientos: barlovento y sotavento, siendo las vertientes de barlovento zonas en las que llueve más.
- **Continentalidad:** La proximidad del mar modera las temperaturas extremas y suele proporcionar más humedad en los casos en que los vientos procedan del mar hacia el continente.
- **Corrientes marinas:** Las corrientes provenientes del océano, se encargan de trasladar una enorme cantidad de agua y por consiguiente, de energía térmica (calor).

3.2.2. CICLO HIDROLÓGICO.

El ciclo hidrológico es el fenómeno de circulación global del agua producido fundamentalmente por la energía solar influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la Tierra. Este ciclo no tiene principio ni fin y sus diferentes procesos ocurren de forma continua. En la figura 3.1, se muestra esquemáticamente el ciclo hidrológico, el cual se puede explicar brevemente de la siguiente manera:

A partir de la recepción de energía solar (que es la fuente de generación exterior) se puede comenzar a describir el ciclo del agua con la generación de vapor de agua hacia la atmósfera por *evaporación* del agua líquida desde lagos, ríos, océanos, mares y por *evapotranspiración* desde suelos y vegetación. Luego, bajo determinadas condiciones meteorológicas (presión, temperatura y humedad) este vapor se condensa (esto es cambiando nuevamente de estado) formando micro-gotas de agua líquida que se mantienen suspendidas en el aire debido a la turbulencia natural. El agrupamiento de estas micro-gotas da lugar a los aerosoles y sucesivamente a la formación de nubes. Luego, a través de la dinámica de las masas de aire (circulación atmosférica) se concreta la principal transferencia de agua atmosférica hacia las masas continentales en forma de *precipitación*. El agua proveniente de la *precipitación* (en estado sólido y/o líquido) sigue distintos caminos cuando llega a la superficie terrestre en función de las características edáficas, topográficas, fitográficas, urbanas, etc. Puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el terreno (escurrimiento superficial) o infiltrarse en el suelo dando lugar a la formación de acuíferos (aguas subterráneas), los cuales eventualmente gracias al escurrimiento subterráneo, alimentan ríos, lagos, humedales o descargan directamente en el mar y de esta forma comienza de nuevo el ciclo.

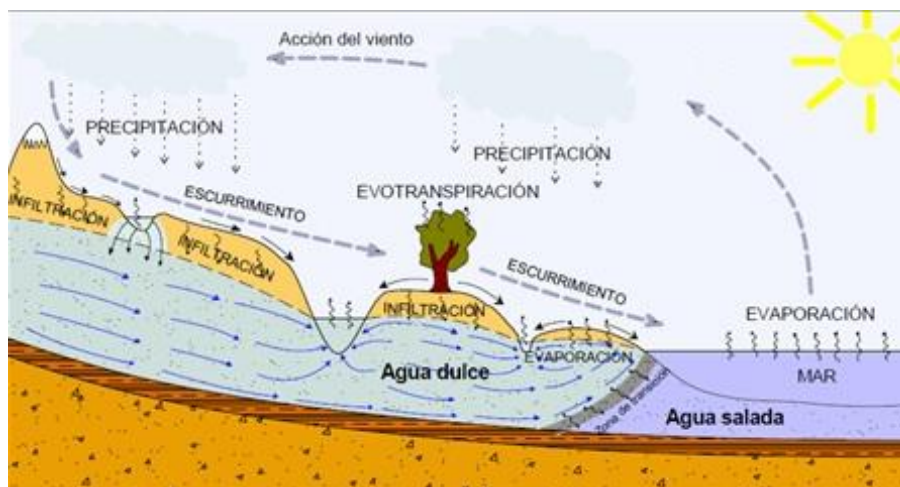


Figura 3.1. El ciclo hidrológico.

Fuente: United States Geological Survey (rediseñado).

El ciclo hidrológico se puede representar como un sistema, es decir, como una estructura o volumen en el espacio, delimitada por una frontera, cuyos componentes internos interactúan entre sí o con otros sistemas adyacentes. Los componentes del sistema serán las variables hidrológicas y los procesos que las relacionan entre sí. Este sistema global se puede subdividir en tres: subsistema atmosférico, un subsistema de agua superficial y un subsistema de agua subterránea.

A continuación se describen los procesos componentes del ciclo hidrológico en función del subsistema al que pertenecen.

EL SUBSISTEMA DE AGUA ATMOSFÉRICA.

Este subsistema se abastece de la ***evaporación***, es decir; de los volúmenes de vapor de agua que llegan a la atmósfera desde la superficie del océano y/o del terreno y el aporte de la cobertura vegetal denominado ***transpiración***, en el caso que en el terreno exista cobertura vegetal se presenta el efecto combinado conocido como ***evapotranspiración***. El vapor de agua es desplazado por los procesos de circulación atmosférica a regiones geográficas donde se presenten las condiciones adecuadas, para abandonar el subsistema a través de la ***precipitación***, la cual tiene lugar tanto sobre las superficies oceánicas

como sobre las continentales. En algunas situaciones el agua que precipita no se incorpora a ningún otro subsistema, regresando a la atmósfera, a esta variable se le conoce como *intercepción* y queda ejemplificada en aquella porción de agua líquida que queda atrapada en copas de árboles y techos de casa, etc.

Evaporación.

Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido (en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo en las capas cercanas a la superficie) a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera. La evaporación se produce básicamente por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie de un suelo húmedo o una masa de agua, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor.

Los principales factores que afectan la evaporación son:

- **Humedad atmosférica:** Es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera terrestre. La evaporación varía directamente con la humedad atmosférica y se mide con un aparato llamado psicrómetro, que mide la temperatura mediante dos termómetros, uno húmedo y otro seco, y con esas temperaturas, a partir de un ábaco se obtiene la humedad atmosférica.



Figura 3.2. Psicrómetro.

Instrumento utilizado en los centros meteorológicos para la determinación de la humedad relativa del aire.

Fuente: Núñez, Marco A. Evapotranspiración.

- **Temperatura del aire:** Se refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinado. Es el factor que más se ha considerado para calcular la evaporación, ya que su influencia es preponderante y se ha encontrado que la correlación entre ambos fenómenos es muy estrecha.
- **Radiación solar:** Es la energía que emite el sol a la superficie terrestre y es la responsable de la evaporación bajo todas sus formas. Su estudio es relativamente nuevo y las fórmulas que consideran su aplicación tienen un uso limitado por falta de datos.
- **Viento:** Es el movimiento de masas de aire en la atmósfera y este remueve el vapor de agua a medida que se forma sobre la superficie evaporante, evitando la saturación de aire que paralizaría la evaporación.
- **Presión atmosférica:** Influye en la evaporación en menor escala, dicha influencia es perceptible cuando se mantienen constantes los demás factores y es entonces que la evaporación crece al disminuir la presión atmosférica.
- **Salinidad del agua:** La presencia de sales en el agua hace disminuir la evaporación en una cierta medida. Se admite que un aumento de la salinidad del 1%, disminuye la evaporación en un 1%. Por ejemplo el monto de evaporación del agua del mar es 2–3% menor que el agua dulce.

El instrumento que sirve para medir la evaporación se denomina: **Evaporímetro**, siendo uno de los más utilizados el Tanque Clase A (Ver figura 3.3). Es un recipiente circular de lámina abierto en su parte superior, de aproximadamente 1.20 m de diámetro y 0.26 m de alto. Este instrumento se coloca sobre una plataforma de madera de 10 cm de alto, perfectamente horizontal. Se mide el volumen de agua necesario para mantener el nivel constante (entre 5-7 cm del borde de la cubeta) en la unidad de tiempo que puede ser 6, 12 ó 24 horas. El volumen de agua consumido se transforma en mm de agua evaporada por unidad de tiempo.



Figura 3.3. Tanque evaporímetro (Clase A).

Fuente: Núñez, Marco A. Evapotranspiración.

También la evaporación puede ser determinada mediante ecuaciones, de éstas se han desarrollado tanto ecuaciones empíricas como teóricas, y que se describen a continuación.

a) Ecuaciones Empíricas:

- ***Ley de Dalton.***

$$E = k(e_w - e_a) \quad [3. 1]$$

Donde:

E = Evaporación.

e_w = Presión de vapor del agua, generalmente tiene valor cercano a e_s

e_a = Presión de vapor del aire.

k = Coeficiente de proporcionalidad.

- ***Fórmula de Meyer.***

$$E_m = c(e_s - e_a) \left[1 + \frac{v_w}{16.09} \right] \quad [3. 2]$$

Donde:

c = Coeficiente empírico puede tomarse de 38 para evaporímetros y pequeños depósitos y de 28 para depósitos grandes.

E = Evaporación mensual (cm).

e_a = Presión del vapor del aire basada en la temperatura media mensual y la humedad relativa en depósitos pequeños. Para depósitos

grandes, los datos se deben recabar a 10 m. sobre la superficie libre del agua. Su valor se expresa en pulgadas de mercurio.

e_s = Presión de saturación del vapor (bajo las mismas condiciones de e_a).

V_w = Velocidad media mensual del viento medida a 10 m de la superficie.

- **Formulación de Horton (evaporación diaria).**

Pequeños depósitos.

$$E_p = 1.016(\psi e_s - e_a) \quad [3.3]$$

Grandes depósitos.

$$E_G = E_p(1 - P) + P \frac{\psi - 1}{\psi - h} \quad [3.4]$$

Donde:

E_p = Evaporación pequeños depósitos.

$$\psi = 2 - e^{-0.0128V_w}$$

e_a = Presión del vapor del aire.

e_s = Presión de saturación del vapor.

E_G = Evaporación grandes depósitos.

h = humedad relativa.

ρ = fracción del tiempo cuando es turbulento.

V_w = Velocidad media mensual del viento a 10 m de la superficie en km/h.

- **Fórmula de Linsley.**

$$E = c(e_s - e_a)(baV_w^n) \quad [3.5]$$

Donde:

a, b, c, n = constantes basadas en los valores de los parámetros meteorológicos e_a, e_s y V_w

V_w = Velocidad media mensual del viento a 10 m de la superficie.

b) Ecuaciones Teóricas.

Se basan en diversas técnicas tales como balance de agua, balance de energía y transferencia de masa.

- **Balance de Agua.**

$$E_s = P + R_1 + R_2 + R_g - T_s - I - \Delta S \quad [3.6]$$

Donde:

E_s = Evaporación.

R_1, R_2 = Agua superficial que entra y sale del sistema respectivamente.

P = Precipitación.

R_g = Aportación del agua subterránea a cuerpos de agua superficiales.

T_s = Transpiración (evaporación del suelo y plantas).

I = Infiltración

ΔS = Cambio de volumen en el agua almacenada en el suelo

Si se considera la transferencia neta de infiltración hacia el suelo como:

$$O_s = R_g - I \quad [3.7]$$

y se asume que $T_s = O$, entonces:

$$E_s = P + R_1 - R_2 + O_s - \Delta S \quad [3.8]$$

Todos los términos deben ser especificados en unidades de volumen para un período de interés Δt , que debe ser cuando menos una semana.

- **Balance de Energía.**

$$E = \frac{Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} - Q_o + Q_v}{\rho[L(1+B) + C_p(T_e - T_b)]} \quad [3.9]$$

Donde:

Q_s = Irradiación solar incidente en la superficie del agua.

Q_r = Radiación solar reflejada.

Q_a = Radiación atmosférica de onda larga.

Q_{ar} = Radiación atmosférica de onda larga reflejada.

Q_{bs} = Radiación de onda corta emitida por el agua.

Q_o = Incremento en energía almacenada por el agua.

Q_v = Energía neta por advección.

ρ = Densidad del agua evaporada.

L = Calor latente de evaporación.

C_p = Calor específico del agua.

T_e = Temperatura del agua evaporada.

B = Relación de Bowen.

$$B = 0.61 \frac{P(T_o - T_a)}{100(e_o - e_a)} \quad [3. 10]$$

Donde:

P = Presión atmosférica

T_o = Temperatura del agua en la superficie libre.

T_a = Temperatura del aire.

e_o = presión de saturación del vapor en la superficie libre del agua

e_a = presión de vapor del aire.

Transpiración.

La transpiración es el mecanismo por el cual el agua es evaporada a la atmósfera a través de las hojas de las plantas. Los factores que influyen en la transpiración son los siguientes:

a) Fisiológicos.

- Densidad y comportamiento de las hojas.
- Extensión y características de la cubierta protectora.
- Estructura de la hoja.
- Enfermedades de la planta.

b) Ambientales.

- Temperatura
- Radiación solar
- Viento
- Humedad del suelo¹

¹ Nota: La difusión de vapor de agua a través de las hojas de las plantas hacia la atmósfera es proporcional al gradiente de presión de vapor en la interface hoja-atmósfera.

Evapotranspiración.

Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

El término evapotranspiración involucra los conceptos de evapotranspiración potencial, evapotranspiración de cultivo y evapotranspiración real, los cuales son explicados a continuación:

- **Evapotranspiración potencial o de referencia (ET_0):** La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como medición de referencia (gramíneas de 8 – 15 cm de altura o pastos), debido a las condiciones climáticas del lugar. Su determinación se realiza a partir de datos climáticos. La evapotranspiración potencial puede ser obtenida de las siguientes formas:
 - a) *Empleando diferentes fórmulas empíricas*, cuya elección depende básicamente del tipo de datos disponibles en la zona; las fórmulas más utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman-Montheith, Hargreaves, Blaney-Criddle entre otras. En El Salvador el Servicio Meteorológico Nacional utiliza la fórmula de Hargreaves para determinar la ET_0 , debido a que esta fórmula utiliza menos parámetros y es con la que se obtiene resultados similares a los obtenidos con la fórmula de Penman (fórmula que utiliza mayor cantidad de parámetros). La expresión general de la fórmula de Hargreaves es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s \quad [3. 11]$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial diaria o de referencia (mm/día).

t_{med} = Temperatura media diaria(°C).

R_s = Radiación solar incidente (mm/día).

$$R_s = R_0 * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0.5} \quad [3. 12]$$

Donde:

R_0 = Radiación solar extraterrestre (Tabulada). En este trabajo se utiliza la tabla de R_0 de Allen et al (1998). Ver Anexo B1.

KT = Coeficiente (empírico)

$t_{m\acute{a}x}$ = Temperatura diaria máxima.

$t_{m\acute{i}n}$ = Temperatura diaria mínima.

Hargreaves recomienda $KT = 0.162$ en regiones interiores y $KT = 0.19$ para regiones costeras. Muchos autores recomiendan 0.17 como valor medio a utilizar. Sustituyendo Ecuación 3.12 en 3.11 y utilizando el valor de $KT=0.17$, tenemos la fórmula de Hargreaves simplificada:

$$ET_0 = 0,023(t_{med} + 17,78)R_0 * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0.5} \quad [3. 13]$$

b) *Lisímetro*: Un lisímetro es un dispositivo introducido en el suelo, el cual es rellenado en el mismo terreno del lugar y con vegetación. Es utilizado para medir la evapotranspiración de referencia (ET_0) o del cultivo (ET_c). También se le denomina evapotranspirómetro, dependiendo de qué manera se haya hecho el procedimiento de medida.

c) *Sonda de neutrones*: Se basa en la absorción de neutrones por el agua, lo que permite evaluar el contenido de humedad que posee el suelo.

Balance hídrico: Consiste en seleccionar una cuenca natural pequeña y medir en ella la precipitación, escorrentía y percolación, luego por diferencia se calcula la evapotranspiración.

$$ET_0 = P - Q - P_{(per)} \quad [3. 14]$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración

P = Precipitación.

Q = Escorrentía.

$P_{(per)}$ = Percolación.

- **Evapotranspiración de cultivo (ET_c):** La evapotranspiración de cultivo es aquella que se produce cuando no existe ninguna restricción de agua en el suelo y depende de las condiciones de los cultivos tales como sus características, por el ritmo de desarrollo de las plantas (período vegetativo) y las condiciones climáticas de temperatura, viento y humedad relativa. Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre las necesidades de agua, se han desarrollado unos coeficientes de cultivo K_c , los cuales relacionan la evapotranspiración de referencia ET_0 con la evapotranspiración de cultivo ET , y representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas, que produzca rendimientos óptimos. La expresión utilizada es la siguiente:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad [3. 15]$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (mm/día).

K_c = Coeficiente de cultivo, (adimensional). Tabulado Ver Anexo B2.

ET_0 = Evapotranspiración potencial (mm/día).

- **Evapotranspiración real (capacidad de agua disponible en los suelos):** El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración, a medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración la que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, por lo que se denominó evapotranspiración real.

Precipitación.

La precipitación se define como la deposición de gotas de agua y partículas de hielo que se forman en la atmósfera y regresan a la superficie de la Tierra atraídas por la fuerza gravitacional. La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. En la figura 3.4, se muestra esquemáticamente como el vapor de agua se convierte en gotas de lluvia.

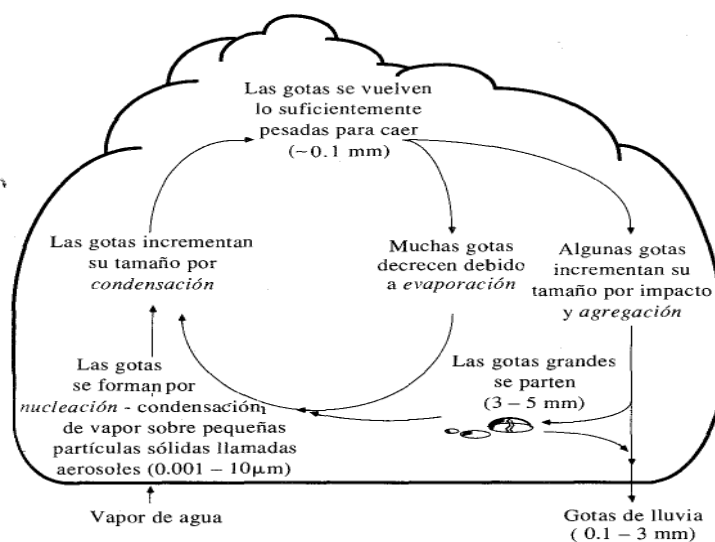


Figura 3.4. Formación de la precipitación.

Se puede observar pequeñas gotas de agua en las nubes se forman por nucleación de vapor sobre los aerosoles para luego pasar por varios ciclos de condensación–evaporación a medida que circulan en la nube, hasta que alcanzan un tamaño suficientemente grande para caer a través de la base de la nube.

Fuente: Ven Te Show, "Hidrología Aplicada", primera edición en español, página 67.

La precipitación se puede clasificar de acuerdo al origen del ascenso de la masa de humedad y a la forma en que cae. A continuación se detallan estos dos tipos de clasificación.

Clasificación de la precipitación según el origen del ascenso de la masa de humedad.

- *Precipitación convectiva:* Se origina por el ascenso del aire, que al estar en contacto directo con el suelo, se expande, se hace más ligero y asciende,

produciendo corrientes verticales (convección). Las precipitaciones que tienen este origen se caracterizan por ser cortas e intensas. En la figura 3.5 se ilustra la precipitación de origen convectivo.

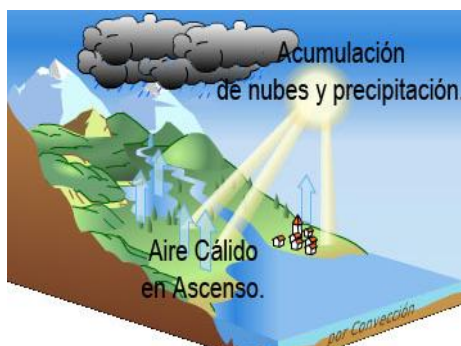


Figura 3.5. Figura esquemática de la formación de la precipitación por convección.

Fuente: Sitio Web <http://conteni2.educarex.es/mats/14398/contenido/>, julio 2012.

- *Precipitación orográfica:* Esta se produce cuando una masa de aire cálido se encuentra con una barrera topográfica, la cual le obliga a ascender, por consiguiente a enfriarse. Las precipitaciones se presentan en la vertiente en la cual la masa del aire golpea contra la montaña, por el otro lado el aire desciende relativamente seco. (ver figura 3.6) La cantidad e intensidad de la precipitación varía dependiendo de las condiciones orográficas de cada lugar.



Figura 3.6. Figura esquemática de la formación de la precipitación por orografía.

Fuente: Sitio Web <http://conteni2.educarex.es/mats/14398/contenido/>, julio 2012.

- *Precipitación Ciclónica (Frontal):* Se produce cuando dos masas de aire de diferentes temperaturas chocan de forma frontal, la masa de aire caliente asciende por encima de la de aire frío, enfriándose a su vez. Las precipitaciones

causadas son continuas sobre superficies muy extensas en la dirección del avance del frente, tal como se observa en la figura 3.7.



Figura 3.7. Figura esquemática de la formación de la precipitación ciclónica.

Fuente: Sitio Web <http://conteni2.educarex.es/mats/14398/contenido/>, julio 2012.

Clasificación de la precipitación por la forma en que cae.

- *Llovizna:* Consiste en pequeñas gotas de agua cuyo diámetro oscila entre 0.1 mm y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caída tan bajas que ocasionalmente parecen que estuviesen flotando.
- *Lluvia:* Consiste en gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor de 0.5 mm.
- *Chubascos o aguaceros:* Son precipitaciones de agua líquida o sólida que comienzan y acaban bruscamente y que varían violentamente de intensidad.
- *Rocío:* Gotas de agua debidas a la condensación directa del vapor de agua contenido en el aire adyacente a superficies enfriadas por radiación nocturna.
- *Escarcha:* Es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsa de aire y que se forma en superficies expuestas por el congelamiento de agua súper enfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna.
- *Nieve:* Está compuesta de cristales de hielo blanco o traslúcido, principalmente de forma compleja, combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples; algunas veces los conglomerados forman las capas de nieve, que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro.

- *Bolitas de nieve*: Llamadas granizo suave, consisten en partículas de hielo redondeadas, blancas u opacas, con una estructura similar a la de las capas de nieve y de 2 a 5 mm de diámetro.
- *Granizo*: Es precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas, la mayoría de ellas de tipo Cumulonimbos. Puede ser esférico, cónico o de forma irregular y su diámetro varía entre 5 a más de 125 mm.
- *Bolas de hielo*: Están compuestas de hielo transparente o traslúcido. Pueden ser esféricas o irregulares, algunas veces cónicas y por lo regular tienen menos de 5 mm de diámetro.
- *Cellisca o granos de hielo*: Son transparentes, en forma de globos; son granos sólidos de hielo formados por el congelamiento de gotas de agua o el re-congelamiento de cristales de hielo que se han fundido.
- *Granizo pequeño*: Está compuesto por lo general de partículas traslúcidas, de bolitas de nieve envueltas en una capa muy delgada de hielo.

Medición de la precipitación.

La precipitación es un fenómeno del cual resulta muy importante su cuantificación, tanto en el diseño de obras civiles, como en el de prevención de riesgo. A continuación se detallan aspectos importantes sobre la medida de la precipitación.

Unidad de medida de la precipitación.

La precipitación se mide en milímetros de agua o litros caídos por unidad de superficie (m^2), es decir; la altura de la lámina de agua recogida en una superficie plana que es medida en mm o l por m^2 . Nótese que un milímetro de agua de lluvia equivale a 1 l de agua por m^2 .

Instrumentos para la medición de la precipitación.

Para la medida de la precipitación se emplean entre otros instrumentos: los pluviómetros, que registran en intervalos de tiempo (normalmente cada día) la

cantidad de lluvia caída, y los pluviógrafos, que registran de forma continua la variación de lluvia en el tiempo (proporcionan los datos en papel de manera gráfica).



Figura 3.8. Instrumentos para la medición de la precipitación.

En a) Pluviómetro plástico TFA 40L y b) Pluviógrafos de sifón.

Fuente: Sitios web <http://www.bitmax.es/index.php?cPath=65> y <http://www.rumtor.com/pluviografo.html>, respectivamente.

Análisis de los datos de precipitación.

Para evitar conclusiones erróneas, es importante dar la interpretación adecuada a la información sobre la precipitación, que a menudo no puede ser aceptada sin mayor recelo. El Hidrólogo se encuentra a menudo con el problema de analizar e interpretar una gran cantidad y diversidad de datos dispersos, unas veces registros incompletos, muestras poco representativas y otras, con escaso valor informativo. Para realizar su labor efectiva y eficiente, tiene que emplear métodos de análisis estadístico para obtener datos que le resulten útiles, como lo es la *precipitación media*.

- *Precipitación media:* Es la altura promedio de lluvia que cae en un sitio dado en un determinado tiempo, diferente de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos. Los pluviómetros y pluviógrafos únicamente registran la lluvia puntual, es decir; la que se produce en el punto en el que está instalado el aparato y para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca.

Para calcular la lluvia media de una tormenta dada, existen tres métodos de uso generalizado que se describen a continuación:

1. Método aritmético: Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$h_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} \quad [3. 16]$$

Donde:

h_p = Altura de precipitación media (mm).

h_{pi} = Altura de precipitación registrada en la estación "i" (mm).

n = Número de estaciones bajo análisis.

Este método es el más simple de todos, pero no toma en cuenta la distribución de las estaciones en la cuenca ni la manera en que se distribuye la lluvia en el espacio, pues le asigna el mismo peso a todas las alturas de precipitación registradas. Por ello, es útil únicamente en zonas con topografía muy suave y condiciones atmosféricas muy uniformes o bien para tener sólo una idea aproximada de la altura de la precipitación media.

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el uso de este método son:

- ✓ Distribución uniforme de pluviómetros.
- ✓ Región relativamente plana con diferencia de nivel no mayor a 300 m entre el sitio más bajo y el más elevado.
- ✓ Que la precipitación media anual en cada una de las estaciones circundantes difiera en menos del 10%.

2. Polígonos de Thiessen: Este método consiste en unir mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca las estaciones más próximas

entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas. Luego se trazan líneas rectas que bisecten los lados de los triángulos; por geometría general, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.

Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas que forman los llamados Polígonos de Thiessen, en algunos casos, en parte, por el parteaguas de la cuenca. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas, será el área de influencia de la estación correspondiente.

La precipitación media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$h_p = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi} \quad [3. 17]$$

Donde:

h_p = Altura de precipitación media (mm).

A_i = Área de influencia de la estación "i" (km² o m²).

A_t = Área total de la cuenca (km² o m²).

h_{pi} = Es la altura de precipitación registrada en la estación "i" (mm).

Generalmente se utiliza el método de los polígonos de Thiessen cuando el espaciamiento es irregular y tratándose de zonas con escasos accidentes topográficos.

3. Método de las Isoyetas: Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas Isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía.

La precipitación media se calcula en forma similar al método de los polígonos de Thiessen, sólo que el peso en este caso es el área entre cada dos Isoyetas y el parte aguas de la cuenca y la cantidad que se pasa es la altura de precipitación promedio entre las dos Isoyetas. La expresión matemática utilizada es:

$$h_p = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n (\bar{h}_{pi} A_i^j) \quad [3. 18]$$

Donde:

h_p = Altura de precipitación media (mm).

A_t = Área total de la cuenca (km^2 o m^2).

h_{pi} = Altura de precipitación promedio entre dos Isoyetas (mm o pulg).

n = Número de áreas.

A_i^j = Áreas consideradas (km^2 o m^2).

Este método es el más preciso de todos y el más laborioso, pues cada tormenta tiene un plano de Isoyetas diferentes.

- *Curva masa de precipitación:* Si a un registro de lluvia como el pluviograma en el que a la lluvia acumulada se le quite los descensos, se obtiene una gráfica de precipitación acumulada contra el tiempo, esta curva es no decreciente y su pendiente en cualquier tiempo es igual a la intensidad de la lluvia (altura de precipitación por unidad de tiempo) en ese instante.

- *Relleno de datos faltantes:* Es frecuente que en un registro de precipitación falten los datos de un cierto período, debido a la ausencia del operador o fallas del aparato registrador. En estos casos se pueden estimar los datos faltantes si se tienen registros simultáneos de algunas estaciones situadas cerca de la estación en cuestión y uniformemente repartidas. Una forma de hacerlo es correlacionar las precipitaciones medias en una estación cercana o el promedio de las medidas en varias estaciones circundantes con la registrada en la estación en estudio. Si la

correlación es aceptable, bastaría conocer la precipitación en esta estación más cercana, o bien, la precipitación media en las estaciones circundantes consideradas en los días en cuestión para deducir los datos faltantes.

Ajuste de los registros de precipitación por cambios en las condiciones de medición: Cuando en una estación pluviométrica tiene lugar algún cambio en las condiciones de medición, por ejemplo, cambios de operador, localización o de las condiciones adyacentes, las tendencias del registro sufren normalmente alteraciones que pueden llegar a ser importantes en cuanto a su no homogeneidad. Para detectar y corregir estas alteraciones se usa una técnica llamada CURVA DOBLE MASA, que se basa en observaciones hechas en el sentido de que la precipitación acumulada media para varias estaciones no es muy sensible a cambios en una de ellas, debido a que muchos de los errores se compensan, mientras que la lluvia acumulada de una estación particular se afecta de inmediato ante la presencia de cambios importantes. Si en una gráfica se ubica en un eje la precipitación anual acumulada media de varias estaciones circundantes a la estación en estudio y en el otro eje se coloca la lluvia anual acumulada de la estación en cuestión, se obtiene una línea recta siempre que en ésta no hayan existido cambios o éstos no sean importantes; en caso contrario, la línea cambia de pendiente en el año a partir del cual la estación comenzó a operar en condiciones diferentes.

- *Hietograma:* Es la representación gráfica de una lluvia en función del tiempo. Al tratarse de un hietograma de intensidad se puede visualizar la variación de la intensidad de la lluvia con el tiempo; por lo general se emplean intervalos de igual duración donde se supone que la intensidad es constante. Los intervalos se escogen según el tipo de análisis requerido y el procedimiento para obtener los datos (ver figura 3.9). A través de este gráfico se logra tener una idea de la tendencia de la distribución de las lluvias en una tormenta. Su construcción se realiza a manera de un histograma.

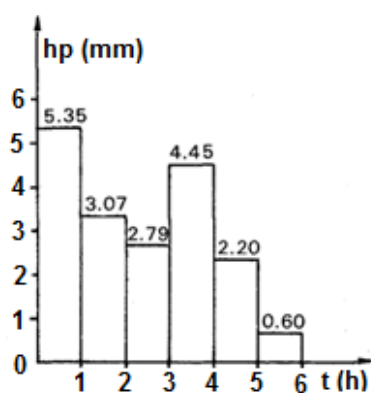


Figura 3.9. Hietograma de una lluvia.

Fuente: Aparicio Mijares, Francisco Javier. Fundamentos de la hidrología de la superficie. Editorial LIMUSA (Noriega Editores). Tercera reimpresión, 1994, página 181.

Intercepción.

La intercepción es la parte del agua de precipitación que es interceptada por la vegetación y otras formas de cobertura del área de drenaje (ver figura 3.10), es decir; la parte que moja y se adhiere a la superficie de los objetos para luego ser regresada a la atmósfera a través de la evaporación.

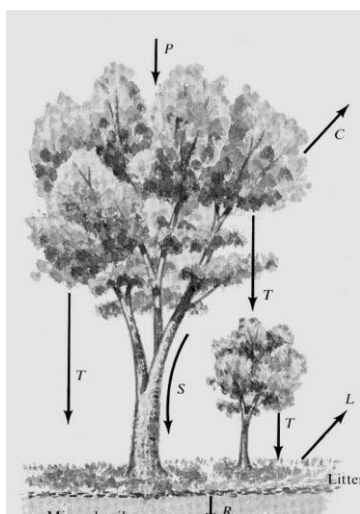


Figura 3.10. Proceso de Intercepción del agua de precipitación.

En donde: P representa la precipitación, C intercepción de copa del árbol, T translocación, S escurrimiento sobre tronco del árbol, L Intercepción de residuos, R Infiltración.

Fuente: González Del Tánago, Marta, presentación Tema 4: Intercepción.

Los principales factores que influyen en la intercepción son:

- **Altura de precipitación:** El agua interceptada (I) aumenta con la altura de lluvia (P), hasta un valor más o menos constante (capacidad de almacenamiento de agua de la cubierta vegetal, S):

I \longrightarrow S cuando P se hace muy grande

- **Intensidad de la precipitación:** El porcentaje de agua interceptada disminuye al aumentar la intensidad de la lluvia.
- **Estado atmosférico:** La cantidad total de agua interceptada depende de la tasa de evaporación desde la cubierta vegetal, que a su vez depende de las condiciones evaporantes de la atmósfera (temperatura, tasa de humedad, viento, etc.).

Medida de la Intercepción.

El porcentaje de agua interceptada varía de acuerdo a las condiciones de cobertura (tanto vegetal como artificial), propias de cada lugar, experimentalmente se calcula la intercepción de la siguiente manera.

$$I = Pb - Pn \quad [3. 19]$$

Donde:

I = Agua interceptada.

P_b = Precipitación bruta (agua que llega al suelo en zona abierta).

P_n = Precipitación neta (agua que llega al suelo bajo cubierta vegetal, trascolación y escurrimiento sobre el tronco).

Precipitación bruta (referencia) y Trascolación: Se mide con pluviómetros o cualquier dispositivo para medir precipitaciones en zonas abiertas y en zonas cubiertas por vegetación.

Escurrimiento sobre el tronco: Disposición de collarines que se adhieren y rodean el tronco, formando un canal donde se concentra el escurrimiento y puede almacenarse en un recipiente medidor.

La interceptación de la capa de residuos orgánicos sobre el suelo: Puede obtenerse midiendo los cambios de humedad de dicha cubierta. (Por ejemplo utilizando sondas de neutrones).

Se necesita hacer numerosas mediciones para abarcar la variabilidad espacial del proceso de interceptación que está ligado a la variación de la cubierta. De manera práctica se acepta que aproximadamente entre un 10 y un 20% de la precipitación que ocurre durante la temporada de cultivo, es interceptada y devuelta a la atmósfera por evaporación.

EL SUBSISTEMA DE AGUA SUPERFICIAL.

Para este subsistema la precipitación se considera como la entrada. Una vez eliminada el agua interceptada y evaporada, el volumen restante se transformará en escurrimiento sobre la superficie del terreno (*flujo de agua superficial*), el cual a su vez llegará al sistema de drenaje del área de captación para formar el *escurrimiento superficial*. Parte de estos escurrimientos saldrán del subsistema como infiltración al subsistema subterráneo o bien como escurrimiento por medio de los sistemas de drenaje regionales que finalmente llegan al océano.

Flujo de agua superficial.

El flujo de agua superficial se compone de dos tipos básicos: *flujo superficial* y *flujo en canal* (ver figura 3.11). El *flujo superficial*, es el primer mecanismo de flujo en las cuencas naturales y tiene la forma de una capa delgada de agua que escurre a lo largo de una superficie ancha. El flujo continúa en esta condición durante una corta distancia, hasta que las irregularidades del terreno concentran el flujo en pequeños *canales* tortuosos. Gradualmente, los flujos de estos pequeños *canales* se combinan hasta

confluir en canales claramente definidos formando el escurrimiento superficial. (Chow, 1994). En consecuencia, el flujo superficial es una combinación de flujo en lámina de pequeña profundidad sobre una superficie ancha, con flujo en pequeños canales. En la realidad, existe una combinación de planos contribuyendo a pequeños canales direccionados por las pendientes dominantes.

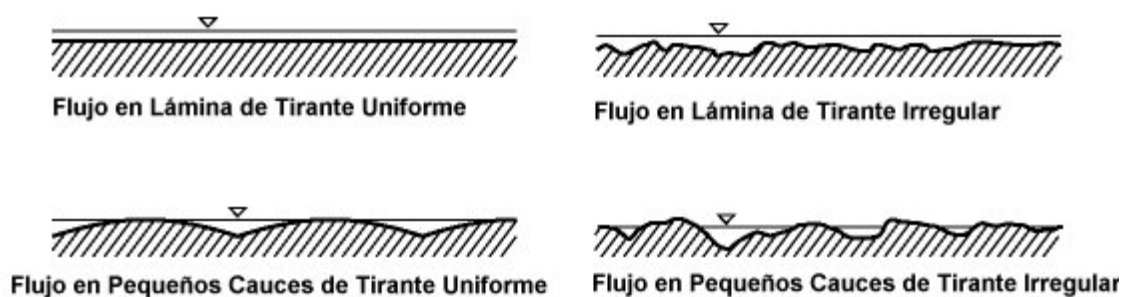


Figura 3.11. Configuraciones del flujo superficial.

Fuente: Wilgoose et al., 1995.

La representación de este flujo hasta en sus más finos detalles es muy difícil, debido a la gran variabilidad de las condiciones físicas de las cuencas y a que se trata de un proceso tridimensional extremadamente complejo. Para simplificar su tratamiento, usualmente se lo idealiza como un flujo de pequeño tirante y gran ancho sobre uno o más planos de escurrimiento de características uniformes.

Escorrentía superficial.

La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de la Ingeniería y consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre. La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes sobre la tierra y es un componente principal del ciclo del agua.

Los factores que influyen en la escorrentía superficial son:

- **Factores climáticos:** Factores que tienen que ver con la intensidad y duración de las precipitaciones, las precipitaciones anteriores, y factores como la temperatura que contribuyen a la evapotranspiración

- **Factores fisiográficos:** Entre estos factores los más determinantes son el área de influencia, la permeabilidad de los suelos, pendiente del terreno y cobertura vegetal.
- **Factores Humanos:** Obras hidráulicas, rectificación de ríos y obras en general que alteran la permeabilidad de los suelos.

Las variables que caracterizan la escorrentía superficial son:

- **Caudal (Q):** Es el volumen de agua que escurre en un lugar en un determinado tiempo. En base al tipo de estudio que se esté realizando se obtienen caudales para un momento específico, y también caudales medio, máximo y mínimo para un período de tiempo.
- **Coefficiente de Escorrentía (C_e):** Se conoce como coeficiente de escorrentía a la relación entre el índice de escorrentía y la precipitación anual. Este coeficiente indica qué porcentaje de la precipitación anual circula por la superficie.
- **Tiempo de Concentración (t_c):** Se refiere al tiempo necesario para que en una determinada cuenca hidrográfica se establezca el caudal saliente, en la ocurrencia de una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca.
- **Período de retorno:** En general en ingeniería el período de retorno es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos. En el caso de la hidrología se refiere al tiempo medio entre dos tormentas que produzcan una escorrentía que sobrepase cierto caudal.
- **Nivel de agua:** Es la elevación de la superficie de agua en una corriente, en un punto determinado.

Obtención de la escorrentía superficial.

El escurrimiento superficial es medido en los ríos a través de estaciones hidrométricas, las cuales miden el caudal de agua que pasa por un punto determinado. Para el caso de cuencas en las que no existen estaciones hidrométricas se han desarrollado una serie de metodologías para calcular el caudal aproximado. Para el caso de El Salvador, en el 2005 el SNET propuso el uso de los siguientes métodos:

Regionalización de Caudales: El Servicio Hidrológico del SNET, desarrolló en el año 2004 la regionalización de caudales medios y máximos de El Salvador, a través de la cual se establecieron relaciones entre caudales medios (y también máximos) con el área de la cuenca aportante y factores de distribución mensual para caudales medios (o de ajuste para diferentes períodos de retorno para caudales máximos) de acuerdo a regiones hidrológicamente homogéneas (ver: tabla 3.1, tabla 3.2, tabla 3.3), las cuales se muestran a continuación, así como la fórmula propuesta para su cálculo.

Tabla 3.1. Regiones hidrológicamente homogéneas de El Salvador.

Regiones hidrológicamente homogéneas.	Región hidrográfica o cuencas.
1	Cuenca río Paz, Región Hidrográfica Cara Sucia – San Pedro, Región Hidrográfica Sonsonate – San Pedro.
2	Región Hidrográfica Comalapa – Mandinga, Región Hidrográfica Jiboa.
2b	Canal Principal del río Jiboa.
3	Río Grande de San Miguel, Goascorán, Sirama.
3b	Canal principal del río Grande de San Miguel aguas debajo de la Laguna de Olomega.
4	Cuencas de Metapán, Angue, Guajoyo.
5	Cuencas de Mojafleres, Metayate, Tamulasco, Grande de Chalatenango, Sumpul, Torola.
6	Cuencas de los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate.
7	Cuencas de los ríos Quezalapa, Copinolapa, Titihuapa, Acahuapa, Jiotique.
8	Canal principal del río Lempa.

Fuente: SNET, Ing. Erazo, Adriana, Regionalización de caudales máximos y medios en El Salvador, 2004, página 13.

Tabla 3.2. Ecuaciones de relación entre caudales medios anuales y el área de la cuenca, con rango de área de validez.

Región.	Ecuación para caudal medio. Q(m ³ /s)	Rango de área. (km ²)
1	$Q = 0.0127 * A + 1.4954$	100 – 1991
2	$Q = 0.0103 * A + 0.4433$	55 – 430
3	$Q = 0.0151 * A + 0.4752$	100 – 2240
4	$Q = 0.0109 * A + 0.545$	25 – 587
5	$Q = 0.0304 * A - 0.3231$	45 – 185
6	$Q = 2E^{-06} * A^2 + 0.0156 * A + 0.0944$	35 – 845
7	$Q = -1E^{-05} * A^2 + 0.0214 * A - 0.2529$	13 – 560
8	$Q = 0.0176 * A - 10.123$	915 – 18200

Fuente: SNET, Ing. Erazo, Adriana, Regionalización de caudales máximos y medios en El Salvador, 2004, página 18.

Tabla 3.3. Distribución mensual de los caudales medios anuales de El Salvador (%).

Región	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	39.70	36.07	35.19	41.08	70.13	143.57	134.66	160.26	235.02	189.34	72.12	42.86
2	27.83	21.63	19.70	19.57	36.30	103.05	117.51	189.77	298.52	244.10	78.82	38.88
3	15.60	11.72	10.37	13.04	51.07	165.84	105.23	131.49	308.94	298.19	65.10	23.43
4	12.71	12.05	11.62	12.93	37.37	187.87	167.96	196.26	295.08	209.56	37.34	19.24
5	11.33	8.41	7.91	11.48	39.99	187.45	151.65	181.47	323.98	210.04	44.41	16.62
6	49.55	46.97	44.99	47.87	67.07	123.54	151.70	171.84	218.65	153.68	70.02	54.11
7	27.35	23.68	22.55	25.14	42.06	147.12	130.26	164.56	297.01	220.13	67.01	33.14
8	38.13	33.35	31.15	29.11	42.93	141.82	154.92	161.50	248.26	212.05	60.13	46.64

Fuente: SNET, Ing. Erazo, Adriana, Regionalización de caudales máximos y medios en El Salvador, 2004, página 19.

Para estimar los caudales medios mensuales en cualquier punto del país, a través de la regionalización, se sigue la siguiente metodología:

- Se ubica la región hidrológicamente homogénea a la cual pertenece la cuenca según (tabla 3.2). , en la que se necesita estimar los caudales medios.
- Se determina el caudal medio anual con base en el área de la cuenca y a la región hidrológicamente homogénea a la que pertenece.
- Se determinan los caudales mensuales a partir del caudal medio anual y de la distribución mensual presentada en la tabla 3.3.

Relación precipitación-escorrentía: Esta metodología para el cálculo de la escorrentía fue desarrollada por el SNET, en el Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, en 2005, para cuencas en las que no era aplicable el método de *Regionalización de Caudales*, debido a que éste tiene un rango de áreas en las que es aplicable. Para obtener esta metodología se analizaron las relaciones existentes a nivel mensual de las variables de precipitación y escorrentía. La precipitación tomada en la relación corresponde a la precipitación media real mensual y la escorrentía a la registrada en las estaciones hidrométricas, pero en unidades de mm. Con base a estas relaciones se determinaron factores que relacionan estas dos variables (tabla 3.4), de acuerdo a las regiones que se identificaron con similares características, las cuales se muestran en la figura 3.12.

Tabla 3.4. Factores de relación precipitación-escorrentía.

Z	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1	3.91	5.86	1.11	0.41	0.15	0.19	0.23	0.24	0.31	0.49	0.69	2.06	0.30
2	2.20	5.26	0.58	0.17	0.08	0.12	0.15	0.25	0.34	0.37	0.42	1.51	0.27
3	2.20	6.25	0.65	0.18	0.08	0.11	0.15	0.22	0.30	0.46	0.45	1.79	0.26
4	2.92	2.47	0.28	0.09	0.10	0.20	0.22	0.18	0.36	0.50	0.51	1.09	0.29
5	1.86	1.20	0.12	0.05	0.11	0.32	0.23	0.30	0.45	0.57	0.64	0.75	0.35
6	1.11	1.15	0.18	0.06	0.07	0.20	0.30	0.28	0.42	0.63	0.65	1.23	0.31
7	1.52	2.96	0.51	0.12	0.07	0.18	0.18	0.19	0.32	0.35	0.37	1.08	0.25
8	1.33	1.05	0.29	0.10	0.08	0.24	0.28	0.27	0.32	0.42	0.47	0.90	0.28
9	4.30	9.02	1.41	0.40	0.17	0.17	0.20	0.21	0.28	0.42	0.83	2.43	0.31
10	1.52	2.96	0.51	0.12	0.07	0.18	0.18	0.19	0.32	0.35	0.37	1.08	0.25

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, 2005, página 50. (Z=Zona)

Para estimar la escorrentía a través de la relación precipitación escorrentía, se siguen los siguientes pasos:

- a) Se ubica la zona a la cual pertenece la cuenca y la que se le requiere estimar la escorrentía según el mapa de la figura 3.12.
- b) Se multiplica la precipitación por el coeficiente correspondiente por zona y período a analizar (mes o año), según tabla 3.4.

Escorrentía en océanos.

La cantidad de agua que es "almacenada" en los océanos por largos períodos de tiempo, es mucho mayor a la que actualmente se encuentra en movimiento en el ciclo del agua. Se estima que de los 1.386.000.000 kilómetros cúbicos que hay de agua en la Tierra, alrededor de 1.338.000.000 kilómetros cúbicos son almacenados en los océanos. Esto es, alrededor de un 96.5%. También se estima, que los océanos proveen de un 90% del agua que se evapora hacia la atmósfera.

En los océanos existen corrientes que mueven grandes masas de agua alrededor de la Tierra, estos movimientos tienen una gran influencia tanto en el ciclo del agua como en el clima (ya que los océanos afectan directamente en la temperatura atmosférica y son los mayores aportadores del agua por evaporación).



Figura 3.12. Mapa para la aplicación de factores de relación precipitación-escorrentía en el cálculo de la escorrentía.

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, 2005, página 50. (Figura modificada).

SUBSISTEMA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

La entrada a este subsistema proviene básicamente de la infiltración. Parte del volumen infiltrado al subsuelo percola (paso lento de fluidos a través de los materiales porosos) a mayor profundidad, llegando al almacenamiento del agua subterránea; la otra parte se almacena en la región intermedia entre la superficie del terreno y el almacenamiento de agua subterránea de mayor profundidad. En las dos zonas mencionadas del subsuelo tiene lugar el desplazamiento del agua: en el primer caso, se trata del flujo subterráneo, y en el segundo caso, se trata del flujo subsuperficial. El flujo subterráneo puede abarcar grandes extensiones y actuar como una salida del agua subterránea al océano o a otros sistemas regionales. El flujo subsuperficial es generalmente local y es un proceso importante entre diferentes variables dentro del subsistema; este flujo también se puede convertir en una salida del subsistema por medio de la evapotranspiración. Se estudiará con más detalle este subsistema en el capítulo V de Hidrogeología.

3.2.3. LA CUENCA HIDROGRÁFICA.

CUENCA.

Una cuenca es el territorio ó espacio de terreno que está limitado por cerros, partes elevadas y montañas ; de los cuales se configura una red de drenaje superficial que en presencia de la precipitación ó lluvias, forma el escurrimiento de un río, para conducir sus aguas a un río más grande y posteriormente a un lago ó mar. (Castaneda Romero, L. F.; Villalta Rodríguez, C. A. 2003).

La cuenca es drenada por un único sistema fluvial compuesto por numerosos ríos, quebradas, riachuelos, etc. Sus límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. El tamaño y forma de una cuenca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno.

CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA.

Existen diferentes parámetros que caracterizan una cuenca y para mejor comprensión de cada uno de ellos es necesario dividirlos en varios tipos de características como son: Delimitación (parteaguas), características geométricas, características de la red de drenajes, características de la corriente principal, características topográficas y características de comparación. A continuación se detalla cada una de ellas:

Delimitación de una cuenca (parteaguas).

El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. Algunas consideraciones para el trazo del parteaguas son las siguientes:

- ✓ *El parteaguas corta ortogonalmente a las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor nivel topográfico.*
- ✓ *En zonas en las que la elevación se incrementa, corta a las curvas de nivel por la parte convexa.*

- ✓ *En zonas en las que la elevación disminuye, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava. (véase figura 3.13)*
- ✓ *El parteaguas nunca corta una corriente, excepto en un punto de interés de la cuenca (generalmente el punto de desagüe).*

En el desarrollo de esta investigación los parteaguas se trazaron de manera automática a partir de las coberturas creadas en ArcMap 10 versión de prueba y luego fueron afinados de forma manual siguiendo las consideraciones antes prescritas.

Características geométricas de una cuenca.

Las características geométricas son: área, perímetro, ancho promedio, y longitud axial. Se definen de la siguiente manera:

1. Área (A).

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas. Se expresa en kilómetros cuadrados, es quizá el parámetro más importante ya que tiene relación directa con la cantidad de precipitación que drena la cuenca y consecuentemente en la magnitud de los caudales. Se puede calcular directamente sobre un plano topográfico mediante un planímetro, por descomposición geométrica o utilizando un software.

2. Perímetro (P).

El perímetro de una cuenca se define como la longitud del parteaguas, se expresa en kilómetros. El valor del perímetro puede determinarse mediante uso de software ó directamente sobre el plano utilizando un curvómetro.

3. Longitud Axial (L_{axial}).

La longitud axial se define como la longitud de más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta tocar el parteaguas, paralela al cauce principal. En otras palabras es la distancia de una línea recta que une los dos puntos más distantes de la cuenca en la dirección del cauce principal. (Véase figura 3.13)

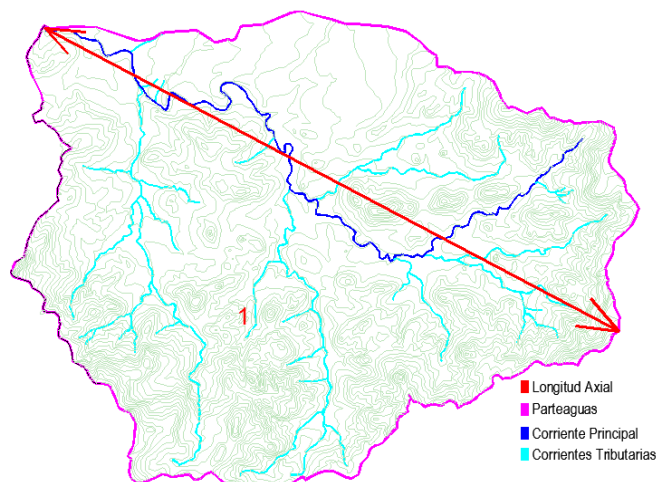


Figura 3.13. Definición del parteaguas y longitud axial de la cuenca del río Muca, Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia.

4. Ancho promedio (B).

Es la relación entre el área y la longitud axial de la cuenca. Se calcula con la siguiente ecuación 3.20, $B \gg 1$ indica formas no alargadas de la cuenca.

$$B = \frac{A}{L_{axial}} \quad [3. 20]$$

Donde:

$B =$ Ancho promedio (km).

$A =$ Área de la cuenca (km^2).

$L_{axial} =$ Longitud axial de la cuenca (km).

Características de la red de drenajes de la cuenca.

Se denomina *red de drenaje* de una cuenca, al sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios.

Las características de la red de drenaje son: tipo de cuenca por su forma de drenar, tipo de corrientes, orden de las corrientes, número de las corrientes, longitud de las

corrientes, relación de la bifurcación, densidad de corrientes, densidad de drenaje, coeficiente de estabilidad, longitud y pendiente de la corriente principal.

1. Tipo de cuenca por su forma de drenar.

Una cuenca puede clasificarse según su forma de drenar en:

-*Endorreica*: El punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

-*Exorreicas*: El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

2. Tipo de corrientes.

Las corrientes se clasifican de acuerdo al tiempo que transportan agua. Según esta clasificación, las corrientes pueden ser perennes, intermitentes o efímeras:

Perennes (efluentes): transportan agua durante todas las épocas del año, el nivel de agua subterráneo mantiene una alimentación continua y no desciende nunca debajo del lecho del cauce.

Intermitentes: transportan agua durante la época de lluvias cada año y el nivel de agua subterráneo asciende hasta quedar por encima del punto más bajo del cauce. En verano el escurrimiento cesa y ocurre sólo o inmediatamente después de las tormentas.

Efímeras (influentes): El nivel de agua subterráneo está siempre abajo del punto más bajo del cauce y transportan agua inmediatamente después de una tormenta, alimentando en este caso a los acuíferos.

3. Orden de las corrientes (u).

El orden de las corrientes se determina como se explica a continuación: Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una corriente de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, una de orden 3 tiene sólo tributarios de segundo orden, y así sucesivamente. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de

orden 3 forman una de orden 4, etc., pero, por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3.

El orden de la cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida. (Véase figura 3.14), es decir; para el caso del río Muca el orden de las corrientes es 4. Por medio del orden de las corrientes se pueden clasificar las unidades hidrológicas presentes en una región de acuerdo a la tabla 3.5 y las clases de orden de corrientes respecto a la tabla 3.6.

Tabla 3.5. Tamaño relativo de los sistemas hidrológicos.

<i>Unidad Hidrológica</i>	<i>Área</i>	<i># de Orden</i>
Micro-cuenca	10 - 100	1, 2, 3
Sub-cuenca	101 - 700	4, 5
Cuenca	>700	>6

Fuente: Ortiz (2002).

Tabla 3.6. Clases de orden de corriente.

<i>Rangos de ordenes</i>	<i>orden</i>
1 - 2	Bajo
2.1 - 4	Medio
4.1 - 6	Alto

Fuente: Fuentes J.J. (2004).

4. Número de las corrientes (*Nu*).

El número de corrientes es, como su nombre lo indica, el número de causes de cada orden.

5. Longitud de las corrientes (*Lc*).

Es la suma de la longitud de todas las corrientes en una cuenca, se expresa en kilómetros y puede obtenerse utilizando un software ó directamente en el plano con un curvómetro.

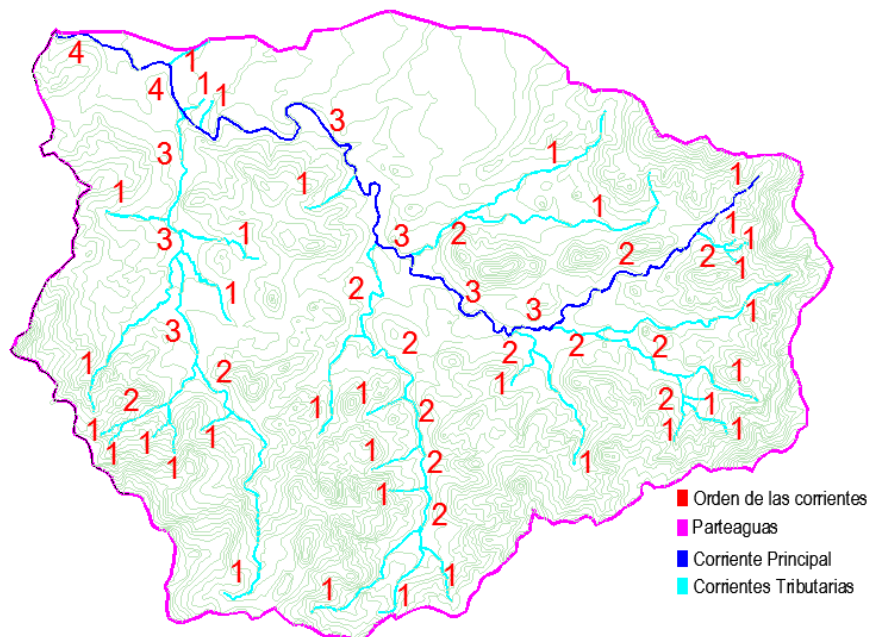


Figura 3.14. Orden de las corrientes (u). Cuenca del Río Muca, Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia.

6. *Relación de la bifurcación (Rb).*

R.E. Horton introdujo el concepto de Relación de bifurcación R_b para determinar el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de corrientes del siguiente orden superior, es decir:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad [3. 21]$$

El valor mínimo teórico de la relación es 2. Y los valores más comunes varían entre 3 y 5. Para el cálculo de la relación de bifurcación se sigue el siguiente procedimiento basado en el criterio numérico propuesto por A. N. Strahler:

- ✓ Graficar N_u vrs. $\log N_u$.
- ✓ Obtener la ecuación tipo $y=bx+a$ de la gráfica.
- ✓ $R_b = \log^{-1}|b|$.

[3. 22]

7. Densidad de corriente (D_s).

Definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área. Este parámetro es uno de los indicadores del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca.

$$D_s = \frac{N_s}{A} \quad [3. 23]$$

Donde:

D_s = Densidad de Corriente.

N_s = Número de corrientes perennes e intermitentes.

A = Área de la cuenca expresada en km^2 .

8. Densidad de drenaje (D_d).

La densidad de drenaje se define como la longitud de corrientes por unidad de área.

$$D_d = \frac{L_c}{A} \quad [3. 24]$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje.

L_c = Longitud total de las corrientes de agua, en km.

A = Área total de la cuenca en Km^2 .

La densidad de drenaje se clasifica de acuerdo a la tabla 3.7 mostrada a continuación:

Tabla 3.7. Clases de densidad de drenaje.

<i>Rangos de drenaje</i>	<i>Clases</i>
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Fuente: Fuentes J.J. (2004).

9. Coeficiente de estabilidad (C_e).

La constante de estabilidad de un río, propuesta por Schumm (1956) es definida como el valor inverso de la densidad de drenaje, tal como se presenta a continuación:

$$C_e = \frac{1}{D_d} \quad [3. 25]$$

Donde:

C_e = Coeficiente de estabilidad.

D_d = Densidad de drenaje.

10. Longitud de la corriente principal (L_{cp}).

La corriente principal en una cuenca es a menudo la más larga y en cuencas exorreicas pasa por la salida de la misma. Una cuenca tiene una sola corriente principal.

La longitud de la corriente principal es la distancia medida en kilómetros, puede obtenerse por medio de un software o directamente sobre un plano utilizando un curvómetro.

11. Perfil de la corriente principal.

El perfil típico de los cauces naturales es cóncavo hacia arriba y se obtiene graficando la Longitud vs. Elevación del cauce principal.

12. Pendiente de la corriente principal (S).

Es uno de los indicadores del grado de respuesta de una cuenca en una tormenta ya que influye en la velocidad del flujo. En pendientes pronunciadas la velocidad del flujo es mayor que en pendientes menores. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir la pendiente media; por lo existen varios métodos de los cuales se desarrollan dos a continuación:

Método A: Pendiente Media.

La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud.

$$S_A = \frac{(\text{cota inicio de corriente} - \text{cota de salida de la corriente})}{L_{cp}} \times 100 \quad [3. 26]$$

Donde:

S_A = Pendiente de la corriente principal (%).

L_{cp} = Longitud de la corriente principal (km).

Método B: Pendiente compensada.

La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas abajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce, arriba y abajo de dicha línea (véase figura 3.15).

Las áreas pueden obtenerse mediante un software ó directamente sobre el plano mediante un planímetro.

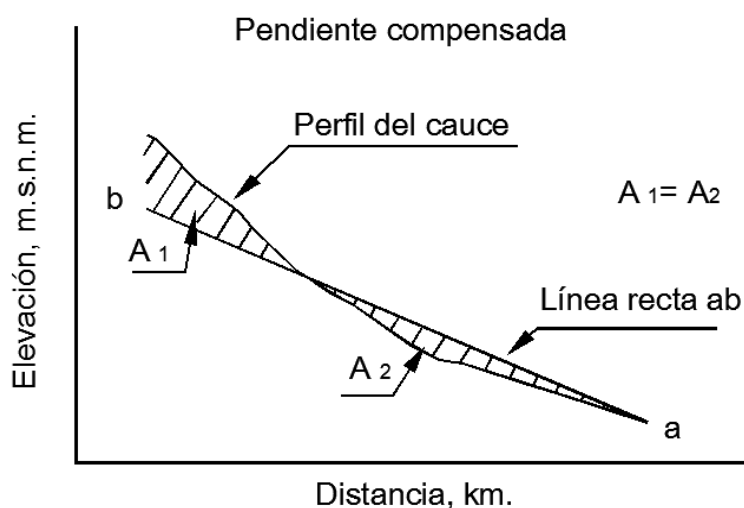


Figura 3.15. Esquema gráfico del método de pendientes compensadas.

Fuente: Aparicio Mijares, Fundamentos de la hidrología de la Superficie, Editorial LIMUSA, 1994, página 23.

Para evaluar la magnitud de la pendiente del cauce se ha tomado en cuenta los rangos mostrados en la tabla 3.8:

Tabla 3.8. Clases de valores de pendiente del cauce.

Rangos de pendiente	Clases
0.01 - 0.05	Suave
0.06 - 0.11	Moderada
0.12 - 0.17	Fuerte

Fuente: Fuentes J.J. (2004).

Características topográficas de una cuenca.

1. Elevaciones.

Elevación máxima (E_{max}): es la elevación del punto más alto de la cuenca con respecto al nivel del mar, se expresa en metros sobre el nivel del mar.

Elevación mínima (E_{min}): es la elevación del punto más bajo de la cuenca con respecto al nivel del mar, se expresa en metros sobre el nivel del mar.

2. Pendiente de la cuenca (S_c).

Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. Existen distintos métodos para calcular la pendiente de la cuenca entre los cuales están: *Criterio de J.W. Alvord* y *curva hipsométrica*.

- Método A Criterio de J.W. Alvord: La pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro de ella, multiplicada por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca. Se calcula mediante la fórmula 3.27.

$$S_c = \frac{(D)L_{curvas}}{A} \quad [3.27]$$

Donde:

S_c = Pendiente de la cuenca .

D = Desnivel constante entre curvas de nivel (km).

L_{curvas} = Longitud total de curvas de nivel (km).

A = Área de la cuenca (km^2).

- Método B Criterio de R. E. Horton: consiste en el trazo de una malla de cuadrados sobre el plano, la cual es conveniente orientar en el sentido del cauce principal. Si la cuenca es de 250 km^2 o menos, se requiere por lo menos cuatro cuadrados por lado, aumentando su número según crezca el tamaño de la cuenca. En seguida se mide la longitud de cada línea de la malla dentro de la cuenca y se cuentan

las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel. La pendiente de la cuenca en cada dirección se evalúa con las ecuaciones 3.28 y 3.29:

$$S_x = \frac{n_x D}{L_x} \quad [3.28]$$

$$S_y = \frac{n_y D}{L_y} \quad [3.29]$$

$$S_c = \frac{S_x + S_y}{2} \quad [3.30]$$

Donde:

S_c = Pendiente media de la cuenca.

S_x , S_y = Pendiente adimensional de la cuenca en cada una de las direcciones de la malla de cuadrados.

n_x , n_y = Número total de intersecciones y tangencias de las líneas de la malla en la dirección x y , con las curvas de nivel, respectivamente.

L_x , L_y = Longitud total de las líneas de la malla en la dirección x e y , dentro de la cuenca, en km

D = Desnivel constante entre las curvas de nivel de la cuenca, en km.

3. Elevación media de la cuenca (E_m).

La elevación media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan el ciclo hidrológico de la cuenca; generalmente se encuentra una buena correlación entre este parámetro y otros índices de las cuencas de una región o área específica. Entre los métodos para el cálculo están: Red de puntos y curva hipsométrica.

Método A: Red de puntos

Consiste en utilizar una malla de cuadrados, de manera que del orden de 100 intersecciones queden comprendidas dentro de la cuenca, la elevación media se calcula como el promedio aritmético de las elevaciones de todas las intersecciones que estén dentro de la cuenca.

$$E_m = \frac{\sum \text{Elev}}{N^\circ \text{ Intersecciones}} \quad [3.31]$$

Donde:

E_m = Elevación media de la cuenca.

$\sum Elev$ = Suma de las elevaciones en cada intersección de la malla.

N° Intersecciones = Número de intersecciones de la malla dentro de la cuenca.

Las cuencas se pueden clasificar de acuerdo a la pendiente promedio y para ello se utilizará la tabla 3.9 mostrada a continuación:

Tabla 3.9. Clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente promedio de laderas.

<i>Pendiente media %</i>	<i>Tipo de terrenos</i>
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
20 - 35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy fuerte
50 - 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: Ortiz (2002).

Método B: Curva Hipsométrica.

La curva hipsométrica representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. Se construye determinando el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación, en función de tal cota.

A partir de la curva hipsométrica se puede determinar fácilmente la denominada elevación mediana de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca. Véase figura 3.16.

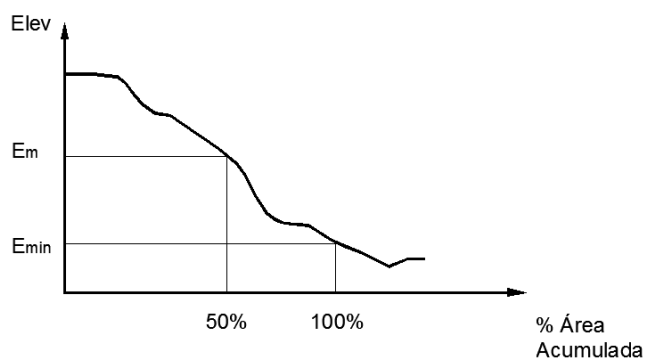


Figura 3.16. Curva hipsométrica de una cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

Características de Comparación de una cuenca.

Estas características sirven para comparar la velocidad de respuesta de una cuenca con otra, asimismo establecer una comparación geométrica. Entre estas características tenemos: tamaño y forma de la cuenca, coeficiente de compacidad ó índice de Gravelius, rectángulo equivalente, relación de elongación, factor de forma.

1. Tamaño y forma de la cuenca.

El tamaño de una cuenca puede compararse en base a la tabla 3.10 y su forma en base a la figura 3.17.

Tabla 3.10. Clasificación de una cuenca por su tamaño.

Tamaño de la Cuenca (km²)	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-Grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

Fuente: Campos, 1992.

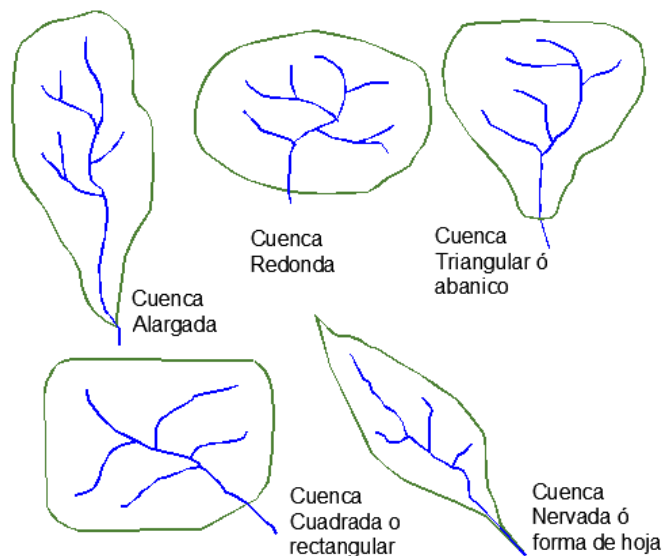


Figura 3.17. Tipo de cuenca según su forma.

Fuente: UES, Apuntes de clases de Cátedra Hidrología, 2007.

2. *Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (K_c).*

El coeficiente de compacidad nos indica el grado de redondez o alargamiento de la cuenca, por lo que se relaciona únicamente con la forma de ésta. Es un número adimensional y sus valores son mayores o iguales a uno (1). Si el valor de K_c está entre 0 y 1 ($0 \leq K_c < 1$) la cuenca tiende a ser redonda y por el contrario si K_c es mayor que 1 ($K_c > 1$) la cuenca tiende a ser alargada. Al relacionar dos o más cuencas cuyos factores de compacidad sean iguales o aproximadamente iguales, se puede pensar que ambas tienen características de forma igualmente irregulares. Este coeficiente se calcula basado en la ecuación 3.12 siguiente:

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad [3. 32]$$

Dónde:

K_c = Coeficiente de compacidad (adimensional).

P = Perímetro de la cuenca (km^2).

A = Área de la cuenca (km^2).

3. Relación de elongación (Re).

Es el cociente adimensional entre el diámetro (d) de un círculo que tiene igual área que la cuenca (A) y la longitud axial de la misma. Entonces:

$$Re = \frac{d}{L_{axial}} = \frac{1.1284\sqrt{A}}{L_{axial}} \quad [3.33]$$

Donde:

Re = Relación de elongación (adimensional).

A = Área de la cuenca en km .

L_{axial} = Longitud axial de la cuenca.

4. Rectángulo Equivalente.

Este parámetro fue introducido por un conjunto de hidrólogos franceses como un intento de comparar la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía.

El rectángulo construido con los lados “ l ” (lado menor) y “ L ” (lado mayor) tendrá la misma área que la de la cuenca. Las curvas de nivel se situaran paralelas al lado menor del rectángulo representando la hipsometría natural de la cuenca. La característica más importante del rectángulo equivalente es que tiene igual distribución de alturas que la curva hipsométrica de la cuenca.

Las longitudes del rectángulo equivalente se calculan a partir de las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{K_c^2}} \right] \quad [3.34]$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{K_c^2}} \right] \quad [3.35]$$

Donde:

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente en km .

l = Longitud del lado menor del rectángulo equivalente en km .

A = Área de la cuenca.

K_c = Coeficiente de compacidad.

5. *Factor de Forma (Kf).*

Es la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca.

Comparando dos a más cuencas que poseen características físicas iguales, tendrá mayor drenaje aquella que posea el factor de forma más elevado. El factor de forma se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{B}{L_{axial}} \quad [3. 36]$$

Dónde:

K_f = *Factor de forma.*

B = *Ancho promedio de la cuenca (km).*

L_{axial} = *Longitud del cauce principal de la cuenca (km).*

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE EL SALVADOR.

EL CLIMA.

El Salvador está ubicado en el cinturón de clima tropical entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, lo que le brinda unas condiciones térmicas similares a lo largo del año, con variaciones diurnas y nocturnas las cuales son más importantes que las variaciones mensuales. A nivel mensual se producen oscilaciones en las precipitaciones y existen dos épocas climáticas marcadas: la época lluviosa y la época seca.

Los factores que condicionan el régimen climático del país son:

- *El relieve.*
- *La Zona de Convergencia Intertropical.*
- *Los vientos Alisios.*
- *Las ondas tropicales o del Este.*
- *La influencia de la brisa marina del océano Pacífico.*
- *El anticiclón subtropical del Atlántico o de las Islas Bermudas.*
- *Los frentes fríos desplazados por masas de aire frío y continental de origen polar.*
- *Los centros térmicos débiles de baja presión atmosférica.*
- *Los sistemas ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes.*

Sin embargo, los aspectos más importantes del clima en El Salvador son: temperatura, precipitaciones, vientos y se describen a continuación.

TEMPERATURA:

La temperatura media anual es de 24.8 °C, presentándose la temperatura media más baja en los meses de diciembre (23.8 °C) y enero (23.9 °C) debido a la influencia que ejercen los vientos fríos, por las incursiones de aire frío proveniente del Norte, mientras que el mes más cálido es abril (26.4 °C). (SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, 2005).

PRECIPITACIONES.

La época seca se presenta entre los meses de noviembre y abril, en la que existe escasa presencia de precipitaciones, mientras que la época lluviosa se extiende entre los meses de mayo a octubre, con un período de reducción entre los meses de julio y agosto conocido como canícula; históricamente el mes más lluvioso es el mes de septiembre seguido por el mes de junio.

El origen de las lluvias que se presentan en el país es el siguiente:

- **Orográfico:** Estas se originan en la zona de barlovento de las cadenas montañosas del norte y costera.
- **Convectiva:** Se genera debido al calentamiento de masas de aire, lo que originan precipitaciones fuertes y rápidas generalmente se presentan en horas de la tarde en especial durante los primeros meses de la época lluviosa.
- **Ciclónicas:** Son originadas por sistemas atmosféricos como ondas tropicales, bajas presiones y vaguadas, así como por la influencia o acercamiento de la zona de convergencia intertropical, que afectan al país especialmente en los últimos meses de la época lluviosa, lo que origina temporales de varios días consecutivos.

Por otro lado, el país es afectado periódicamente por el fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). El fenómeno del Niño genera retraso de la llegada de la estación lluviosa y un período más corto de la misma, así como una disminución en su cantidad, y una prolongación de la canícula. (SNET, 2005).

VIENTOS.

El Salvador está sometido a la influencia de los vientos alisios del noreste, afectando con mayor intensidad a las zonas de mayor altura. También se identifican vientos de carácter local, originados por diferencias de temperatura a escala menor: las brisas mar-tierra y las brisas montaña-valles y los Vientos Nortes. A continuación se detalla cada uno de ellos:

- Las **brisas mar-tierra**: Poseen dos direcciones, la primera se produce en sentido océano-tierra el cual se da durante el día, debido al gran calentamiento que se da en la superficie terrestre, que provoca una zona de menor presión; mientras, sobre la superficie del océano Pacífico, que se encuentra más fría, se genera una zona de mayor presión, lo que provoca que el aire circule en ese sentido. Durante las noches se produce el fenómeno contrario, debido a la rápida pérdida de calor del continente y el mayor calentamiento de la masa de agua del océano.
- Los **vientos montaña-valle**: También poseen dos direcciones en función del momento del día. Durante el día las zonas más altas del país se calientan más rápidamente que los valles y mesetas, por lo que se generan vientos locales que soplan desde los valles y mesetas hacia las zonas altas. Cuando llega la noche las zonas altas del país se enfrían rápidamente, mientras que las zonas bajas pierden lentamente el calor acumulado durante el día, por lo que las brisas soplan desde las zonas montañosas hacia los fondos de los valles y mesetas, suavizando las temperaturas nocturnas.
- Los **vientos Norte**: Estadísticamente su aparecimiento ocurre durante el mes de octubre, ocasionados por la incursión de una célula de alta presión, procedente de América del Norte, presentándose con intensidades y características de débiles a moderadas (de 10 a 30 Km/h). Durante los meses de noviembre y diciembre, los vientos Nortes, siempre se manifiestan alcanzando intensidades máximas durante noviembre. Dichos sistemas de alta presión anulan la actividad lluviosa ya que se oponen al desplazamiento de las Ondas del Este, secando el aire e impidiendo los procesos de condensación de vapor de agua y formación de nubes. Sin embargo, en los últimos años se ha observado que la incursión de estas células se ha presentado después de finalizado el mes de octubre. (SNET, 2005).

3.4. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL EMPLEADO EN EL CANTÓN SAN JOSÉ.

El objetivo de este estudio hidrológico es determinar las características morfométricas, climatológicas y de escorrentía superficial, con que cuentan las regiones hidrológicas que componen la zona de estudio. Se tomaron como datos de referencia las coberturas creadas a partir de los cuadrantes topográficos del CNR antes mencionados, datos de precipitación y temperatura proporcionados por la DGOA y el Balance Hídrico Integrado y Dinámico 2005, elaborado por el SNET.

A partir de las coberturas de curvas de nivel se creó una superficie (en ArcMap 10), sobre la cual se crearon las coberturas de los parteaguas que delimitan las regiones hidrológicas, se interpolaron las elevaciones de las coberturas de red de drenaje, curvas de nivel, para que con ello el programa calculara longitudes, áreas y elevaciones de cada entidad; y determinar así las características morfométricas de cada región, ver Anexo D: Memoria de cálculo de Características Morfométricas.

En cuanto a los datos climatológicos, éstos se calcularon en base a los registros de las estaciones meteorológicas Concepción Quezaltepeque (G-12), Chorrera de Guayabo (B-1) y Cerrón Grande (B-10). Al realizar el método de los polígonos de Thiessen se determinó que las estaciones que ejercen influencia sobre la zona de estudio son la G-12 y B-10, teniendo aún mayor influencia la primera, ver tabla 3.13, mientras que debido a la elevación, tiene mayor influencia en los datos de temperatura la estación B-10. Los datos de evapotranspiración fueron calculados en base a las temperaturas antes mencionadas, relacionando la Tabla de Radiación solar extraterrestre mensual para latitudes norte de 14 grados, (propuesta por Allen et al., 1998) y la fórmula de Hargreaves simplificada, utilizando el coeficiente K_T el que es de 0.17, el que es utilizado frecuentemente como valor medio. Por otra parte, a los datos de escorrentía superficial se tomó de referencia el Modelo Escorrentía-Precipitación, propuesto por el SNET, en el Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, para cuencas en las que no se tienen estaciones hidrométricas dentro de su área.

3.5. CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS, CLIMATOLÓGICAS Y DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LIMÍTROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

3.5.1. CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LAS REGIONES HIDROGRÁFICAS COMPONENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está compuesta principalmente por la región hidrográfica del Río Muca, basado en la clasificación propuesta por Ortiz (2002) ver tabla 3.5. Esa área se reconoce como una Sub-cuenca por el orden de corrientes predominante, el río Muca drena sus aguas al río Tamulascó y éste desemboca en el río Lempa a la altura del Embalse Cerrón Grande. También se analizan las sistemas hidrológicos de las Quebradas Oliva, El Chaparro y Quebradas Sin Nombre, las cuales drenan sus aguas directamente al Embalse, según dicha clasificación se denominan microcuencas; al unir estas regiones quedan dentro de ellas 4 regiones que no poseen cauce, y una de ellas drena sus aguas directamente al Río Tamulascó, mientras que las otras tres al Embalse Cerrón Grande. La división total de la zona de estudio se muestra en la figura 3.18.



Figura 3.18. Delimitación de las regiones hidrográficas componentes de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11. Características Morfométricas de las Regiones Hidrográficas que componen la zona de estudio.

PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	Nomenclatura		REGIONES HIDROGRÁFICAS							
			Rio Muca	Quebrada Oliva	Quebrada Sin Nombre	Quebrada El Chaparro	Drenaje Rio Tamulasco	Drenaje Embalse 1	Drenaje Embalse 2	Drenaje Embalse 3
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS										
Área	A	(km ²)	16.6904	1.8388	2.3893	0.3193	0.2806	0.2515	1.3086	0.3663
Perímetro	P	(km)	18.3550	6.7040	6.7980	2.4830	3.3410	3.1000	9.1130	3.5420
Longitud Axial	L _{axial}	(km)	5.7597	2.1745	2.0725	0.7439	1.2260	1.2690	1.8150	0.9097
Ancho Promedio	B	(km)	2.8978	0.8456	1.1529	0.4293	0.2288	0.1982	0.7210	0.4027
CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJES										
Tipo de cuenca			Exorreica				-	-	-	-
Tipo de corrientes			Intermitentes				-	-	-	-
Orden de las corrientes	u		4	3	2	1	-	-	-	-
Número de las corrientes	N _u		43	10	5	1	-	-	-	-
Longitud de las corrientes	L _{co}	(km)	34.572	4.636	7.07	0.578	-	-	-	-
Relación de la bifurcación	R _b		3.2359	2.6454	4	2	-	-	-	-
Densidad de Corrientes	D _s	(1/km ²)	2.5763	5.4383	2.0927	3.1315	-	-	-	-
Densidad de Drenaje	D _d	(1/km)	2.0713	2.5212	2.9590	1.8100	-	-	-	-
Coefficiente de estabilidad	C _e		0.4828	0.3966	0.3379	0.5525	-	-	-	-
CARACTERÍSTICAS DE LA CORRIENTE PRINCIPAL										
Longitud de la corriente principal	L _{cp}	(km)	7.8460	1.8880	2.4460	0.5780	-	-	-	-
Pendiente de la corriente principal										
Método A	S	%	1.5230	4.7669	5.1104	6.9204	-	-	-	-
Método B	S	%	0.9284	3.6017	3.6017	5.3633	-	-	-	-

A continuación se muestra la tabla 3.11, que resume las características morfológicas de las regiones hidrográficas a estudiar.

Continuación tabla 3.11. Características Morfométricas de las Regiones Hidrográficas que componen la zona de estudio.

PARÁMETRO MORFOMETRICO	Nomenclatura	REGIONES HIDROGRÁFICAS							
		Rio Muca	Quebrada Oliva	Quebrada Sin Nombre	Quebrada El Chaparro	Drenaje Rio Tamulasco	Drenaje Embalse 1	Drenaje Embalse 2	Drenaje Embalse 3
CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS									
Elevación máxima	E _{max} m.s.n.m.	540.00	550.00	550.00	340.00	300.00	280.00	300.00	340.00
Elevación mínima	E _{min} m.s.n.m.	255.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00
Pendiente de media la cuenca	S _c %	13.33	32.27	15.79	16.59	11.81	8.53	17.63	20.28
Elevación media de la cuenca									
Red de puntos	E _m m.s.n.m.	340.50	335.80	296.90	274.30	261.40	250.60	260.60	261.20
Curva hipsométrica		334.00	328.0	288.00	277.50	262.50	254.00	253.00	260.50
CARACTERISTICAS DE FORMA									
Tamaño de la cuenca	Muy pequeña								
Coefficiente de compacidad	K _c	1.2580	1.3843	1.2314	1.2303	1.7662	1.7307	2.2306	1.6386
Relación de elongación	R _e	0.8004	0.7037	0.8416	0.8572	0.4875	0.4460	0.7112	0.7507
Rectángulo equivalente	L	6.6783	2.6610	2.4059	0.8777	1.4811	1.3658	4.2485	1.5319
Factor de Forma	K _f	0.5031	0.3889	0.5563	0.5770	0.1867	0.1562	0.3972	0.4426

Fuente: Elaboración propia. Ver Anexo D: Memoria de cálculo de características Morfométricas de la Subcuenca del Río Muca.

3.5.2. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio da origen a 8 sistemas hidrológicos, las regiones más importantes son Rio Muca, Quebrada Oliva y Quebrada Sin Nombre, que forman una configuración radial al Cerro Oliva. Algunas de las características más sobresalientes son:

Características geométricas de la cuenca.

En términos de área de la superficie, las regiones pueden clasificarse de acuerdo a la tabla 3.10

Las regiones en estudio son sistemas hidrológicos muy pequeños; en términos de área la Subcuenca del Rio Muca es la más importante porque representa el 71.19% del área total, lo que se traduce como la mayor cantidad de precipitación recogida o el mayor aporte de agua al sistema en un período concreto de tiempo, tomando en cuenta que es escasa la variación de precipitación en toda la zona de estudio, por el hecho de ser un área muy pequeña, es decir todas las regiones presentes reciben equivalentes cantidades de precipitación en el período lluvioso y el área es el parámetro que incide en la proporción de entrada de agua al sistema.

El perímetro de las regiones estudiadas presenta dos tipos de bordes en las líneas divisorias: redondeados y ondulados, que coinciden con la geología de la zona; los bordes ondulados de los perímetros manifiestan cierta dureza en los materiales que componen el sitio, exceptuando la zona límite inundable del embalse; los bordes redondeados indican materiales blandos. En la parte alta de cada región predominan los bordes ondulados del perímetro y en la zona baja los bordes redondeados que coinciden a formaciones piroclásticas efusivas como materiales blandos.

Características de la red de drenajes de la cuenca.

En todas las regiones predomina la forma de drenar exorreica y el tipo de corrientes intermitentes. Los sistemas hidrológicos en función del orden de las corrientes se pueden

clasificar de acuerdo a la tabla 3.5. Las unidades hidrológicas identificadas son: Subcuenca Rio Muca, Microcuencas Quebrada El Chaparro, Quebrada Oliva y Quebrada sin nombre. El orden de las corrientes en las unidades hidrológicas varía de medio a bajo, clasificado en relación a la tabla 3.6.

El patrón de la red de drenaje predominante es el sub-dendrítico indicado por los valores altos de la relación de bifurcación, determinado por la escasa cobertura vegetal.

La densidad de drenaje de las unidades hidrológicas se clasifica mediante la tabla 3.7. En la subcuenca del Rio Muca prevalece una densidad de drenaje moderada, por lo que puede decirse que en la zona predomina una moderada densidad de drenaje, lo que conlleva a una eficiencia y velocidad en el transporte moderada, refleja una zona medianamente drenada que debería responder, con valores medios de reacción, al flujo de la precipitación; además indica escurrimiento y erosión moderadas y mediana capacidad de infiltración en el suelo.

Características de la corriente principal de la cuenca.

Las longitudes de las corrientes principales son cortas en relación al área de las regiones, por lo que la respuesta del sistema hidrológico es rápida ante la precipitación, aunque la velocidad del flujo depende también de la pendiente, y cuyos valores se clasificaron de acuerdo a la tabla 3.8. La pendiente de los causes principales en la zona de estudio se clasificaron como pendiente suave, por lo que las velocidades del flujo son lentas.

La pendiente media, indica, también, el aspecto de la variación de algunas características físicas, químicas y biológicas de las aguas. En este sentido, por ejemplo, una corriente de pendientes pronunciadas tendrá siempre aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la mayor turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte. En conexión con el contenido de oxígeno y la mineralización, las condiciones biológicas serán a su vez, más favorables. En el caso de la región analizada, ésta posee pendientes que favorecen poco, incluso a los procesos de dilución de algún contaminante.

Características topográficas de la cuenca.

Las elevaciones máximas y mínimas en la zona varían desde 240 m.s.n.m hasta 550 m.s.n.m lo que significa una diferencia de elevaciones de 310m, una diferencia altitudinal baja que implica homogeneidad climática y ecológica, es decir; que las características climáticas en la parte alta del sistema son similares a las del punto más bajo.

La pendiente de la cuenca es otro factor topográfico de relevancia, se ha clasificado de acuerdo con la tabla 3.9. La pendiente de las regiones se clasificó en los rangos tipo de terreno mediano, lo que significa que las velocidades de escurrimiento en la superficie de la unidad hidrológica implica que no favorece completamente la infiltración por circular a cierta velocidad.

Características de comparación de la cuenca.

Los índices de compacidad de la zona estudiada son mayores que “1” de manera que podemos considerar que las regiones tienen una forma ovalada. Teniendo en cuenta que cuanto más redonda es una cuenca más tarda la onda de crecida en llegar a la desembocadura, pero al mismo tiempo más elevado es el caudal máximo, por lo que en las regiones hidrográficas estudiadas, las características morfométricas relativas a la compacidad no intensifican el vigor de las crecidas, al menos en la desembocadura. La razón de elongaciones obtenidas son próximas a lo que implican formas no tan alargadas.

3.5.3. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

CLIMA.

De acuerdo a las dos clasificaciones climática más utilizadas elaboradas por Köppen y Sapper-Lauer, la zona de estudio tienen un clima que se clasifica como Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente respectivamente; por estar comprendida su elevación entre los 240 y 550 m.s.n.m. (Según SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico, 2005).

Temperatura.

Las temperaturas que corresponden a este tipo de clima oscilan entre los 22 y 28 °C, con extremo absoluto de 38 °C. (Según SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico, 2005). Las temperaturas máximas y mínima mensuales para la estación Cerrón Grande (B-10), se presentan en la tabla 3.12, los cuales se consideran similares para la zona de estudio, ya que es la estación más cercana y está ubicada a 325 m.s.n.m. que tiene una elevación comprendida entre las que posee la zona de estudio.

Tabla 3.12. Temperaturas máximas, mínimas y promedio mensual y anual de estación Cerrón Grande (B-10), en °C.

	Mes												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Máximo absoluto	35	37	38	38	35	33	33	32	31	32	33	34	38
Mínimo absoluto	18	19	21	22	22	22	21	21	21	21	19	18	18
Promedio	27	28	30	30	29	28	27	27	26	27	26	26	28

Fuente: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/perfiles+climatologicos/>, julio 2012.

Precipitación.

La precipitación media anual dentro de la zona de estudio se estima en 2,229 mm, que se ha calculado estimando el porcentaje de influencia que tiene sobre esta área las estaciones pluviométricas *Concepción Quezaltepeque (G-12)* y *Cerrón Grande (B-10)*, con datos de precipitación en el período comprendido desde enero de 1975 a diciembre 2011. En la tabla 3.13, se presentan los datos de precipitación promedio mensual y anual para las estaciones y para la zona de estudio.

Tabla 3.13. Precipitación promedio mensual y anual, en mm. de estaciones Concepción Quezaltepeque y Cerrón Grande.

Estación	% Influencia	Mes												Anual
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Concepción Quezaltepeque (G-12)	92	3	5	16	83	247	390	325	346	402	244	54	51	2166
Cerrón Grande (B-10)	8	2	2	16	75	228	335	298	303	348	208	48	9	1871
Precipitación promedio en zona de estudio		3	5	16	82	245	386	323	343	397	241	53	48	2142

Fuente: Datos de precipitación proporcionados por DGOA, junio 2012.

Evapotranspiración potencial o de referencia. (Et₀)

La evapotranspiración potencial anual dentro de la zona de estudio se ha calculado en 2036.7 mm. Los valores de evapotranspiración mensual y anual se muestran en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Evapotranspiración potencial y anual de la zona de estudio, en mm.

	Mes												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
ETP	158.8	168.9	204.7	205.0	186.4	161.1	171.9	162.8	148.1	156.8	156.3	155.9	2036.7

Fuente: Elaboración propia calculada en base a datos de temperatura de tabla 3.12, y aplicando la fórmula simplificada de Hargreaves.

3.5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN.

ESCORRENTÍA.

Se exponen a continuación en la tabla 3.15, los coeficientes de relación de Escorrentía Superficial / Precipitación, propuestos para la zona 6 en el Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, ya que la región de estudio está contenida en dicha zona.

Tabla 3.15. Coeficientes de Relación Escorrentía Superficial - Precipitación (S/P), zona 6, en mm.

	Mes												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
S/P	1.11	1.15	0.18	0.06	0.07	0.20	0.30	0.28	0.42	0.63	0.65	1.23	0.31

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, 2005, página 50.

FLUJO BASE.

El flujo base de las quebradas que componen la zona de estudio se considera nulo, ya que son quebradas de invierno, en el caso del Río Muca, el flujo que presenta en época seca también es prácticamente nulo (tal como se muestra en la figura 3.19); se ha observado el alto grado de fisuras que poseen las rocas de la zona, lo que contribuye a la infiltración y una baja escorrentía superficial.



Figura 3.19. Fotografía del cauce del Río Muca en época seca, ubicado entre los Caseríos La Concepción y Agua Caliente, Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.

Fuente: Fotografía propia.

RÍOS.

En la zona de estudio se encuentran únicamente el Río Muca, y el Río Tamulasco, siendo el primero el único dentro de la zona de estudio y que durante la época seca presenta un flujo base prácticamente nulo. El segundo, constituye el límite norte de la zona de estudio en el que descarga sus aguas el Río Muca; el Tamulasco posee un flujo de agua permanente, según se puede observar en la figura 3.20.



Figura 3.20. Fotografía del flujo del Río Tamulasco en época seca, a 100 m de su desembocadura en Embalse Cerrón Grande.

Fuente: Fotografía propia.

MANANTIALES.

Se localizó un manantial dentro de la zona de estudio, ubicado en las faldas del cerro El Zope en el Municipio San Miguel de Mercedes, sobre la calle que conduce a Azacualpa; a este manantial se le determinó un caudal medio de 6.76 l/min, según los lugareños este manantial proporciona agua durante todo el año. En el lugar han construido una pequeña pila que sirve como obra de captación y unos lavaderos. En el invierno en algunos pozos artesanales su nivel de agua incrementa de tal manera que estos rebalsan, percibiéndose como si se tratase de manantiales.



Figura 3.21. Fotografía de obra de captación de manantial el Ojushte, Municipio de San Miguel de Mercedes, Departamento de Chalatenango.

Fuente: Fotografía propia.

CAPÍTULO IV:
GEOFÍSICA APLICADA.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Las diferentes técnicas de la geofísica son aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda de algún elemento, lo cual es posible midiendo alguna de las propiedades físicas que contrasten con el medio circundante, efectuando dichas medidas desde la superficie del suelo, por ejemplo, en el método eléctrico de prospección se miden las resistividades aparentes de los materiales, por su parte, el método sísmico el parámetro físico que estudia es la velocidad de ondas mecánicas a través del subsuelo.

Entre las técnicas del método eléctrico está el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) que se fundamenta en la medición de resistividades aparentes en el subsuelo, inyectando corriente mediante electrodos conectados a un equipo fuente que registra los valores de resistividad. Para realizar un SEV existen varias configuraciones de los electrodos, la utilizada en este trabajo de investigación es la configuración tipo Schlumberger.

El presente capítulo “Geofísica Aplicada”, comprende un segmento de un estudio hidrogeológico, en el que se persigue determinar las litologías probables en profundidad de la zona de estudio que pudieran constituir un acuífero. Este capítulo aborda la temática con las siguientes secciones principales: Fundamentos de Geofísica Aplicada (4.2), Metodología de la Prospección Geofísica (4.3) y Resultados de la Prospección Geofísica (4.4). En la sección 4.2 se exponen los conceptos más relevantes que atañen a la Geofísica Aplicada. En la sección 4.3 se detalla la metodología adoptada en ésta investigación, describiendo las etapas del estudio realizado. En la sección 4.4 se muestran los resultados obtenidos de la campaña geofísica y de la interpretación de los datos obtenidos.

4.2. FUNDAMENTOS DE GEOFÍSICA APLICADA

4.2.1. DEFINICIÓN Y MÉTODOS DE PROSPECCION GEOFÍSICA.

GEOFÍSICA APLICADA.

Es un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda, localización y posterior estudio de sustancias de interés humano (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón etc.) delimitados por la diferencia de alguna de las propiedades físicas de los materiales con su entorno por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la tierra.

MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Las técnicas geofísicas más empleadas para trabajos de exploración son: Método sísmico, gravimétrico, magnético, eléctrico, electromagnético y en menor medida el método geotérmico y radiométrico, estos últimos implican la medición de la radiactividad y la temperatura en o cerca de la superficie de la tierra y el aire.

Algunos de estos métodos se utilizan casi exclusivamente en la búsqueda de petróleo y gas. Otros se utilizan principalmente en la exploración de minerales sólidos. La prospección sísmica y gravimétrica son las herramientas principales para la exploración de hidrocarburos, los métodos sísmicos y eléctricos son las dos herramientas principales para el uso de la exploración de minerales. La mayoría de ellos se pueden emplear para cualquier objetivo.

Método Gravimétrico.

Consiste en medir e interpretar las variaciones o anomalías del campo de la gravedad en la superficie terrestre, ocasionadas debido a la distribución heterogénea en profundidad de las masas del subsuelo. La eficiencia del método está relacionada con el conocimiento geológico de la zona, para establecer las diferencias de mayores o menores

densidades correspondientes a cada formación geológica. El efecto de variación de la gravedad en las formaciones geológicas está relacionado con el tipo de mineral que la compone y el espesor de capa.

Método Magnético.

Se basa en evaluar las variaciones de la distribución de fuerzas magnéticas en la corteza terrestre; anomalías causadas a consecuencia del magnetismo propio de los elementos pétreos del subsuelo, la acción inductora del campo magnético interno sobre las masas de la corteza y las corrientes eléctricas naturales que circulan a través de ésta. El método magnético es el más versátil de las técnicas de prospección geofísica porque las mediciones magnéticas son de bajo costo y fáciles de ejecutar, sin embargo; al igual que todos los métodos posibles, los métodos magnéticos carecen de originalidad de la interpretación.

Método Electromagnético.

Conocido con la designación EM, mide las variaciones de conductividad eléctrica aparente de la tierra en función de la profundidad y se fundamenta en el hecho de que un campo electromagnético producido por una antena o bobina por la que pasa una corriente alterna, se propaga a través del subsuelo, induciendo otras corrientes que se halle en su recorrido, cuando esto ocurre una fuerza electromotriz o un voltaje se genera dentro del conductor, según la Ley de Faraday. Las corrientes inducidas ocurren en las capas superficiales, las magnitudes y distribución están en función de la frecuencia del trasmisor, energía, geometría y de las propiedades eléctricas del subsuelo o conductor.

Método Sísmico.

Implica básicamente el mismo tipo de mediciones como en sismología. Sin embargo, las fuentes de energía son controladas y movibles, y las distancias entre la fuente y los puntos de registro son relativamente pequeñas. Los explosivos y otras fuentes de energía se utilizan para generar las ondas sísmicas y las matrices de sismómetros o geófonos se

utilizan para detectar el movimiento resultante de la tierra. Los datos normalmente se registran digitalmente en cinta magnética de modo que el tratamiento por ordenador puede ser utilizado para mejorar las señales con respecto al ruido, se extrae la información significativa y se muestra la interpretación geológica.

La técnica básica de la exploración sísmica consiste en generar ondas sísmicas y midiendo el tiempo requerido hasta llegar a geófonos, generalmente dispuestos a lo largo de una línea recta dirigida hacia la fuente. Desde el conocimiento de los tiempos de recorrido (reflexión sísmica) y la velocidad de las ondas (refracción sísmica), se intenta reconstruir las trayectorias de las ondas sísmicas.

Método Eléctrico.

Se fundamenta en la inyección artificial de una corriente continua o alterna en el suelo, que genera un campo, de cuyo potencial la intensidad y asimetría son condicionadas por la conductividad eléctrica del sustrato en profundidades previstas y controlables. Un equipo electrónico evidencia la resistividad en profundidades constantes (mapas de resistividades) o progresivas (sondeos eléctricos). Las técnicas más aplicadas en el método son: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), Calicatas Eléctricas y dipolo-dipolo. Los SEV son comúnmente aplicados a la interpretación geológica, grado de alteración, cubicación de materiales, contenido de agua y salinidad; al igual que Calicatas Eléctricas pero además en estos últimos al estudio de las variaciones laterales y la técnica Sondeos Dipolares en la determinación de las variaciones a lo largo de una sección.

Método Radiométrico.

Consiste en la medición de radioactividad de materiales, utiliza equipos que detectan la presencia de radiación, las actividades prospectivas por métodos radiactivos puede realizarse acorde a las dimensiones del objetivo, ya sea regional o local. El principal objetivo del método es la búsqueda de yacimientos de elementos radiactivos, pueden referirse a la prospección de otros elementos no radiactivos de interés económico pero que se hallen asociados paragenéticamente con los que sí lo son, aunque en la

determinación de los sectores de interés a partir del mapeo de valores debe tenerse presente la posible dispersión de elementos radiactivos en un área mayor a la del yacimiento.

Método Geotérmico.

La prospección geotérmica puede emplearse conjuntamente con otros métodos de prospección geofísica. Este método se fundamenta en la medición de las variaciones de temperatura (gradiente térmico) en el subsuelo. Se exploran regiones de la corteza que presentan estructuras constituidas por formaciones permeables que contienen agua líquida o vaporizada y las zonas activas, ubicadas en los límites de placas, divergentes y convergentes. Las profundidades de interés van de 500 a 2000 metros y el rango de temperaturas entre 150 y 300° C. El aprovechamiento de estos flujos térmicos deriva en distintas aplicaciones prácticas rentables.

4.2.2. PROPIEDADES ELECTRICAS DE LAS ROCAS.

La aplicación de los métodos eléctricos exige el conocimiento de las propiedades eléctricas de las rocas y de los minerales que las constituyen. El comportamiento físico de las rocas depende de las propiedades y modo de agregación de sus minerales y de la forma, volumen y relleno (generalmente agua o aire) de los poros. Las propiedades que interesan al geofísico son las de las rocas y minerales reales, tal como se encuentran en la naturaleza, con sus impurezas, fisuras, diaclasas, humedad, etc.

Las propiedades eléctricas de las rocas de interés en la investigación de aguas subterráneas son: Actividad electroquímica, constante dieléctrica, resistividad eléctrica (o la inversa, la conductividad eléctrica), y la resistividad eléctrica que es la más importante, mientras que las demás son de menor relevancia.

ACTIVIDAD ELECTROQUÍMICA.

Es la propiedad de las rocas de polarizarse al pasar por ellas la corriente eléctrica. Depende de la composición química de la roca, los espacios entre granos y concentración de los electrolitos disueltos en el agua subterránea que está en contacto con las rocas. La actividad electroquímica determina la magnitud y el signo del voltaje desarrollado cuando la roca está en equilibrio con el electrolito.

Debido a que la mayoría de las rocas son malos conductores, sus resistividades serían extremadamente grandes si no fuera que por lo general son porosas y los poros se llenan de fluidos, principalmente agua.

CONSTANTE DIELECTRICA “K”.

A veces llamada capacidad inductiva específica del medio. Es una medida de la polarización eléctrica resultante de un campo eléctrico aplicado. Esta polarización puede ser electrónica, iónica o molecular. Es característica de los materiales no conductores o dieléctricos. La constante dieléctrica es similar a la conductividad en formaciones porosas en que varía con la cantidad de agua presente (nótese que el agua tiene una constante dieléctrica muy grande) ver tabla 4.1. La constante dieléctrica de las rocas es función de la de sus componentes químicos, de los porcentajes de éstos que la conforman y de la distribución granulométrica. El valor de la constante dieléctrica de las rocas y minerales puede depender de la presión y temperatura a que se haga la medición, así como de la frecuencia de la corriente empleada.

Tabla 4.1. Constantes dieléctricas de rocas y minerales.

ROCAS Y MINERALES	CONSTANTE DIELECTRICA (k)	ROCAS Y MINERALES	CONSTANTE DIELECTRICA (k)
Galena.	18	Obsidiana.	5.8 - 10.4
Esfalerita.	7.9 - 69.7	Azufre.	3.6 - 4.7
Casiterita.	23	Roca de sal.	5.6
Hematites.	25	Antracita.	5.6 - 6.3
Fluorita.	6.2 - 6.8	Yeso.	5 - 11.5
Calcita.	7.8 - 8.5	Biotita.	4.7 - 9.3

Continuación tabla 4.1. Constantes dieléctricas de rocas y minerales.

ROCAS Y MINERALES.	CONSTANTE DIELECTRICA (k).	ROCAS Y MINERALES.	CONSTANTE DIELECTRICA (k).
Apatito.	7.4 - 11.7	Epidota.	7.6 - 15.4
Barita	7 - 12.2	Plagioclasas.	5.4 - 7.1
Peridotita.	8.6	Cuarzo.	4.2 - 5
Norita.	61	Granito (seco).	4.8 - 18.9
Pórfido de cuarzo.	14 - 49.3	Gabro.	8.5 - 40
Diabasa.	10.5 - 34.5	Diorita.	6.0
Trap.	18.9 - 39.8	Serpentina.	6.6
Dacita.	6.8 - 8.2	Gneis.	8.5
Petróleo.	2.07 - 2.14	Agua (20°C).	80.36
Hielo.	3 - 4.3	Basalto.	12
Piedra arenisca (Seco a húmedo).	4.7 - 12	Suelo (Seco a húmedo).	3.9 - 29.4
Arena compacta (Seco a húmedo).	2.9 - 105	Arcillas (Seco a húmedo).	7 - 43

Fuente: Telford et al., (1990).

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

La resistividad eléctrica de cualquier material se define como la resistencia, en menor o mayor grado al paso de la corriente eléctrica, por unidad de área y de longitud con una intensidad conocida. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ), en unidades de ohmios por metro, ($\Omega \text{ -m}$). Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de la corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es.

Una roca, en general, se comporta como un aislante eléctrico con resistividades eléctricas del orden de $10^5 \text{ -} 10^7 \text{ } [\Omega\text{-m}]$, exceptuando el caso de algunos metales de ocurrencia extraña con resistividades del orden de $10^{-5}\text{-}10^{-7} \text{ } [\Omega\text{-m}]$ (La resistividad del cobre comercial por ejemplo es $1.72 \times 10^{-8} \text{ } [\Omega\text{-m}]$).

La resistividad de una roca no depende solo de su litología, sino que también de su capacidad de alojar en sus poros, soluciones salinas que favorezcan la conducción eléctrica a través de iones en solución. Para la resistividad de una roca, resultan entonces importantes factores como su porosidad, salinidad de las soluciones, compactación y variables de ambiente como presión y temperatura.

Factores que afectan la resistividad de las rocas.

- *Porosidad:* Es el cociente entre el volumen de poros y el volumen total. En ambientes someros cerca de la superficie terrestre, la porosidad de las rocas está ocupada por soluciones acuosas que facilitan la conducción iónica. La resistividad eléctrica disminuye con mayor interconexión entre poros y en general se tiene que a mayor porosidad efectiva menor es la resistividad.
- *Salinidad de las soluciones acuosas:* A mayor salinidad de las soluciones, mayor es el contenido de iones que pueden conducir corriente eléctrica.
- *Porcentaje de Saturación:* Es el porcentaje del volumen de poros ocupado por soluciones acuosas. Si los poros no están ocupados por soluciones acuosas, el medio tendrá una mayor resistividad.
- *Temperatura:* A mayor temperatura, disminuye la viscosidad de las soluciones acuosas, facilitando la movilidad de los iones y por lo tanto, disminuye la resistividad.
- *Presión:* Para rocas sedimentarias, a mayor presión, aumenta el grado de compactación, disminuyendo la porosidad y aumentando potencialmente la resistividad. Mientras que para rocas muy compactas (rocas ígneas y metamórficas) la presión provoca fracturación, disminuyendo potencialmente la resistividad de las rocas.

En las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan diferentes valores de resistividades para distintos materiales.

Tabla 4.2. Resistividad de las aguas naturales.

TIPO DE AGUA.	RESISTIVIDAD (Ω -m).
Agua de lagos y arroyos de alta montaña.	10^3 a 3×10^3
Aguas dulces superficiales.	10 a 10^3
Aguas salobres superficiales.	2 a 10
Aguas subterráneas.	1 a 20
Agua de lagos salados.	0.1 a 1
Aguas marinas.	~0.2
Aguas de impregnación de rocas.	0.03 a 10

Fuente: Orellana (1982)

Tabla 4.3. Resistividades de algunas rocas.

TIPO DE ROCA.	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω -m).
Pórfido granítico.	4.5×10^3 (húmedo) – 1.3×10^6 (seco)
Pórfido feldespático.	4×10^3 (húmedo)
Sienita.	10^2 – 10^6
Pórfido de diorita.	1.9×10^3 (húmedo) – 2.8×10^4 (seco)
Porfiro.	10 - 5×10^4 (húmedo) – 3.3×10^3 (seco)
Pórfido carbonatado.	2.5×10^3 (húmedo) – 6×10^4 (seco)
Diorita de cuarzo.	2×10^4 – 2×10^6 (húmedo) – 1.8×10^5 (seco)
Pórfido (varios).	60 - 10^4
Dacita.	2×10^4 (húmedo)
Andesita.	4.5×10^4 (húmedo) – 1.7×10^2 (seco)
Diabasa (varios).	20 - 5×10^7
Lavas.	10^2 - 5×10^4
Gabro.	10^3 - 10^6
Basalto.	10 - 1.3×10^7 (seco)
Norita de olivino.	10^3 - 6×10^4 (húmedo)
Peridotita.	3×10^3 (húmedo) – 6.5×10^3 (seco)
Hornfels.	8×10^3 (húmedo) – 6×10^7 (seco)
Esquistos (calcáreos y mica).	20 - 10^4
Tobas.	2×10^3 (húmedo) – 10^5 (seco)
Esquistos de grafito.	10 - 10^2
Pizarras (varios).	6×10^2 – 4×10^7
Gneis (varios).	6.8×10^4 (húmedo) – 3×10^6 (seco)
Mármol.	10^2 – 2.5×10^8 (seco)
Skarn.	2.5×10^2 (húmedo) – 2.5×10^8 (seco)
Cuarcitas (varias).	10 - 2×10^8
Lutitas consolidadas.	20 - 2×10^3
Argilitas.	10 - 8×10^2
Conglomerados.	2×10^3 – 10^4
Areniscas.	1 - 6.4×10^8
Calizas.	50 - 10^7
Dolomitas.	3.5×10^2 – 5×10^3
Arcillas húmedas no consolidadas.	20
Margas.	3 – 70
Arcillas.	1 – 100
Areniscas petrolíferas.	4 – 800

Fuente: Telford et al., (1990).

Tabla 4.4. Variación de la resistividad de las rocas con respecto a la humedad.

ROCA	% H ₂ O	ρ (Ωm)	ROCA	% H ₂ O	ρ (Ωm)
Limolita.	0.54	1.5×10^4	Dolomita.	1.3	6×10^3
Limolita.	0.38	5.6×10^8	Dolomita.	0.96	8×10^3
Arenisca grano grueso.	0.39	9.6×10^5	Peridotita.	0.1	3×10^3
Arenisca grano grueso.	0.18	10^8	Peridotita.	0	1.8×10^7
Arenisca grano medio.	1.0	4.2×10^3	Pirofilita.	0.76	6×10^6
Arenisca grano medio.	0.1	1.4×10^8	Pirofilita.	0	10^{11}
Arenisca grauvaca.	1.16	4.7×10^3	Granito.	0.31	4.4×10^3
Arenisca grauvaca.	0.45	5.8×10^4	Granito.	0.19	1.8×10^6
Arenisca arcósica.	1.0	1.4×10^3	Granito.	0	10^{10}
Caliza orgánica.	11.0	0.6×10^3	Diorita.	0.02	5.8×10^5
Piroxenita de olivino.	0.028	2×10^4	Diorita.	0	6×10^6
Piroxenita de olivino.	0	5.6×10^7	Basalto.	0.95	4×10^4
Basalto.	0	1.3×10^8			

Fuente: Telford et al., (1990)

4.2.3. MÉTODO ELÉCTRICO.

HISTORIA DE LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS.

El desarrollo de los métodos geoelectrónicos es relativamente reciente, sus orígenes se remontan al siglo XVIII con los trabajos Degray Wheeler (1720) sobre la resistividad de las rocas y el descubrimiento realizado en 1746 por Watson, de que el suelo es conductor. (Orellana, 1982). El inglés Robert W. Fox descubrió en 1815 el fenómeno de la polarización espontánea, Fox sugirió el uso de este fenómeno para la prospección de yacimientos. A principio de 1882, Dr. Carl Barus condujo experimentos en Comstock Lode, Nevada, que lo convencieron de que este método podía ser usado para la búsqueda de sulfato de oro oculto (Ward, 1980).

Fred H. Brown en la era de 1883 a 1891, Alfred Williams y Leo Daft en 1897, hicieron el primer intento en determinar la diferencia en la resistividad de la Tierra asociada con los depósitos de oro, le fueron otorgadas patentes por esos métodos. La primera aproximación práctica de los métodos eléctricos, donde la tierra es estimulada por una fuente controlada y son medidos los potenciales artificiales que resultan fue hecha por Conrad Schlumberger en 1913.

El concepto de resistividad aparente se introdujo alrededor de 1915, por dos personas principalmente, Wenner en 1912 del U. S. Bureau of Standards y por Schlumberger en 1920. Las técnicas de campo fueron desarrolladas por O. H. Gish y W. J. Rooney del Carnegie Institution of Washington y por Marcel Schlumberger, E. G. Leonardon, E. P. Poldini y H.g. Doll del grupo Schlumberger. Wenner utilizó un arreglo de electrodos equiespaciados (el cual aún lleva su nombre), mientras que el grupo Schlumberger estandarizó una configuración en que los electrodos de potencial están muy cercanos y la medida de campo eléctrico es hecha en la mitad de la distancia de los electrodos de corriente (llamado arreglo Schlumberger).

APLICACIONES DE LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS DE PROSPECCIÓN

Los métodos eléctricos de prospección poseen una diversidad de aplicaciones en la actualidad, las más frecuentes se mencionan a continuación:

- ✓ *Investigaciones tectónicas para la búsqueda de petróleo.*
- ✓ *Estudios para la localización de aguas subterráneas.*
- ✓ *Estudios complementarios para cartografía geológica bajo recubrimiento.*
- ✓ *Estudios de cuencas carboníferas.*
- ✓ *Localización de yacimientos de otros minerales útiles, especialmente menas metálicas.*
- ✓ *Investigaciones de firmes, cimentaciones y desprendimientos de tierras para Ingeniería Civil.*
- ✓ *Localización y cubicación aproximada de materiales de construcción.*
- ✓ *Investigaciones a profundidad muy reducida para la localización de objetos y edificaciones enterradas, como guía y ayuda para las investigaciones arqueológicas.*
- ✓ *Estudios de zonas muy profundas de la corteza terrestre.*
- ✓ *Estudios geotérmicos.*

CONCEPTOS BÁSICOS DEL MÉTODO ELÉCTRICO

1) Fundamentos de electricidad.

La carga eléctrica está relacionada con los átomos que componen la materia y se describe en términos de tres partículas: el electrón, con carga negativa; el protón, cuya carga es positiva; y el neutrón, sin carga. A partir de cargas puntuales se estableció el concepto de fuerza eléctrica o *Ley de Coulomb*, la cual es la siguiente:

“La magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es directamente proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa”. En términos matemáticos, la magnitud F de la fuerza que cada una de las dos cargas puntuales, q_1 y q_2 , separadas una distancia r , ejerce sobre la otra se expresa como:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad [4.1]$$

Donde k es una constante de proporcionalidad cuyo valor numérico depende del sistema de unidades que se emplee. La unidad de carga eléctrica es el Coulomb “C” y para la fuerza eléctrica es Newton “N”. En la figura 4.1 se muestran las interacciones entre las cargas.

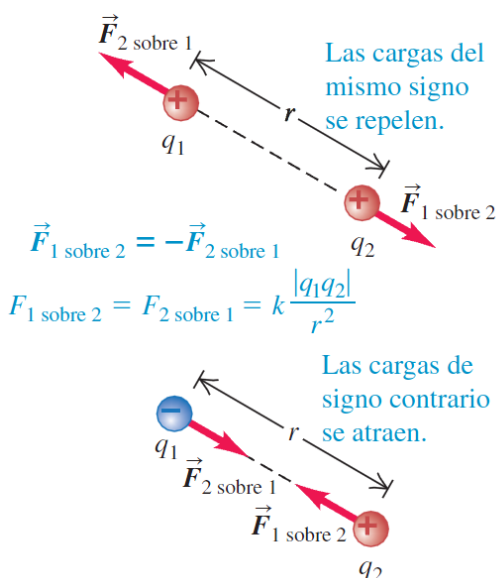


Figura 4.1. Interacción de cargas puntuales.

Fuente: Sears Zemansky. Física Universitaria. Edición 12. Vol. 2. Página 716.

Campo eléctrico “E”.

Se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad [4.2]$$

Donde E es el campo eléctrico, F fuerza eléctrica y q_0 la carga. Las unidades son Newton/Coulomb (N/C).

Líneas de campo eléctrico.

Es una recta o curva imaginaria trazada a través de una región del espacio, de modo que es tangente en cualquier punto que esté en la dirección del vector del campo eléctrico en dicho punto. Las líneas de campo siempre apuntan alejándose de las cargas (+) y hacia las cargas (-), en cada punto en el espacio el vector de campo eléctrico es tangente a la línea de campo que pasa a través de ese punto, las líneas de campo están muy cercanas donde el campo es intenso y más alejadas donde el campo es más débil; dichas características pueden apreciarse en la figura 4.2.

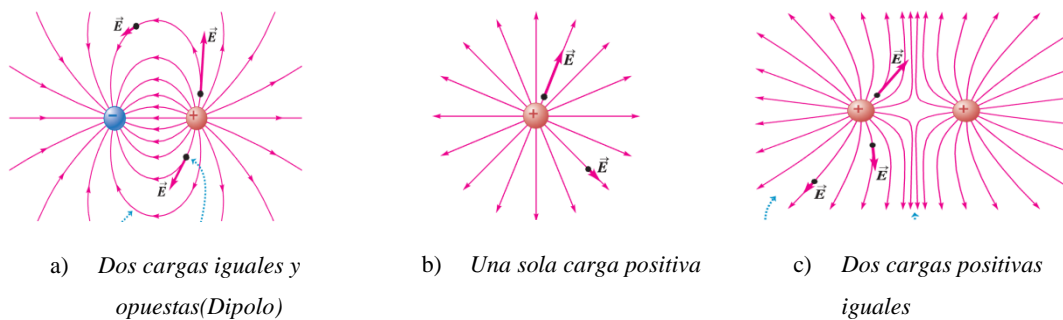


Figura 4.2.Líneas de campo eléctrico.

Fuente: Sears Zemansky. Física Universitaria. Edición 12. Vol. 2. Página 734.

Potencial.

Potencial en un punto es la energía potencial que estaría asociada a una carga unitaria colocada en ese punto. Es el trabajo que realiza el campo eléctrico para repeler una carga de 1 coulomb hasta el infinito o viceversa.

Diferencia de potencial.

La diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo realizado por la fuerza eléctrica cuando una unidad de carga se desplaza entre esos puntos. La diferencia de potencial es conocida como *voltaje* la unidad de medida es el Volt “V”. $1 \text{ V} = 1 \text{ volt} = 1 \text{ J/C} = 1 \text{ Joule/Coulomb}$.

Capacitancia.

Es una medida de la aptitud (capacidad) de un capacitor para almacenar energía. Un capacitor es un dispositivo que almacena energía potencial eléctrica y carga eléctrica; consiste básicamente en dos conductores separados por un aislante o al vacío. La unidad de capacitancia es el Farad “F”. $1 \text{ F} = 1 \text{ Farad} = \text{C}/\text{V}_{\text{ab}} = \text{Coulomb/Volt}$.

Corriente eléctrica o intensidad “I”.

Es todo movimiento de carga de una región a otra o carga neta que fluye por un área por unidad de tiempo. La unidad es el Ampere “A”. $1 \text{ A} = 1 \text{ Ampere} = 1 \text{ C/s} = 1 \text{ Coulomb/Segundo}$.

Densidad de corriente “ \vec{j} ”.

Describe cómo fluyen las cargas en un punto y la dirección del vector indica la dirección del flujo en dicho punto.

La ley de Ohm.

La corriente fluye en un conductor y en la mayoría de los casos es proporcional al voltaje a través de ella.

$$V = IR \quad [4.3]$$

La constante de proporcionalidad R, es conocida como la resistencia y se mide en ohmios, la corriente (I) es en amperios y el voltaje (V) es en voltios. El recíproco de la resistencia es la conductancia, se mide en siemens. La *Resistencia (R)* que opone un cuerpo al paso de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la longitud e

inversamente proporcional a la sección. La constante de proporcionalidad lineal ρ (ro) es la **resistividad**, un parámetro característico de cada material. Y su unidad es ohmetro (Ω -m), por lo que:

$$R = \rho \left(\frac{\text{longitud}}{\text{sección}} \right) \quad [4.4]$$

2) Resistividad aparente

Es el valor de resistividad obtenido de una medición en un suelo heterogéneo aplicando la misma técnica y procedimiento si el suelo estuviera formado por un solo material (homogéneo). Por lo que las expresiones matemáticas de resistividad para medios homogéneos son aplicables también a los heterogéneos. La resistividad aparente es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones en la mayoría de los métodos geoelectrónicos y la que se toma como base para la interpretación. En situaciones reales de medición de la resistividad, el resultado está determinado por el valor de diferentes litologías y estructuras geológicas, así que representa un dato del conjunto de la mezcla de materiales que conforman el suelo. En las mediciones la magnitud de la resistividad aparente puede ser muy distinta a las correspondientes a cada material que conforma el suelo.

3) Dispositivos electródicos.

Un dispositivo electródico es un conjunto de electrodos ordenados adoptando cualquier disposición geométrica sobre el plano de la superficie del terreno, unidos por cables aislados a un generador eléctrico provisto de un amperímetro y a un instrumento capaz de medir la diferencia de potencial entre ellos (mili voltímetro, potenciómetro etc.); generalmente están constituidos por cuatro electrodos, dos para inyección de corriente (A, B) y los de medición de diferencia de potencial (M, N). Al conjunto de los cuatro electrodos a veces se les llama *cuadripolo o tetrapolo*.

Los dispositivos electródicos también son denominados configuraciones electródicas y reciben nombres especiales de acuerdo al autor que las propuso.

La resistividad aparente en cualquier dispositivo electródico se calcula conociendo las distancias mutuas entre electrodos, la intensidad “I” que pasa por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial ΔV entre los electrodos M y N.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad [4.5]$$

Donde “K” es un coeficiente que depende únicamente de la geometría del dispositivo electródico, cuyas dimensiones son las de longitud. En el caso más general de un dispositivo electródico el coeficiente “K” es:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad [4.6]$$

Dispositivos Electródicos Lineales:

Son aquellos en que los electrodos están sobre la misma recta por lo general se encuentran en el orden A M N B, si los cuatro electrodos se dispone simétricamente respecto a un centro “O” es un dispositivo simétrico. Como se ilustra en la figura 4.3.

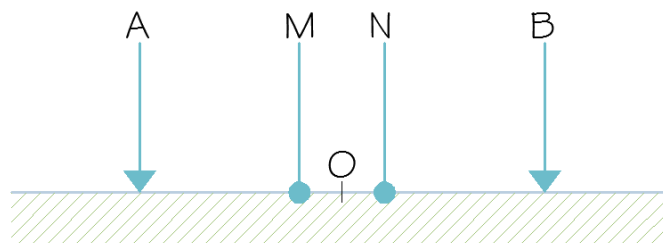


Figura 4.3. Dispositivo electródico lineal y asimétrico.

Fuente: E. Orellana. Prospección Geoeléctrica en corriente continua. 1982. Página 116.

Los dispositivos lineales más comúnmente usados son: El arreglo Wenner y el arreglo Schlumberger, los cuales se detallan a continuación:

- *Arreglo Wenner.*

Es un dispositivo lineal simétrico cuyas distancias entre electrodos contiguos son iguales, $AM=MN=NB$ como se muestra en la figura 4.4, la constante geométrica es:

$$K = 2\pi d \quad [4.7]$$

Donde K es el factor geométrico, y “d” la distancia de separación entre electrodos.

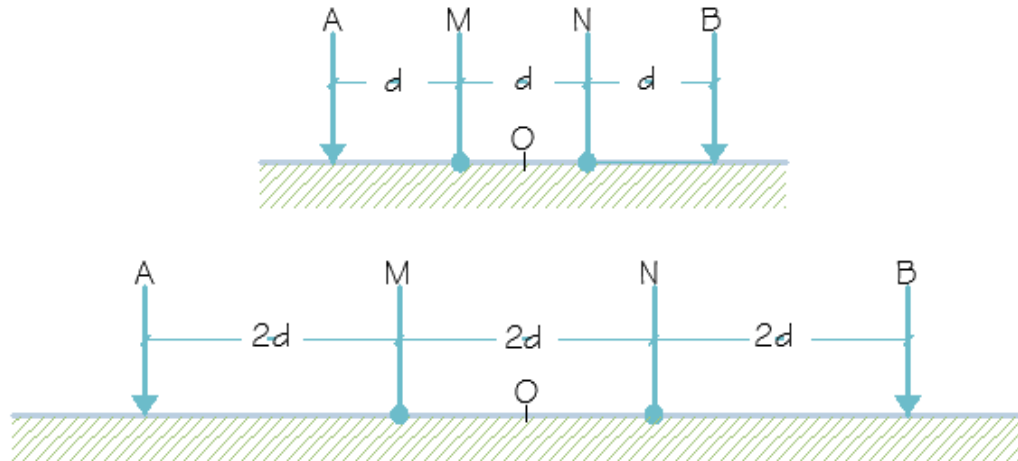


Figura 4.4. Configuración Wenner.

Fuente: Elaboración propia.

- *Arreglo Schlumberger.*

Es un dispositivo lineal simétrico y se caracteriza fundamentalmente en que la distancia MN sea mucho menor con respecto a la distancia entre electrodos AB. Como se observa en la figura 4.5. El factor geométrico es:

$$K = \pi \left(\frac{AM \cdot AN}{MN} \right) \quad [4.8]$$

Expresada en términos de MN y AB es:

$$K = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2) \quad [4.9]$$

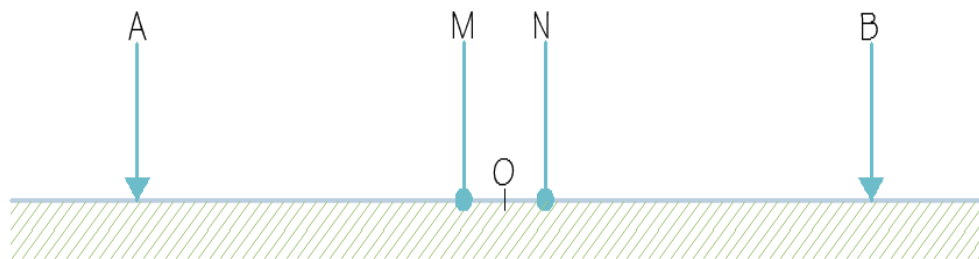


Figura 4.5. Configuración Schlumberger

Fuente: Elaboración Propia.

Dispositivos Electrónicos Dipolares:

Son aquellos en los que los electrodos de corriente A y B están lo suficientemente próximos entre sí respecto a la distancia que se miden los efectos. Por lo que se tendrán en estos dispositivos dos dipolos, AB de emisión y MN de recepción, cuya posición mutua puede ser en principio cualquiera. No obstante hay configuraciones que merecen especial atención por ser las más empleadas en la práctica, las cuales se describen a continuación:

- a. Dispositivo paralelo: *Los dos dipolos son paralelos (Figura 4.6a).*
- b. Dispositivo perpendicular: *Los dos dipolos forman un ángulo recto (Figura 4.6b).*
- c. Dispositivo radial: *El dipolo MN se encuentra situado sobre la recta que une la recta de ambos dipolos (Figura 4.6c).*
- d. Dispositivo azimuthal: *El dipolo MN es perpendicular a la recta que une los centros de ambos dipolos (Figura 4.6d).*
- e. Dispositivo ecuatorial: *Ambos dipolos son paralelos entre sí y perpendiculares al eje que pasa por sus centros (Figura 4.6e).*
- f. Dispositivo axial: *Los cuatro electrodos están en la misma recta (Figura 4.6 f).*

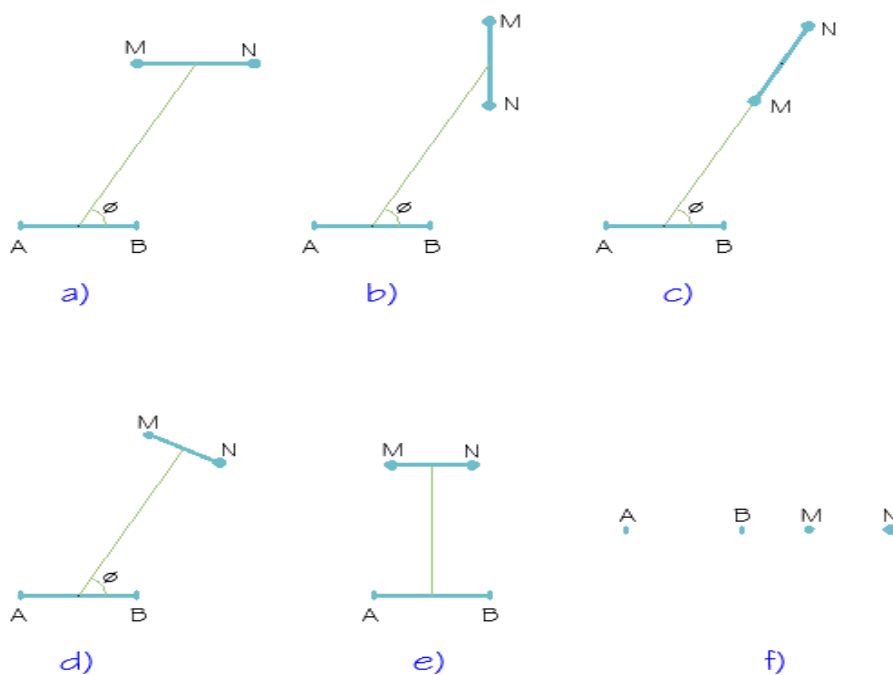


Figura 4.6. Dispositivos electrónicos dipolares.

Fuente: E, Orellana, Prospección Geoelectrica en corriente continua. 1982. Página 116.

Dispositivos compuestos:

Es una clase especial de dispositivos derivados de los dispositivos usuales que toman ese nombre por la colocación de algún electrodo extra, ya sea de potencial o de corriente. Se llaman dispositivos de agrupación aquellos que tengan más de dos electrodos de potencial, dispositivos apantallados a los que poseen algún electrodo de corriente adicional y dispositivos apantallados de agrupación a los que reúnan las dos características.

TÉCNICAS DEL MÉTODO ELÉCTRICO.

En el método eléctrico de prospección por su diversidad de aplicaciones se han desarrollado distintas técnicas entre las más importantes están: Sondeos Eléctricos Verticales, Sondeos Dipolares y las Calicatas Eléctricas que se describen a continuación:

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

Consiste en la determinación de la resistividad aparente del sitio sondeado, efectuando mediciones con un dispositivo con una separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Véase sección 4.2.4. más adelante.

Sondeos Dipolares.

Se denomina Sondeo Dipolar a una serie de determinaciones de la resistividad aparente del subsuelo efectuadas por alguno de los dispositivos electródicos dipolares expuestos en la figura 4.6, con separación creciente entre los centros de los dipolos y conservación del tipo del dispositivo. Esta técnica surgió debido a los inconvenientes que presentan los SEV profundos ocasionados por la enorme longitud exigida de las líneas AB. Entre las ventajas que presenta es el estudio de las variaciones laterales de un área del subsuelo, mientras que la desventaja es que se necesita emplear generadores muy potentes en el circuito de emisión.

Calicatas Eléctricas.

El objetivo de las calicatas eléctricas es el estudio de las variaciones laterales de resistividad del subsuelo; es decir, es un método de investigación horizontal en los estratos, a profundidad aproximadamente constante, adecuada para determinar contactos geológicos verticales o inclinados, cambios laterales de facies, metalización, diques y otros cuerpos o estructuras que se presentan como heterogeneidades laterales de resistividad.

4.2.4. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV).

Es un conjunto de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Durante la medición permanecen fijos el azimut del dispositivo y el centro del segmento MN.

La finalidad del SEV es determinar la distribución vertical de resistividades aparentes bajo el punto sondeado, se logra mayor eficacia cuando se efectúa sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a resistividad. En el SEV se denomina *problema directo* a determinar la curva de resistividades que se obtendrá a partir de un dispositivo determinado, sobre un suelo cuyas resistividades son conocidas. Se denomina *problema inverso* a deducir la distribución vertical de resistividades en el punto sondeado a partir de la curva de resistividades aparentes.

La penetración total de un SEV no puede conocerse en un principio, debido a que dependerá de la distribución de resistividades del subsuelo; cuando exista una capa perfectamente aislante o perfectamente conductora, la profundidad del SEV no incrementa al aumentar la distancia AB.

Los SEV pueden clasificarse como cortos, normales, largos y muy largos de acuerdo a su longitud AB. Véase la tabla siguiente:

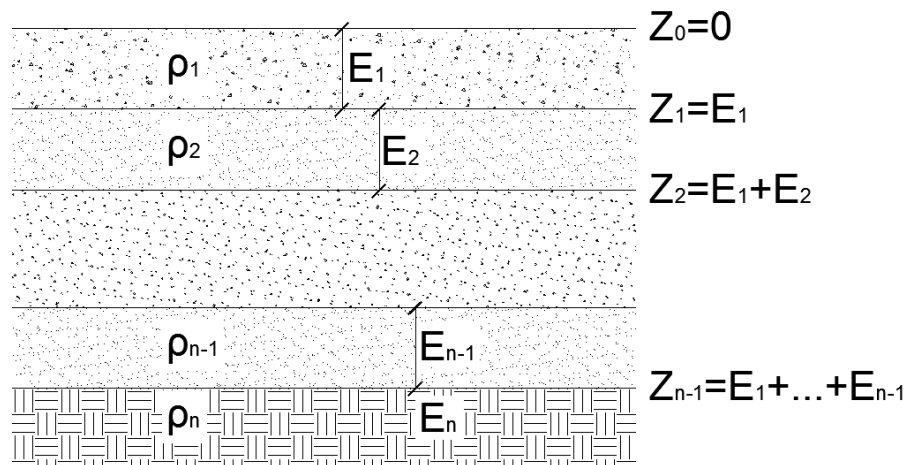
Tabla 4.5. Clasificación de los SEV según su longitud AB final.

SEV.	DISTANCIA AB FINAL.	APLICACIÓN.
Cortos.	$AB \leq 200m$	Cimentaciones y Arqueología
Normales.	$200m < AB < 3km$	Investigaciones Hidrogeológicas
Largos.	$3km \leq AB \leq 40km$	Prospección Petrolera
Muy largos.	$AB > 40km$	Geofísica Pura

Fuente: E, Orellana. Prospección Geoeléctrica en corriente continua. 1982. Página. 278.

CORTES GEOELÉCTRICOS.

Un corte geoeléctrico es un conjunto de espesores y resistividades (capas geoeléctricas) especificados de cada medio estratificado. Un corte geoeléctrico compuesto por “n” capas requiere para su especificación el conocimiento de “n” resistividades y n-1 espesores ó n-1 profundidades. La última capa (sustrato) tiene espesor infinito.

**Figura 4.7. Corte geoeléctrico.**

Fuente: E, Orellana .Prospección Geoeléctrica en corriente continua. 1982. Página. 149.

Clasificación de los cortes geoeléctricos, nomenclatura.

A la representación gráfica de la distribución de resistividades en un corte geoeléctrico empleando escalas logarítmicas en ambos ejes (resistividad, profundidad) se conoce como *curva de resistividades verdaderas (CRV)*.

Los cortes geoeléctricos pueden clasificarse dependiendo del número de capas que los componen:

- a) *Cortes de dos capas: dos tipos posibles $\rho_1 > \rho_2$ y $\rho_1 < \rho_2$. (Ver figura 4.8a)*
- b) *Cortes de tres capas: cuatro tipos posibles, tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$, tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$, Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$, Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$. (Ver figura 4.8b)*
- c) *Cortes de cuatro capas se distribuyen en ocho grupos y se designan como la combinación de los anteriores: HK, HA, KH, KQ, QQ, QH, AK y AA. (Ver figura 4.8c)*
- d) *Cortes de cinco o más capas. Se simbolizan siguiendo el método del párrafo c), nombrando el tipo en intervalos de tres asignándole nomenclatura a cada tramo de tres capas. (Ver figura 4.8d).*

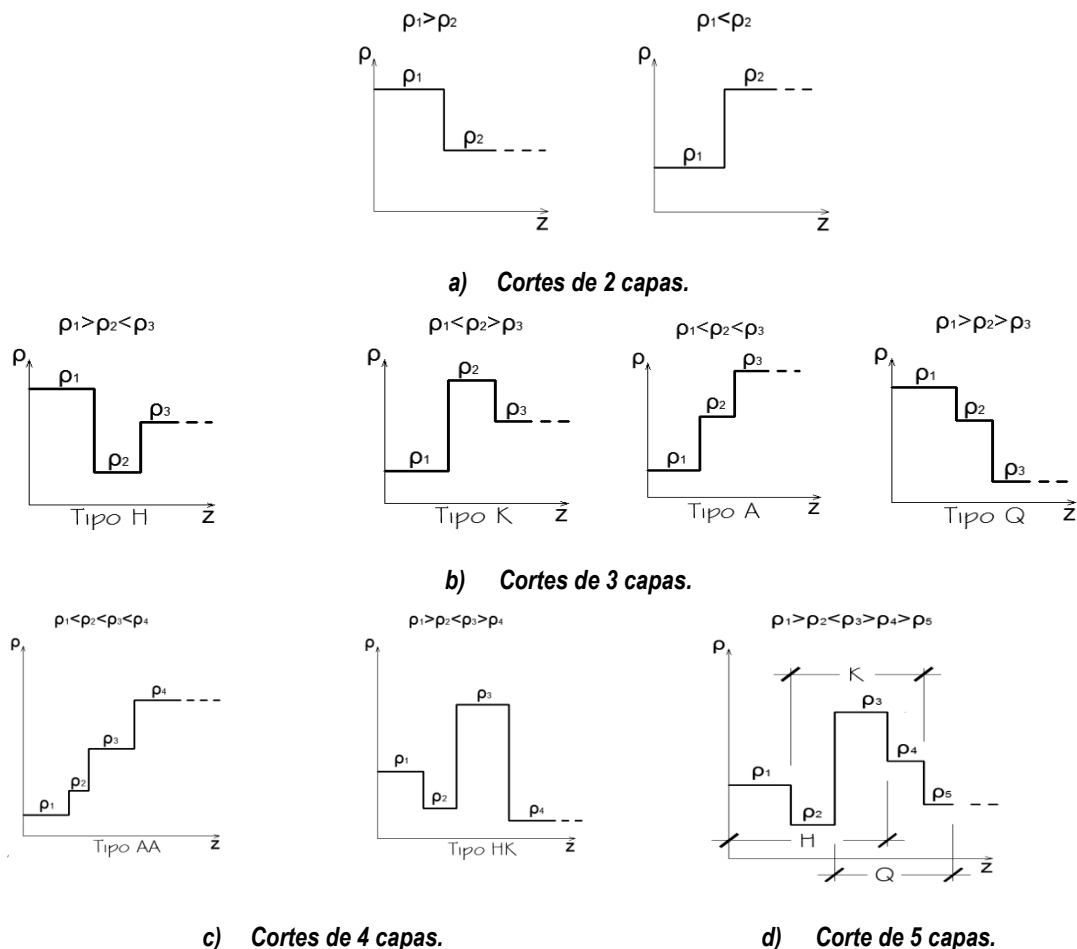


Figura 4.8. Curvas de Resistividad Verdadera para cortes geoelectricos

Fuente: E, Orellana. Prospección Geoelectrica en corriente continua. 1982. Página 151.

CURVA DE RESISTIVIDAD APARENTE.

La curva de resistividad aparente representa los resultados de un SEV efectuado sobre un corte dado. Es decir representa gráficamente, en escala logarítmica la serie de valores de resistividad aparente que se obtienen con un dispositivo electródico determinado, de longitud creciente, situado sobre un corte geoelectrico. La variable independiente de tales curvas es el parámetro $AB/2=OA$ que representa la distancia del centro del par MN al electrodo A, en el eje de las abscisas los valores de resistividad medidos en campo.

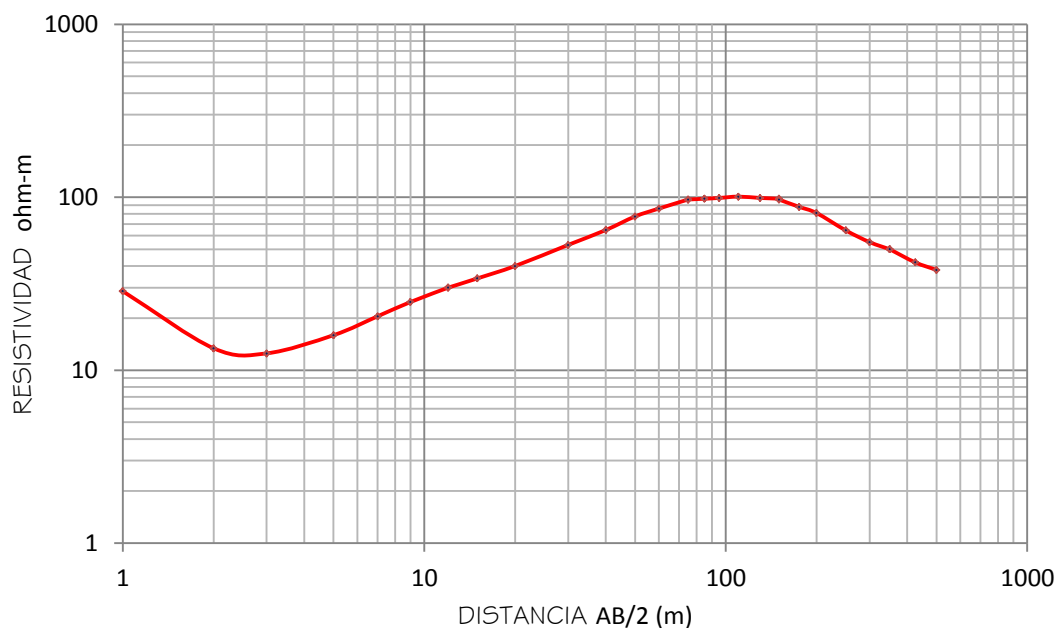


Figura 4.9. Curva de Resistividad Aparente obtenida de datos de campo al efectuar un SEV.

Fuente: Elaboración Propia.

INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE.

La curva de resistividad aparente es el resultado de la realización de un SEV por lo que el acierto de su interpretación depende de la buena ejecución del ensayo en campo y en gran medida de la experiencia del interpretador; puesto que interpretar dichos datos no es una sucesión de técnicas mecánicas sino más bien del criterio y labor del experto geofísico.

En primer lugar la etapa de interpretación inicia en obtener el corte geoelectrico formado por espesores y resistividades que representan la conformación del subsuelo de la zona estudiada. Para llevar a cabo este proceso de identificación de las profundidades de las capas con diferentes resistividades, debe compararse cada curva de resistividad aparente obtenida en campo con curvas teóricas. Lo anterior puede realizarse superponiendo la curva de campo a gráficos patrón (procedimiento manual) o bien mediante un programa computacional elaborado para ese fin.

Luego como fase siguiente de la interpretación es convertir el corte geoelectrico (obtenido mediante la unión de dos o más puntos en los que se ha efectuado sondeos) en un corte geológico probable; una manera de hacerlo es comparando las resistividades del corte geoelectrico con los rangos de resistividades de las formaciones geológicas conocidas, como las presentadas en la tabla 4.3.

4.3. METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA REALIZADA EN EL CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO DE CHALATENANGO.

En la prospección geofísica, para conseguir calidad en los resultados, deben tomarse en cuenta factores técnicos y prácticos para la organización, que corresponden a circunstancias propias de la investigación; por lo que se ha seguido una metodología que considera los aspectos más relevantes, la cual consiste en las siguientes etapas:

1) DETERMINACIÓN DEL OBJETIVO DEL ESTUDIO PROSPECTIVO.

La finalidad de la prospección geofísica en esta investigación, fue identificar las posibles formaciones geológicas en profundidad existentes en la zona de estudio; es decir, determinar el espesor de los materiales (permeables e impermeables) que ayuden a caracterizar la hidrogeología del lugar.

2) **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA.**

Para las etapas posteriores fue necesario recolectar la siguiente información:

- a) Cartografía topográfica y geológica: Se utilizó el mapa geológico a escala 1:10,000 e informe escrito de la geología de la zona de estudio, generados en la presente investigación, presentados en Anexo H1 y en el capítulo II, respectivamente.
- b) Datos y resultados de otros trabajos geofísicos: Columna estratigráfica de pozo de 900 pies de profundidad ubicado en el Caserío La Concepción, Cantón San José, Municipio de Chalatenango, anexo B.8. proporcionado por la Unidad de Investigación e Hidrogeología de ANDA.
- c) Características del lugar: El estado de las vías de comunicación es aceptable, sin embargo por la topografía y el tipo de suelos, en invierno el acceso debe realizarse en pick up 4x4. Los accesos permiten el tendido de cables, la superficie es de suelo natural, no existen instalaciones industriales cercanas de ningún tipo que hagan efecto de corrientes perturbadoras, los únicos obstáculos para tendido de cables son el Río Tamulasco y algunas zonas pobladas con árboles. Esta información se obtuvo por medio de observaciones hechas en visitas de campo previas.



Figura 4.10. Fotografías de accesos existentes en la zona de estudio.

- a) Fotografía de camino que conduce al cantón San Bartolo, entre Caserío Gualcho y Río Tamulasco.
- b) Carretera que conduce de Chalatenango a San Francisco Lempa a la altura del Caserío Agua Caliente.

Fuente: Elaboración propia.

3) *ELECCIÓN DEL MÉTODO PROSPECTIVO.*

Para lograr el objetivo planteado en esta investigación fue conveniente aplicar un método geofísico por las ventajas que presenta con respecto a métodos directos de exploración, entre dichas ventajas tenemos: el costo de las técnicas geofísicas es mucho menor, posibilidad de alcanzar grandes profundidades y los sondeos se ejecutan en menor tiempo.

El método de prospección empleado fue el Método Eléctrico de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), configuración Schlumberger, debido a que es un método idóneo para identificar formaciones que constituyen acuíferos.

4) *PROGRAMACIÓN DEL TRABAJO EN CAMPO.*

La programación del levantamiento geofísico incluyó varios aspectos que influyen en la calidad del trabajo, entre ellos están:

- a) La cantidad de mediciones que se ejecutaron fueron 10 sondeos, distribuidos en función de la estructura geológica de la zona y concentrados en la zona de mayor aprovechamiento de agua subterránea (mayor densidad de pozos), tal distribución se muestra en la figura 4.11.
- b) La campaña geológica se ejecutó durante cuatro días no consecutivos, cuyas fechas fueron las siguientes: 31 de julio, 30 de noviembre, 1 y 7 de diciembre de 2012, en los cuales se realizaron 1 sondeo el primer día y 3 sondeos los siguientes días. Esta actividad estuvo sujeta a disponibilidad de equipo por parte de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador.
- c) La elección de los centros de los SEV y las orientaciones de los electrodos de emisión y recepción, se eligieron de manera que los electrodos A y B no se coloquen por encima de fallas o contactos visibles. Para ubicar los centros de los SEV se realizó una visita de reconocimiento al lugar con un experto en geofísico quién decidió las ubicaciones finales. Los centros de los SEV se ubicaron en la

planicie más baja cercana al embalse para lograr mayor penetración y aprovechar la poca pendiente del relieve topográfico que evite errores de interpretación.

- d) La abertura AB programada fue de 1000 m; esta abertura no se cumplió en los sondeos 1 debido a lluvia y en el sondeo 4 por obstáculo insuperable, alcanzando aberturas AB de 600 y 800 m respectivamente.

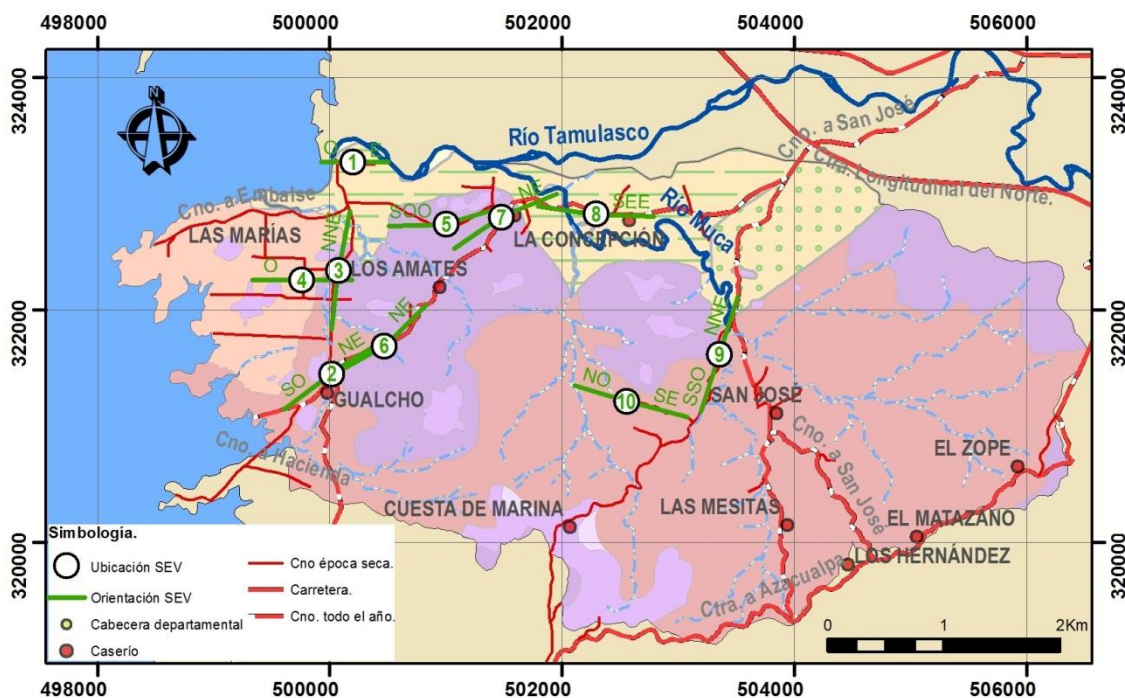


Figura 4.11. Mapa de distribución de Sondeos Eléctricos Verticales y orientaciones de aberturas AB.

La numeración de los SEV corresponde al orden cronológico en que fueron realizados.

Fuente: Elaboración propia.

5) EQUIPO UTILIZADO PARA MEDICIÓN.

Resistivímetro SARIS.

Es un equipo muy versátil con el que se pueden utilizar distintos arreglos para realizar Sondeos Eléctricos Verticales, pesa 8.6 kg, sus dimensiones son 336x215x201 mm (largo, ancho y alto), posee un pantalla monocromática LCD 320x240 píxeles, la impedancia

mínima de entrada es de 11 MΩ, con una precisión de 0.5%, puede operar entre -20°C y 55°C.



Figura 4.12. Resistivímetro SARIS empleado en la técnica de SEV.

Fuente: SARIS Operation Manual pág. 6.

Algunas medidas de seguridad para el manejo los resistivímetro:

- ✓ El instrumento y los accesorios conectados sólo deben ser operados por personal instruido.
- ✓ Mantener al personal no autorizado alejado del instrumento y los accesorios conectados.
- ✓ Evitar hacer mediciones bajo lluvia o tormentas eléctricas, debido a que un rayo puede dañar el equipo y puede inducir cientos de voltios a los cables.
- ✓ No realizar mediciones cerca de cables o generadores de alta tensión.
- ✓ Utilizar el equipo sin exponerlo directamente a la luz solar para evitar sobrecalentamiento.

Tabla 4.6. Equipo utilizado para la realización de los SEV y misceláneos.

CANTIDAD.	DESCRIPCIÓN.
1	Resistivímetro SARIS.
2	Carretes de cable de 600m.
2	Carretes de cable de 250m.
2	Cintas de 60m.
6	Conectores.
6	Electrodos de cobre, 0.3m de largo 5/8" de diámetro.
3	Radios intercomunicadores.

Continuación tabla 4.6. Equipo utilizado para la realización de los SEV y misceláneos.

CANTIDAD.	DESCRIPCIÓN.
4	Almádanas.
3	Brújulas.
1	GPS.

Misceláneos: Sombrilla, mesa, cinta aislante, desatornilladores, machete, marcadores.

Fuente: Elaboración propia en base a equipo utilizado en campaña geofísica de SEV.

6) HOJA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN EN CAMPO.

Las anotaciones de datos en campo son muy importantes al igual que el proceso de medición ya que constituyen el registro de las lecturas en los instrumentos, es por ello que deben ser registradas de manera precisa y legible. La hoja de registro de información en campo se constituye por tres secciones principales: Encabezado, tabla de datos y gráfica. El registro geoelectrico en esta investigación se hizo en la hoja presentada en anexo A.4a, la explicación del llenado de ésta se presenta en anexo A.4b.

7) PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

Para llevar a cabo el procedimiento de medición fue necesario conocer con anticipación las distancias AB/2 y MN/2, la cuales fueron propuestas por el experto geofísico que operó el equipo. En la ejecución del levantamiento geoelectrico con la configuración Schlumberger se siguieron de manera general los siguientes pasos:

- a) Se fijó en el terreno el punto elegido para el centro del SEV colocando una marca con identificación correlativa del ensayo.
- b) Se orientó la dirección del sondeo; es decir, ubicar el rumbo de la línea que formarán los puntos donde se colocarán los electrodos de emisión AB y recepción MN con respecto al centro del sondeo.
- c) Se colocó electrodos de emisión AB y de recepción MN a la distancia establecida a partir del cero inicial o centro del sondeo.

- d) Se instaló el resistivímetro.
- e) Se conectaron electrodos al resistivímetro por medio de los cables.
- f) Se efectuaron las mediciones.
- g) Se anotaron en la hoja de campo las lecturas registradas por el equipo.
- h) Se trasladaron y colocaron los electrodos de emisión y recepción a las posiciones del siguiente punto hasta alcanzar la cantidad de puntos programados.

El registro geoelectrico obtenido durante la campaña geofísica, se presenta en *Anexo F: Registro geoelectrico*.

8) ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

El procesamiento de los registros geoelectricos obtenidos durante la campaña geofísica para cada SEV, fue realizado utilizando el programa informático QWSELN versión 2.08 del 28 de Noviembre de 2001 (se ejecutó en ambiente de Windows 7), programa desarrollado por Jeanne Tabbagh y distribuido libremente. Este es un programa de inversión; es decir, que a través de un modelo de capas (espesores y resistividades aparentes), se hace un ajuste por iteraciones hasta alcanzar un mínimo de error aceptable.

Por medio del QWSELN se obtuvieron las curvas teóricas de resistividad aparente para cada sondeo, los datos introducidos fueron ajustados hasta obtener errores que van del 3.1 al 4.2%. A partir de estas curvas el programa proporcionó modelos de resistividad real y espesores de capas o terrenos, que probablemente existan en el lugar en que se efectuaron las mediciones.

Partiendo de los modelos obtenidos, se procedió a la elaboración de 6 perfiles geoelectricos (la distribución de los perfiles se observa en la Figura 4.13). Para ello se trazaron líneas en diferentes direcciones que unen aproximadamente las ubicaciones de los sondeos sobre el mapa. Al relacionar las resistividades similares, se obtuvieron perfiles con diversas capas.

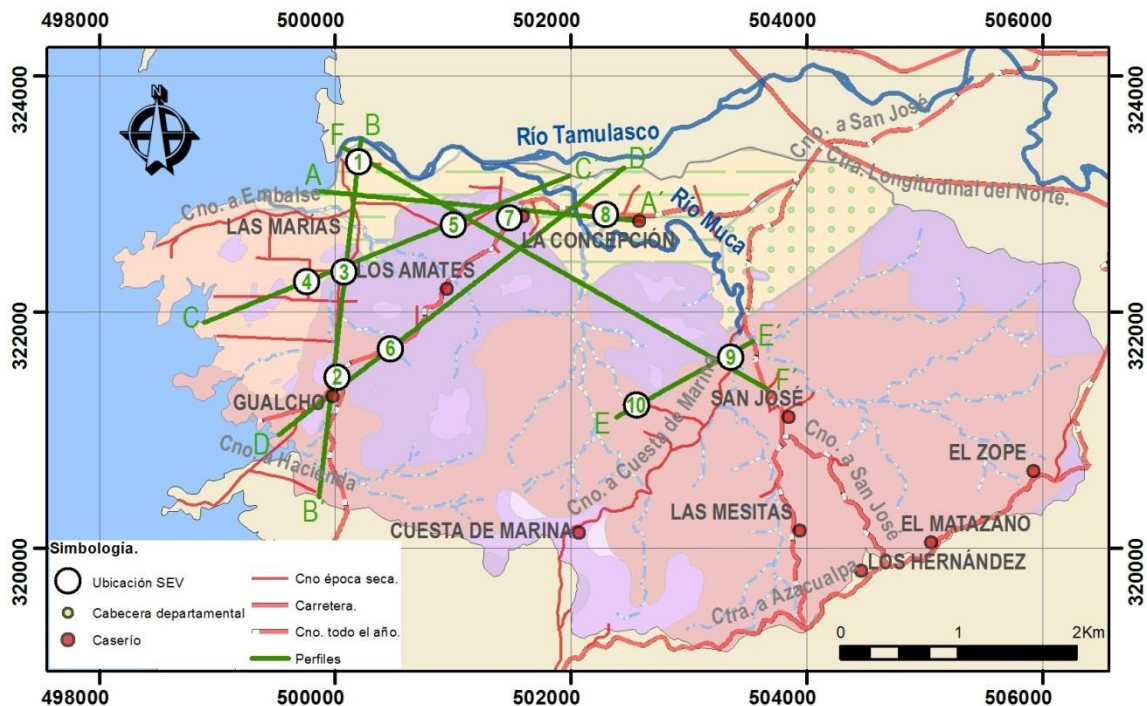


Figura 4.13. Distribución de perfiles geoléctricos en Cantón San José, Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del procesamiento del SEV08, fueron correlacionados con el perfil litológico del pozo industrial del Caserío La Concepción propiedad de ANDA, ya que este sondeo fue realizado frente a las instalaciones del pozo prescrito. A partir de la columna litológica asociada a este perfil se asignó posibles litologías a las capas de resistividades de los perfiles. En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos.

4.4. RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA REALIZADA EN EL CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO DE CHALATENANGO.

Como resultado de la introducción de los datos de campo en el programa QWSELN se obtuvieron las curvas de resistividad aparente (curva en negro) y modelos de terrenos (recuadro) los cuales se presentan a continuación para cada SEV en las figuras de la 4.14

hasta la 4.23. A la gráfica se le ha superpuesto la curva de resistividad verdadera CRV (línea roja).

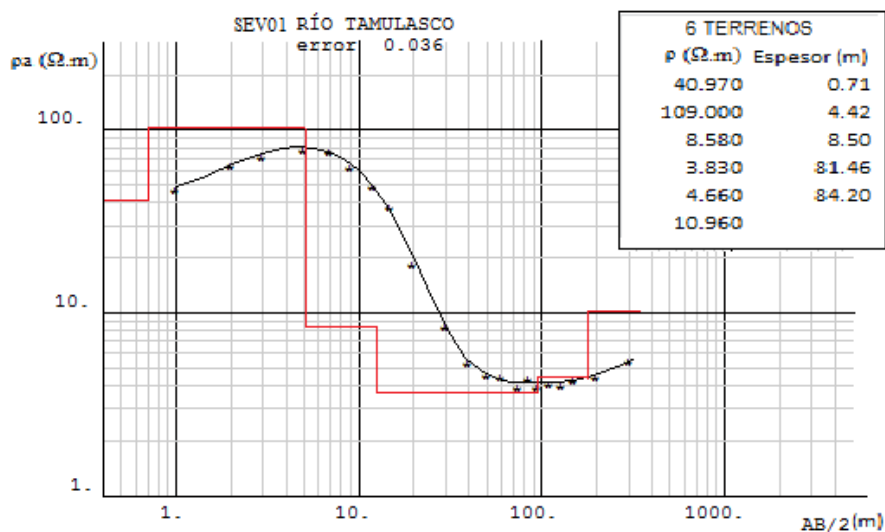


Figura 4.14. Modelo de interpretación del SEV 01. CRV tipo KQHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

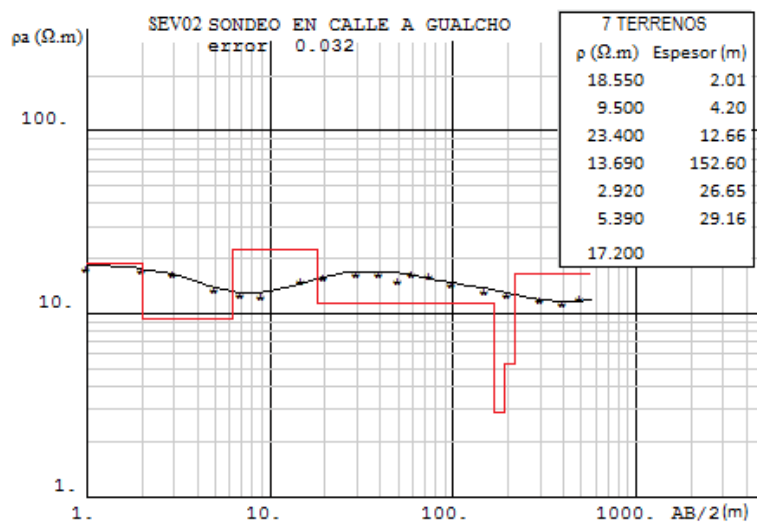


Figura 4.15. Modelo de interpretación del SEV 02. CRV tipo HKQHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

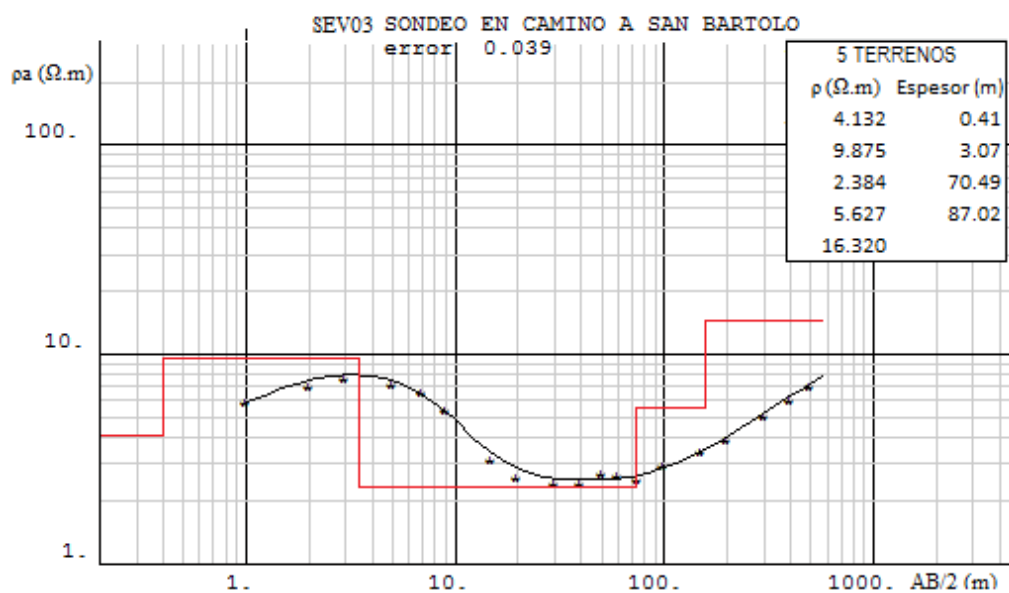


Figura 4.16. Modelo de interpretación del SEV 03. CRV tipo KHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

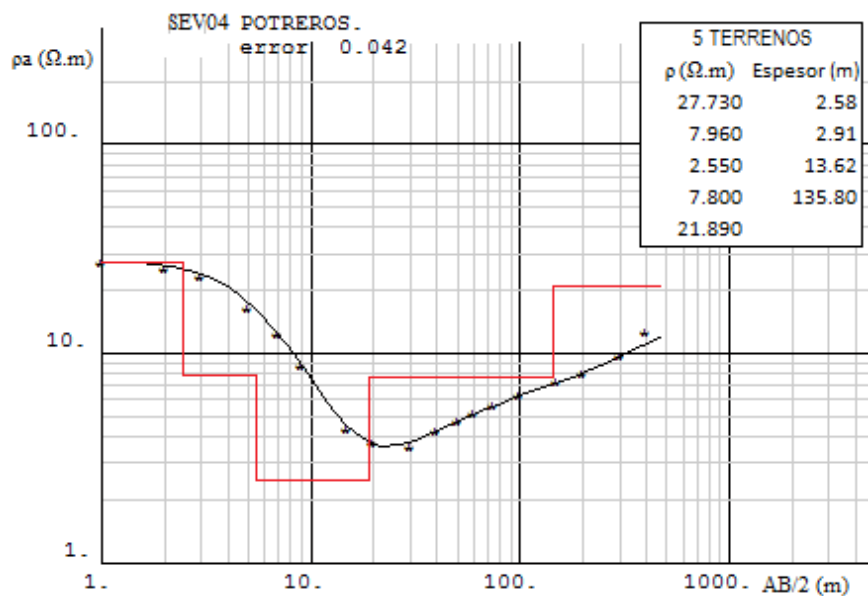


Figura 4.17. Modelo de interpretación del SEV 04. CRV tipo QHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

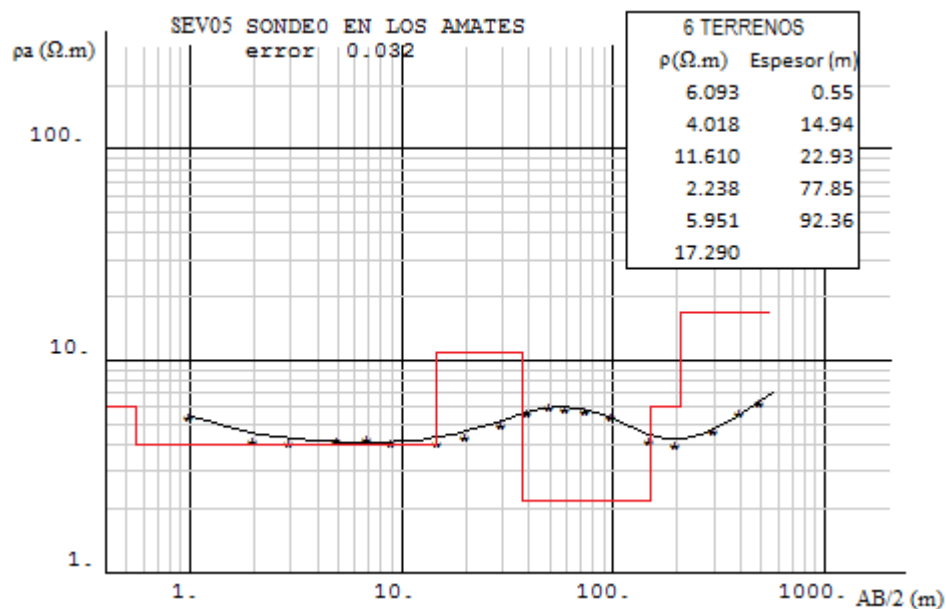


Figura 4.18. Modelo de interpretación del SEV 05. CRV tipo HKHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

:

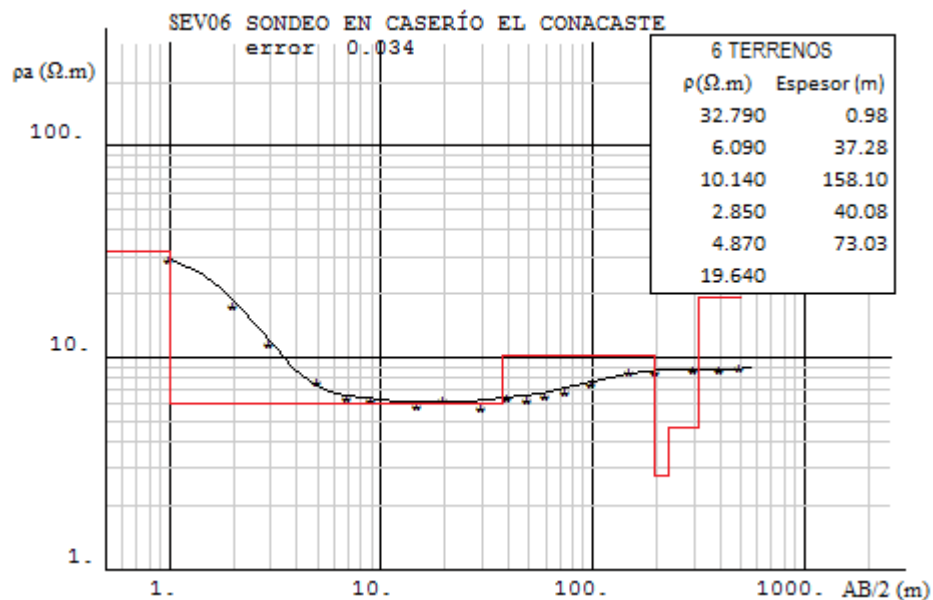


Figura 4.19. Modelo de interpretación del SEV 06. CRV tipo HKHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

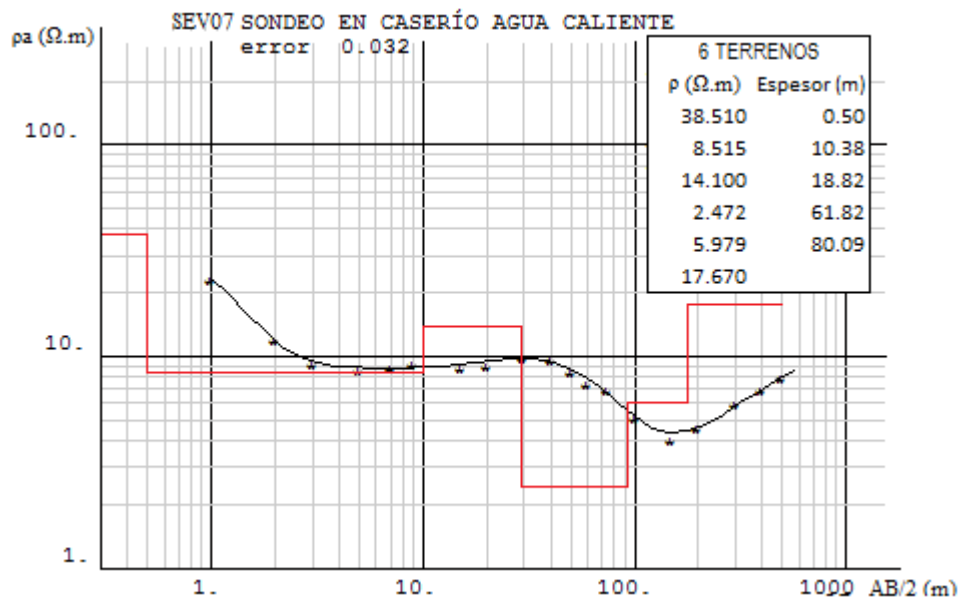


Figura 4.20. Modelo de interpretación del SEV 07. CRV tipo HKHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

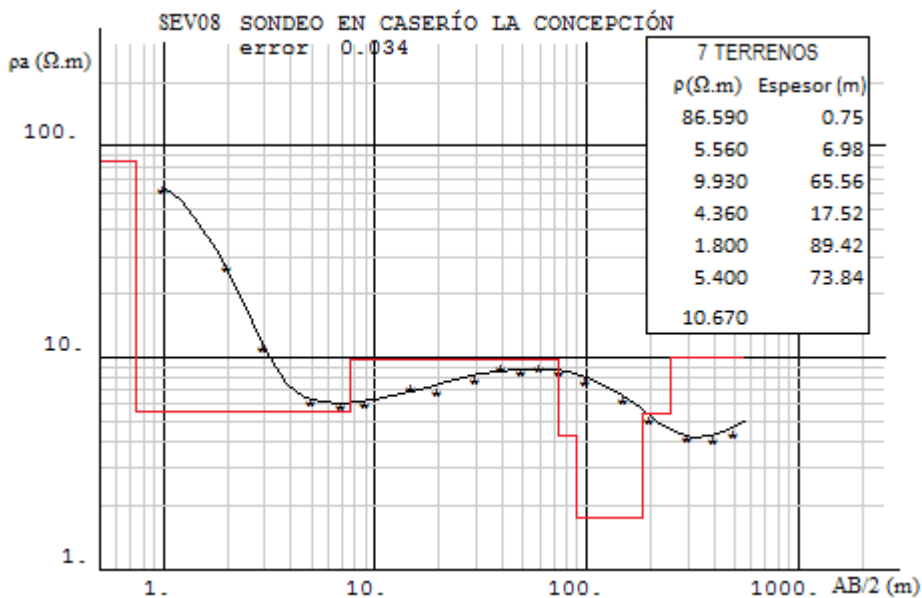


Figura 4.21. Modelo de interpretación del SEV 08. CRV tipo HKQHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

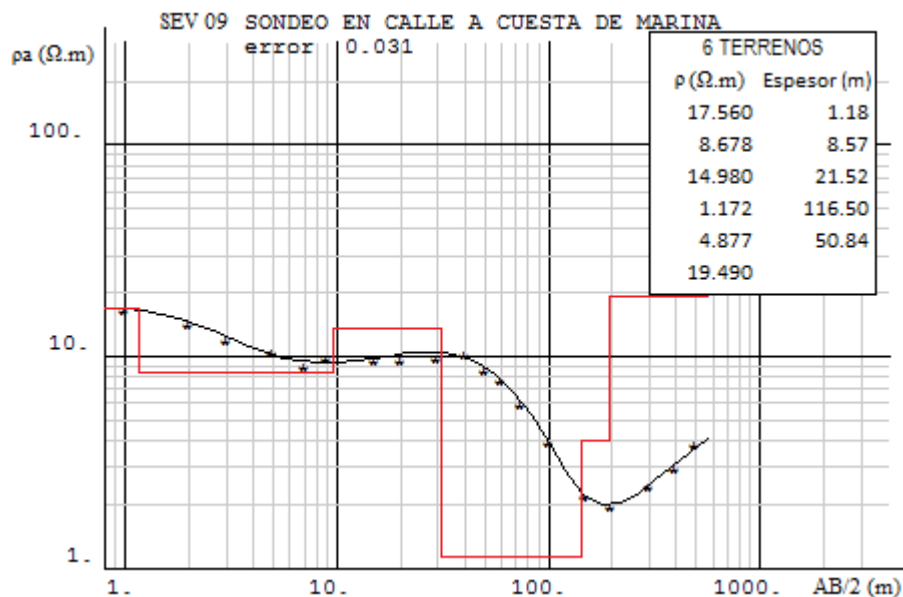


Figura 4.22. Modelo de interpretación del SEV 09. CRV tipo HKHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

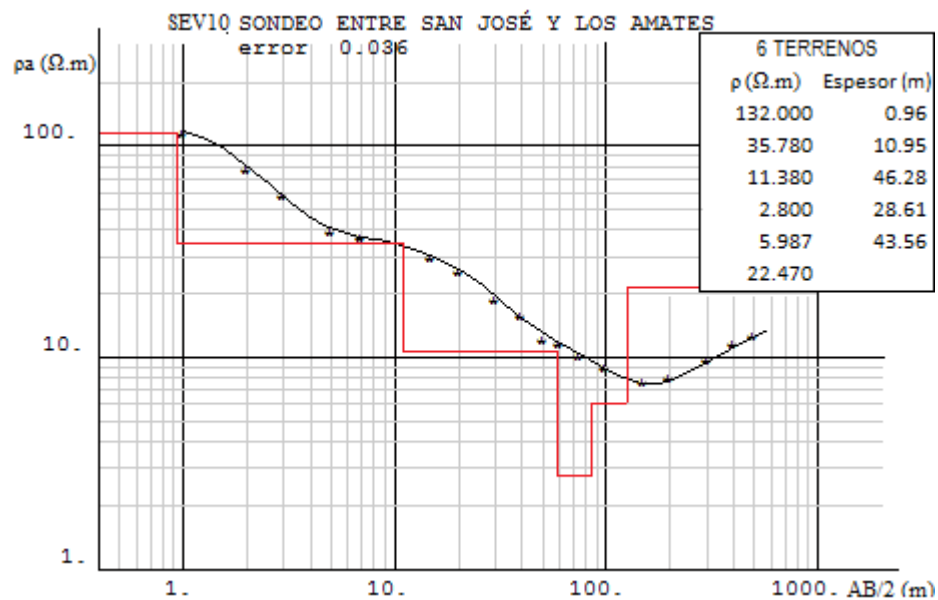


Figura 4.23. Modelo de interpretación del SEV 10. CRV tipo QQHA.

Fuente: Curva teórica y modelo de interpretación obtenida de QWSELN, modificada para mejor presentación.

Al observar las CRV de los SEV efectuados, se puede notar una correlación en la forma de las curvas ya que las últimas cuatro capas de cada sondeo son del tipo HA y los datos de resistividad de los modelos para esas capas presentan valores que se pueden agrupar en un pequeño intervalo de resistividades.

También se hace notar que se obtuvieron valores de resistividad menores a los 10 Ω -m, los cuales, no son datos habituales en la exploración de aguas subterráneas que no están en contacto con agua de mar, por lo que probablemente en la zona existe alguna sustancia que facilita la conductividad eléctrica y tal vez esté relacionada a la geología del lugar y a la alteración hidrotermal que caracteriza a la formación Morazán.

Partiendo del perfil litológico del pozo en el Caserío La Concepción (Anexo B.8.), se agruparon las doce capas en seis, por sus características; y se correlacionaron a través de los espesores y profundidades con las capas que surgieron de la interpretación del SEV08; a continuación se presenta en la tabla 4.7, columna litológica probable, asociada al SEV08.

Tabla 4.7. Perfil litológico asociado a SEV 08.

<u>Resistividad</u> <u>(Ω.m).</u>	<u>Espesor</u> <u>(m).</u>	<u>Profundidad</u> <u>(m).</u>	<u>Probable formación asociada.</u>
86.59	0.75	0.75	Se asocia a resistividad de suelo mejorado, ya que el SEV se ejecutó sobre camino mejorado no pavimentado.
5.56	7.00	7.75	PIROCLASTOS: Formación compuesta por clastos de pómez, cenizas volcánicas, lapilli, tobas, predominando los clastos de lavas basálticas, lavas escoriáceas en una matriz limo-arcillosa. Formación con características de alta transmisividad y alta permeabilidad. Formación semidura.
9.93	65.00	72.75	ARCILLAS: Formación compuesta por limos y arcillas con un aproximado de 10% de arenas finas en los primeros 6 m y 5% en el resto de la capa, poseen alta plasticidad, con estructura semicompacta. Formación con características de baja transmisividad y baja permeabilidad. Formación suave.
4.36	17.00	89.75	SEDIMENTO ALUVIAL - FUVIAL: Formación compuesta por clastos transportados y depositados, la formación está compuesta principalmente por cenizas y lapilli, limos, arcillas y arenas, con estructura suelta y textura clástica. Formación con características de moderada permeabilidad y moderada transmisividad. Formación suave.

Continuación tabla 4.7. Perfil litológico asociado a SEV 08.

<u>Resistividad</u> <u>($\Omega.m$).</u>	<u>Espesor</u> <u>(m).</u>	<u>Profundidad</u> <u>(m).</u>	<u>Probable formación asociada.</u>
1.81	89.00	178.75	TOBAS: Formación compuesta por arenas y arcillas litificadas en proceso de descomposición y alto grado de fracturamiento con estructura semicompacta sobre una capa de aglomerado tobáceo en proceso de descomposición y alto grado de fracturamiento, con estructura semicompacta, textura clástica. Zona de moderada permeabilidad y transmisividad. Formación suave.
5.40	74.00	252.75	SEDIMENTO FLUVIAL: Formación compuesta por arenas finas y limos mezclados en una matriz arcillosa 50-75%. La formación presenta de bajas a altas características de permeabilidad y transmisividad. Toda la formación es suave.
10.67	TOBAS LÍTICAS (LUTITAS): Formación compuesta por arcillas litificadas (lutitas) con alto fracturamiento y descomposición. La zona presenta características de baja permeabilidad y baja transmisividad. Formación suave.

Fuente: Elaboración propia, basada en perfil litológico de pozo propiedad de ANDA, ubicado en el Caserío La Concepción, Cantón San José, Municipio de Chalatenango e interpretación de SEV08.

Al relacionar la columna litológica de la tabla anterior, por medio de los perfiles eléctricos, se presentaron algunos inconvenientes los cuales se han superado admitiendo lo siguiente:

- Las primeras capas obtenidas de los modelos, pertenecen a capas superficiales del suelo por lo que la resistividad puede ser afectada por la presencia de cualquier material, ya sea natural o artificial, que se encuentre en éste. Esto se evidencia al notar el contraste de resistividades que se visualizan en las primeras capas de los diferentes SEV. Como éstas capas tienen en común su poca profundidad, se han fusionado a la capa que puede relacionarse con piroclastos haciendo una sola capa.
- La cuarta capa del SEV08 asociada a sedimento aluvial-fluvial, no fue detectada en ningún otro sondeo, por lo que solo se representa un posible lente de este material en los perfiles, por medio de una línea segmentada. Ver figura 4.4 Perfil A-A´.

A partir de las suposiciones anteriores se elaboraron los perfiles (planteados en la figura 4.13) de los cuales se procede a describir y a presentar el perfil A-A´.

PERFIL A-A´.

El perfil A-A´ fue elaborado a partir de la unión de los SEV01, SEV05, SEV07 y SEV08; éste se ubica a partir del Embalse Cerrón Grande, en la zona cercana al Común Las Marías con rumbo Sur 85° Este, hasta unos metros después de las instalaciones del pozo de ANDA ubicado en el Caserío La Concepción como se muestra en figura 4.13.

En el primer estrato se asocian varias capas de resistividades muy diferentes que van desde los 4 hasta los 109 Ω -m. El promedio de espesor de esta capa es del orden de los 10 m y es asociada a piroclastos, al referirse a la columna litológica antes mencionada y se respalda con la evidencia encontrada en el reconocimiento geológico.

En la segunda capa se asocian resistividades que van desde los 8 hasta los 15 Ω -m. El promedio del espesor de ésta capa podría ser de 11 metros según los datos obtenidos en estos cuatro sondeos. Ésta capa por su profundidad es asociada a arcillas según la tabla 4.7.; evidencia de este tipo de material se visualizan en el punto de verificación geológica #7, en éste se observaron a la profundidad de 15 m, rocas que se clasificaron como Brecha volcánica con alteración hidrotermal, lo que se verificó con análisis petrográfico (Ver anexo E) el cual determino la existencia de minerales propios de las arcillas.

La tercer capa se asocia a resistividades que van desde 1 a 5 Ω -m. Ésta capa que probablemente tiene espesor promedio de 82 m, puede asociarse a Tobas.

La cuarta capa que tiene espesor promedio de 82 m y resistividades que van desde los 4 a 6 Ω -m, probablemente pueda asociarse a sedimentos fluviales.

La quinta y última capa del modelo tiene un espesor no determinado, posee resistividades entre 10 y 18 Ω -m y podría relacionarse a tobas líticas.

Con características similares se pueden describir los perfiles B-B´, C-C´, D-D´, E-E´ y F-F´, los cuales se presentan a continuación del perfil A-A´.

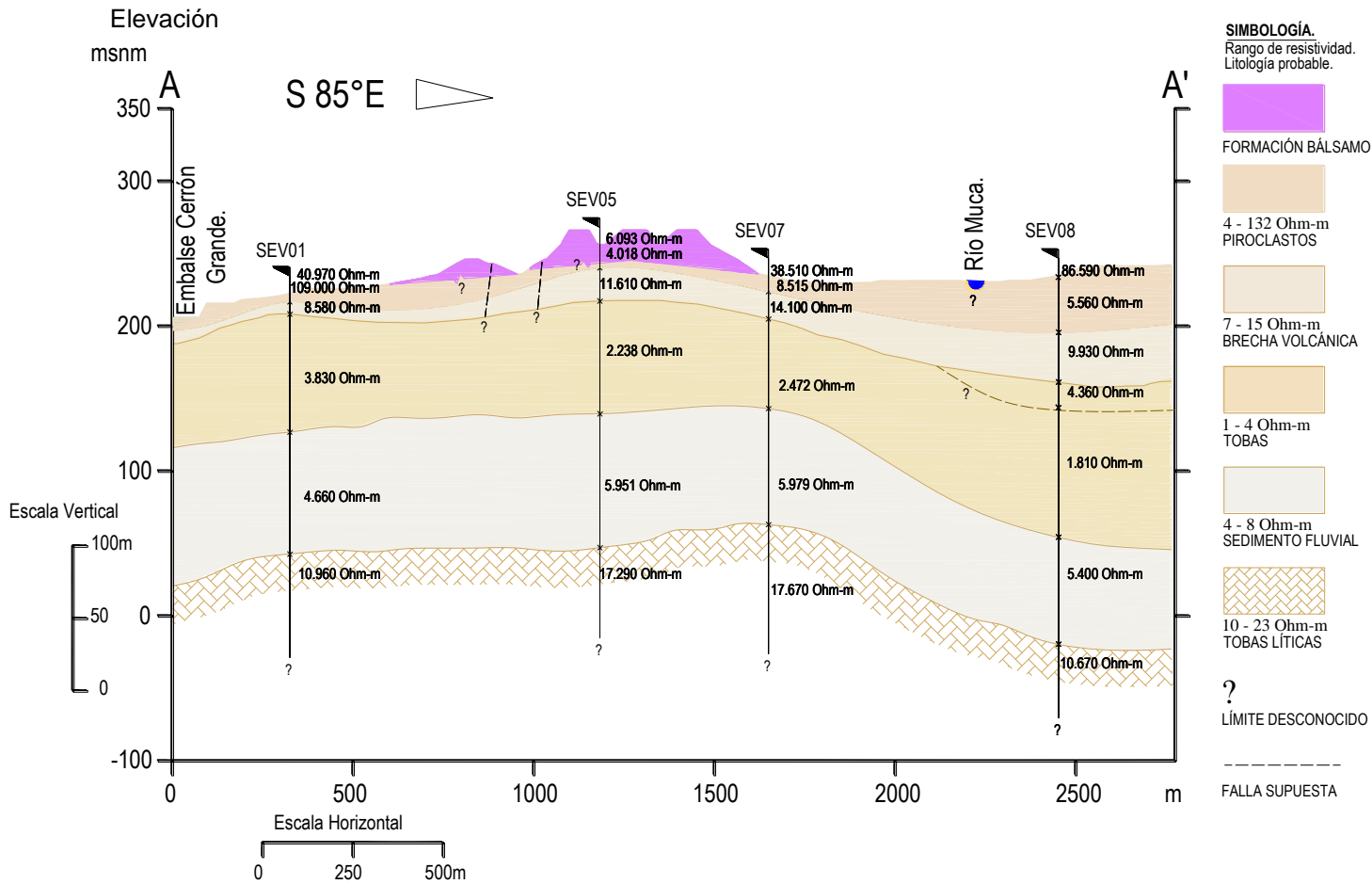


Figura 4.24. Perfil geoelectrico A-A'. Común Las Marías, Caseríos Los Amates, Agua Caliente y La Concepción; Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofísica de 2012.

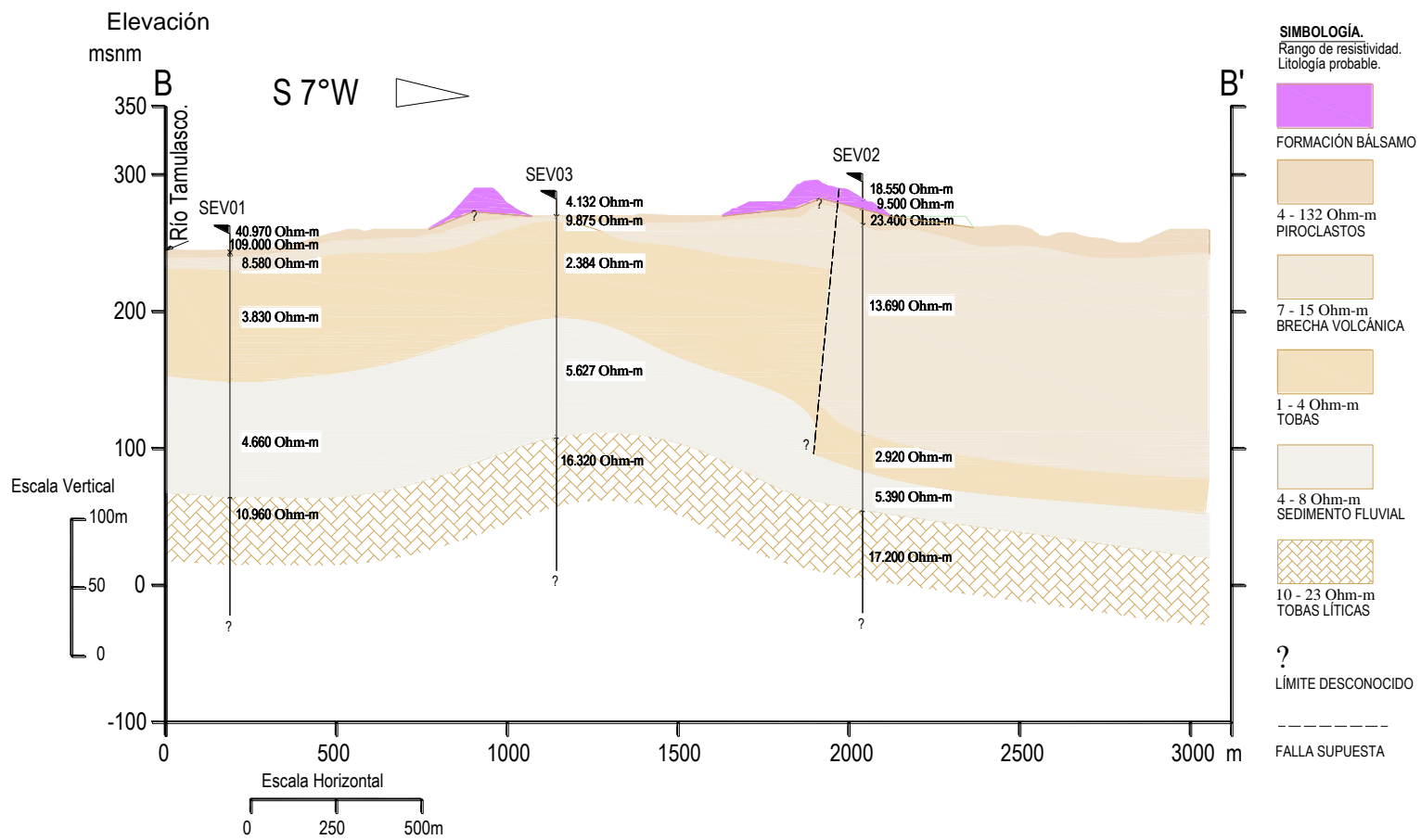


Figura 4.25. Perfil geoelectrico B-B'. Caseríos Los Amates y Gualcho, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofísica de 2012.

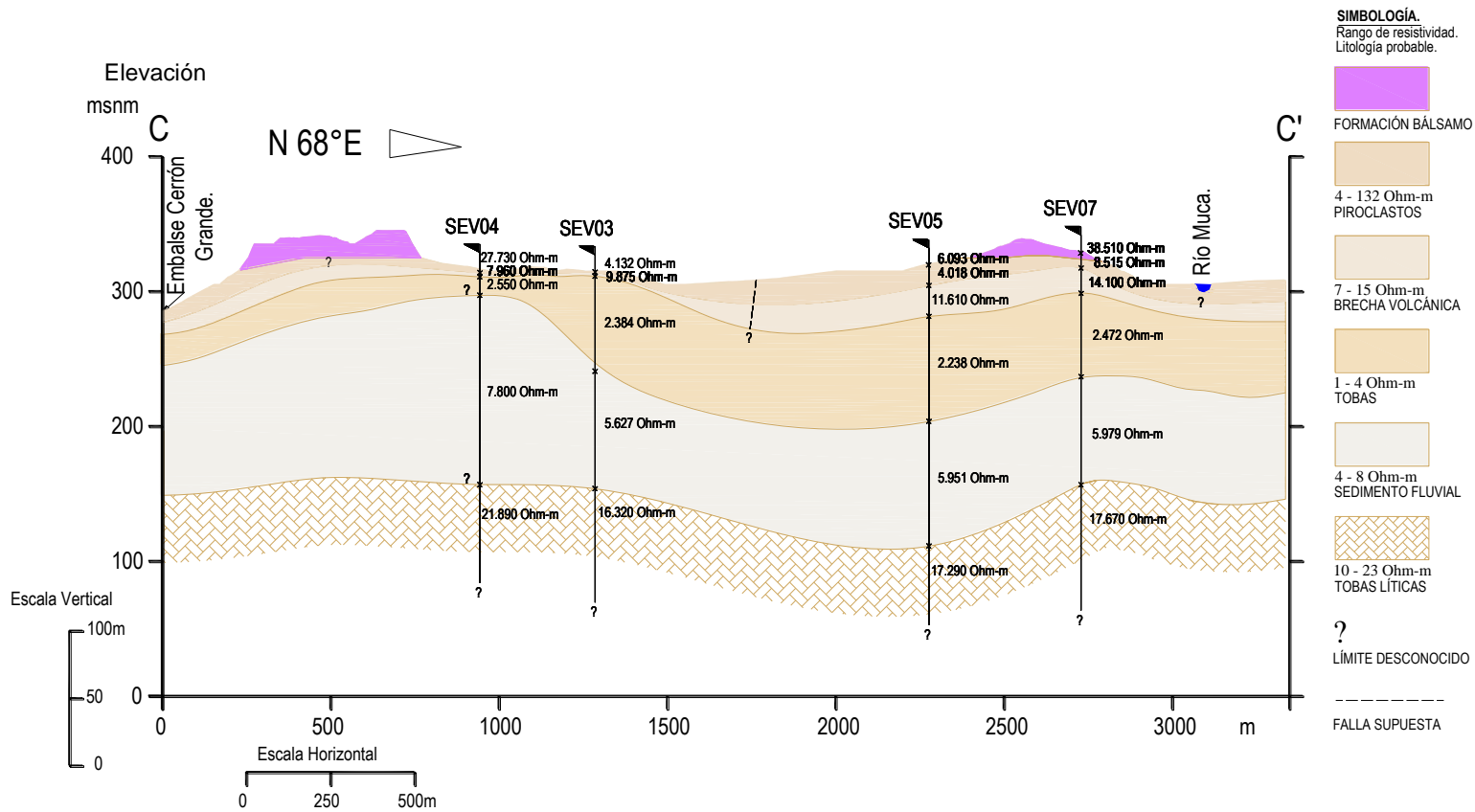


Figura 4.26. Perfil geoelectrico C-C'. Caseríos Los Amates y Agua Caliente, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.
Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofísica de 2012.

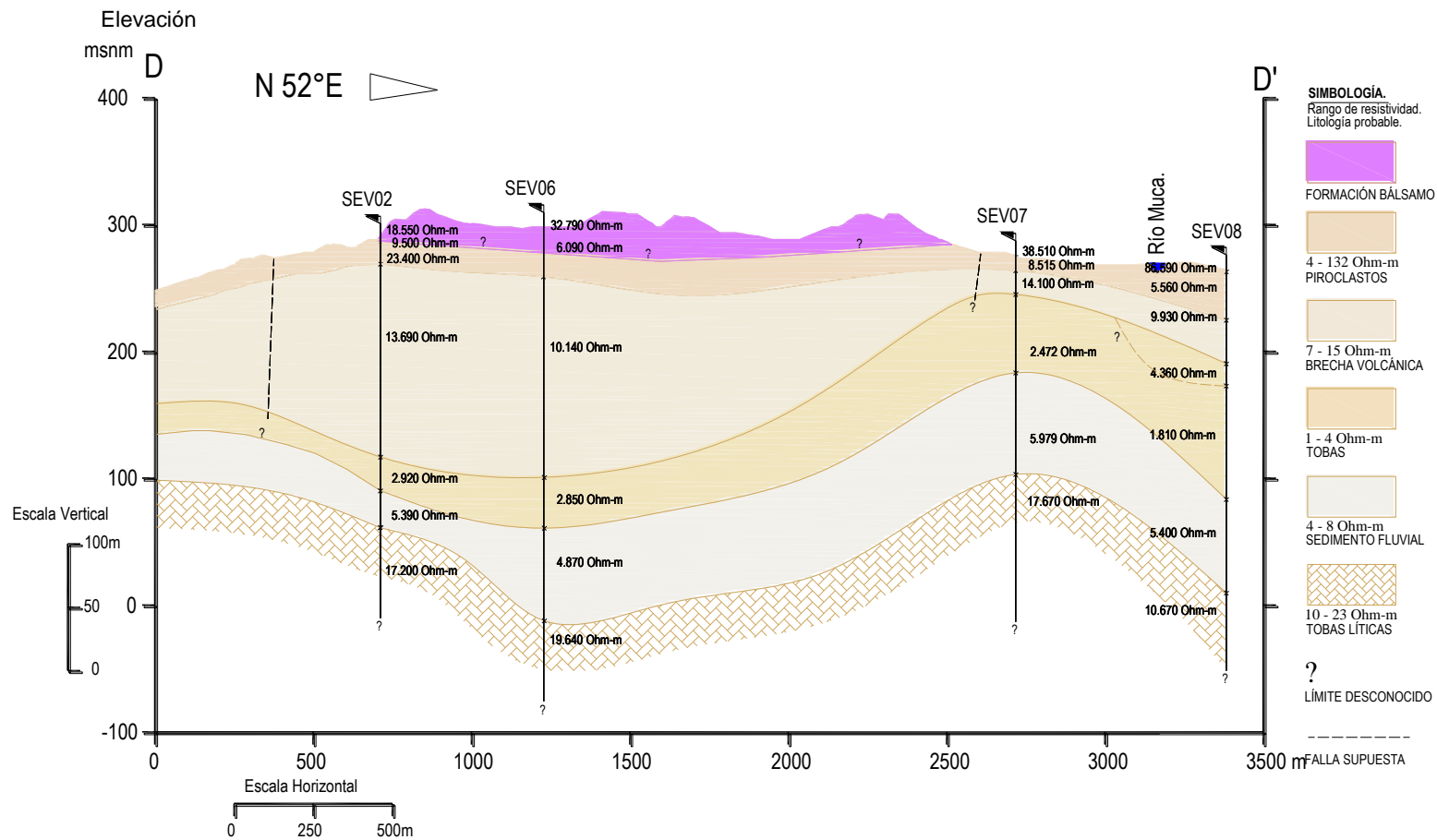


Figura 4.27. Perfil geoelectrico D-D'. Caseríos Gualcho, Los Amates y Agua Caliente; Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofísica de 2012.

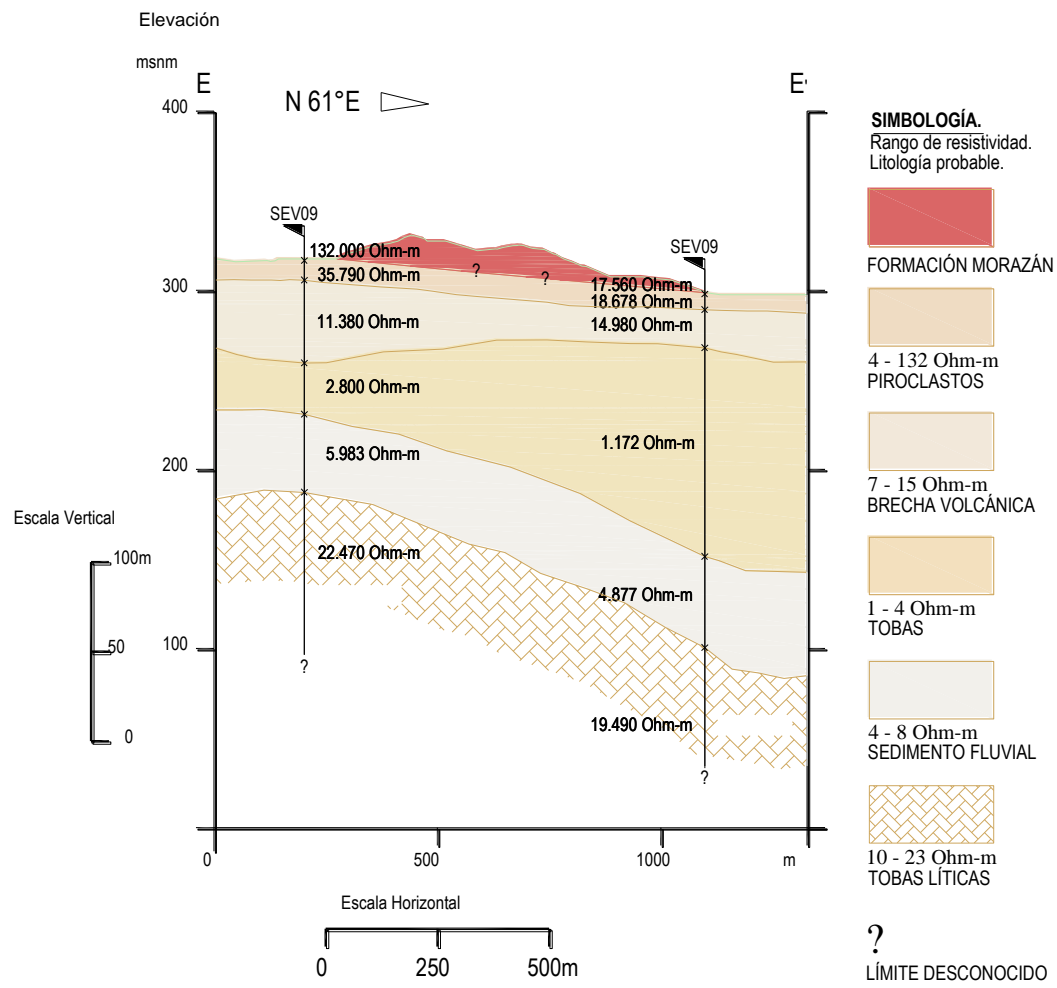


Figura 4.28. Perfil geoelectrico E-E'. Camino a Cuesta de Marina, Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofisica de 2012.

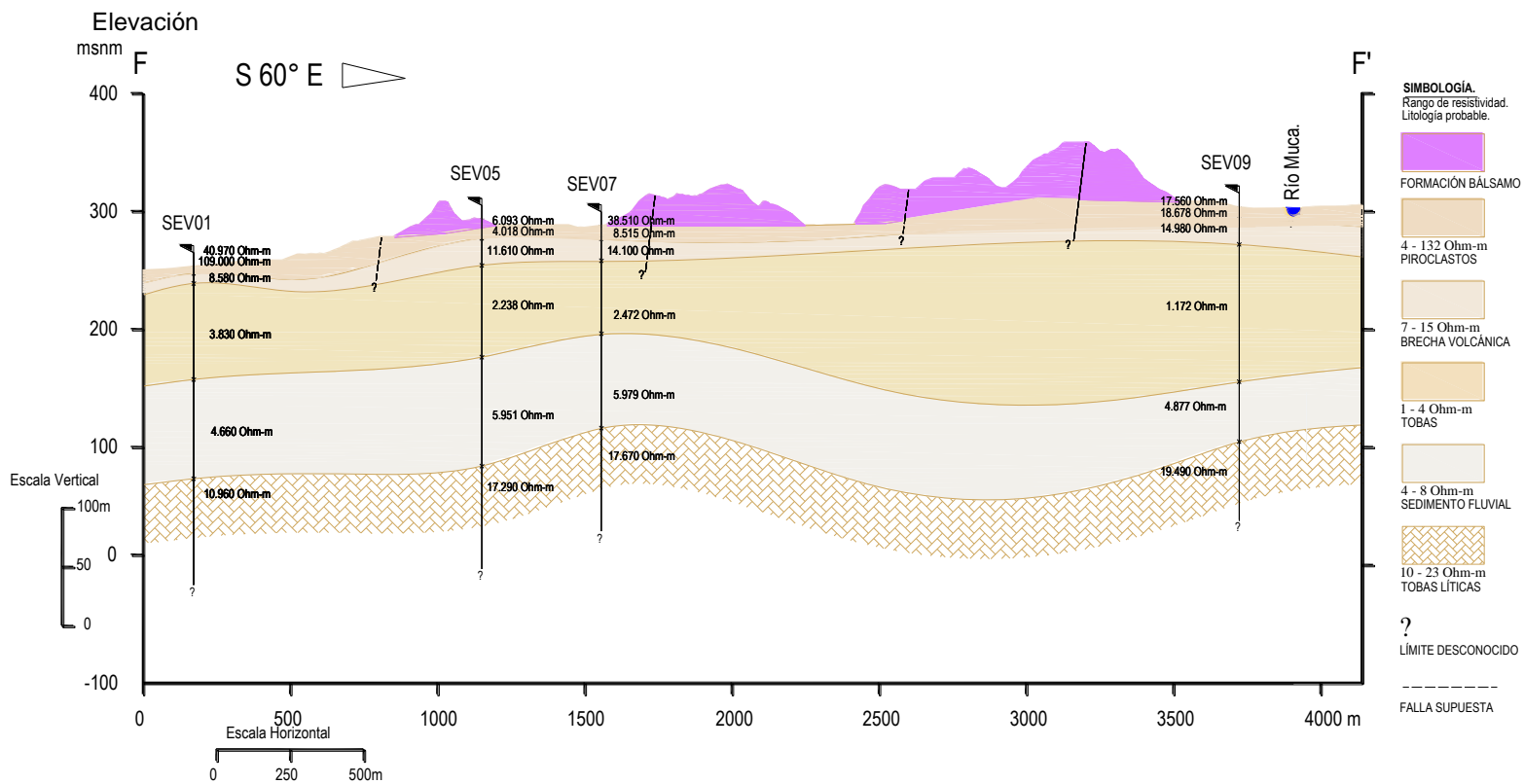


Figura 4.29. Perfil geoelectrico F-F'. Caseríos Los Amates, Agua Caliente y San José; Cantón San José, Municipio de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia, basado en campaña geofísica de 2012.

CAPÍTULO V:
HIDROGEOLOGÍA.

5.1. INTRODUCCIÓN.

El acceso al agua es un derecho que tenemos todos los seres humanos, pero también es una obligación cuidar de ella; una de las formas de hacerlo es gestionando el recurso hídrico adecuadamente, evitando sobre explotarlo y para ello se vuelve necesario conocer las características del lugar del cual se extrae.

En este capítulo se presentan los conceptos básicos de la hidrogeología a través de la sección 5.2; además se da una breve reseña de las características hidrogeológicas generales del país, por medio de la descripción del Mapa Hidrogeológico de El Salvador en la sección 5.3. También se da a conocer la metodología seguida durante esta investigación en la sección 5.4, en donde se describe en forma breve el procedimiento que se siguió para la realización del levantamiento de pozos y manantiales llevado a cabo para la zona de estudio. Por último se presenta la hidrogeología probable de la zona de estudio, en la sección 5.5; en donde se describe cada unidad hidrogeológica presente y además de qué forma está siendo aprovechado el recurso hídrico.

También se debe hacer notar que se ha elaborado un inventario de puntos de agua de la zona de estudio, que puede ser consultado en la versión digital de este trabajo, el cual consta de 128 fuentes de agua, información que puede ser aprovechada por promotores de salud, inspectores ambientales, etc., en la programación de sus actividades y otras instituciones para fines específicos.

En el anexo H.2, se presenta el Mapa Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Muca y Quebradas al Oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande, en el cual se identifica la ubicación de cada uno de los pozos y manantiales encontrados en esta investigación, así como la identificación de los tipos de acuíferos que se encuentran en la zona de estudio. En la versión digital de este trabajo se incluye una carpeta con las coberturas que fueron creadas para la confección de éste mapa.

5.2 FUNDAMENTOS DE HIDROGEOLOGÍA.

5.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

HIDROGEOLOGÍA.

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov L., 1985).

5.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA.

Existen gran cantidad de formaciones geológicas permeables con capacidades muy diferentes de almacenar y transmitir agua, incluyendo las rocas de grano fino con cierto grado de alteración superficial o agrietamientos que permiten una pequeña circulación de agua. Las formaciones geológicas más importantes son: acuíferos, acuitardos, acuicludos y acuífugos.

Acuífero.

Se denomina acuífero al estrato o formación geológica que permite la circulación y almacenamiento del agua (gravas, arenas, rocas fracturadas, etc.) por sus poros o grietas, y hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para el subvenir a sus necesidades.

Acuitardo.

Son formaciones capaces de almacenar agua en cantidades apreciables, pero la transmiten muy lentamente. Se suelen denominar formaciones semipermeables (limos, limos arenosos, arenas limosas etc.), por lo que no son aptos para emplazamiento de

captaciones; sin embargo, sirven como elementos transmisores porque permiten una recarga vertical a través de grandes superficies.

Acuícludo.

Son aquellas formaciones que pueden almacenar agua en grandes cantidades incluso hasta la saturación y no es posible transmitirla (arcillas, arcillas plásticas, arcillas limosas etc.). Estas formaciones drenan con mucha dificultad, por lo que no es posible su explotación.

Acuífugo.

Son formaciones que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico no alterado, o rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación.

En la tabla 5.1 se resumen las características de las formaciones geológicas frente al agua.

Tabla 5.1. Comportamiento de las formaciones geológicas frente al agua.

	Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formaciones características
ACUIFEROS	ALTA	ALTA	ALTA	Gravas, arenas, calizas
ACUITARDOS	ALTA	MEDIA/BAJA	BAJA	Limos, arenas limosas y arcillosas
ACUICLUDOS	ALTA	MUY BAJA	NULA	Arcillas
ACUIFUGOS	NULA	NULA	NULA	Granitos, gneises, mármoles

Fuente: González de Vallejo et al., Ingeniería Geológica, 2002. Página 264.

5.2.3 CLASIFICACIONES DE LOS ACUÍFEROS.

Los acuíferos pueden clasificarse de acuerdo a las características litológicas que anteriormente se han mencionado, pero también hay otras clasificaciones muy importantes que agrupan los acuíferos de acuerdo a su textura y la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos.

CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS SEGÚN SU TEXTURA

Acuíferos Porosos.

Son aquellos acuíferos cuya permeabilidad es debida al espacio de huecos contenidos entre los granos y partículas que conforman la formación, como por ejemplo las gravas, arenas y materiales detríticos con tamaño mínimo de arena. Las características de circulación y almacenamiento del agua son favorecidos cuando los granos están constituidos con material poroso y granulometría homogénea, caso contrario cuando los huecos inter granulares están rellenos con materiales como la arcilla. Véase figuras 5.1 a, b, c, y d.

Acuíferos Fisurados.

Son acuíferos cuya circulación del agua se produce por grietas y fisuras que pueden ser de origen mecánico ó disolución, el flujo del agua puede ocurrir en distintas direcciones de acuerdo a la dirección de las grietas o fisuras. Estos acuíferos pueden encontrarse en calizas, dolomías, basaltos y granitos. Véase figura 5.1e

Acuíferos Cársticos.

Son acuíferos cuya permeabilidad puede darse por la combinación de formaciones porosas y fisuradas. Véase figura 5.1 f y g.

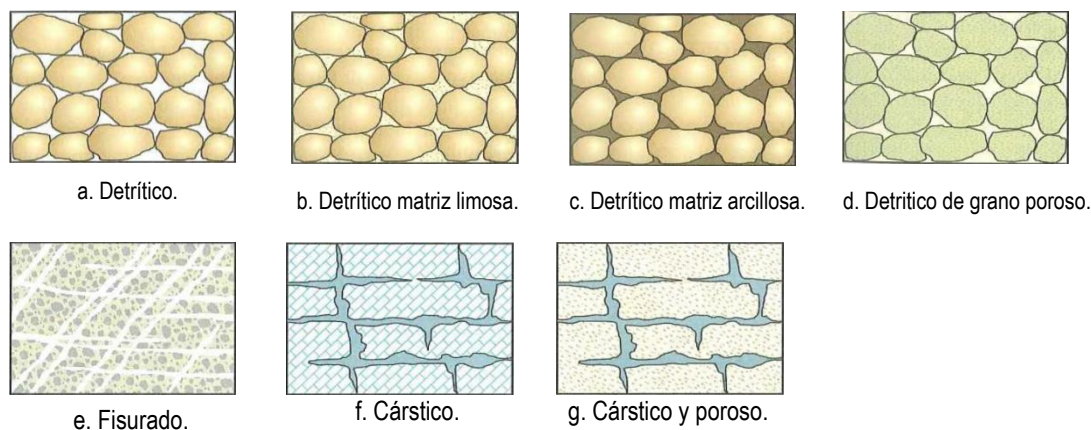


Figura 5.1. Tipos de acuíferos según su textura.

Fuente: González de Vallejo et al., Ingeniería Geológica, 2002. Página 265.

TIPOS DE ACUÍFEROS SEGÚN SU PRESIÓN HIDROSTÁTICA.

Acuíferos Libres o no confinados.

Se denominan acuíferos libres o no confinados a aquellos acuíferos en los cuales su superficie libre está en contacto directo con la presión atmosférica y el nivel del agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. El agua que ceden es la que tienen almacenada (de saturación) cuyo volumen es alto en comparación con los otros tipos de acuíferos. Véase figura 5.2.

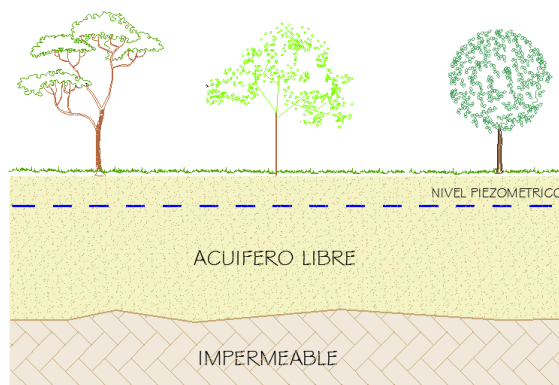


Figura 5.2. Esquema de acuífero libre.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se dan grandes recargas, el nivel de agua asciende y existe una formación impermeable con poca extensión lateral, el agua queda atrapada por encima de la capa impermeable formando el denominado **acuífero colgado**, éste acuífero es ocasional comúnmente en época lluviosa.

Acuíferos cautivos o confinados.

Son aquellos acuíferos en los que el agua de los mismos está sometida a presiones superiores a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que los contiene, saturándola totalmente, están aislados en el subsuelo por capas impermeables, la presión a la que está sometida el agua en su interior se debe al peso de las formaciones por encima al acuífero. Véase figura 5.3.

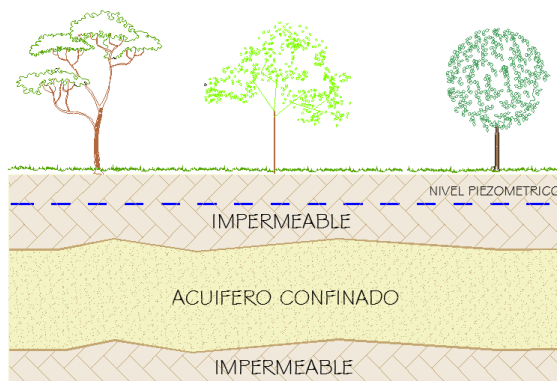


Figura 5.3. Esquemas de acuífero confinado.
Fuente: Elaboración propia.

Acuíferos Semiconfinados.

Son acuíferos similares a los confinados a diferencia de que pueden recibir o perder agua a través del techo y/o la base, debido a que las formaciones superior e inferior no son impermeables. Véase figura 5.4.

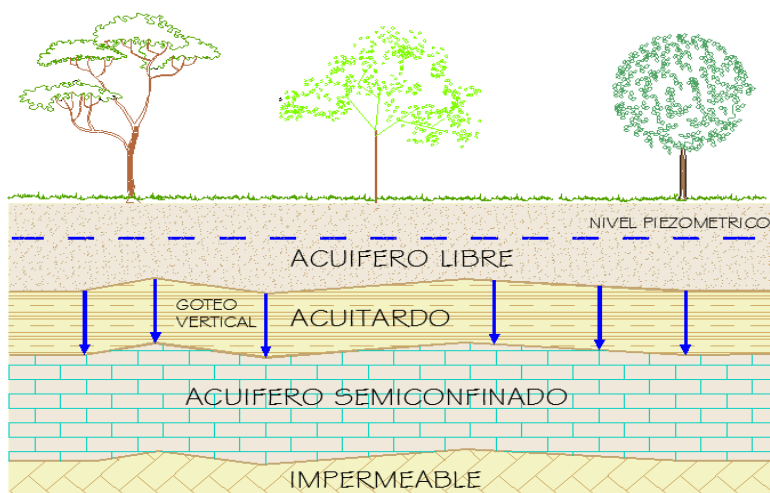


Figura 5.4. Esquema de acuífero semiconfinado.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS FUNDAMENTALES.

Los acuíferos poseen cierto funcionamiento y características o parámetros fundamentales que permiten definir o cuantificar su respuesta frente a las acciones exteriores como la recarga, extracciones, etc. Desde el punto de vista hidrogeológico dichos parámetros son: porosidad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento y transmisividad.

POROSIDAD.

La porosidad es la relación entre el volumen de huecos (vacíos ocupados por aire y/o agua) y el volumen total de un material. Es un parámetro adimensional que depende de la constitución del material (forma, textura, disposición, distribución del tamaño de los granos que lo conforman y el grado de litificación), también puede depender de las características del fluido que se desplace por el material; por lo que surgen dos conceptos distintos de porosidad: porosidad total y porosidad eficaz.

Porosidad total (m).

Se refiere al volumen total de poros, independientemente si están o no conectados entre sí, es decir; independientemente si el fluido que ocupa el material tiene la capacidad de circular entre ellos.

$$m = \frac{\text{volumen de los poros}}{\text{volumen total}} \quad [5.1]$$

La porosidad total de las rocas compactas puede ser afectada por la meteorización y la fracturación por descompresión y esfuerzos tectónicos, los cuales tienden a elevarla. En las arcillas, el efecto de disminución de porosidad por compactación es muy importante y se acentúa rápidamente con la profundidad.

Porosidad eficaz (m_e).

Denominada también porosidad cinemática, es referida al volumen de poros conectados por donde el fluido pueda circular, por lo que depende de las características del material y el fluido que se transporta.

$$m_e = \frac{\text{volumen de los poros conectados}}{\text{volumen total}} \quad [5.2]$$

A continuación se presentan los valores de porosidades totales y eficaces de diversos materiales geológicos:

Tabla 5.2. Porosidades totales y eficaces de diversos materiales geológicos.

Tipo	Material Descripción	Porosidad total % m					Porosidad eficaz % m_e			Obs.
		Media	Normal Máx.	Mín.	Extraordinaria Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	
Rocas masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	<0.2	0.5	0.0	A
	Caliza masiva	8	15	0.5	20		<0.5	1	0.0	B
	Dolomia	5	10	2			<0.5	1	0.0	B
Rocas metamórficas		0.5	5	0.2			<0.5	2	0.0	A
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10			<5	20	0.0	C, E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pumitas	85	90	50	60	5	<5	20	0.0	D
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0.1			<1	2	0.1	A
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rocas sedimentarias consolidadas	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0.5	<2	5	0.0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0.0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0.2	B
	Caliza detrítica	10	30	1.5			3	20	0.5	
Rocas sedimentarias sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			<5	10	0.1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos Glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0.0	E
Suelos superiores	50	60	30			10	20	1	E	

A= Aumenta m y m_e por meteorización.

B= Aumenta m y m_e por fenómenos de disolución.

C= Disminuye m y m_e con la edad.

D= Disminuye m y puede aumentar m_e con la edad.

F= m_e muy variable según circunstancias y tiempo.

E= variable según el grado de cementación y su solubilidad.

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001. Página 468.

Determinación de la porosidad.

La cuantificación de la porosidad puede efectuarse por una variedad de métodos de campo y laboratorio, siendo los de campo más idóneos, pues los de laboratorio suponen una alteración de la muestra con respecto a su estado natural inicial del material, más aún cuando se trata de materiales no consolidados.

Métodos para determinar la porosidad total.

a) *Método gravimétrico.*

Se basa en determinar la densidad real y la densidad aparente de un material en el laboratorio, la porosidad total se obtiene de la siguiente manera:

$$m_t = \frac{\rho_t - \rho_{ap}}{\rho_t} \quad [5.3]$$

Donde:

m_t = porosidad total

ρ_t = densidad real

ρ_{ap} = densidad aparente

b) *Método volumétrico.*

Consiste en saturar la muestra con un líquido y se mide el volumen aparente por inmersión en un picnómetro lleno de dicho líquido. Después se tritura la muestra seca y se mide el volumen de los sólidos con ayuda de un picnómetro. El cociente de volúmenes proporciona el valor $1-m_t$.

c) *Métodos ópticos.*

Se fundamenta en medir por inspección visual en un microscopio el porcentaje de vacíos en una muestra preparada en varias fracciones con una cara plana.

d) *Métodos nucleares.*

Se basan principalmente en la moderación de los neutrones rápidos emitidos por una fuente, moderación que es tanto mayor cuanto mayor es la porosidad de la muestra saturada.

Determinación de la porosidad eficaz en el laboratorio.

Para la determinación de la porosidad eficaz en el laboratorio se utiliza el denominado *porosímetro*, existen de distintos tipos, que se fundamentan en los métodos descritos a continuación.

a) *Métodos de expansión de gas.*

En este método se toma la muestra seca y se mide el volumen de aire que se puede extraer de la misma por vacío. El volumen de aire en condiciones normales equivale al volumen de poros conectados.

b) *Método de inyección de mercurio*

Se utiliza para determinar porosidades de materiales consolidados con poros pequeños, y se basa en medir el volumen aparente por inmersión en mercurio sin presión. Para obtener el volumen real se eleva la presión del mercurio y éste penetra por los poros conectados reduciendo el volumen de aire a un valor despreciable. El cociente entre ambos volúmenes es la porosidad eficaz. Véase figura 5.5.

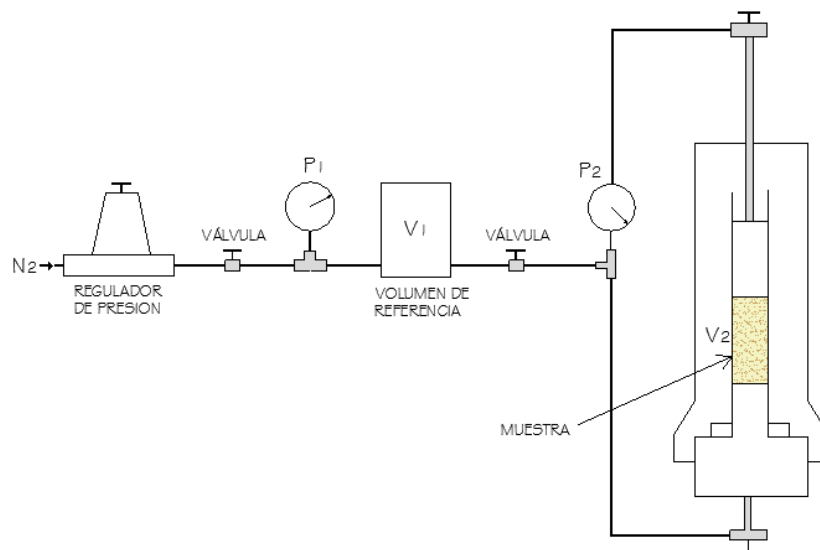


Figura 5.5. Esquema de funcionamiento de un porosímetro.

Fuente: Cupertino, 2005.

c) *Método de saturación.*

Consiste en obtener la diferencia de peso de un material en estado seco y al saturarlo con un líquido que impregne fácilmente como el tetracloroetano, el volumen reducido del peso de tetracloroetano introducido, da el volumen de poros conectados.

En la siguiente tabla, se muestra los valores de porosidad eficaz de materiales aluviales:

Tabla 5.3. Valores de porosidad eficaz de materiales aluviales.

<i>Material</i>	<i>Porosidad eficaz %</i>		
	<i>Máx.</i>	<i>Mín.</i>	<i>Media.</i>
Arcilla arenosa	12	3	7
Arena fina	28	10	21
Arena media	32	15	26
Arena gruesa	35	20	27
Arena con grava	35	20	25
Gravas finas	35	21	25
Gravas medias	26	13	23
Gravas gruesas	26	12	22

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001. Página 467.

Determinación de la porosidad eficaz en campo.

a) *Métodos de bombeo y de recarga.*

En el bombeo de pozos puede obtenerse el coeficiente de almacenamiento ya que en acuíferos libres coincide con la porosidad eficaz cuando el tiempo de bombeo es suficientemente prolongado. De igual manera para pozos de recarga, con la ventaja que requiere menos tiempo y los valores de porosidad son próximos a los obtenidos por otros métodos.

b) *Métodos de balance.*

Este método consiste en comparar entrada o salida neta de agua en una porción de acuífero conocida, a partir de datos de precipitación, bombeo, infiltración, flujo subterráneo, etc., con el cambio de nivel producido.

c) *Método de trazadores.*

Es aplicable a cualquier tipo de acuífero, consiste en introducir un trazador en un pozo para medir la velocidad real del agua subterránea in situ, se realiza extrayendo agua del acuífero en otro pozo a un caudal determinado. Midiendo el tiempo de llegada del trazador, conociendo el espesor del acuífero, la distancia entre pozos, (véase figura 5.6) puede determinarse la porosidad eficaz mediante la siguiente fórmula:

$$m_e = \frac{Q \cdot t_v}{\pi \cdot R^2 \cdot b} \quad [5.4]$$

Donde:

m_e = porosidad eficaz

Q = caudal

t_v = tiempo que tarda en llegar el trazador desde un punto a otro

R^2 = Distancia entre los dos pozos.

B = espesor del acuífero.

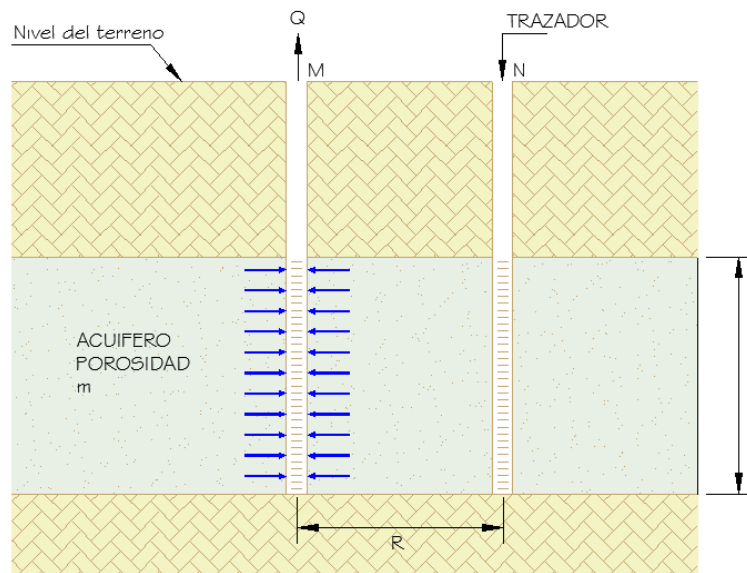


Figura 5.6. Esquema del método de trazadores para determinar porosidad eficaz.

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001, Página 1214.

PERMEABILIDAD.

Permeabilidad es la capacidad de un material de permitir que el agua lo atraviese y se expresa en unidades de velocidad. La permeabilidad tiene una relación intrínseca con la porosidad efectiva ya que depende de los mismos factores, puesto que si no hay poros interconectados no existe permeabilidad. En la mayoría de casos a mayor porosidad corresponde mayor permeabilidad, pero tal situación no siempre se cumple, por ejemplo en las arenas finas que poseen gran cantidad de poros interconectados, pero el espacio entre granos es diminuto lo que conlleva a que el paso del fluido sea más lento, en consecuencia los materiales compuestos por granos finos son poco permeables, véase tabla 5.4. La permeabilidad en los materiales puede variar debido a la existencia de grietas y fallas.

Tabla 5.4. Valores de permeabilidad de materiales más comunes.

<i>Material</i>	<i>K en cm/s</i>
Grava limpia	>1
Arena gruesa limpia	1 a 10^{-2}
Mezcla de arena	10^{-2} a 5×10^{-3}
Arena fina	5×10^{-3} a 10^{-3}
Arena limosa	2×10^{-4} a 10^{-4}
Limo	5×10^{-4} a 10^{-5}
Arcilla	$<10^{-6}$

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001, Página 471.

La permeabilidad puede estar asociada a las características del material y al fluido que escurre, debido a ello surgen dos conceptos distintos: permeabilidad efectiva y permeabilidad intrínseca.

Permeabilidad intrínseca (K).

Depende únicamente de las características internas del medio permeable.

Permeabilidad efectiva o conductividad hidráulica (k).

Depende de las características del material y el fluido que lo atraviesa. Se define como el caudal que es capaz de atravesar una sección unitaria del acuífero, normal al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Las unidades más usuales son cm/s y m/día.

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD.

La determinación de la permeabilidad es complicada por lo difícil que resulta asignar valores a materiales heterogéneos, debido a las variaciones en composición, tamaño de granos etc., los métodos de campo son los más indicados sobre todo si se trata de un acuífero heterogéneo, ya que los métodos de laboratorio arrojan datos puntuales y requieren de varias determinaciones para conseguir valores representativos.

Determinación de la permeabilidad en el campo.

a) Ensayos de bombeo.

En los ensayos de bombeo se determina en general el valor de la transmisibilidad $T=kb$, siendo “b” el espesor del acuífero, con este método pueden conseguirse valores aceptables siempre y cuando “b” se conoce con relativa precisión.

b) Ensayos de descenso en piezómetros.

Consiste en calcular la permeabilidad mediante la observación de la variación de niveles piezométricos con el tiempo, en un bombeo de extracción o introducción de agua en pequeñas cantidades ya sea en pozos, sondeos, piezómetros.

c) Método de trazadores.

Al igual que para determinar la porosidad, se fundamenta en la medición directa de la velocidad real del agua subterránea (véase figura 5.6), conociendo el gradiente hidráulico medio “i” y la porosidad “m” la permeabilidad “k” se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$k = \frac{v \cdot m}{i} \quad [5.5]$$

d) *Métodos de superficie.*

El método se fundamenta en colocar dispositivos en la superficie del terreno en el que se introduce agua y se mide el caudal aportado (Método de Müntz), o excavar y verter agua con un caudal controlado (Método de Porchet).

Determinación de la permeabilidad en el laboratorio.

Los datos de permeabilidad obtenidos en laboratorio representan únicamente una porción del acuífero y por lo tanto se consideran una aproximación al valor real del mismo, el equipo para determinar las mediciones directas de permeabilidad se conoce como permeámetro. Los tipos de permeámetros de acuerdo al tipo de carga hidrostática aplicada a una muestra de material son: permeámetro de carga fija, permeámetro de carga variable y permeámetro diferencial.

Permeámetro de carga fija:

Se aplica una diferencia de nivel de agua constante (figura 5.7) y se determina el caudal que circula. Es adecuado para muestras relativamente permeables.

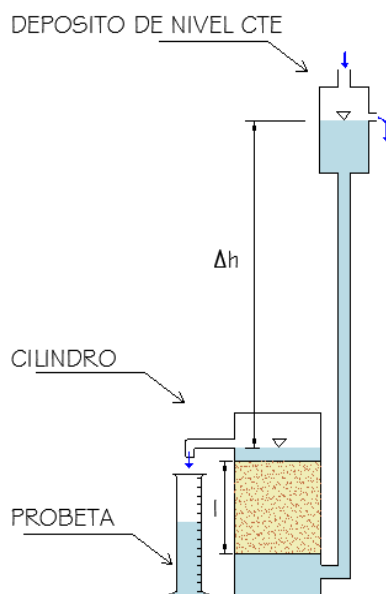


Figura 5.7. Esquema de permeámetros de carga constante.

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001. Página 475.

$$k = \frac{V \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t} \quad [5.6]$$

Donde:

k = permeabilidad

V = volumen de agua que ha circulado en un tiempo t

A = sección de la muestra

Δh = carga hidráulica aplicada

l = longitud de la muestra

Permeámetro de carga variable:

Se mide el descenso del nivel de agua aplicado a la muestra. Adecuado para muestras poco permeables ya que se pueden obtener resultados más rápidos. (Véase figura 5.8).

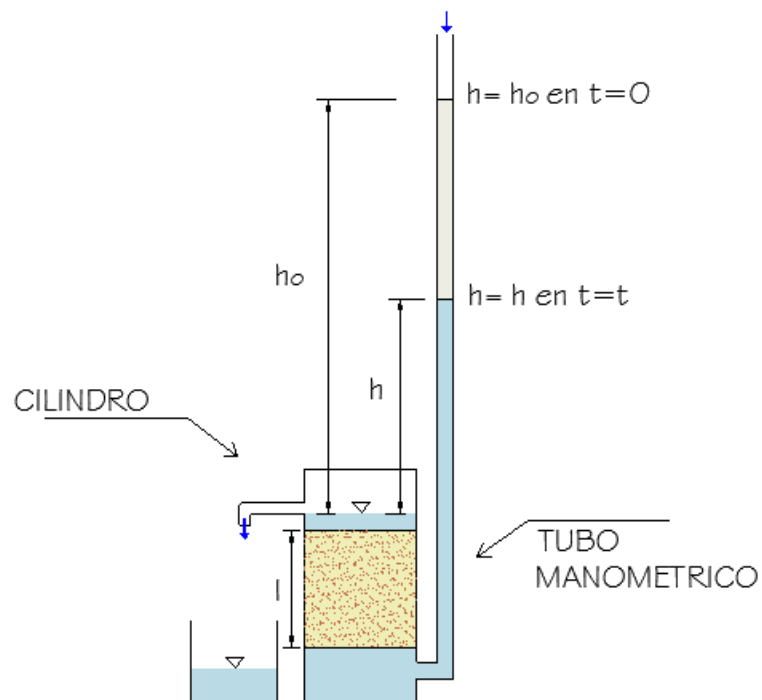


Figura 5.8. Esquema de permeámetros de carga variable.

Fuente: Custodio et al. Hidrología subterránea Tomo I. 2001. Página 475.

$$k = \frac{a \cdot l}{A \cdot t} \ln \frac{h_o}{h} \quad [5.7]$$

Donde:

K = permeabilidad	ho = carga hidráulica inicial
a = sección del depósito	h = carga hidráulica final
A = sección de la muestra	l = longitud de la muestra.

Permeámetro diferencial:

Es una modificación del permeámetro de carga variable, la carga hidráulica aplicada es muy pequeña. (Véase figura 5.9).

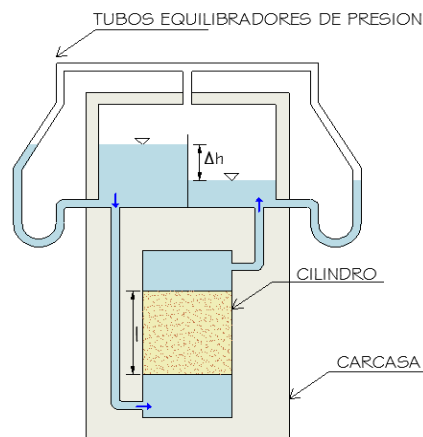


Figura 5.9. Esquema de un permeámetro diferencial.

Fuente: Custodio et al., Hidrología subterránea Tomo I, 2001, p. 475.

$$k = \frac{a \cdot l}{2A \cdot t} \ln \frac{\Delta h_o}{\Delta h} \quad [5.8]$$

Donde:

k = permeabilidad	Δh _o = diferencia de nivel inicial entre depósitos
a = sección de los depósitos supuesta igual para ambos	Δh = diferencia de nivel final entre depósitos en el tiempo ta
A = sección de la muestra	l = longitud de la muestra.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.

El coeficiente de almacenamiento representa la capacidad de un acuífero para ceder el agua. Se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical de sección unitaria y altura igual a la del acuífero saturado, si se produce un descenso de 1 m del nivel piezométrico (Véase figura 5.10). Es un parámetro adimensional y alcanza distintos valores según el tipo de formación, en acuíferos libres desde 0.05 hasta 0.3 y en acuíferos confinados desde 10^{-3} hasta 10^{-5} .

En un acuífero libre el valor del coeficiente de almacenamiento coincide con el valor de la porosidad eficaz, el agua procede del vaciado del agua contenida en el acuífero. En los acuíferos confinados es distinto, al momento de extracción existe una dilatación del agua por descompresión de las capas del acuífero proporcionando cantidades de agua, por lo que el agua se libera por mecanismos elásticos.

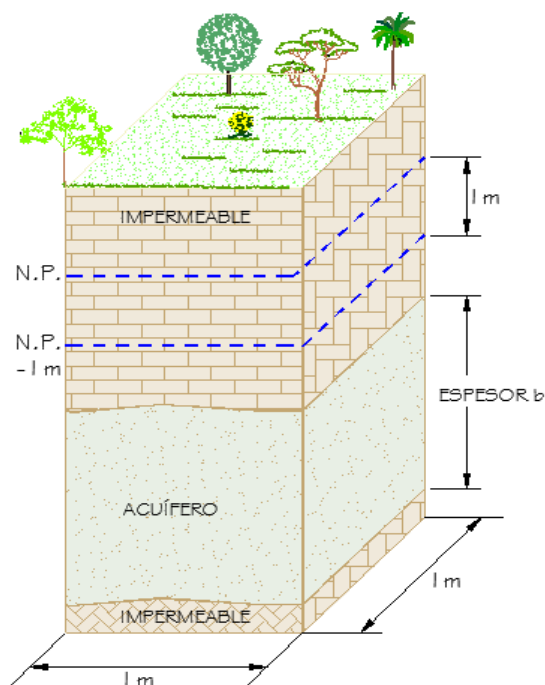


Figura 5.10. Esquema de la definición del coeficiente de almacenamiento de un acuífero confinado.

Fuente: Elaboración propia.

TRANSMISIVIDAD (T).

La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica “k” por el espesor “b” del acuífero. Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unitario y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada. Este parámetro cuantifica la capacidad de un acuífero para transmitir agua, teniendo en cuenta las características del fluido y materiales que conforman el acuífero. Sus dimensiones son de área por tiempo, es decir, m²/día, cm²/s.

5.2.5 MOVIMIENTO DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS.

El movimiento del agua en un acuífero depende de las características que posee cada formación geológica; sin embargo en el suelo y subsuelo se pueden diferenciar cuatro zonas principales: suelo, zona no saturada, zona capilar y zona saturada. (Véase figura 5.11):

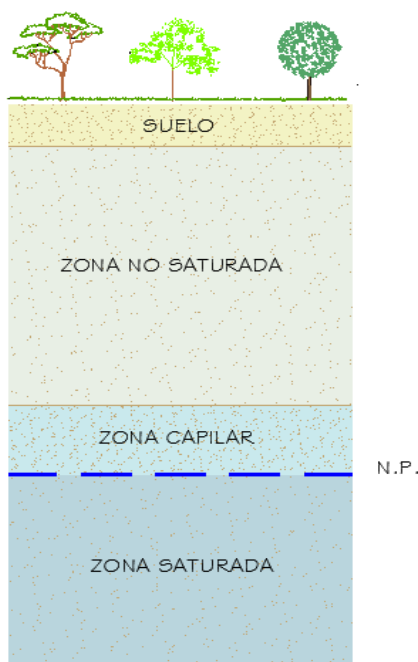


Figura 5.11. Perfil del suelo y subsuelo.

Fuente: Elaboración propia.

SUELO.

Esta zona está caracterizada por su alta porosidad y materia orgánica, el movimiento del agua está relacionado con el fenómeno de evapotranspiración, depende de la precipitación y de la capacidad de las plantas para almacenar agua, al transcurrir la precipitación el agua que no es interceptada por las plantas circula por la superficie o desciende hacia la zona saturada. En ésta zona existen presiones negativas debido a la absorción.

ZONA NO SATURADA.

El movimiento del agua en ésta es descendente con un recorrido vertical, por efecto de la gravedad, además se da el efecto de aireación y filtrado, al igual que en el suelo pueden darse presiones negativas por efecto de absorción de la formación.

ZONA CAPILAR.

La franja o zona capilar es la transición entre la zona no saturada y la zona saturada, en la parte superior posee características similares a la zona no saturada, aunque también puede ocasionar una disminución del flujo descendente por el aire atrapado, en su parte inferior el agua se mueve con características de la zona saturada.

ZONA SATURADA.

Es la zona en la que los poros del acuífero están totalmente llenos de agua. En ésta zona el agua se mueve en puntos de mayor a menor energía, es decir; en zonas de mayor a menor nivel piezométrico, sin importar la situación en altura de la formación correspondiente, atendiendo a la energía en cada punto del espacio del acuífero.

5.2.6 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA.

La superficie piezométrica es el lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se les representa mediante líneas de igual altura piezométrica, de forma

similar a la representación de una superficie topográfica mediante curvas de nivel. A estas curvas se les llama *isopiezas*. Es importante diferenciarla de la superficie freática que es la que define el límite de saturación de un acuífero libre, y coincide con la superficie piezométrica correspondiente a los puntos situados en el límite de saturación. Las superficies piezométricas de los acuíferos confinados son más elevadas que el techo de los mismos, excepto en las cercanías de captaciones que producen grandes descensos en los niveles de agua. Cuando existen flujos verticales hacen que la superficie piezométrica no sea única, por lo que deben trazarse perfiles verticales para complementar, lo habitual es que la superficie se pueda tomar como única.

Determinación de los niveles piezométricos.

La manera ideal para medir los niveles piezométricos en un acuífero es mediante una perforación directa que permita el acceso al mismo, estas perforaciones son los pozos existentes en la zona, excavaciones hasta el nivel de agua y los piezómetros que son a modo de pozos construidos especialmente para este objetivo.

En general los niveles piezométricos en pozos y piezómetros se miden con una cinta metálica y un dispositivo o artificio para delatar el nivel de agua. La precisión suficiente al medir es el cm y algunos casos de ± 10 cm, excepto en los acuíferos con gradientes muy pequeños por ejemplo, en calizas muy fracturadas o karstificadas; la profundidad del nivel piezométrico se mide usando una referencia como el nivel del mar, también es importante considerar las variaciones en los niveles piezométricos en el acuífero y sus causas, ya que la altura del nivel puede variar para un mismo punto en épocas distintas.

Oscilaciones en los niveles piezométricos del agua subterránea.

Las oscilaciones en los niveles piezométricos pueden ser rápidas, periódicas que se repiten en ciclos por causas que se describen a continuación:

- Sucesión de épocas secas y épocas húmedas (invierno y verano).
- Variaciones de niveles en ríos y lagos conectados directamente con el acuífero.
- Extracción de agua por bombeo o recarga por inyección.

- Efectos de cambios en la gravedad (mareas).
- Cambios en la presión atmosférica.
- Efectos de sobrecargas rápidas o propagación de ondas elásticas.

Trazado de las curvas isopiezas.

El trazado de curvas isopiezas de datos puntuales se elabora mediante métodos análogos a los empleados en topografía para el trazo de curvas de nivel. Para obtener el trazo de las isopiezas es necesario conocer una serie de puntos del nivel piezométrico del acuífero, en base a las curvas se pueden trazar las líneas de corriente que deben ser normales a las isopiezas, además es necesario que los puntos elegidos para el trazo no muestren de ser posible los efectos del flujo vertical. Las isopiezas deben ser normales a los límites impermeables y paralelas a las superficies y líneas de nivel constante tales como ríos, lagos, mares, etc. Además deben reflejar los cambios bruscos de permeabilidad. Véase figura 5.12.



Figura 5.12. Trazo de curvas isopiezas.

Fuente: González de Vallejo et al. Ingeniería Geológica. 2002. Página 270.

5.3. HIDROGEOLOGÍA DE EL SALVADOR.

En El Salvador, el agua subterránea juega un papel importante ya que se ha determinado que el país cuenta con 6 mil 155 millones de metros cúbicos de agua subterránea, los cuales son renovables cada año en la época de invierno, y que representan la principal fuente de abastecimiento de agua potable. Además, su explotación se realiza a través de la perforación de pozos y la captación en manantiales.

Con el fin de promover una gestión sostenible a nivel nacional del agua subterránea, en el año de 1997, se implementó el Proyecto de Fortalecimiento Institucional de ANDA para la Investigación de Aguas Subterráneas (FIAS), con el apoyo de La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Este proyecto se desarrolló en las siguientes cuatro fases:

- *FASE I (1998-1999)*: Fortalecimiento de las capacidades técnico-científicas del personal de pozos y de hidrogeología de ANDA; a través de capacitaciones y la adquisición de equipo informático. Además se desarrolló el primer estudio científico orientado a la creación del mapeo hidrogeológico del país.
- *FASE II (2000-2002)*: Se implementaron investigaciones hidrogeológicas en varias zonas del país por estudiantes de la Universidad de Neuchatel de Suiza y se continuó con capacitaciones del personal de ANDA.
- *FASE III (2003-2005)*: Se inició el proceso de mapeo hidrogeológico, obteniendo a finales del año 2003 el primer mapa correspondiente a la región hidrográfica “B”, el cual se tomaría como referencia en los mapas que estaban por crearse. Se continuaron las capacitaciones aprovechando los recursos promovidos por la Red Centroamericana de Recurso Hídricos (CARA). Y en el 2005, se impulsó el mapeo de las regiones hidrográficas “F”, “G”, “H”, “I” y las zonas de La Montañona en Chalatenango, área metropolitana de San Salvador y la Subcuenca del Río Sucio. También se logra validar el primer mapa hidrogeológico de la región “D”.

- *FASE IV (2006-2008)*: Se culmina el mapeo hidrogeológico por regiones hidrográficas, se integra en un solo mapa nacional y se valida, dando como resultado el Mapa Hidrogeológico de El Salvador, a escala 1:100,000.

5.3.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN EL SALVADOR.

Durante la creación del Mapa Hidrogeológico de El Salvador, se agruparon los acuíferos en seis Unidades Hidrogeológicas, las cuales se describen a continuación en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Unidades Hidrogeológicas de El Salvador.

Unidad.	Descripción.
Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción.	<p>Esta unidad la constituyen, principalmente rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente).</p> <p>Esta unidad se puede localizar en el complejo volcánico de Santa Ana, al sur de Metapán, Volcán de Guazapa, Suchitoto, complejo volcánico de San Salvador excepto en el cráter de El Boquerón, volcán de San Miguel y en el departamento de La Unión en los Municipios de Pasaquina, Conchagua y San Alejo, etc.</p>
Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Extensión Limitada y Productividad Media.	<p>Esta unidad la constituye, principalmente rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica de la zona. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente).</p> <p>Se puede localizar esta unidad en los alrededores de la Caldera de Coatepeque, en sectores al norte de Zaragoza en la Libertad, Perquin, San Fernando y Cacaopera en Morazán, así como en sectores al Norte del departamento de La Unión.</p>
Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media.	<p>Los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y retrabajados (pómez, lapillo, tobas), teniendo una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Las conductividades hidráulicas pueden variar de medianas a bajas, como consecuencia al grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituye. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor.</p> <p>Esta unidad se extiende en gran parte del litoral salvadoreño, excepto en La Libertad, San Miguel y La Unión; también se localiza en los municipios de Ahuachapan, Atiquizaya, Concepción de Ataco en Ahuachapan; en Nueva</p>

Continuación de tabla 5.5. Unidades Hidrogeológicas de El Salvador.

Unidad.	Descripción.
<p>Unidad Acuíferos Locales de Extensión Limitada y Productividad Mediana a Baja.</p>	<p>Concepción y El Paraíso en Chalatenango, Aguilares, Tonacatepeque, Ayutuxtepeque, Cuscatancingo, Mejicanos, Soyapango y San Martín en San Salvador; San Bartolome Perulapia, Monte San Juan, Santa Cruz Michapa, San Rafael Cedros en Cuscatlán; Santo Domingo, San Sebastian, San Lorenzo en San Vicente, Mercedes Umaña en Usulután, así como en sectores de San Miguel al norte del Lago Olomega.</p> <p>Esta unidad está constituida básicamente por sedimentos aluviales (arenas, gravas, etc.), que han sido transportados por los ríos, desde la parte alta de los cerros hasta la planicie. Los materiales de esta unidad presentan una conductividad hidráulica de mediana a baja, la que depende de la granulometría, del grado de limpieza (contenido de limo y arcilla) y del grado de compactación que presentan los materiales. El espesor de estos materiales puede superar los 15 m.</p> <p>Esta unidad se encuentra dispersa en muchos lugares del país como en Tepetitán al norte del volcán de San Vicente, Nuevo Cuscatlán en La Libertad, Santo Tomás en San Salvador, sectores rivereños al Lago de Ilopango, etc.</p>
<p>Unidad Acuíferos Locales Generados por Sistemas de Fallas.</p>	<p>Esta unidad la constituyen principalmente rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, distinguiéndose flujos y coladas de lavas que provienen de procesos tectónico-volcánicos originados en la zona. Los materiales de esta unidad pueden presentar conductividades hidráulicas de mediana a bajas como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente), formando pequeños acuíferos locales. La manifestación de esta unidad se da por el afloramiento de manantiales que posteriormente contribuyen a la generación del caudal base de los sistemas de escorrentía superficial de la zona.</p> <p>Se encuentran en diversos puntos del país por ejemplo en Jujutla en Sonsonate, San Miguel de Mercedes y San Antonio Los Ranchos en Chalatenango, entre muchos otros lugares.</p>
<p>Unidad Rocas No Acuíferas.</p>	<p>Los materiales de esta unidad están compuestos por flujos macizos de lavas, intercalados con tobas aglomeradas y brechas, además de lahares cementados, presentando conductividades hidráulicas muy bajas o casi nulas, debido a su baja porosidad o a su alto grado de compactación y cementación. Se considera que constituyen el basamento de los acuíferos identificados en la zona de estudio. La profundidad a la que se encuentra esta unidad puede superar los 100 m.</p> <p>Esta unidad se encuentra en la mayor parte de la zona norte del país, así como los alrededores del Lago de Ilopango y La Libertad.</p>

Fuente: ANDA; Mapa Hidrogeológico de El Salvador, escala 1:100,000; 2010.

5.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGÍCA.

La finalidad de la investigación hidrogeológica es determinar los acuíferos existentes dentro de la zona de estudio e identificar sus características conforme a la información obtenida.

Para lograr el objetivo se realizaron las siguientes actividades:

1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.

Para realizar esta actividad se contó con la colaboración de la promotora de salud de la zona, persona que presentó al grupo de trabajo en una reunión de la comunidad, lo cual facilitó el acceso a las viviendas.

Esta actividad se desarrolló durante 7 días no consecutivos (29/03/12, 30/03/12, 05/04/12, 08/04/12, 14/04/12, 15/04/12 y 01/05/12), recorriendo las diferentes calles y caminos existentes dentro de la zona de estudio, preguntando casa por casa si poseen pozos o manantiales en la propiedad e identificando pozos y manantiales en potreros.

La actividad consistió en identificar e inventariar cualquier punto de agua existente como pozos profundos, pozos de poca profundidad y manantiales. Para realizar adecuadamente la captura de datos se creó la ficha para levantamiento de inventario de pozos y manantiales, la cual se presenta en el anexo A.5a, y el instructivo para el llenado de esta ficha el cual se muestra en el anexo A.5b.; existiendo la posibilidad de encontrarse con manantiales en los que se debería de calcular el caudal, por lo que se desarrolló además el anexo A.6a: Ficha para el cálculo de caudales en manantiales, también se acompaña de instructivo de uso, presentado en el anexo A.6b. De manera resumida los datos obtenidos en este inventario fueron:

- *Generales: propietario, usuario, dirección, uso actual del pozo.*
- *Geográficos: ubicación geográfica mediante coordenadas de cada punto.*
- *Hidrológicos: caudales, posición del nivel del agua.*

- *Constructivos: tipo de obra de captación (manantiales); diámetro, profundidad, tipo de revestimiento de la captación (en pozos).*

Debido a que se realizaron diferentes medidas durante la recolección de datos en campo, se utilizó el equipo siguiente: Cintas métricas de 3 y 30 m, cronómetro, GPS y piezómetro; este último consistió en una cinta de 30 m dotada de un peso en el extremo y un flotador, lo cual permitía identificar cuando el flotador tocaba la superficie del agua, este método pudo ser utilizado ya que los pozos inventariados son someros y se identificaba el espejo de agua a simple vista.

2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE POZOS PROFUNDOS.

Se identificaron 5 pozos profundos de carácter público; 2 pozos pertenecientes a ANDA en el caserío La Concepción, 1 pozo de la ADESCO del Caserío La Concepción 1 pozo perteneciente a la alcaldía de Azacualpa Caserío San José y 1 pozo perteneciente a la Alcaldía de Chalatenango en el caserío San José, todos ubicados en el Cantón San José Municipio de Chalatenango. Se acudió a estas instituciones para obtener información de los diferentes pozos obteniendo los resultados siguientes:

- *Pozos ANDA:* Se solicitó información a través de la Oficina de Información y Respuesta (OIR). Los datos solicitados fueron: Estudio Hidrogeológico, datos de aforo y población abastecida. Esta información fue considerada como reservada por lo cual no fue proporcionada.
- *Pozo Alcaldía de Azacualpa:* Se solicitó la misma información que a ANDA, pero se informó que no se contaba con datos hidrogeológicos del pozo, ya que este se había hecho en administraciones anteriores y la información fue extraviada. Sin embargo se obtuvieron datos del pozo, *como profundidad, población abastecida, etc. (mostrados en inventario).*
- *Pozo Alcaldía de Chalatenango:* Al igual que en las otras instituciones se solicitó la misma información. La institución cuenta con el Estudio Técnico y económico del proyecto Cantón San José, Chalatenango; este documento fue realizado 2009, cuando la municipalidad adquirió el pozo, ya que anteriormente

era de carácter privado. Este documento fue proporcionado y algunos datos se presentan en la siguiente sección 5.5.

3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

A partir de los datos recolectados durante el levantamiento de pozos, se generó el anexo digital Inventario de pozos del Cantón San José (disponible en la versión digital de esta investigación). También se elaboró un cuadro resumen que se presenta en la siguiente sección.

A partir de los datos piezométricos obtenidos durante el levantamiento de pozos se generaron las líneas isopiezas para el verano de 2012. Se superpuso esta información al mapa de formaciones hidrogeológicas obtenido al comparar el mapa hidrogeológico de El Salvador, con los datos obtenidos del pozo de la Alcaldía de Chalatenango.

Basándose en los perfiles geoléctricos generados en el capítulo IV, se procedió a generar perfiles hidrogeológicos posibles que caracterizan la zona de estudio, identificando profundidades de los probables acuíferos y clasificando hidrogeológicamente las formaciones geológicas asociadas.

5.5. HIDROGEOLOGÍA DE LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE, LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

De acuerdo a los resultados de la exploración geofísica, en la zona de estudio pueden encontrarse dos acuíferos; uno que corresponde a un acuífero libre o colgado, que reposa sobre una capa de brechas volcánicas ricas en minerales de arcilla que actúa como acuícludo y posteriormente una capa de tobas que permiten de forma moderada el movimiento de agua y que da paso a posteriormente al acuífero confinado, del cual se extrae una cantidad importante de agua, dentro de la zona de estudio. A continuación se hace una pequeña descripción de cada uno de ellos:

5.5.1. ACUIFERO LIBRE.

El acuífero libre de la zona de estudio se encuentra sobre una formación que probablemente este conformada por piroclastos y los cuales podrían corresponder a la formación Cuscatlán. De acuerdo al perfil litológico del pozo de ANDA ubicado en Caserío La Concepción, la formación está compuesta por clastos de pómez, cenizas volcánicas, lapilli, tobas, predominando los clastos de lavas basálticas, lavas escoriáceas en una matriz limo-arcillosa. Debido a su porosidad la formación presenta características de alta transmisividad y alta permeabilidad. Puesto que se trata de un acuífero superficial, su mayor fuente de recarga son las aguas lluvias.

Este acuífero durante muchos años y aún en la actualidad ha representado una fuente importante para el abastecimiento de agua de los pobladores del Cantón San José; para el momento en que se realizó esta investigación, este acuífero era la única fuente de abastecimiento para los Caseríos Agua Caliente, Los Amates, El Conacaste, Gualcho y el Común las Marías. Tan importante es este acuífero para la población que durante el inventario de pozos se contabilizaron 119 pozos de poca profundidad (cantidad que corresponde a los pozos identificados, aunque la cantidad real podría ser mayor) ubicados tanto en viviendas como en potreros y sembradíos. La profundidad de estos pozos varía de 2.8 a 15 m.

De los pozos antes mencionados, no todos se encontraban en uso al momento de la investigación y algunos se observaban abandonados presentando descuido y deterioro. Muchos de los pozos sobre todo en el Caserío Agua Caliente se encontraban secos al momento del inventario; según afirmaron los pobladores entre diciembre de 2011 y enero de 2012 fue la primera vez que estos pozos se secaron; lo que se atribuye a que el año 2011 no fue tan lluvioso, tal fue la situación que aún las escasas lluvias de 2012, no fueron suficientes para aumentar el nivel de agua en los pozos.

En la siguiente figura se presenta la distribución de los pozos de poca profundidad dentro de la zona de estudio.

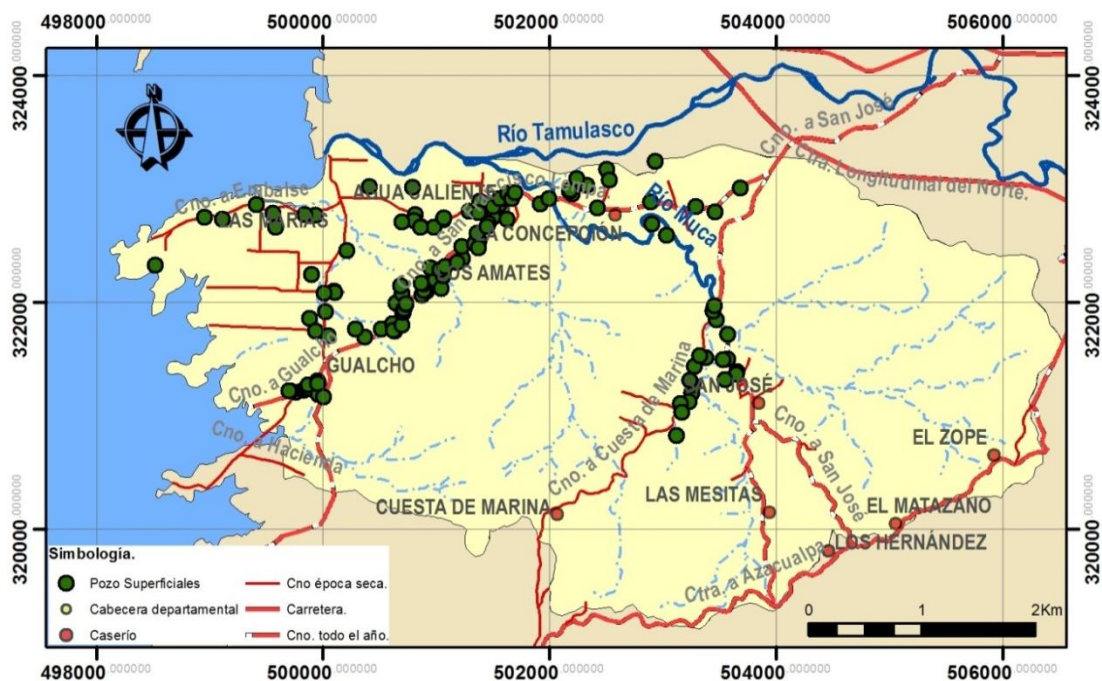


Figura 5.13. Distribución de pozos de poca profundidad en el Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia en base a levantamiento de inventario de pozos período 2012.

Para diciembre de 2012, ANDA pondría a disposición de la población, conexión domiciliar de agua potable, proveniente de uno de los pozos profundos ubicados en el caserío La Concepción, con capacidad para abastecer en un primer momento a 142 viviendas; debido a diversas razones no todos los pobladores optaron por incluirse en ese plan y prefieren seguirse abasteciendo del agua de sus pozos superficiales.

5.5.2. ACUIFERO LOCAL GENERADO POR FALLAS.

En la parte alta de la cuenca del río Muca, localidad de San Miguel de Mercedes en el sitio conocido como el Ojushte, se identificó un manantial, de acuerdo al mapa hidrogeológico de El Salvador, en este sitio se encuentra un acuífero local generado por un sistema de fallas. Las características de este tipo de acuífero se presentaron en la tabla 5.5, y datos que respaldan esta clasificación de acuífero se presentan en el anexo C.18 punto de verificación geológica #18, en el cual se muestran fotografías de rocas basálticas fisuradas.

El agua que emana de este lugar es aprovechada por los pobladores para lavar ropa, de tal manera que en el lugar se ha dispuesto de una pequeña obra de captación que permite retener el agua como en una pila y se han construido lavaderos de carácter públicos.

A continuación se presenta el mapa de isopiezas obtenido de las captaciones de agua superficial.

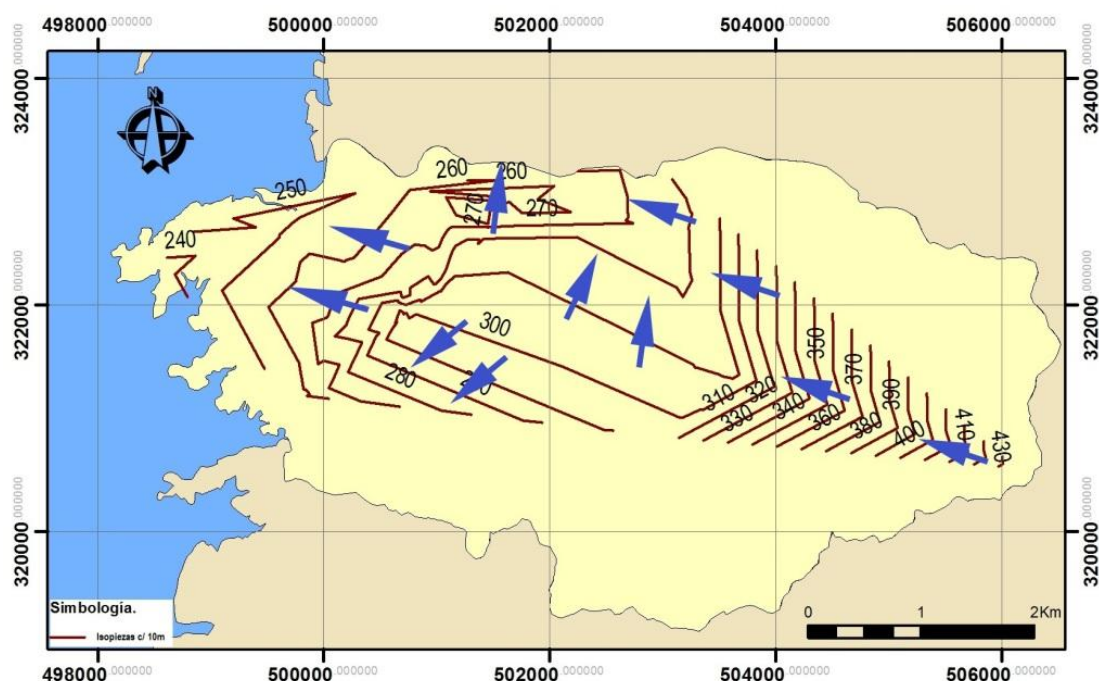


Figura 5.14. Mapa de Isopiezas e identificación de la dirección del flujo subsuperficial de la Subcuenca del Río Muca y quebradas al Oeste limítrofes, con El Embalse Cerrón Grande.

Fuente: Elaboración propia, utilizando datos de inventario de pozos.

5.5.2. ACUIFERO PROFUNDO.

De acuerdo a la prospección geofísica llevada a cabo en el lugar de estudio, se ha identificado un probable acuífero a una profundidad media de 135 m (73 m y 236m valores límites obtenidos en los SEV), el cual se estima tiene un espesor promedio de 75 m (29 y 92 m valores límites obtenidos en los SEV).

Este acuífero podría corresponder a una litología de sedimento fluvial, compuesto por arenas finas y limos mezclados en una matriz arcillosa que tendría del 50 al 75 % de la

mezcla. Este acuífero podría estar conformado por diversas capas que tendrían distinto comportamiento hidrogeológico, pero predominando los valores altos de permeabilidad y transmisividad. Según el mapa hidrogeológico del país en la zona se encuentra la unidad de acuíferos locales de extensión limitada y de producción media a baja. Las características de este tipo de acuífero se presentaron en la tabla 5.5.

El acuífero estaría limitado en su parte inferior por una formación de tobas líticas de baja permeabilidad; sobre esta se podría encontrar una capa de tobas en proceso de descomposición y muy fracturadas que permiten una moderada permeabilidad y transmisividad. Limitando como techo del acuífero se encuentran la capa de arcilla de un espesor variable, en promedio se estima que el espesor correspondería a unos 45 m. Esta última capa correspondería a un Acuicludo y es la capa que confina el acuífero.

Dentro de la zona de estudio, este acuífero es explotado por 5 pozos industriales, según se mencionó en la sección anterior. Uno de los pozos de ANDA está destinado al abastecimiento de los habitantes de los núcleos urbanos: reubicación 1, 2 y 3; este estaría abasteciendo a un total de 10,000 personas. El segundo pozo de ANDA estaría destinado a la población de los caseríos Agua Caliente, Los Amates, El Conacaste y Gualcho, a partir de diciembre de 2012, abasteciendo 852 personas aproximadamente; teniendo estos pozos una profundidad aproximada de 274 m; la ubicación de estos pozos es el caserío La Concepción. El pozo de la Alcaldía Azacualpa de 90 m de profundidad abastece a 1336 personas de ese municipio y su ubicación se encuentra en el lugar conocido como el Plan de las Tenerías. Muy cercano a este último se encuentra el pozo de la ADESCO del Caserío La Concepción que abastece a 300 personas aproximadamente, se desconoce la profundidad de éste. El pozo de la Alcaldía de Chalatenango de 162 m de profundidad tiene capacidad para abastecer a 1688 personas y se encuentra ubicado en el centro turístico Ramada de San José.

La siguiente figura muestra la ubicación de cada uno de los pozos profundos:

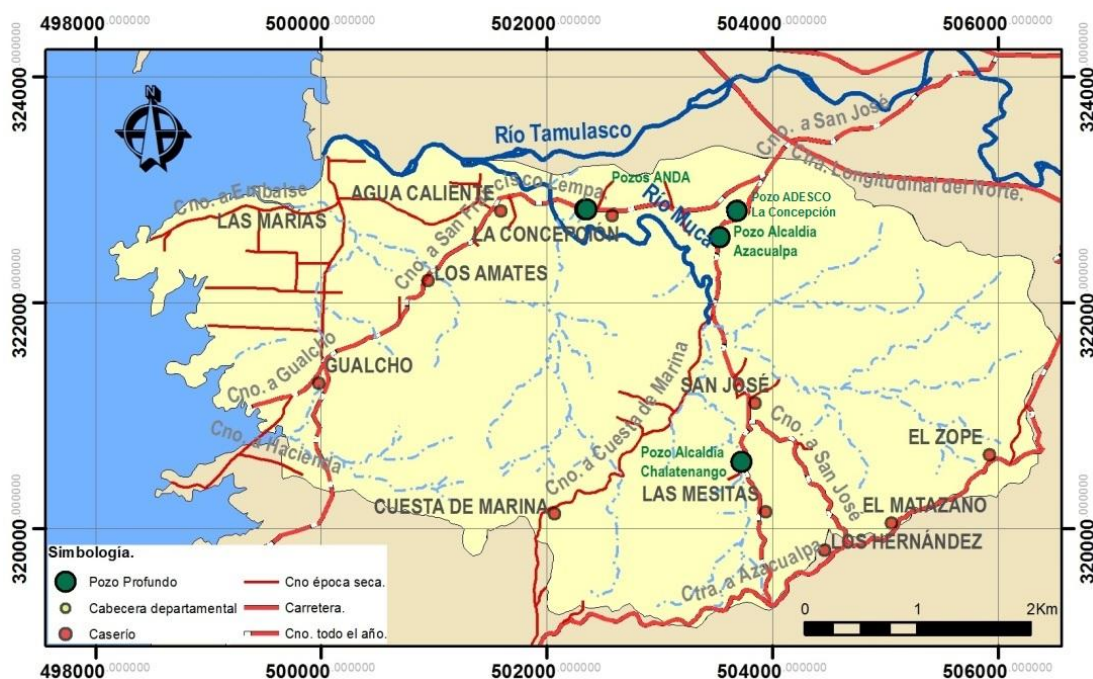


Figura 5.15. Ubicación de pozos profundos en el Cantón San José, Chalatenango.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan algunos parámetros hidrogeológicos del pozo de la Alcaldía de Chalatenango, obtenidos en noviembre de 2009.

Tabla 5.6. Algunos parámetros hidrogeológicos del pozo propiedad de la Alcaldía de Chalatenango, año 2009.

PARÁMETRO.	VALOR OBTENIDO.
Pérdidas del pozo.	5.87E-02 pie/gpm
Pérdidas propias del acuífero.	2.944860 pie/gpm
Coefficiente de almacenamiento.	4.01E-04
Transmisibilidad.	656.87 gpd/pie
Capacidad Específica.	0.3744 gpm/pie
Inverso de la capacidad específica.	2.67109 pie/gpm

Fuente: Perfotec. Estudio técnico y económico proyecto cantón San José, Chalatenango.

A continuación se presenta una tabla resumen de las fuentes de agua de la zona de estudio y posteriormente se presenta el perfil hidrogeológico A-A´.

Tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-GUSJ/01	Pedro Julio Muñoz	Gualcho	San José	321202	499754	270	En uso	Doméstico	30	8	6.2
PS-GUSJ/02	Félix Muñoz.	Gualcho	San José	321217	499709	290	En uso	Doméstico	8	11	8.1
PS-GUSJ/03	(Desconocido).	Gualcho	San José	321215	499696	315	En uso	–		–	–
PS-GUSJ/04	José Luis Muñoz.	Gualcho	San José	321221	499824	283	En uso	Doméstico y ganadero	8	15	12.1
PS-GUSJ/05	Mario (No se obtuvo el apellido).	Gualcho	San José	321232	499853	291	Indeterminado	–		–	–
PS-GUSJ/06	Miguel Angel Oliva.	Gualcho	San José	321237	499865	295	En uso	Doméstico	5	–	–
PS-GUSJ/07	Emma Oliva Salinas.	Gualcho	San José	321187	499953	297	En uso	Doméstico	21	14	6
PS-GUSJ/08	Familia de Oliva Salinas.	Gualcho	San José	321268	499868	338	Indeterminado	–		8.3	8.05
PS-GUSJ/09	Humberto Guardado.	Gualcho	San José	321302	499948	285	En uso	Doméstico	12	–	–
PS-GUSJ/10	Felicita Cartagena	Gualcho	San José	321284	499950	303	En uso	Doméstico	2	13	9.95
M–GUSJ/02	(Desconocido - Posible ubicación de manantial).	Gualcho	San José	321165	500002	304	Indeterminado	Ganadero		–	–
PS-ECSJ/11	Juan Felipe Pocasangre.	El Conacaste	San José	321694	500366	294	En uso	Doméstico	18	13.3	11.15
PS-ECSJ/12	Alberto Franco.	El Conacaste	San José	321764	500285	303	Indeterminado	Ganadero		3.7	0.88
PS-ECSJ/13	(Desconocido).	El Conacaste	San José	321765	500512	324	Indeterminado	–		–	–
PS-ECSJ/14	Teodolo Romero.	El Conacaste	San José	321811	500612	333	En uso	Doméstico	10	6.4	5.65
PS-ECSJ/15	Maria Concepción Olivo.	El Conacaste	San José	321742	500630	332	En uso	Doméstico	6	–	–
PS-LASJ/16	Maricela Guardado.	Los Amates	San José	321748	500618	337	En uso	Doméstico	4	8	6.8
PS-LASJ/17	Juan Ramón Martínez.	Los Amates	San José	321798	500693	334	En uso	Doméstico	8	12	11.2
PS-LASJ/18	Daniel Zamora Hernández.	Los Amates	San José	321907	500708	349	En uso	Doméstico	30	13	8.8
PS-LASJ/19	Hugo Romero Moreno.	Los Amates	San José	321991	500643	314	En uso	Agrícola	5	4.72	3.42

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-LASJ/20	Juana Henríquez	Los Amates	San José	322080	500693	311	En uso	Doméstico	5	--	13.1
PS-LASJ/21	Desconocido	Los Amates	San José	322141	500681	300	En uso	Ganadero		5.43	3.8
PS-LASJ/22	Roquel Wilmar Guardado	Los Amates	San José	321916	500702	318	En uso	Doméstico	18	10	6.9
PS-LASJ/23	Salvador Recinos	Los Amates	San José	321940	500711	334	En uso	Doméstico	24	12	11.57
PS-LASJ/24	Lucila Recinos	Los Amates	San José	321982	500729	310	En uso	Doméstico	42	9.5	7.67
PS-LASJ/25	Mario Carrillo	Los Amates	San José	321984	500731	310	En uso	Doméstico	18	11.01	8.78
PS-LASJ/26	Desconocido	Los Amates	San José	322063	500872	310	Indeterminado	--	--	--	--
PS-LASJ/27	Josefina	Los Amates	San José	322099	500909	310	En uso	Doméstico	6	--	5.42
PS-LASJ/28	Desconocido	Los Amates	San José	322104	500888	312	En uso	--	--	--	--
PS-LASJ/29	La Iglesia	Los Amates	San José	322159	500890	312	Indeterminado	--	--	5.6	3.77
PS-LASJ/30	María Elena	Los Amates	San José	322165	500866	319	En uso	Doméstico	7	--	4.73
PS-LASJ/31	Nicolás Cartagena	Los Amates	San José	322196	500987	324	En uso	Doméstico	3	13	7.9
PS-LASJ/32	María Dolores Galdámez	Los Amates	San José	322119	501041	328	En uso	Doméstico	18	--	5.9
PS-LASJ/33	Escuela Caserío Los Amates	Los Amates	San José	322233	501057	285	En uso	Doméstico	180	--	--
PS-LASJ/34	Escuela Caserío Los Amates	Los Amates	San José	322233	501057	285	No utilizado	--	0	--	--
PS-LASJ/35	Juan Salazar	Los Amates	San José	322663	500974	296	En uso	Agrícola	--	15	8.95
PS-LASJ/36	Adilio Solórzano	Los Amates	San José	322740	501066	299	En uso	Agrícola	-	14.3	13.5
PS-LASJ/37	Jesús.	Los Amates	San José	323009	500789	283	En uso	Agrícola	--	11	9.8
PS-LASJ/38	Francisco Borja	San José	Chalatenango	322720	500798	270	En uso	Agrícola	--	7.45	5.35
PS-LASJ/39	Juan Salazar	Los Amates	San José	322663	500861	282	En uso	Agrícola	--	5.75	5.42

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-LASJ/40	--	Los Amates	San José	322707	500695	282	Indeterminado	Agrícola	--	7.5	5.2
PS-LASJ/41	Felipe López	Los Amates	San José	322452	500209	247	Indeterminado	Agrícola	--	8	7.6
PS-LASJ/42	Jeremías	Los Amates	San José	322098	500096	290	En uso	Agrícola	--	7	4.2
PS-LASJ/43	Jeremías	Los Amates	San José	322085	500103		No utilizado	--	--	7.5	4.5
PS-LASJ/44	Gerardo	Los Amates	San José	322080	500011	296	Indeterminado	--	--	5.2	3.2
PS-LASJ/45	Gonzalo Echeverría	Los Amates	San José	321912	500022	303	En uso	Agrícola	--	3.4	1.4
PS-LASJ/46	Gonzalo Echeverría	Los Amates	San José	321706	500042	366	En uso	Agrícola	--	3	2.1
PS-LASJ/47	Marcelino	Los Amates	San José	321855	499881	296	En uso	Agrícola	--	7.5	6.45
PS-LASJ/48	Desconocido	Los Amates	San José	321742	499934	347	Indeterminado	--	--	7.4	--
PS-LASJ/49	Jeremías Delgado	Los Amates	San José	322242	499894	294	En uso	Agrícola	--	7	5
PS-LASJ/50	Mercedes Flamenco	Los Amates	San José	322303	500945	279	En uso	Doméstico	--	6	5.4
PS-LASJ/51	José Tobías	Los Amates	San José	322283	501028	299	En uso	Doméstico	--	8.15	7.46
PS-LASJ/52	María Cela Romero	Los Amates	San José	322312	501075	284	En uso	Doméstico	6	--	7.2
PS-LASJ/53	Catalino de Jesús Borja	Los Amates	San José	322386	501226	285	En uso	Doméstico	30	9	6.9
PS-LASJ/54	Catalino de Jesús Borja	Los Amates	San José	322349	501183	297	En uso	Agrícola	--	6.9	3.6
PS-LASJ/55	Desconocido	Los Amates	San José	322487	501221	312	En uso	Doméstico	--	--	--
PS-ACSJ/56	Sebastián de Jesús	Agua Caliente	San José	322541	501377		En uso	Doméstico	--	6	--
PS-ACSJ/57	Juan Miguel Salazar	Agua Caliente	San José	322517	501350		En uso	Doméstico	--	4.8	8
PS-ACSJ/58	María Dina Gómez	Agua Caliente	San José	322513	501334		En uso	Doméstico	3	--	5
PS-LASJ/59	Desconocido	Los Amates	San José	322766	499932	274	En uso	Agrícola	--	8.2	6.9

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-LASJ/60	Desconocido	Los Amates	San José	322769	499840	269	En uso	Agrícola	--	8.85	4.05
PS-LASJ/61	Desconocido	Los Amates	San José	322782	499556	260	En uso	Agrícola	--	8.6	7.2
PS-LASJ/62	Desconocido	Los Amates	San José	322661	499577	279	En uso	Agrícola	--	10.6	8.4
PS-LASJ/63	Desconocido	Los Amates	San José	322862	499410	265	En uso	Agrícola	--	--	--
PS-LASJ/64	Desconocido	Los Amates	San José	322731	499113	274	En uso	Agrícola	--	--	--
PS-LASJ/65	Desconocido	Los Amates	San José	322747	498951	277	En uso	Agrícola	--	5.7	3.8
PS-LASJ/66	Desconocido	Los Amates	San José	322323	498519	262	Indeterminado	Agrícola	--	7.3	6.7
PS-LASJ/67	Desconocido	Los Amates	San José	323017	500405	282	Indeterminado	Agrícola	--	10.8	10.5
PS-LASJ/68	Desconocido	Los Amates	San José	322801	501287	318	Indeterminado	Agrícola	--	3.4	--
PS-LASJ/69	Desconocido	Los Amates	San José	322887	501383	310	En uso	Agrícola	--	8.3	3.7
PS-LASJ/70	Desconocido	Los Amates	San José	322792	501370	299	Indeterminado	Agrícola	--	2.6	--
PS-ACSJ/71	Público sobre canaleta de la calle	Agua Caliente	San José	322609	501358	300	En uso	Doméstico	12	2.8	1.8
PS-ACSJ/72	Marcelino Monge	Agua Caliente	San José	322478	501372	301	En uso	Doméstico	30	3	1.1
PS-ACSJ/73	María Marta Menjivar	Agua Caliente	San José	322746	501498	302	En uso	Doméstico	12	3	--
PS-ACSJ/74	Desconocido	Agua Caliente	San José	322729	501622	287	En uso	Agrícola	--	4.6	--
PS-ACSJ/75	Rosa María Landa verde	Agua Caliente	San José	322694	501458		En uso	Doméstico	10	5	4.7
PS-ACSJ/76	Desconocido	Agua Caliente	San José	322668	501444	305	Indeterminado	Agrícola	--	--	--
PS-ACSJ/77	Juan Francisco Romero Alas	Agua Caliente	San José	322858	501548	299	No utilizado	Doméstico	7	7	--
PS-ACSJ/78	Gilberto Hernández	Agua Caliente	San José	322840	501500	292	No utilizado	Doméstico	5	--	--
PS-ACSJ/79	Cayetano Martínez Alas	Agua Caliente	San José	322910	501593	281	No utilizado	Doméstico	4	3.3	--

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-ACSJ/80	Juan Hernández Escobar	Agua Caliente	San José	322913	501557	260	No utilizado	Doméstico	8	4	--
PS-ACSJ/81	Antonio Erazo Menjivar	Agua Caliente	San José	322959	501629	285	No utilizado	Doméstico	3	5.5	5.1
PS-ACSJ/82	Desconocido	Agua Caliente	San José	322913	501664	278	No utilizado	Doméstico	5	--	--
PS-ACSJ/83	Nectalí Gómez Días	Agua Caliente	San José	322963	501692	282	No utilizado	Doméstico	2	6	4.1
PS-ACSJ/84	Luis Antonio Landa verde	Agua Caliente	San José	322865	501918	285	En uso	Doméstico	5	15	10.4
PS-ACSJ/85	Juan Ramón Alas	Agua Caliente	San José	322910	501991	285	En uso	Doméstico	7	10	4.5
PS-LCSJ/86	Desconocido	La Concepción	San José	322956	502198	289	No utilizado	Doméstico	5	--	--
PS-LCSJ/87	Desconocido	La Concepción	San José	322974	502173	285	No utilizado	Doméstico	--	--	--
PS-LCSJ/88	Dagoberto Reyes Alvarenga	La Concepción	San José	322989	502177	291	No utilizado	Doméstico	14	11	3.1
PS-LCSJ/89	Alfonso Hernández Ramírez	La Concepción	San José	323028	502328	286	En uso	Doméstico	9	17	2.6
PS-LCSJ/90	Jesús Solís	La Concepción	San José	323170	502501	288	No utilizado	Doméstico	--	3.9	2.1
PS-LCSJ/91	Desconocido	La Concepción	San José	323076	502526	291	Indeterminado	Agrícola	--	--	--
PS-LCSJ/92	Mario Antonio Lara	La Concepción	San José	323089	502240	273	En uso	Doméstico	5	5	4
PS-LCSJ/93	Desconocido	La Concepción	San José	322830	502418	299	Indeterminado	--	--	--	--
PS-LCSJ/94	Rosa Elva Martínez	La Concepción	San José	322882	502892	300	No utilizado	Doméstico	5	8.6	--
PS-LCSJ/95	Oscar Landa verde	La Concepción	San José	323238	502927		No utilizado	Agrícola	--	6.7	3.8
PS-LCSJ/96	Mateo Antonio Erazo Poca sangre	La Concepción	San José	322589	503030	304	No utilizado	Doméstico	--	9.1	6.7
PS-LCSJ/97	Mateo Antonio Erazo Poca sangre	La Concepción	San José	322687	502902	317	No utilizado	Doméstico	--	7.7	4.5
PS-LCSJ/98	Emeterio Antonio Hernández Rauda	La Concepción	San José	322842	503289	310	No utilizado	--	--	10	9.7
PS-LCSJ/99	Jesús Menjivar	La Concepción	San José	322795	503459	325	Indeterminado	--	--	11	8.2

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PS-LCSJ/100	Carlos Solís	La Concepción	San José	323004	503680	331	No utilizado	--	--	7.1	--
PS-SJSJ/101	María Santos López	San José	San José	321499	503569	306	En uso	Doméstico	6	9	5.3
PS-SJSJ/102	Miriam Guadalupe Abariles	San José	San José	321718	503568	204	No utilizado	--	--	3.8	--
PS-SJSJ/103	Pedro Antonio	San José	San José	321387	503652	304	No utilizado	--	--	8	7.1
PS-SJSJ/104	Desconocido	San José	San José	321366	503644	313	Indeterminado	--	--	--	--
PS-SJSJ/105	Roberto Abariles	San José	San José	321316	503546	317	En uso	Agrícola	--	14	10.9
PS-SJSJ/106	Roberto Ibariles	San José	San José	321492	503527	320	No utilizado	--	--	10	7.45
PS-SJSJ/107	José Caín Alfaro	San José	San José	321199	503255		No utilizado	--	--	6.8	6
PS-SJSJ/108	José Hernández	San José	San José	321120	503228	302	No utilizado	--	--	8	--
PS-SJSJ/109	Hugo Stanley Arteaga Rivas	San José	San José	321108	503153	319	En uso	Doméstico	4	6	5.6
PS-SJSJ/110	Virgilio Arteaga	San José	San José	321028	503163	315	Indeterminado	Doméstico	--	8.2	--
PS-SJSJ/111	Ángel Velásquez	San José	San José	320823	503117	322	En uso	Doméstico	6	5	4.8
PS-SJSJ/112	Raúl Solórzano	San José	San José	321272	503265	311	En uso	Doméstico	15	7	5.6
PS-SJSJ/113	Andrés Solórzano	San José	San José	321312	503234	304	Indeterminado	--	--	6.2	--
PS-SJSJ/114	Antonio Solórzano	San José	San José	321435	503278	314	En uso	Doméstico	6	8	7.1
PS-SJSJ/115	Blanca Elida Molina	San José	San José	321511	503378	301	No utilizado	--	--	8	7.5
PS-SJSJ/116	Blanca Elida Molina	San José	San José	321528	503323	312	Indeterminado	Agrícola	--	10	9.1
PS-SJSJ/117	Desconocido	San José	San José	321842	503470	271	Indeterminado	--	--	--	--
PS-SJSJ/118	Domingo Alfaro Romero	San José	San José	321920	503440	307	No utilizado	Doméstico	12	7	5.7
PS-SJSJ/119	Olivia Zamora	San José	San José	321968	503451	308	En uso	Doméstico	10	5	4.1

Continuación de tabla 5.7. Resumen de fuentes de agua ubicados en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

CÓDIGO	Propietario	Caserío	Cantón	Coordenadas		Elevación	Operación	Uso	N° de Abastecidos	Profundidad del pozo (m)	Profundidad del agua (m)
				Norte	Oeste						
PP-LCSJ/01	ADESCO Concepción	La Concepción	San José	322727	503630	329	En uso	Industrial	600	--	--
PP-LCSJ/02	Alcaldía Municipal Azacualpa	La Concepción	San José	322576	503531	315	En uso	Industrial	1336	90	--
PP-SJSJ/03	Alcaldía Municipal Chalatenango	San José	San José	320590	503724	329	En uso	Industrial	--	162	--
PP-LCSJ/04	ANDA	La Concepción	San José	322827	502335		En uso	Industrial	10000	274.32	--
PP-LCSJ/05	ANDA	La Concepción	San José	322827	502351		En uso	Industrial	852	274.32	--
MH-SJSJ/01	Público	--	Cerca de casco urbano de San Luis de Mercedes	320559	506121	466	En uso	Doméstico	--	--	--

Todos las fuentes de agua, con excepción del MH-SJS01 (San Luis de Mercedes), pertenecen al Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.

Nota: En algunos lugares se dice que el uso del pozo es Agrícola, esto no significa que se extraiga agua para regar, según observaciones de campo, el agua es utilizada por las personas que trabajan la tierra y por animales que ocupan como medio de transporte y carga.

Fuente: Elaboración propia.

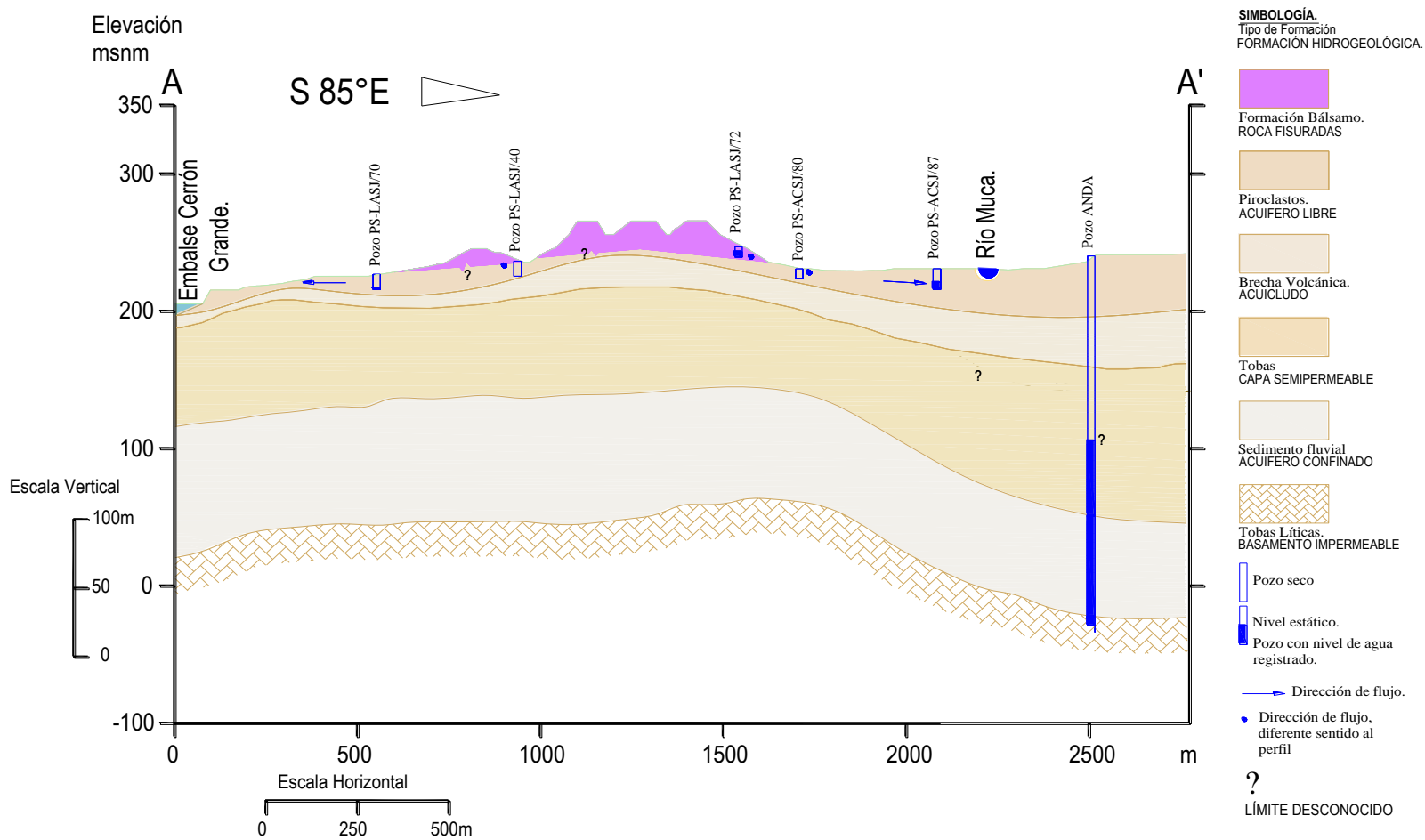


Figura 5.16. Perfil hidrogeológico A-A', Caseríos los Amates, Agua Caliente y La Concepción, Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

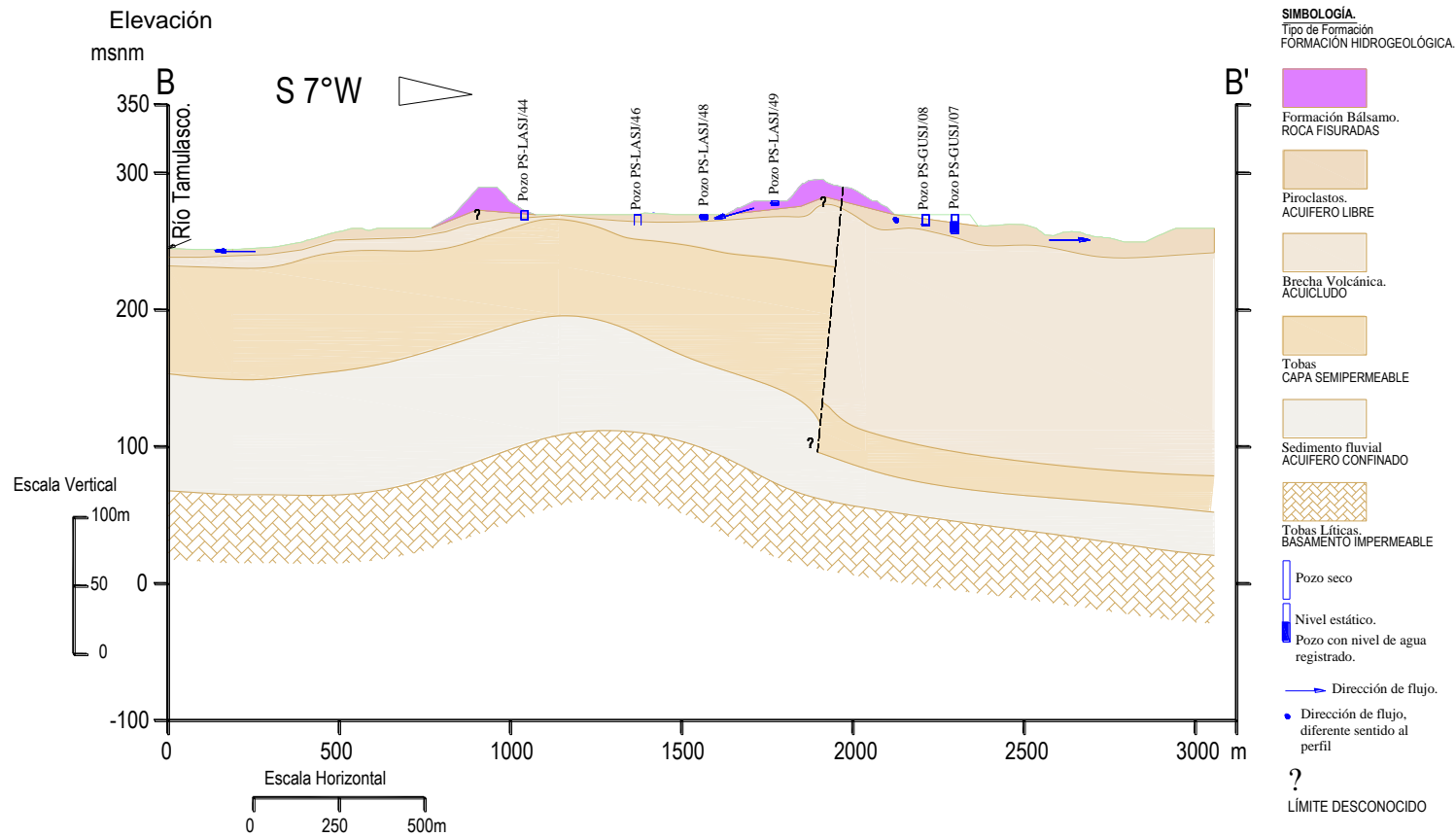


Figura 5.17. Perfil hidrogeológico B-B' Caseríos Gualcho y Los Amates, Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.
Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.
Fuente: Elaboración propia.

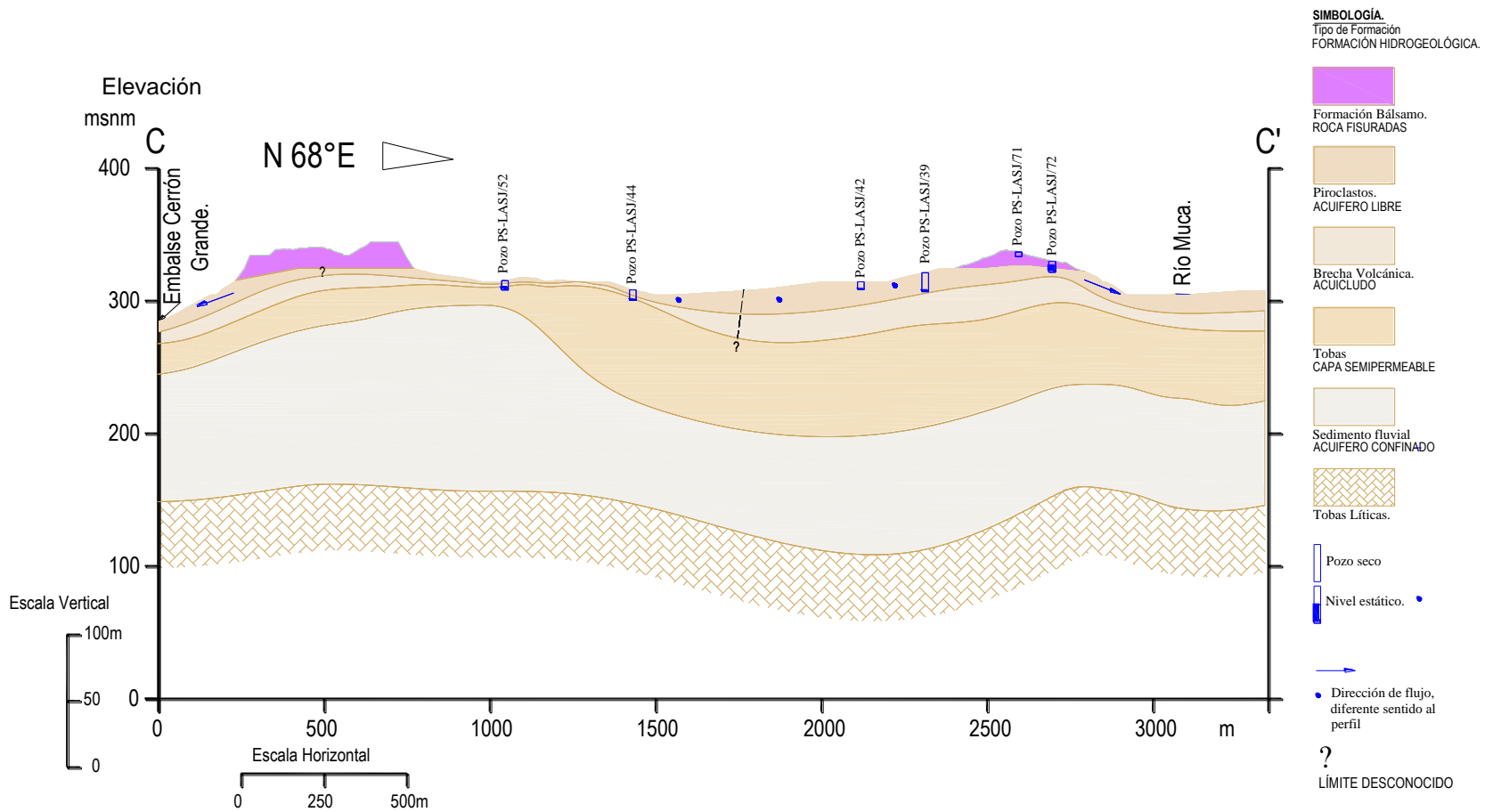


Figura 5.18. Perfil hidrogeológico C-C' Caseríos Los Amates y Agua Caliente, Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

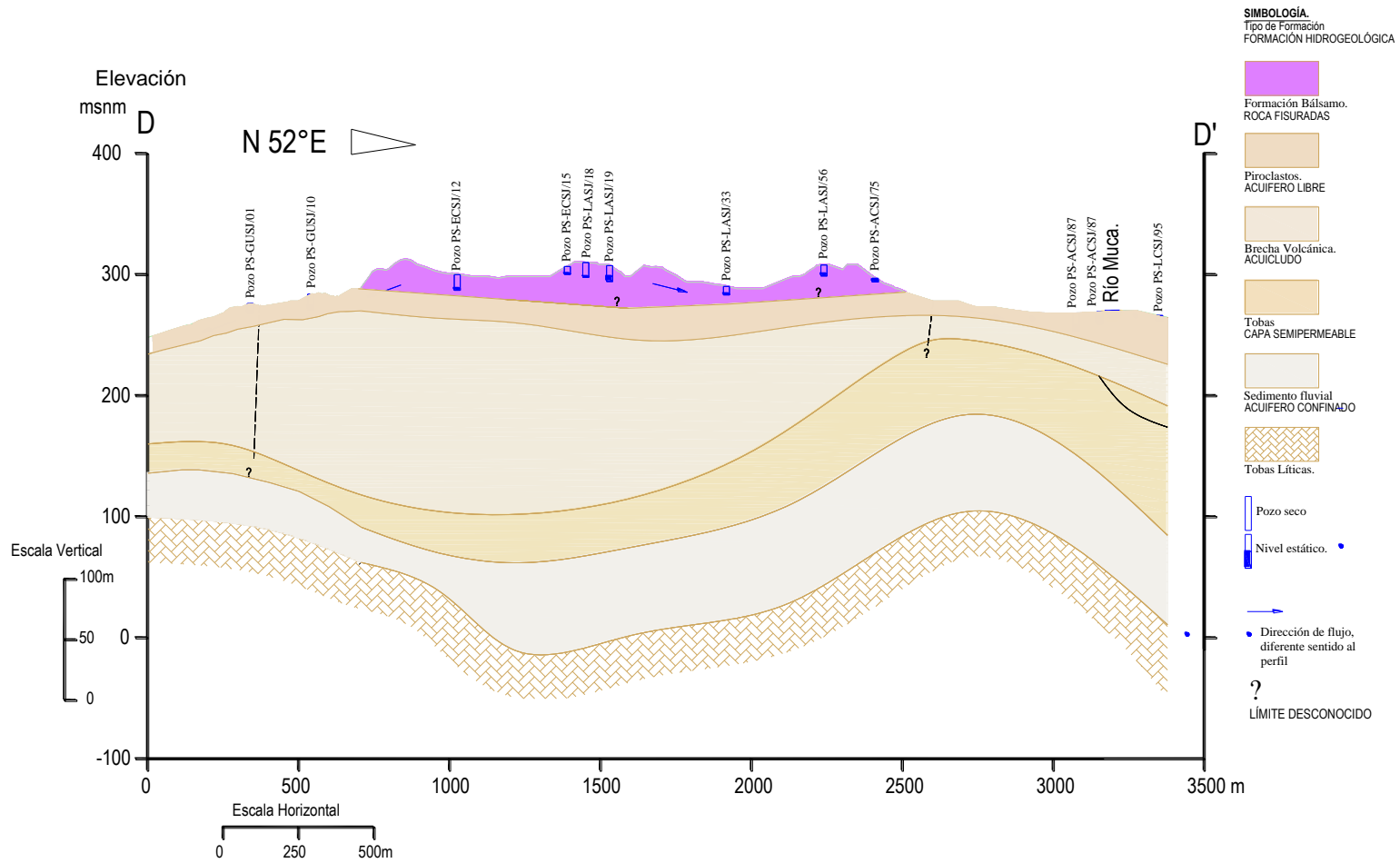


Figura 5.19. Perfil hidrogeológico D-D' Caseríos Los Amates, El Conacaste y Agua Caliente, Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

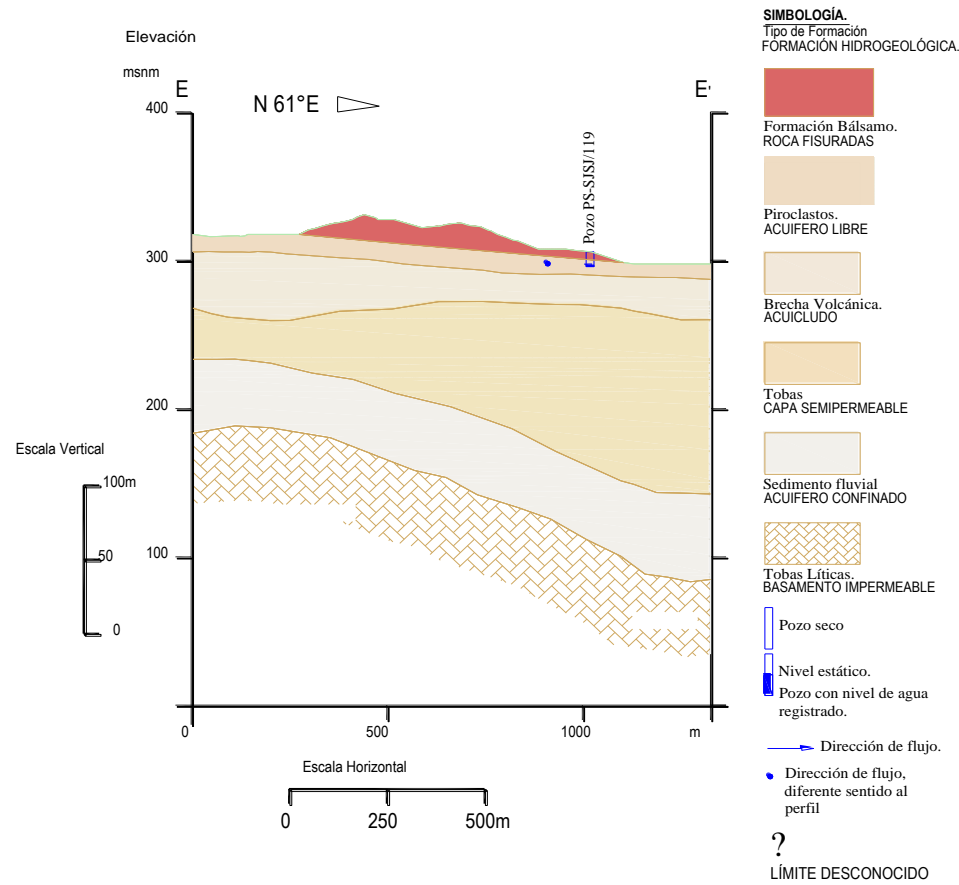


Figura 5.20. Perfil hidrogeológico E-E' Cantón y Caserío San José, jurisdicción de Chalatenango.

Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

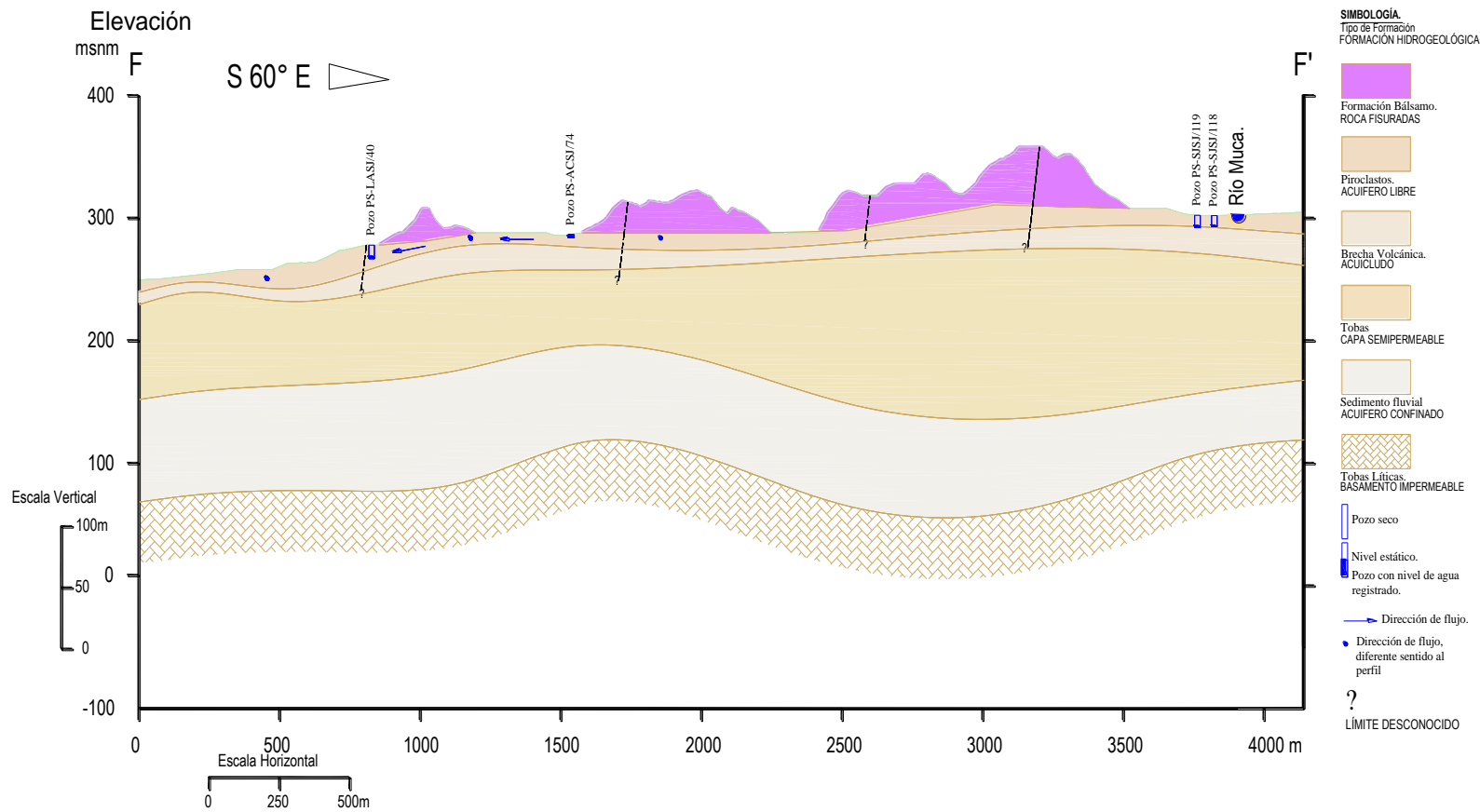


Figura 5.21. Perfil hidrogeológico F-F' Caseríos Los Amates, Agua Caliente y San José, Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

Los niveles de agua corresponden al verano de 2012.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI:
BALANCE HÍDRICO.

6.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se presenta el balance hídrico realizado a nivel de la Subcuenca del Río Muca y Microcuencas al oeste limítrofes con el Embalse Cerrón Grande, para las precipitaciones promedio de los años de 1975 a 2011 comparándose con las de ese último año; utilizando posteriormente dicho balance, como una herramienta útil para conocer la variabilidad hidrológica, así como la disponibilidad de agua en la zona.

En el cálculo del balance hídrico se utilizó la ecuación de continuidad, que consiste básicamente en cuantificar las entradas y salidas de agua de una cuenca, para obtener el cambio de almacenamiento en un acuífero. Cabe mencionar que para este análisis se utilizó una aproximación simplificada de la ecuación general, considerando sólo los parámetros que influyen en la zona, de acuerdo a las condiciones climatológicas, datos disponibles y condiciones geográficas propias del lugar.

Para proporcionar las nociones generales de la temática, en la sección *6.2 Aspectos fundamentales de los balances hídricos*, se presenta el concepto de balance hídrico y su ecuación general, introduciendo además el de Índice de Escasez; en el apartado *6.3 Modelo de balance hídrico utilizado en El Salvador*, se describe el proceso de cálculo seguido por el SNET en el año 2005, así como los resultados obtenidos para el período de tiempo comprendido entre los años 1971 y 2001; siendo este modelo utilizado como referencia para la obtención del cambio de almacenamiento en la zona de estudio.

En la sección *6.4 Metodología de balance hídrico, para el acuífero somero del Cantón San José*, se describe el proceso de cálculo realizado para la obtención del cambio de almacenamiento para el período de tiempo analizado, dicho procedimiento se considera puede ser aplicado a cualquier micro cuenca que presente condiciones similares a la zona que se analizó. Finalmente en la sección *6.5 Balance hídrico del Cantón San José*, se presenta un cuadro resumen con la información calculada en la sección 6.4, cumpliendo así con el objetivo de esta etapa de la investigación.

6.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS BALANCES HÍDRICOS.

6.2.1. DEFINICIÓN DE BALANCE HÍDRICO.

El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera; que permite cuantificar los recursos hídricos a diferentes escalas como parcela, finca, cuenca y región, así como las modificaciones del mismo por influencia de las actividades del hombre en general.

La finalidad de determinar el balance hídrico es la de establecer y analizar las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de un área determinada, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en el área estudiada además de que permite tomar medidas, establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de tal forma que se garantice su disponibilidad.

6.2.2. ECUACIÓN GENERAL DEL BALANCE HÍDRICO.

En hidrología el estudio del balance hídrico se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como la ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada. A continuación se presenta de forma general la ecuación del balance hídrico:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento} \quad [6.1]$$

La ecuación del balance hídrico cuenta con las siguientes características especiales:

Para intervalos de tiempo diferentes.

- *El balance hídrico se puede calcular para cualquier intervalo de tiempo, pero deberá hacerse una distinción entre balances medios y balances periódicos determinados (anuales, estacionales, mensuales, diarios, etc.).*

- *Los balances hídricos para valores medios se calculan para un ciclo anual ya sea un año calendario o año hidrológico (aunque también puede hacerse para cualquier estación o mes).*
- *La determinación del balance hídrico para un año medio es el caso más simple, ya que se puede despreciar la variación del volumen de agua almacenada en la cuenca (ΔS), el cual es difícil de medir y calcular.*
- *En períodos cortos ΔS no puede despreciarse, por lo que debe medirse o calcularse. Entre más corto es el intervalo de tiempo, más precisas deberán ser las medidas o cálculos. Esta situación produce una ecuación de balance hídrico en donde el ΔS estará subdividido en otros elementos.*
- *El ΔS deberá también tenerse en cuenta en la determinación de balances medios por estaciones o meses.*

Para masas de agua de diferentes dimensiones.

- *El balance hídrico puede calcularse para masas de agua de cualquier tamaño, pero la complejidad de cálculo depende fundamentalmente de la extensión del área estudiada.*
- *Una cuenca de un río es la única zona natural para la cual las determinaciones a gran escala del balance hídrico pueden simplificarse, ya que la exactitud del cálculo aumenta al hacerlo en la superficie de una cuenca. Cuanta más pequeña sea una cuenca, más complicado es su balance, ya que es más difícil estimar componentes secundarios, tales como intercambio de aguas subterráneas con cuencas adyacentes, almacenamiento de agua, etc. El efecto de estos factores decrece gradualmente al aumentar el área de la cuenca y puede llegar a despreciarse.*
- *La complejidad para determinar el balance hídrico de lagos, embalses, marismas o zonas pantanosas, cuencas de aguas subterráneas y cuencas de glaciares de montaña, aumenta con el área, debido a la dificultad de realizar*

mediciones precisas y exactas y calcular los numerosos e importantes componentes del balance hídrico.

6.2.3. INDICE DE ESCASEZ.

Para evaluar la relación existente entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes en una unidad de análisis seleccionada, se utiliza el parámetro de *Índice de Escasez*.

Este índice de escasez es entonces la relación porcentual de la demanda de agua, ejercida por las actividades sociales y económicas en su conjunto para su uso y aprovechamiento, con respecto a la oferta hídrica disponible.

A partir de la definición anterior, el índice de escasez se establece como:

$$IE = (D/O) * 100\% \quad [6.2]$$

$$O = \text{Cambio de Almacenamiento} + \text{Escorrentía} \quad [6.4]$$

Donde:

IE = Índice de escasez (%).

O = Oferta hídrica superficial total (m³).

D = Demanda de agua (m³).

En este contexto y para este estudio, el índice de escasez puede agruparse en cinco categorías, las cuales se exponen en la tabla siguiente:

Tabla 6.1. Categorías del índice de escasez.

CATEGORÍA.	ÍNDICE DE ESCASEZ.	CARACTERÍSTICAS.
No significativo.	<1%	Demanda no significativa con la relación a la oferta.
Mínimo.	1-10%	Demanda muy baja con respecto a la oferta.
Medio.	11-20%	Demanda baja con respecto a la oferta.
Medio alto.	21-50%	Demanda apreciable.
Alto.	>50%	Demanda alta con respecto a la oferta.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. República de Colombia Ministerio de Medio Ambiente. "Estudio Nacional del Agua". Página 25.

6.3. MODELO DE BALANCE HÍDRICO UTILIZADO EN EL SALVADOR.

6.3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.

El SNET en 2005 publicó el documento Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, en el cual se plantean los siguientes elementos como componentes de las variables de la ecuación general (Ec. 6.1) de balance hídrico:

ENTRADAS.

- **Precipitación (Pp):** *Definido en capítulo II.*
- **Importaciones superficiales de otra cuenca (Im):** *Se considera como el aporte de las aguas superficiales que son llevadas como trasvase desde otro sitio (cuenca, lago, embalse, etc.) hacia la cuenca de análisis.*
- **Retornos de la demanda (Re):** *Constituye el porcentaje de agua que es devuelta al área de análisis (cuenca) debido a que no representa un uso consuntivo por parte de algunos de los sectores de usuarios, tales como la hidroeléctrica, las pérdidas de agua de los sistemas de abastecimiento de agua (tuberías), la devolución que se hace al final de un sistema de riego, entre otros.*
- **Trasvase desde otra cuenca (Te):** *Representa las importaciones de aguas subterráneas provenientes de otras cuencas a través de alguna obra hidráulica (TeO) o del suelo (TeS).*

SALIDAS.

- **Evapotranspiración real (EvR):** *Definida en capítulo II.*
- **Evaporación de cuerpos de agua (EvCA):** *Los cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses presentan una gran pérdida de agua por evaporación debido a la radiación solar. Esta pérdida de agua puede ser estimada a partir de información de evaporación de tanques evaporímetros o a través de fórmulas que estimen la pérdida de agua por efectos climáticos.*

- **Evaporación en áreas urbanas (EvAU):** *Las zonas urbanas presentan una pérdida alta de agua por escorrentía superficial, dado que el agua no puede infiltrarse por la impermeabilización que ha sufrido el terreno; sin embargo parte del agua que cae en estas áreas es evapotranspirada por efectos climáticos y de cobertura vegetal en jardines, arriates y terrazas, y por la misma evaporación que se produce sobre el pavimento. Generalmente este parámetro no es considerado en forma separada, dentro de las pérdidas de agua y se incluye en el cálculo de la evapotranspiración real.*
- **Escurrimiento superficial (ES):** *Escorrentía superficial, definida en capítulo II.*
- **Demanda interna en la cuenca (Dint):** *Se refiere a los consumos de agua por parte de los diferentes sectores de usuarios (consumo humano, agrícola, industrial, comercial, turismo, energético, etc.) ubicados dentro de la cuenca. Esta puede ser tanto Superficial (DintSup) como Subterránea (DintSub).*
- **Demanda externa de la cuenca (Dext):** *Se refiere a aquellos consumos de agua superficial por parte de sectores de usuarios ubicados en otras cuencas y que se abastecen del agua ubicada en la zona de interés.*
- **Trasvase hacia otra cuenca (Ts):** *Se considera como el agua subterránea que aporta la cuenca en análisis a otras cuencas a través de una obra hidráulica (TsO) o del suelo (TsS).*

CAMBIO DE ALMACENAMIENTO.

- **Recarga de acuíferos (Ra):** *Este se da como resultado del balance hídrico y representa la infiltración del agua superficial que pasa de la zona no saturada del suelo y llega a la zona saturada, la cual pasa a formar parte del agua del acuífero. Es de notar que un resultado negativo representa pérdida del volumen de agua original en el acuífero para el período de tiempo analizado.*
- **Variación de nivel en cuerpos de agua (Rca):** *Otro resultado que puede dar el balance hídrico, es incremento o disminución del nivel de agua de lagos, lagunas o embalses.*

A partir de las variables prescritas, el balance hídrico se representa esquemáticamente como se muestra a continuación en la figura 6.1.

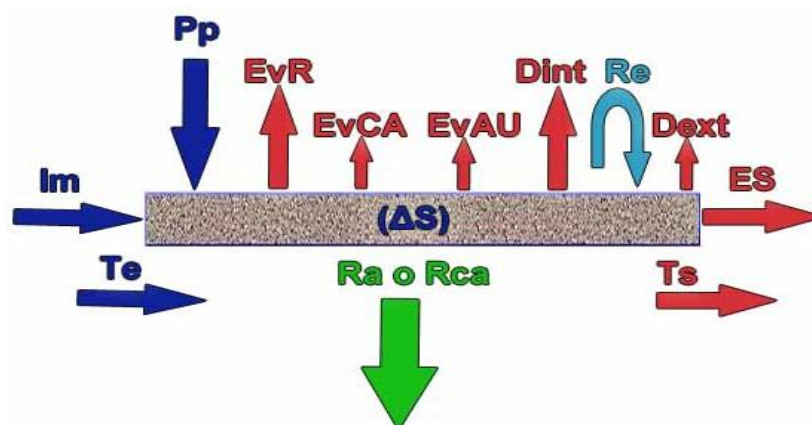


Figura 6.1. Representación esquemática de las variables que conforman el modelo de Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador.

Fuente: Elaboración propia.

Así también la ecuación 6.1 se reescribe de la siguiente manera:

$$Pp + Im + Re + Te - (EvR + EvCA + EvAU + Dint + Dext + ES + Ts) = Ra[6.4]$$

Donde:

Pp = Precipitación.

Im = Importaciones superficiales de otras cuencas.

Re = Retorno de la demanda.

Te = Trasvase de otra cuenca.

EvR = Evapotranspiración real.

EvCA = Evaporación de cuerpos de agua.

EvAU = Evaporación de áreas urbanas.

Dint = Demanda interna.

Dext = Demanda externa.

ES = Esguerrimiento superficial.

Ts = Trasvase hacia otra cuenca.

Ra = Recarga de acuífero (o recarga de cuerpos de agua, *Rca*).

6.3.2. METODOLOGÍA DEL MODELO DE BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINAMICO DE EL SALVADOR.

El análisis del balance hídrico se realizó dividiendo al país en sus 10 regiones hidrográficas principales, utilizando datos de 164 estaciones pluviométricas del país, 4 de Guatemala y 5 de Honduras.

En el cálculo de la evapotranspiración de referencia se utilizaron 40 estaciones salvadoreñas y 3 guatemaltecas, cuyos datos de temperatura fueron procesados con el método de Hargreaves; la evapotranspiración de cultivos y la evapotranspiración real fueron obtenidas utilizando tablas propuestas por la FAO y USDA respectivamente, de acuerdo al uso y textura de los suelos del país; para la evaporación en áreas urbanas se estimó que el 10% del agua que cae puede evaporarse, mientras que para cuerpos de agua se utilizaron dos coeficientes de evaporación uno de 1.15 correspondiente a los meses de noviembre a abril y de 1.10 para el resto, basado en recomendaciones de la FAO.

Los métodos para el cálculo de la escorrentía superficial fueron Regionalización de caudales medios y Relación precipitación-escorrentía, los cuales fueron descritos en el capítulo II.

6.3.3. RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINÁMICO DE EL SALVADOR, 2005.

A partir de los datos antes mencionados, se obtuvo el cambio de almacenamiento promedio para el período de tiempo comprendido entre enero de 1971 y diciembre de 2001, para las 10 regiones hidrográficas de El Salvador, los resultados se presentan en la tabla 6.2.

En los resultados presentados en la tabla 6.2, el cambio de almacenamiento representa el flujo subsuperficial que se genera en las cuencas, la recarga a los acuíferos y las variaciones de los cuerpos de agua. Valores negativos en los cambios de

almacenamiento que se dan en algunas cuencas, indican que ellas no generan un excedente por sí solas; esto no significa que no exista agua subterránea en ella, si no que puede existir un trasvase subterráneo desde otra cuenca que este aportando a la cantidad de agua que dispone la cuenca.

A nivel de todas las cuencas que drenan en el país, se presenta un volumen de 56,052.31 Mm³ de agua que cae en forma de lluvia, de los cuales, 947.37 Mm³ (1.69%) representan la evaporación de cuerpos de agua; 31762.78 Mm³ (56.67%) se pierden por Evapotranspiración real; 130.29 Mm³ (0.23%) por evaporación en áreas urbanas; 18251.89 Mm³ (32.56%) por escorrentía superficial y 4959.98 Mm³ (8.85%) representa el cambio de almacenamiento a nivel promedio para el período de 30 años analizado.

El mayor cambio de almacenamiento de 2645.92 Mm³ lo presenta la cuenca del Río Lempa, la cual es la región hidrográfica más extensa del país, representando el 53.35% del total del agua almacenada en acuíferos del país. Para la cuenca del Río Paz se estima un almacenamiento de -206.91, por lo que este acuífero probablemente recibe aportaciones por trasvase de otras cuencas vecinas para suplir su demanda.

Tabla 6.2. Evaluación de recurso hídrico promedio por región hidrográfica en El Salvador para el período de 1971-2001 en Millones de metros cúbicos (Mm^3).

REGIÓN HIDROGRÁFICA.	ÁREA (km ²)	PRECIPITACIÓN.	EVAPORACIÓN DE CUERPOS DE AGUA	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.	EVAPORACIÓN DE AREAS URBANAS	ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO
LEMPA.	17978.51	32483.41	528.08	18299.74	72.47	10937.19	2645.92
PAZ.	2633.02	3616.63	56.03	2652.35	10.43	1104.72	-206.91
CARA SUCIA-SAN PEDRO.	769.16	1424.73	5.57	785.69	2.93	449.19	181.35
GRANDE DE SONSONATE- BANDERAS.	778.43	1472.99	2.29	721.01	5.56	497.29	246.84
MANDINGA-COMALAPA	1294.22	2469.48	2.47	1258.88	5.36	663.03	539.74
JIBOA-ESTERO JALTEPEQUE	1638.62	3004.02	177.35	1554.20	8.96	782.28	481.23
BAHÍA DE JIQUILISCO.	779.01	1388.90	59.83	742.78	4.05	340.4	241.84
GRANDE DE SAN MIGUEL.	2389.27	3782.03	68.91	2187.60	10.39	1182.65	332.47
SIRAMA.	1116.79	1775.84	29.02	1042.72	3.66	481.18	219.27
GOASCORAN.	2427.98	4634.28	17.82	2517.78	6.49	1813.94	278.24
TOTAL.	31805.01	56052.31	947.37	31762.78	130.29	18251.89	4959.98

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador componente evaluación de recursos hídricos, 2005, página 76.

6.4. METODOLOGÍA DE BALANCE HÍDRICO, PARA EL ACUÍFERO SOMERO DEL CANTÓN SAN JOSÉ.

Debido a la escasa información con que se contó, se realizó el Balance Hídrico únicamente para el acuífero somero ubicado en el Cantón San José del Municipio de Chalatenango. El objetivo perseguido en esta evaluación, fue la de determinar la disponibilidad de agua que posee este acuífero; por lo que la información obtenida puede ayudar a predecir tendencias de comportamiento hídrico en la zona.

La metodología empleada está basada en la propuesta por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador en la publicación de diciembre del 2005, del Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, la cual se adecuó a las condiciones climatológicas, datos disponibles y condiciones geográficas propias de la zona de interés en la zona estudiada.

De acuerdo a las condiciones del lugar se considero que las siguientes variables no influyen en el cálculo del balance hídrico:

- *Importaciones:* No se encontró evidencias de importes de agua de otros sitios para abastecer a la población, animales o sembradíos.
- *Retorno:* Como simplificación se consideró no incluir el retorno, ya que no se contó con datos exactos de las costumbres de la población, en cuanto al uso del agua.
- *Trasvase de entrada:* Debido a que el análisis realizado se hizo sobre un acuífero superficial, el cual se considera se encuentra en las zonas bajas del cantón San José, y debido a que en su parte inferior está limitado por una capa impermeable, se consideró que el importe de otros cuerpos de agua subterráneo es nulo.
- *Evaporación de cuerpos de agua.* Dentro de la zona de estudio, las corrientes son de carácter efímero y debido a que el área de éstas es mucho menor que el área total de estudio, se consideró este parámetro como insignificante.

- *Evaporación de áreas urbanas:* La zona de estudio es de carácter rural y no se observan suelos impermeabilizados, por lo que este parámetro también se considera como cero.
- *Demanda Externa:* En el caso del acuífero somero no se encontró evidencias de que se extraiga agua para uso en otras comunidades o regiones. , a diferencia del acuífero profundo, el cual, prácticamente es explotado para beneficio de otras comunidades.
- *Trasvase de salida:* Es probable el trasvase de salida de este acuífero, ya que podría darse al escurrir de agua subsuperficial hacia el embalse o hacia los Ríos Muca y Tamulasco. Debido a que se desconoce esta información, no se tomó en cuenta en la evaluación de este balance hídrico.

Al realizar estas simplificaciones se obtuvo la ecuación siguiente; para la evaluación del Balance Hídrico

$$Pp - (EvR + Dint + ES) = Ra \quad [6.5]$$

A continuación en la tabla 6.3, se describe la forma en la que se obtuvo el valor de cada término de la ecuación 6.5.

Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
<i>Precipitación (Pp).</i>	Datos obtenidos a partir del registro pluviométrico de las estaciones: Concepción Quezaltepeque (G-12) y Cerrón Grande (B10); con influencia del 92% y 8% respectivamente.	Ver tabla 3.13., anexos B.3. y B.4 (Datos de precipitaciones proporcionados por la DGOA). Estos se aplicaron a toda la zona de estudio por considerarse una región con condiciones de tiempo homogéneas.
Evapotranspiración Real (EvR).	Para éste cálculo fue necesario conocer previamente los siguientes parámetros: <ul style="list-style-type: none"> • El valor de la Precipitación (Pp), • Evapotranspiración de cultivo (EvKc) y • La Capacidad de agua disponible en el suelo. 	

Continuación Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
	<p>EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO (EvKc). Para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo es necesario conocer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El porcentaje de área de los diferentes cultivos en la zona de estudio (A). • Valores de la Evapotranspiración potencial y anual (EvP). • Coeficientes de Cultivo (Kc). <p>La Evapotranspiración de cultivo se obtuvo por medio de la ecuación siguiente.</p>	<p>Estos valores se obtuvieron a través de un mapa de uso de suelos como el de la figura 6.3. Mapa de uso de suelos del Cantón San José.</p> <p>Presentados en tabla 3.14 Evapotranspiración potencial y anual de la zona de estudio, página 109.</p> <p>Ver Anexo B.10."Uso de suelo en la zona de estudio.", se presentan los Coeficientes de Cultivo Kc utilizados en el análisis.</p>
	$EvKc = ETP \times Kc \times A.$	<p>[6.6] Los resultados se presentan en la tabla 6.4.</p>
	<p>CAPACIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO. Los datos necesarios a conocer fueron son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La clasificación del suelo en base a las órdenes de la clasificación de USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos), y su textura asociada. • Porcentaje del área con textura asociada. • Capacidad Ponderada. <p>La ecuación utilizada para el cálculo de la capacidad de agua disponible en el suelo fue la siguiente:</p>	<p>Para usar esta clasificación se emplearon las observaciones realizadas en campo durante la campaña geológica y el anexo B.11. Clasificación de suelos USDA.</p> <p>De acuerdo al mapa geológico. Ver tabla 6.10.</p> <p>Datos tomados del Anexo B.12. Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Disponible para profundidad del suelo de 60 cm. Teniendo en cuenta que es una profundidad promedio radicular.</p>
	$CP = \text{Capacidad de retencion} \times \% \text{ Area}$	<p>[6.7] Los resultados se presentan en la tabla 6.6.</p>

Continuación Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL		
	<p>EvR =El menor de :</p> <p>{ Humedad mes precedente+Pp [6.8]</p> <p>{ Evkc , del mes de estudio</p>	<p>Este cálculo se inicio normalmente con el mes de noviembre, considerando que el mes de octubre finaliza la época lluviosa y el suelo está completamente saturado.</p> <p>Al valor de la Humedad o Capacidad de agua disponible del suelo, resultante del mes anterior en el análisis, se le sumo la precipitación del mes que se está calculando. Al valor resultante se le comparo con la EvKc del mes en estudio, el valor menor de éstos fue es considerado como la EvR.</p>
<i>Demanda Interna (Dint).</i>	<p>Para el cálculo de la demanda interna se consideraron para este trabajo las variables presentadas en la siguiente ecuación de acuerdo a las condiciones observadas en campo.</p> <p style="text-align: right;">[6.9]</p> $Dint = \text{Demanda doméstica} + \text{Demanda de ganado.}$ <p>A continuación se presenta la forma de cálculo para la demanda doméstica y la de ganado:</p> <p>DEMANDA DOMÉSTICA. Para el cálculo de esta demanda se utilizo el procedimiento propuesto por el Reglamento de ANDA, para lo cual se requirieron los siguientes datos: Área = 23.45 km² = 23450000 m².</p> <p>Población que utiliza pozos artesanales = 734 personas.</p>	<p>Observaciones obtenidas a través del Inventario de Fuentes de Agua.</p> <p>Obtenido en la delimitación de la zona de estudio. De acuerdo a lo obtenido en el Inventario de Fuentes de Agua.</p> <p>Algunas personas no atendieron cuando se les hizo la visita, también hubieron casas en las que no se</p>

Continuación Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
	Se agregó un 15% adicional debido a que posiblemente no se haya censado a toda la población. Población total = 845 personas.	Encontraron los propietarios, así como también posibilidad de casa fuera de los caminos.
	Dotación en litros por persona por día, considerada en este estudio = 80 l/p/d.	Obtenido de Tabla de consumos específicos de vivienda mínima, según normas técnicas de ANDA. Y considerando los estándares de vida y clima de la zona estudiada.
	La demanda doméstica se cálculo de la siguiente forma: [6.10] Demanda doméstica (l/d)=#personas x Dotación Demanda doméstica = 845 p x (80l/p/d) Demanda doméstica =67600 l/d	
	Partiendo de los datos de demanda doméstica diaria se calculo la variación de consumo diario y por medio de ésta se obtuvo la variación del gasto mensual. Consumo medio diario: [6.11] $Q_{med} = \frac{P * D}{86400} (l/s)$ Dónde: P=Población. D=Consumo (l/p/d). $Q_{med} = \frac{845 * 80}{86400} (l/s) = 0.782 l/s$	De acuerdo al procedimiento establecido por la Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras de la ANDA.
	Consumo máximo diario: $Q_{maxd} = K1 * Q_{med} (l/s)$ Dónde: K1=Coefficiente de variación diaria. $Q_{maxd} = 1.5 * 0.782 (l/s) = 1.174 l/s$	Los coeficientes de variación de consumo se obtuvieron de la Norma de ANDA antes mencionada y se muestran en el anexo B.9.
	Gasto medio anual: [6.13] $Q_{medAnual} = 20\% \text{ al } 50\% Q_{med} (l/s)$ $Q_{medAnual} = 0.5(0.782 l/s) = 0.391 l/s$	Se utilizo el coeficiente de variación diaria mayor (1.5), considerando que sería el más desfavorable al representar la mayor cantidad de volumen extraída del acuífero. El porcentaje para el gasto medio anual se utilizó el mayor al 50%, también para garantizar la condición más desfavorable.

Continuación Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
-----------	--------------------------	-------------

Se muestra a continuación la representación de una curva con la que se obtuvo la tendencia de consumos de agua durante el año.

Se presentan los resultados en la tabla 6.7.

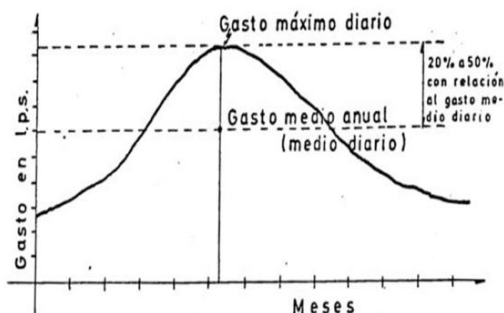


Figura 6.2. Representación esquemática de la variación de demanda doméstica de Agua en un periodo de un año.

Fuente: Elaboración propia.

En base a los cálculos de las dotaciones y siguiendo la tendencia de la figura 6.2 se diseñó una tendencia del consumo de los habitantes durante los meses del año.

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE GANADO.

Se estimó que en el cantón San José, al menos existen 250 cabezas de ganado.

Se consideró el valor mínimo de consumo para los meses de invierno y el máximo en los meses de verano, utilizando como promedio 30 días mensuales.

Verano; meses de Noviembre a Marzo.

Según observaciones realizadas durante el Inventario de Fuentes de Agua.

(Ver Anexo B.9." Demanda diaria de agua para las principales especies domésticas").

[6.14]

Demanda de ganado, verano=Demanda máxima (l/día)*# (días/mes) # cabezas de ganado.

Demanda de ganado, verano= 130 l/día x 30días/mes x 250 cabezas de ganado.

Demanda de ganado, verano= 975000 l/mes

Meses de Abril a Octubre:

Demanda de ganado, invierno=90 l/día x 30días/mes x 250 ganado

Demanda de ganado, invierno=675000 l/mes

Los gastos por la demanda de ganado se presentan en la Tabla 6.8.

Continuación Tabla 6.3. Metodología de cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico, desarrollado para el acuífero somero del Cantón San José, Jurisdicción de Chalatenango.

VARIABLE.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO.	COMENTARIO.
	Obteniéndose el valor de la demanda interna mensual, al sumar los valores calculados para el consumo de ganado y domestico. $D_{int}=0.0167+0.0415=0.0581$ de igual manera para los demás valores de la Tabla 6.9	Tabla 6.9 se presentan los resultados del cálculo de la Demanda Interna Mensual, D_{int} .
Escorrentía Superficial (ES).	Este valor mensual se obtuvo de la multiplicación de los datos de precipitación mensual calculados para la zona de estudio, y del coeficiente de Relación Escorrentía Superficial – Precipitación (S/P).	El coeficiente de Relación de Superficial – Precipitación (S/P), corresponde a la zona 6 (Correspondiente al área de Chalatenango), según la metodología desarrollada por el SNET en 2005. La Tabla 3.16 presenta los coeficientes mensuales. En tabla 6.10 se presentan los resultados para el periodo analizado.
Cambio de Almacenamiento (Ra).	Aplicación de la fórmula 6.6. $P_p - (E_v R + D_{int} + ES) = R_a$	Representa el cambio de almacenamiento del acuífero somero ubicado en Cantón San José. En tabla 6.10 se presentan los resultados del cambio de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia.

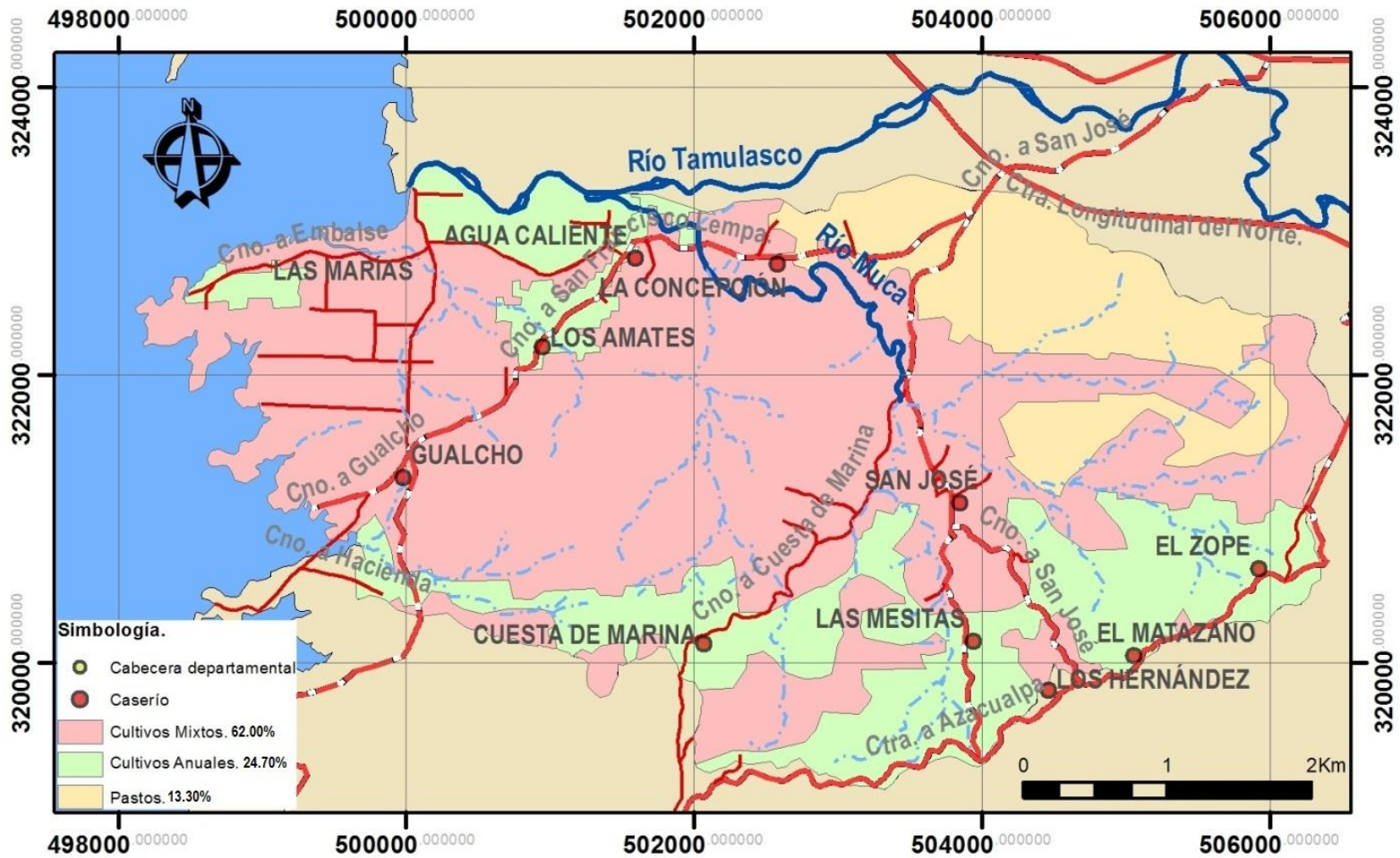


Figura 6.3. Mapa de uso de suelos del Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

Fuente: Mapa de uso de suelos del Plan de desarrollo territorial para la región de Chalatenango e información propia tomada en campo.

Tabla 6.4.Cálculo de la evapotranspiración en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

MES	ETP (mm)	PASTOS NATURALES			GRANOS BASICOS			MOSAICOS DE CULTIVOS, PASTOS Y VEGETACIÓN			PONDERADO (mm)
		KC	AREA	ETP*kc*Área	KC	AREA	ETP*kc*Área	KC	AREA	ETP*kc*Área	
ENERO	158.80	1.00	0.133	21.12	1.00	0.247	39.22	1.00	0.620	98.46	158.80
FEBRERO	168.90	1.00	0.133	22.46	1.00	0.247	41.72	1.00	0.620	104.72	168.90
MARZO	204.70	1.00	0.133	27.23	1.00	0.247	50.56	1.00	0.620	126.91	204.70
ABRIL	205.00	1.00	0.133	27.27	1.00	0.247	50.64	1.00	0.620	127.10	205.00
MAYO	186.40	1.00	0.133	24.79	0.35	0.247	16.11	1.00	0.620	115.57	156.47
JUNIO	161.10	1.00	0.133	21.43	1.00	0.247	39.79	1.00	0.620	99.88	161.10
JULIO	171.90	1.00	0.133	22.86	1.05	0.247	44.58	1.05	0.620	111.91	179.35
AGOSTO	162.80	1.00	0.133	21.65	1.05	0.247	42.22	1.05	0.620	105.98	169.86
SEPTIEMBRE	148.10	1.10	0.133	21.67	0.60	0.247	21.95	1.00	0.620	91.82	135.44
OCTUBRE	156.80	1.10	0.133	22.94	1.00	0.247	38.73	1.00	0.620	97.22	158.89
NOVIEMBRE	156.30	1.10	0.133	22.87	1.00	0.247	38.61	1.00	0.620	96.91	158.38
DICIEMBRE	155.90	1.00	0.133	20.73	1.00	0.247	38.51	1.00	0.620	23.87	83.12
ANUAL	2036.70	-	-	277.02	-	-	462.64	-	-	1200.35	1940.00

Fuente:Elaboracion propia.

Tabla 6.5. Clasificación de suelo en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

FORMACIÓN GEOLÓGICA.	SUELO.	TEXTURA ASOCIADA.	ÁREA (%)
Formación Bálsamo.	Entisoles, Vertisoles.	Franco arcilloso.	26.34
Formación Cuscatlán.	Alfisoles, Molisoles.	Franco arcilloso.	14.70
Formación Chalatenango.	Inceptisoles, Utisoles, Alfisoles.	Franco arcilloso.	7.17
Depósitos Fluviales Resientes.	Alfisoles, Molisoles.	Franco arcilloso.	2.29
Formación Morazán.	Entisoles, Inceptisoles.	Franco.	49.50
			100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.6. Valores de la capacidad ponderada de humedad en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

SUELO	TEXTURA ASOCIADA	AREA %	PUNTO DE MARCHITEZ (mm)	CAPACIDAD DE CAMPO (mm)	CAPACIDAD DE RETENCION (mm)	CAPACIDAD PONDERADA (mm)
ENTISOLES, VERTISOLES.	franco arcilloso	26.34	90	190	100.00	26.34
ALFISOLES, MOLISOLES.	franco arcilloso	14.70	90	190	100.00	14.70
INCEPTISOLES, ULTISOLES, ALFISOLES.	franco arcilloso	7.17	90	190	100.00	7.17
ALFISOLES, MOLISOLES.	franco arcilloso	2.29	90	190	100.00	2.29
ENTISOLES, INCEPTISOLES	franco	49.50	60	160	100.00	49.50
TOTAL.		100				100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.7. Variaciones del consumo doméstico mensuales en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

MES	GASTO(L/S)	GASTO (L/MES)	m ³ /MES	m/MES	mm/mes
ENERO	0.15	388800	388.8	0.00002	0.01658
FEBRERO	0.35	907200	907.2	0.00004	0.03869
MARZO	0.6	1555200	1555.2	0.00007	0.06632
ABRIL	0.82	2125440	2125.44	0.00009	0.09064
MAYO	1.05	2721600	2721.6	0.00012	0.11606
JUNIO	1.17	3032640	3032.64	0.00013	0.12932
JULIO	1.12	2903040	2903.04	0.00012	0.12380
AGOSTO	0.98	2540160	2540.16	0.00011	0.10832
SEPTIEMBRE	0.81	2099520	2099.52	0.00009	0.08953
OCTUBRE	0.65	1684800	1684.8	0.00007	0.07185
NOVIEMBRE	0.46	1192320	1192.32	0.00005	0.05085
DICIEMBRE	0.31	803520	803.52	0.00003	0.03427
ANUAL					0.93621

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.8. Variaciones de consumo de agua mensual por el ganado en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

MES	CONSUMO (L/DIA)	CONSUMO (L/MES)	m ³ /MES	M/MES	mm/mes
ENERO	130.00	975000.00	975	0.000042	0.042
FEBRERO	130.00	975000.00	975	0.000042	0.042
MARZO	130.00	975000.00	975	0.000042	0.042
ABRIL	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
MAYO	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
JUNIO	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
JULIO	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
AGOSTO	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
SEPTIEMBRE	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029
OCTUBRE	90.00	675000.00	675	0.000029	0.029

Continuación de Tabla 6.8. Variaciones de consumo de agua mensual por el ganado en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

MES	CONSUMO (L/DIA)	CONSUMO (L/MES)	m ³ /MES	M/MES	mm/mes
NOVIEMBRE	130.00	975000.00	975	0.000042	0.042
DICIEMBRE	130.00	975000.00	975	0.000042	0.042
ANUAL	1280.00	-	-	-	0.409

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.9. Demanda interna durante el año en el Cantón San José, jurisdicción de Chalatenango.

MES	DEMANDA POBLACIONAL (mm/mes)	DEMANDA DE GANADO (mm/mes)	Dint (mm)
ENERO	0.02	0.04	0.06
FEBRERO	0.04	0.04	0.08
MARZO	0.07	0.04	0.11
ABRIL	0.09	0.03	0.12
MAYO	0.12	0.03	0.14
JUNIO	0.13	0.03	0.16
JULIO	0.12	0.03	0.15
AGOSTO	0.11	0.03	0.14
SEPTIEMBRE	0.09	0.03	0.12
OCTUBRE	0.07	0.03	0.10
NOVIEMBRE	0.05	0.04	0.09
DICIEMBRE	0.03	0.04	0.08
ANUAL	0.94	0.41	1.35

Fuente: Elaboración propia.

6.5. BALANCE HÍDRICO DEL ACUIFERO SOMERO DEL CANTÓN SAN JOSÉ.

A continuación en la tabla 6.10 se presenta el Balance Hídrico realizado para el acuífero somero del Cantón San José, Chalatenango.

Tabla 6.10. Balance hídrico medio anual en el Cantón San José Chalatenango. (Valores en mm).

MES	Pp	ET CULTIVO	HUMEDAD DEL SUELO	Evr	Dint	ES	CAMBIO DE ALMACEN
<i>ENERO</i>	3.00	158.80	0	3.00	0.058	3.33	-3.39
<i>FEBRERO</i>	5.00	168.90	0	5.00	0.080	5.75	-5.83
<i>MARZO</i>	16.00	204.70	0	16.00	0.108	2.88	-2.99
<i>ABRIL</i>	82.00	205.00	0	82.00	0.119	4.92	-5.04
<i>MAYO</i>	245.00	156.47	88.53	156.47	0.145	17.15	71.23
<i>JUNIO</i>	386.00	161.10	100	161.10	0.158	77.2	147.54
<i>JULIO</i>	323.00	179.35	100	179.35	0.153	96.9	46.60
<i>AGOSTO</i>	343.00	169.86	100	169.86	0.137	96.04	76.97
<i>SEPTIEMBRE</i>	397.00	135.44	100	135.44	0.118	166.74	94.70
<i>OCTUBRE</i>	241.00	158.89	100	158.89	0.101	151.83	-69.82
<i>NOVIEMBRE</i>	53.00	158.38	0	153.00	0.092	34.45	-134.54
<i>DICIEMBRE</i>	48.00	83.12	0.00	48.00	0.076	59.04	-59.12
<u>ANUAL</u>	<u>2142.00</u>	<u>1940.00</u>	-	-	<u>1.346</u>	<u>716.23</u>	<u>156.32</u>

Fuente: Elaboración propia.

- **Calculo del Índice de Escasez**

Para el cálculo de este se utilizan las formulas previamente descritas en este capítulo:

$$IE = (D/O) * 100\% \quad [6.2]$$

$$O = \text{Cambio de Almacenamiento} + \text{Escorrentía} \quad [6.3]$$

Calculando la Oferta tenemos con los valores de la Tabla 6.10, tenemos:

Cambio de Almacenamiento=156.32mm

Escorrentía=716.23mm

$$O = 156.32\text{mm} + 716.23\text{mm} = 872.55\text{mm}$$

A partir de la ecuación 6.3 del Índice de Escasez se obtuvo:

Demanda Anual =1.346, ver Tabla 6.10. Balance medio anual en el Cantón San José Chalatenango. (Valores en mm).

Demanda Anual=1.346mm

$$\text{Indice de escasez} = (1.346 / 872.55) * 100 = 0.15\%$$

De acuerdo con la Tabla 6.1, Índice de escasez el valor obtenido es “No significativo” ya que es menor <1%.

CAPÍTULO VII:
HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DE
AGUA.

7.1. INTRODUCCIÓN.

En investigaciones destinadas al aprovechamiento del agua subterránea, es tan importante conocer la ubicación de ésta y la cantidad que puede ser extraída, así como la composición química y la calidad del líquido; estas últimas dos características son de mucha importancia, ya que para poder darle uso al agua muchas veces se requiere de procesos de desinfección y de eliminación de algún componente químico, lo que supone un incremento en los costos para su utilización; los cuales es conveniente conocerlos desde el inicio de cualquier proyecto.

Es de hacer notar que los estudios de calidad de agua, no solo deben ser aplicados al principio de un proyecto de explotación de agua, porque su composición química es muy susceptible a los cambios del medio que le rodea.

En este capítulo se hace un resumen de los fundamentos teóricos de la hidrogeoquímica y de la calidad de agua en la sección 7.2, introduciendo sus conceptos básicos, composición química del agua, parámetros físicos-químicos que se analizan en cualquier estudio de calidad de agua, herramientas para el tratamiento de datos geoquímicos como lo son los diagramas de Piper y de Stiff, una breve reseña de la Norma Salvadoreña para Agua Potable y por último se expone un protocolo para la toma de muestras de agua en campo que fueron analizadas.

En la sección 7.3, se presenta un resumen de estudios de calidad de agua, enfocados principalmente en el estado actual de las aguas superficiales de El Salvador, información que es importante analizar ya que de esta se puede suponer una fuente de contaminación a las aguas subterráneas. En esta misma sección se presentan estudios de calidad de agua realizados al Embalse Cerrón Grande.

En el apartado 7.4, se expone de manera resumida la metodología desarrollada en la determinación de la composición química y de calidad de agua extraída de pozos someros ubicados en el cantón San José de Chalatenango; los resultados de ésta investigación se exponen y se examinan en la sección 7.5.

7.2 FUNDAMENTOS DE HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA.

7.2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

HIDROGEOQUÍMICA.

La Hidrogeoquímica es la ciencia que estudia las características químicas de las aguas subterráneas y superficiales en relación con la geología zonal y regional (Custodio-Llamas, 1996).

CALIDAD DE AGUA.

El concepto de calidad de agua es amplio, pero se puede definir como: Las “características físicas, químicas y biológicas del agua necesarias para sostener los usos deseados”. En consecuencia, el agua para recreación, pesca, bebida y para el hábitat de organismos acuáticos requiere altos niveles de pureza, mientras que para la producción de energía hidroeléctrica, las normas de calidad son mucho menos importantes (UNEP, 2010).

EXPRESIONES UTILIZADAS EN ANÁLISIS DE AGUA.

Parte por millón.

La parte por millón (ppm), es el gramo en un millón de gramos, es decir mg/kg; es la forma más usual de proporcionar datos de concentración. Existen variaciones a esta medida como parte por cien mil (ppc), miligramo por litro de disolución (mg/l). Si la concentración total de sales no supera 5000 ppm la densidad del agua es muy aproximadamente 1 y por tanto $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l}$.

Miliequivalentes.

Los miliequivalentes (meq) son una unidad de medida empleada en química para representar la concentración iónica de una solución. La expresión en miliequivalentes

de una concentración iónica conocida en peso, se obtiene dividiendo el número de miligramos por litro por el peso atómico del ion y multiplicando el resultado por la valencia de ese ion. Ello permite el estudio del equilibrio entre los iones ácidos y básicos de los líquidos.

Unidades formadoras de colonias.

Las unidades formadoras de colonias (UFC), es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente y expresa el número relativo de un grupo de microorganismos determinado que dan lugar al desarrollo de colonias visibles, en un volumen de agua. Generalmente las Unidades Formadoras de Colonias se miden en UFC/ml (UFC por mililitro).

Número más probable.

El número más probable (NMP), generalmente se usa como unidad para definir la cantidad de coliformes presentes en las aguas. Es un método probabilístico eficiente de la estimación de densidades poblacionales especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible; la técnica se base en la determinación de presencia o ausencia en réplicas de diluciones consecutivas de atributos particulares de microorganismos presentes en las muestras; se emplean tablas probabilísticas para su determinación. Se expresa en análisis de agua como NMP/ml (NMP por mililitro).

7.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE EL AGUA.

El agua es una sustancia química en la que cada molécula se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno; su fórmula es H_2O . El agua pura es una sustancia que solo se encuentra en laboratorio (precisando precauciones en su preparación y conservación), su gran capacidad de disolución y su elevada reactividad hace que el agua natural contenga gran cantidad de sustancias disueltas y que además entre a formar parte de la composición de muchas otras sustancias.

El agua puede disolver gases, líquidos y sólidos; el mecanismo de disolución muchas veces puede ser un mecanismo simple como la disolución del azúcar, otras veces puede ser un mecanismo de simple ionización como la disolución de sal, pero en otras ocasiones se trata de mecanismos mucho más complejos en los que intervienen reacciones químicas con el agua o con el agua y otras sustancias disueltas en ella como por ejemplo, la disolución de metales pesados con ayuda de ácidos húmicos o ciertas sustancias orgánicas, también otro mecanismo de disolución puede deberse a alteraciones previas producidas por el agua en materiales en sí insolubles como el ataque de silicatos.

En un agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa cerca de la totalidad de los iones disueltos, los cuales se conocen como iones fundamentales o mayores; en esta categoría deben considerarse además algunos gases. En la tabla 7.1, se presentan los iones y los gases fundamentales.

Tabla 7.1. Sustancias químicas mayoritarias o fundamentales de las aguas.

Aniones fundamentales.	Cationes fundamentales.	Gases fundamentales.
Cloruro (Cl ⁻)	Sodio (Na ⁺)	Anhídrido carbónico (CO ₂)**
Sulfato (SO ₄ ⁼)	Calcio (Ca ⁺⁺)	Oxígeno disuelto (O ₂)**
Bicarbonato (CO ₃ H ⁻)	Magnesio (Mg ⁺⁺)	
Nitrato (NO ₃ ⁻)*	Potasio (K ⁺)*	
Carbonato (CO ₃ ⁼)*	Ion ferroso (Fe ⁺⁺)*	

(*) Frecuentemente estos iones se consideran como fundamentales aun cuando en general su proporción es pequeña.

(**) Su análisis no es frecuente en aguas subterráneas.

Fuente: Elaboración propia en base a datos provenientes de Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, pág. 200.

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades pequeñas (forman habitualmente menos del 1% del contenido iónico total) y se les denomina iones menores y elementos traza a aquellos que aunque presentes están en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales. Entre los iones menores tenemos nitrito (NO₂⁻), fluoruro (F⁻), bromuro (Br⁻), sulfuro (S⁼), yoduro (I⁻), hidróxido

(OH), fosfato (PO_4^{-3}), amonio (NH_4^+), estroncio (Sr^{++}), ion férrico (Fe^{+++}), hipomanganeso (Mn^{++}), aluminio (Al^{+++}), etc.

Las aguas subterráneas se llaman dulces si contienen un máximo de 1000 o 2000 ppm de sustancias disueltas, si el contenido es mayor hasta 5000 ppm se llaman aguas salobres y hasta 40000 aguas saladas, cuando superan las 40000 ppm se les llama salmueras y estas pueden llegar hasta las 300000 ppm de sustancias disueltas.

A continuación se describen las características químicas, posibles procedencias (en el agua), concentración (Custodio-Llamas, 1996, pág. 200-207), y efectos de los principales componentes de las aguas.

ANIONES MAYORES.

Ion cloruro, Cl⁻.

Los cloruros son sales muy solubles; muy estables en disolución y muy difícilmente precipitables. No se oxidan ni reducen en aguas naturales. En general van asociados a iones Na^+ , en especial en aguas muy salinas, pero el número de miliequivalentes de ambos iones no es necesariamente igual. Es el anion más abundante en el agua del mar, pero puede ser el menos importante de los fundamentales en aguas continentales; no llega a saturar casi nunca y es muy difícilmente alterado por cambio iónico u otro tipo de acción.

La procedencia del Cl^- en las aguas puede ser: Lavado de terrenos de origen marino, aguas congénitas y fósiles pueden aportar cantidades importantes; el agua lluvia y su concentración en el terreno así como la mezcla con agua marina en regiones costeras; localmente y en pequeña proporción el ataque de rocas evaporitas (sal gema, etc.) y minerales asociados a rocas ígneas y metamórficas; raramente puede proceder de gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas; y los vertidos urbanos e industriales pueden aportar cantidades importantes.

En aguas dulces la concentración varía entre los 10 y 250 ppm, aunque no es raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm. El agua del mar posee

entre 18000 y 21000 ppm, mientras que las salmueras naturales pueden llegar a tener 22000 ppm en saturación.

Este ion es esencial para la vida; más de 300 ppm proporciona sabor salado al agua de bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.

Ion sulfato, SO_4^- .

Son sales moderadamente solubles a muy solubles; es difícilmente precipitable, pero puede separarse de la solución por concentración si la evaporación es importante. Tiende a formar iones complejos con Sodio y Calcio y a incorporarse a procesos biológicos. El sulfato está sujeto a procesos de reducción especialmente en presencia de bacterias y materia inorgánica; en ambientes reductores ácidos la sustancia estable es el ácido sulfhídrico (H_2S), mientras que en ambientes alcalinos predomina el hidrogenosulfuro HS^- .

Este ion puede proceder de: lavado de terrenos formados en condiciones de aridez o en ambientes marinos, oxidación de sulfuros de rocas, concentración en el suelo de agua de lluvia, actividades urbanas, industriales y agrícolas pueden aportar cantidades importantes.

En agua dulce la concentración varía entre 2 y 150 ppm, pudiendo llegar a 5000 ppm en aguas salinas si existe Ca y hasta 200000 si está asociado a Mg y Na en ciertas salmueras. En el agua del mar se encuentran alrededor de 3000 ppm.

Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo; por sí mismo o si va asociado a Mg o Na en cantidad importante puede proporcionar propiedades laxantes; en cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas y más de algunos centenares de ppm perjudican a la resistencia del concreto.

Iones bicarbonato y carbonato, HCO_3^- y CO_3^{2-} .

Existe una profunda relación entre el pH, dióxido de carbono como gas y disuelto, con los iones bicarbonato y carbonato ya que proporcionan alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al crear una solución tampón (es decir el pH disminuye ligeramente). Estos iones no son oxidables ni reducibles en aguas naturales y se pueden precipitar con mucha facilidad.

Estos iones pueden provenir de: Disolución de CO_2 atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomías ayudada por el CO_2 y/o ácidos naturales (húmicos, oxidación de sulfuros, etc.); hidrólisis de silicatos ayudada por el CO_2 .

El ion bicarbonato varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar hasta 800 ppm en algunas ocasiones y el agua del mar tiene alrededor de 100 ppm. El ion carbonato está en concentraciones mucho menores que el bicarbonato y si el pH es menor a 8.3 se le considera cero; en aguas alcalinas con pH mayor a 8.3 puede haber cantidades importantes, hasta de 50 ppm en algunas aguas naturales; el agua del mar tiene menos de 1 ppm.

Las aguas con carbonatos y bicarbonatos no presentan problemas de toxicidad; las aguas bicarbonatadas sódicas se consideran malas para riego, debido a que se fija el sodio en el terreno y crea un medio alcalino. El equilibrio entre dióxido de carbono, bicarbonatos, carbonatos y pH es determinante de la corrosividad.

Ion nitrato, NO_3^- .

Los nitratos son sales muy solubles que son muy difícilmente precipitables. Aunque tiene tendencia a ser estable, aun en medios reductores, puede pasar a gas nitrógeno (N_2) o amonio (NH_4^+) y excepcionalmente a dióxido de nitrógeno (NO_2^-). La mayoría de compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en medio oxidante, aunque el NH_4^+ puede perderse en parte como N_2 . El terreno puede fijar el NO_3^- , en especial el suelo vegetal.

Este ion puede provenir de: Procesos de nitrificación naturales (bacterias nitrificantes) por ejemplo en las raíces de las leguminosas; descomposición de materia orgánica y

contaminación urbana, industrial, ganadera y abonos agrícolas; en pequeña proporción del agua de lluvia, muy raramente del lavado de ciertos minerales nitrogenados, emanaciones volcánicas o lavado de suelos antiguos; muy localmente del desarrollo de pozos con explosivos. Su origen no es siempre claro.

Las concentraciones de este ion suelen variar entre 0.1 y 10 ppm, pero en aguas polucionadas puede llegar a 200 ppm y en algún caso hasta 1000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 1 ppm o menos.

Las concentraciones elevadas en agua de bebida pueden producir cianosis en los niños, comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones.

Sílice, SiO₂.

La hidroquímica del silicio no está del todo aclarada, pero se estima que la mayoría de la sílice está como ácido ortosilícico (SiO₄H₄), en parte disuelta y en parte coloidal y sólo una pequeña parte está ionizada (SiO₄H₃⁻) a pH normales. Las aguas fuertemente básicas pueden tener cantidades importantes de sílice iónica, pero son muy raras en la naturaleza. La sílice iónica contribuye a la alcalinidad del agua. La sílice puede ser un indicador del tipo de terreno atravesado por el agua subterránea y aún mejor de la temperatura del acuífero.

La sílice proviene de: Ataque de silicatos y otras rocas que contienen sílice soluble, en muy pequeñas cantidades de la disolución de cuarzo y sus formas alotrópicas; el valor de pH es muy importante, precipitándose sílice si éste desciende (el CO₂ juega un papel muy importante en su solubilización. Una parte puede estar en forma coloidal); las rocas carbonatadas tienen sílice soluble mientras que las rocas plutónicas y volcánicas pueden llegar a dar hasta 100 ppm, frente a alrededor de 7 ppm las primeras.

La mayoría de las aguas naturales tienen entre 1 y 40 ppm en SiO₂, pudiendo llegar hasta 100, en especial en aguas bicarbonatadas sódicas. En aguas muy básicas se puede llegar a 1000 ppm.

El mayor inconveniente está relacionado con su incrustabilidad en calderas y calentadores.

CATIONES MAYORES.

Ion Sodio, Na⁺.

La solubilidad del sodio es muy elevada y es muy difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases. Suele ir asociado al ion Cl⁻, aunque no siempre sucede así. Las aguas naturales con elevados contenidos en Na⁺ suelen tener contenidos elevados en F⁻. Es el catión más abundante en el agua del mar.

El origen de este ion en las aguas se puede deber a: El ataque de feldespatos, feldespatoideos y otros silicatos; lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas del mismo origen; mezcla con agua del mar; localmente de la disolución de sal gema o sulfato sódico natural; en raras veces emanaciones y fenómenos relacionados con procesos magmáticos; contaminación urbana e industrial, concentración del agua lluvia.

La concentración de sodio en aguas dulces varía entre 1 y 150 ppm, no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm. El agua del mar tiene alrededor de 10000 ppm, las salmueras naturales pueden llegar a tener 100000 ppm, siendo un límite que rara vez se sobrepasa el de 500 meq/l (aproximadamente 110000 ppm).

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas. Aguas con contenidos elevados de bicarbonato de sodio (CO₃HNa) originan problemas de espumas en calderas.

Ion Potasio, K⁺.

La solubilidad del potasio es muy elevada y es difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de forma muy poco reversible por las

arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita) para formar parte de su estructura, circunstancia que lo diferencia notablemente del Na^+ . Por ello las aguas naturales, a pesar de la mayor abundancia de K en muchas rocas, tienen mucho menos K^+ que Na^+ excepto en las muy diluidas en las que se puede tener un contenido similar de ambos cationes.

La procedencia de este ion puede ser: Ataque de ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc.); localmente de la disolución de sales potásicas naturales (silvinita, carnalita, etc.), en pequeñas cantidades de aportes del agua de lluvia; en ocasiones procede de contaminación industrial, minera y agrícola (abonos).

Las concentraciones en aguas dulces varían entre 0.1 y 10 ppm; extraordinariamente se pueden tener algunos cientos de ppm y sólo muy raramente se puede tener salmueras de hasta 100000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 400 ppm.

No se conoce de problemas debidos a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.

Ion Calcio, Ca^{++} .

El ion calcio son sales desde moderadamente solubles a muy solubles, muy fáciles de precipitar como carbonato de calcio (CO_3Ca). Su química va muy asociada a la de los iones CO_3H^- y $\text{CO}_3^{=}$ en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de CO_2 . Puede ser afectado por cambio de bases.

El ion calcio puede provenir de: Disolución de caliza, dolomías, yeso y anhidrita; ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos; disolución de cemento calcáreo de muchas rocas; concentración del agua de lluvia.

Las concentraciones de este ion varían entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas selenitosas, el agua del mar contiene alrededor de 400 ppm y excepcionalmente se pueden tener 50000 ppm en salmueras de Cl_2Ca .

El mayor inconveniente de este ion está asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones; el exceso de calcio en el humano puede traer consecuencias a la salud, como el desarrollo de piedras en los riñones.

Ion Magnesio, Mg⁺⁺.

Este ion posee propiedades similares a las del ion calcio pero más soluble y más difícil de precipitar.

Este ion puede proceder de: Disolución de dolomías y calizas dolomíticas; ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos; localmente del lavado de rocas evaporitas magnésicas (carnalita, kieserita, etc.); mezcla con agua del mar; contaminación industrial y mineral.

Las concentraciones varían entre 1 y 100 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras; el agua del mar contiene 1200 ppm.

Este ion da propiedades laxantes y sabor amargo al agua de bebida si hay algunos centenares de ppm; contribuye a la dureza del agua y además a pH elevado puede generar hidróxido de magnesio Mg(OH)₂ incrustante.

Iones relacionados con el Hierro.

La química de estos iones es relativamente compleja pues pueden existir en los estados de valencia +2 y +3. La estabilidad de los iones Fe⁺⁺ y Fe⁺⁺⁺, Fe(OH)⁺⁺, Fe(OH)⁺⁺⁺, en relación con el hidróxido férrico Fe(OH)₃ y dióxido ferroso Fe(OH)₂ precipitados o coloidales, depende del pH, Eh (procesos de oxidación-reducción) y composición de la solución. Ciertas materias orgánicas y algunas inorgánicas pueden actuar formando complejos, que aún complican más el comportamiento. En general las aguas subterráneas normalmente sólo tienen disuelto Fe⁺⁺ (a veces FeOH⁺⁺), y a pH algo elevado prácticamente no existe hierro disuelto. El Fe puede estabilizarse con compuestos orgánicos tales como los ácidos oxálico, tartárico, cítrico y también con polifosfatos.

El hierro puede proceder de: Ataque de silicatos ferríferos; ataque de sulfuros y óxidos de hierro; ataque de la mayoría de las rocas sedimentarias; muy lentamente y con carácter local procede del entubado de los pozos. Ciertos microorganismos promueven medios reductores que favorecen la formación de Fe^{++} , mientras otros utilizan la energía del paso de Fe^{++} a Fe^{+++} en sus procesos vitales y dan lugar a precipitaciones gelatinosas, estos crecimientos bacterianos se favorecen en la oscuridad y en aguas con exceso de O_2 y abundante CO_2 .

Las concentraciones de Fe^{++} varían entre 0 y 10 ppm, siendo de menos de 0.5 ppm en aguas aireadas; con pH entre 5 y 8 rara vez se llega a 50 ppm; en aguas muy ácidas se puede llegar a 100 ppm en Fe^{++} y Fe^{+++} ; las aguas alcalinas sólo tienen muy pequeñas cantidades de Fe^{++} o $\text{Fe}(\text{OH})^{++}$.

En altas concentraciones estos iones producen manchas de herrumbre y depósitos orgánicos fangosos con $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y es en general molesto en aguas industriales; puede originar incrustaciones duras; más de 5 ppm pueden ser tóxicas para las plantas y más de 0.5 ppm son nocivas o molestas en general.

PRINCIPALES GASES DISUELTOS.

Anhídrido carbónico o dióxido de carbono, CO_2 .

Este es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado. Su papel es muy importante ya que determina en gran manera el comportamiento químico de un agua frente a muchos minerales, tales como la calcita, dolomita, feldespatos, etc.

Este gas puede proceder de: Disolución de gases del terreno no saturado; descomposición y oxidación de materia orgánica en varios procesos tales como reducción de sulfatos, reducción de hierro, etc.; disolución de gases del aire por la lluvia y el agua superficial. A veces procede de emanaciones magmáticas y juega un papel importante en el comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas.

Su concentración frecuentemente se sitúa entre 1 y 30 ppm, correspondiendo los valores más bajos a aguas en contacto con la atmósfera. En acuíferos profundos en los que existe generación de CO₂ (oxidación de materia orgánica, aportes volcánicos, etc.) y elevadas presiones, pueden existir aguas con contenidos de hasta 1500 ppm (aguas carbónicas naturales) que se mantiene si esa agua aflora rápidamente.

Las aguas con exceso de CO₂ son agresivas y las que pierden CO₂ pueden convertirse en incrustaciones; con más de 20 ppm de CO₂ libre, las aguas pueden ser agresivas para el concreto.

Oxígeno Disuelto, O₂.

Este gas produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización o insolubilización de iones que cambian con facilidad de valencia así como en la actividad de los microorganismos. Su ausencia produce un medio llamado anaerobio. Se consume con facilidad si existen sustancias oxidables, tales como materia orgánica, Fe⁺⁺, NH₄⁺, NO₂⁻, etc., en especial por acción biológica.

El oxígeno disuelto procede de: Disolución de aire por el agua de lluvia y las aguas superficiales; disolución de gases del terreno no saturado; procesos de fotosíntesis en el seno de aguas superficiales y juega un papel muy importante en los procesos redox; el contenido en oxígeno disuelto en las aguas subterráneas profundas, es pequeño o nulo debido a que se consume sin posibilidad de renovación.

La concentración a saturación del oxígeno en el agua en contacto con el aire es del orden de 10 ppm, previamente a la infiltración, el agua puede estar incluso sobresaturada en oxígeno, pero en el terreno el oxígeno se consume y su renovación es difícil o imposible; la mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm.

El mayor problema que presenta el oxígeno disuelto en el empleo del agua es que produce corrosividad. Su ausencia puede ser origen de malos gustos (fermentaciones anaerobias).

ANIONES MENORES.

Fluoruro, F⁻.

La solubilidad del fluoruro es limitada y contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente.

El fluoruro lo adquieren las aguas subterráneas al transitar por rocas que contienen minerales como la fluorita. Algunos gobiernos adhieren fluoruro al agua potable para prevenir las caries, aunque es una práctica que causa controversia.

Las concentraciones frecuentemente varían entre 0.1 y 1 ppm, pudiendo llegar a veces hasta 10 y muy raramente a 50 en aguas muy sódicas con muy poco Ca; el agua del mar tiene entre 0.6 y 0.7 ppm; las aguas de zonas áridas pueden tener cantidades elevadas; el Ca limita la concentración de F⁻.

El fluoruro parece jugar un papel importante en la conservación de la dentadura, creando problemas cuando está tanto por exceso como por defecto; por exceso puede provocar la precipitación del calcio, por lo que puede dañar la estructura ósea de los dientes y también puede provocar osteoporosis. Algunos autores proponen como concentración óptima 1 ppm, aunque es un tema que aún se discute.

Bromuro, Br⁻.

Su comportamiento es similar al del ion Cl⁻. Tiene interés en el estudio del origen de aguas saladas.

Principalmente se encuentra en el agua del mar, pero las aguas superficiales pueden adquirirlo por contaminación con lejías industriales.

En general menos de 0.01 ppm en aguas dulces. El agua del mar tiene 65 ppm.

En las concentraciones usuales no ocasiona ningún problema, al consumirlo en grandes cantidades puede causar problemas en el sistema nervioso.

Iones derivados del Boro, B.

Se encuentra disuelto como ácido ortobórico BO_3H_3 parcialmente disociado a ion BO_3H_2^- , contribuye a la alcalinidad de las aguas.

El boro puede ser adquirido por el agua a través de erosión de rocas con minerales como la bakerita, datolita, etc.

En general las concentraciones son menores de 0.1 ppm pero a veces puede llegar a 10 y excepcionalmente a 30; el agua del mar contiene 4.6 ppm en B. Puede ser elevado en aguas antiguas y termales.

En pequeñas cantidades ya es nocivo para las plantas, pero no en el agua de bebida. Ingerir grandes cantidades de boro durante un período breve puede dañar el estómago, los intestinos, el hígado, los riñones y el cerebro.

Sulfuro y Gas Sulfhídrico, S⁼ y SH₂.

Son fácilmente oxidables a azufre (S), anión sulfito (SO_3^-) o anión sulfato (SO_4^-) y pueden ser depositados en el terreno ya que forman muchas sales poco solubles. Son características de medios reductores, pero no siempre están presentes en los mismos. El S^- se hidroliza con facilidad a bisulfuro (SH) y SH_2 , estando en equilibrio con fase gas y el SH_2 se hidroliza a SH^- y S^- .

En la Naturaleza, se forma en las zonas pantanosas y en el tratamiento de lodos de aguas residuales, mediante transformaciones anaeróbicas del azufre contenido en las proteínas o bien por reducción bacteriana de sulfatos. Se desprende también en las emisiones gaseosas de algunos volcanes y es asimismo un subproducto de algunos procesos industriales.

Las concentraciones son generalmente muy por debajo de 1 ppm, aunque en aguas de medios muy reductores con reducción de sulfato, se pueden llegar hasta 100 ppm.

Comunican muy mal olor fácilmente detectable incluso a 1 ppm o menos, la exposición a niveles bajos de gas sulfhídrico puede producir irritación de ojos, nariz o garganta y es

factible que provoque dificultades respiratorias a personas asmáticas; exposiciones breves a contenidos altos (mayores de 500 ppm) de ácido sulfhídrico pueden causar pérdida del conocimiento y posiblemente la muerte. Es corrosivo en especial para aleaciones de cobre (Cu).

Fosfato, PO_4^{3-} .

Aunque presente sales solubles, la mayoría lo son muy poco y en general se precipita como fosfato de calcio $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$. Se hidroliza con facilidad y contribuye a la alcalinidad del agua. La presencia de Ca limita su contenido y el CO_2 disuelto lo favorece.

El agua puede adquirir el fosfato de forma natural por contacto con rocas que posean minerales fosfáticos como la apatita, fosfofilita, etc. Los fertilizantes y abonos orgánicos aportan cantidades significativas, que pueden afectar aguas superficiales y acuíferos.

Las concentraciones generalmente varían entre 0.01 y 1 ppm pudiendo llegar a 10 ppm y excepcionalmente a 50 ppm.

El fosfato es esencial en el ciclo de la vida de los seres vivientes, pero generalmente no se adquiere por medio del agua. En las concentraciones usuales, no origina problemas; al consumir demasiado fosfato puede ocasionar daños a los riñones y osteoporosis.

CATIONES MENORES.

Ion Manganeso, Mn^{++} .

El manganeso tiene un comportamiento similar al Fe, presentando como éste los estados de valencia +2 y +3, además de la +4, que sólo existe como dióxido de manganeso (MnO_2). Puede formar complejos orgánicos estables tal como sucede con el hierro.

El manganeso puede ser adquirido de forma natural por el agua a través de rocas; los abonos pueden aportar manganeso a las aguas.

Las concentraciones en general están por debajo de 0.2 ppm, rara vez por encima de 1 ppm. Es más abundante en aguas ácidas.

Al oxidarse forma manchas negras y favorece el crecimiento de ciertas bacterias. Las concentraciones usuales de manganeso no causan daños para la salud, exposiciones extremadamente altas de manganeso en los niños pueden producir alteraciones en el desarrollo del cerebro.

Ion amonio y amoníaco disuelto, NH_4^+ y NH_3 .

Son oxidados con gran facilidad a gas nitrógeno (N_2), ion dióxido de nitrógeno (NO_2^-) o nitrato (NO_3^-) y son fácilmente retenidos por el terreno por cambio de bases. Se hidrolizan, existiendo un equilibrio entre ambos. Si existe gran cantidad pueden actuar como tampón. Pueden coexistir con Fe^{++} pero no con NO_3^- en cantidades importantes.

El amoníaco se encuentra naturalmente en el ambiente, es producido y usado en el metabolismo de los mamíferos. Por su existencia natural el amonio se encuentra en el aire y en el suelo del cual puede ser adquirido por el agua; abonos y desechos químicos pueden contribuir a la presencia del amonio en las aguas.

En general las concentraciones son menores de 0.1 ppm pero en casos muy excepcionales puede llegar a 400 ppm. El agua del mar tiene entre 0.005 y 0.05 ppm a veces hasta 0.35.

En las concentraciones usuales no es origen de problemas, pero a concentraciones mayores puede llegar a dar olor amoniacal lo que suele ser un índice de contaminación. En concentraciones extremadamente altas es una sustancia corrosiva para la piel, ojos, boca, sistema respiratorio y digestivo.

Ion Estroncio, Sr^{++} .

Las características del Ion Estroncio son similares a las del Ca^{++} pero sus sales son menos solubles. Aunque contribuye a la dureza del agua, no tiene importancia por ser relativamente escaso.

El estroncio se encuentra en la naturaleza en el aire y en el suelo, principalmente en rocas ígneas; por lo que puede ser adquirido por las aguas al estar en contacto con ellas.

Las concentraciones en general varían entre 0.01 y 1 ppm, a veces hasta 20, el agua marina tiene 13 ppm; algunas salmueras pueden llegar a tener extraordinariamente 1000 ppm.

No se ha demostrado que en concentraciones usuales el estroncio sea nocivo o molesto.

Ion Litio, Li⁺.

Forma sales muy solubles y es poco retenido por el terreno, es muy reactivo y en general es más cedido que retenido en los cambios de bases.

Se encuentra disperso en pequeña proporción en rocas volcánicas y salares naturales; los principales minerales de los que se extrae es lepidolita, petalita, espodumena y ambligonita.

Las concentraciones varían entre 0.001 y 0.5 ppm, a veces hasta 1 ppm, pudiendo llegar en algunas salmueras hasta 10 ppm.

En las bajas concentraciones usuales no es nocivo ni crea problemas. En concentraciones elevadas puede causar hipotiroidismo al impedir la entrada del yodo a la hormona tiroidea.

Iones derivados del Aluminio (Alúmina, Al₂O₃).

El aluminio es muy difícil de poner en solución y queda fuertemente retenido en las arcillas. Es fácilmente hidrolizable y anfótero. Sólo existe en cantidades importantes como Al⁺⁺⁺ en aguas muy ácidas o como Ion peróxido de aluminio (Al₂O₄⁻) o Al₂O₄H⁻ en aguas básicas, en cuyo caso puede producir alguna alcalinidad. Puede también estar en forma coloidal como Al₂O₄H₂.

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, por lo que las aguas pueden adquirirlo fácilmente en el contacto con los suelos y rocas.

En general sus concentraciones varían entre 0.005 y 0.3 ppm pudiendo llegar muy extraordinariamente a 100 ppm en aguas muy ácidas.

No presenta problemas especiales a las concentraciones en que se encuentra comúnmente en el agua y en los alimentos.

Ion Uranilo UO_2^{++} .

Es ligeramente soluble como tal o formando complejos. En medios reductores pasa a ion uranio (U^{+4}) y se precipita con facilidad. Es muy ligeramente radioactivo. Aguas muy ácidas pueden tener cantidades importantes y también aguas alcalinas bicarbonatadas, pues forma un complejo soluble.

Las concentraciones son menores de 0.001 ppm. El agua del mar tiene 0.002 ppm. Es muy raro encontrar más de 0.01 ppm.

No presenta problemas a las concentraciones usuales, pero si en aguas con contenidos algo elevados, ya que es químicamente y radioactivamente tóxico.

7.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS.

En el estudio de las aguas se analizan tanto características físicas como químicas que ayudan a determinar la calidad y aptitud de uso de las aguas. A continuación se describen dichas características, cuyos valores típicos mostrados son tomados de Custodio-Llamas, 1996, páginas de la 207 a 213.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS.

Temperatura.

La temperatura afecta a la viscosidad del agua, capacidad de absorción de gases, etc. Su determinación exacta es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la

temperatura. En nuestro medio es habitual expresar la temperatura en la escala de grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable, y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar, incrementando en el producto de la profundidad por el gradiente geotérmico de 1°C cada 33 m como media, algo mayor en zonas tectónicas y volcánicas y menor en grandes cuencas sedimentarias.

Esta propiedad debe medirse en el campo lo antes posible para evitar calentamientos o enfriamientos. Es preciso asegurarse de que la muestra representa la temperatura del agua del lugar, y no la interior de una captación tubería o depósito.

Conductividad Eléctrica, CE.

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad; se mide como la conductividad que existe entre dos electrodos paralelos de 1 cm^2 de superficie cada uno y separados 1 cm situados en el seno del agua a medir de forma que el medio se pueda considerar infinito. Análogamente se define como el inverso de la Resistividad Eléctrica. Es más recomendable el uso de la conductividad ya que crece paralelamente a la salinidad.

La conductividad crece con la temperatura y es preciso tomar una temperatura de referencia, que suele ser 18°C o 25°C . Se estima que aumenta 2% por cada $^{\circ}\text{C}$ que se incrementa. También la conductividad crece con el contenido de iones disueltos. A una misma temperatura, en la conductividad de un agua influye no sólo la concentración iónica, sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disociación, movilidad, etc.). Por lo que aguas con alta conductividad pueden causar corrosión en el hierro y el acero de la tubería de los pozos.

La conductividad suele expresarse en microsiemens por cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) que es igual a un micromho por cm ($\mu\text{mho}/\text{cm}$ o $\mu\Omega^{-1}/\text{cm}$). Los valores de conductividad varían entre 100 y $2000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ a 18°C para aguas dulces pudiendo llegar a más de 100000 con salmueras. El agua del mar tiene alrededor de $45000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ a 18°C .

En la toma de muestras es conveniente evitar el escape de gases y formación de precipitados, ya que disminuyen la conductividad.

Densidad, δ .

Es la masa de un litro de agua; se mide en gramos/cm³ (g/cm³). Esta propiedad varía con la temperatura y crece con la salinidad. Puede servir para estimar el contenido en sales minerales de las salmueras.

Los valores de la densidad son de 1 g/cm³ para aguas dulces y 1.025 para agua del mar, pudiendo llegar a 1.2 para las salmueras concentradas a 15.5 °C.

Color.

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Sus causas más comunes en el agua son la presencia de hierro (color rojizo) y manganeso (color negro) coloidal en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, raíces y otros, en diferentes estados de descomposición; y la presencia de taninos, ácido húmico (color amarillo) y algunos residuos industriales.

En el agua se reconocen dos tipos de color: El color verdadero (color de la muestra una vez que su turbidez ha sido removida) y el color aparente (este incluye el color de las sustancias en solución coloidales y el color debido al material suspendido); en general, el término color se refiere al color verdadero del agua. Este se determina normalmente en laboratorio utilizando como estándar una solución que contiene 1 g de tricloruro de cobalto (Cl₃Co), 1.45 g de cloroplatinato de potasio (Cl₆PtK₂), y 100 cc de cloruro de hidrógeno (ClH) diluyendo el conjunto a 1 litro. Se mide en ppm de Pt-Co (Escala de Platino-Cobalto) o simplemente ppm de Pt y los valores son menores de 5 ppm Pt para aguas subterráneas anormalmente puede llegar hasta 100. El análisis debe realizarse pronto, pues el color puede variar con el tiempo. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

El color es desagradable en agua de bebida e indica a veces contaminación, por lo que la determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción.

Turbidez.

La turbidez o turbiedad es una expresión del efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y otros microorganismos.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbidez mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de la luz dispersada mayor será la turbidez.

La determinación de la turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Sabor y Olor.

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de los olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, ácidos

sulfhídrico, cloruro de sodio, sulfatos de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos y otros.

El sabor del agua es una determinación organoléptica subjetiva, de interés en agua potable. Las aguas con más de 300 ppm de cloruros (Cl^-) tienen gusto salado, las que tienen más de 400 ó 450 ppm de sulfatos (SO_4^-) tienen gusto salado y amargo, las que tienen mucho dióxido de carbono (CO_2) libre tienen gusto picante, etc.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de posible contaminación. El ensayo para determinarlos se hace cualitativamente, en muestras seguras para el consumo humano. El método más usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o el sabor son apenas detectables. El valor de dicha relación se expresa como número detectable de olor o sabor.

Sólidos totales disueltos, TDS (por sus siglas en inglés).

Es un indicador de la salinidad del agua, midiendo las sales inorgánicas. En el Sistema Internacional se acostumbra dar el resultado en miligramos por cada litro (mg/l). Los sólidos totales disueltos son más o menos equivalentes a los minerales disueltos en aguas de alta calidad.

Con las concentraciones de aniones y cationes se verifican y se validan los análisis químicos de muestras; para tal fin deben verificarse el equilibrio, por lo que la suma de miliequivalentes por litro de aniones debe ser igual a la de cationes.

Salinidad.

Cuando el constituyente principal del agua es el cloruro de sodio y la concentración es alta, se dice que el agua es salina. La salinidad es el número de gramos de sal por cada litro de muestra; por ello se expresa en mg/l. Formalmente la salinidad se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad

equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar, subterráneas y ciertos residuos industriales.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA.

Dureza.

La dureza o título hidrotimétrico (TH) es la capacidad del agua para producir espuma; es decir, es la medida del consumo de jabón (detergente) del agua. Los minerales removidos por el jabón se vuelven espuma. Esta propiedad es causada por los iones metálicos divalentes, es decir los cationes de Ca^+ y Mg^{++} . Esta propiedad es muy importante en acuíferos cársticos que tienen la característica de formarse en rocas carbónicas como la dolomita y la caliza, lo cual, hace que se diluyan rocas formando carbonatos y bicarbonatos.

La dureza se puede clasificar en dos grandes grupos: La carbonatada y la no carbonatada. La dureza carbonatada es también llamada temporal, porque se remueve con evaporación y precipitando el Ca^+ y Mg^{++} ; ésta se mide en términos de carbonato de calcio (mg/l). La dureza no carbonatada es igual a la diferencia entre la dureza total y la carbonatada; esta indica la cantidad de Ca^+ y Mg^{++} combinados con sulfatos, cloruros, nitratos y algunas veces hierro; esta clase de dureza no se puede remover por evaporación.

Un agua se puede clasificar como dura o blanda según las normativas. Para efectos prácticos aguas con dureza menor de 50 mg/l son consideradas blandas, con dureza entre los 50 y 150 mg/l, son de uso no objetable y para durezas mayores de 150 mg/l se consideran duras. La concentración de carbonato de calcio es cinco veces mayor que la de carbonato de Magnesio.

Las aguas duras pueden causar incrustaciones de partículas en las paredes de pozos, poniéndolos fuera de funcionamiento. Existen problemas con los pozos perforados en rocas carbónicas porque la reducción de presiones causa la liberación de gas CO_2 que al

reaccionar con el Magnesio y el Calcio, forman capas de carbonatos; esto hace que se produzcan pérdidas en la eficiencia, o el abandono del pozo en períodos inferiores a 3 años.

Alcalinidad.

La alcalinidad del agua puede definirse como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrógeno, para aceptar protones, o como la medida del contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona de un agua. En el ablandamiento de un agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio preciso para el proceso. En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos y fosfatos) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo en la práctica la contribución de estos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua puede determinarse por titulación con ácido sulfúrico 0.02 N y se expresa como mg/L de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones H^+ procedentes de la solución 0.02 N de H_2SO_4 neutralizan los iones de OH^- libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos (Romero, 1996).

Acidez.

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, para reaccionar con iones hidroxilos, para ceder protones, o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Si el agua subterránea es ácida tendría que corroer las partes metálicas del pozo y del sistema de bombeo.

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el

control de sustancias que producen corrosión. El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el dióxido de carbono, especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de dióxido de carbono es también un factor importante, por la presencia de iones H^+ libres, por la presencia de acidez mineral proveniente de los ácidos fuertes como el sulfhídrico, nítrico, clorhídrico, etc., y por la hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil (Romero, 1996).

La causa más común de acidez en aguas es el CO_2 , el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico. El dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible, 1.53 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua.

Potencial de Hidrógeno, pH.

Este término es usado universalmente para referirse a la intensidad de la condición de acidez o alcalinidad de una solución; y se calcula con una expresión logarítmica. En el agua subterránea tiende a ser balanceado, pues en ella es difícil encontrar minerales libres. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el límite de neutralidad. Valores de pH menores de 7 se consideran ácidos y mayores de 7 alcalinos. El pH se mide a través de sustancias, con aditamentos como el papel universal o el papel tornasol y con aparatos llamados pH-metros.

Cuando varía el pH del agua ya sea por bombeo para una extensión inferior, por cambios de temperatura o gases que se puedan escapar, al ser las propiedades químicas del agua subterránea muy sensibles con el ambiente, estas pueden afectar las rejillas de los pozos.

Demanda química de oxígeno, DQO.

La demanda química de oxígeno es la capacidad de un agua para consumir oxidantes en procesos químicos; es decir, mide el contenido en materiales orgánicos oxidables y también otras sustancias que consumen oxígeno, tales como Fe^{++} , Mn^{++} , NH_4^+ , etc. La

unidad de medida es ppm de O_2 tomado del permanganato de potasio (MnO_4K), a veces del diacromato potásico ($Cr_2O_7K_2$).

En agua con elevado contenido en Cl^- se obtienen siempre valores elevados por interferencia, ya que parte del ion Cl^- puede pasar a cloro libre.

Los valores generalmente varían entre 1 y 5, hasta 15 ppm de O_2 en aguas no contaminadas; valores elevados interfieren en ciertos procesos industriales y pueden explicar malos sabores en el agua de bebida.

Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO.

La demanda bioquímica de oxígeno es la medida de la cantidad de oxígeno necesario para eliminar la materia orgánica contenida en un agua mediante procesos biológicos aerobios. Comúnmente se refiere a 5 días (DBO_5). Se mide en ppm de O_2 y es una medida importante de contaminación y debe referirse a un cierto tiempo (24 horas o 5 días). Es de poco interés en Hidrogeoquímica pero muy importante en estudios de contaminación de aguas superficiales.

Los valores en aguas subterráneas por lo general son menores a 1 ppm de O_2 , valores más elevados indican contaminación.

7.2.4. INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA.

Para simplificar el manejo y estudio de datos geoquímicos se han desarrollado técnicas que emplean gráficos y diagramas que permiten comparar análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes, de diferentes lugares o bien resaltar relaciones entre los iones de una misma muestra. Entre los diagramas más utilizados se encuentran los diagramas de Collins, diagramas circulares, diagrama de Piper y diagrama de Stiff modificado; a continuación se describen los diagramas prescritos, dando énfasis en los últimos dos que serán utilizados en este trabajo.

DIAGRAMAS DE COLLINS.

Estos diagramas son de tipo columnares, en los cuales se endosan dos columnas en las que se disponen los iones a partir de una base común. En una columna se apilan los cationes en el orden Ca, Mg, Na y K; en la otra se disponen los aniones en el siguiente orden $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3$, SO_4 , Cl, NO_3 ; en ocasiones se añade una tercer columna con la sílice u otra característica particular. En la figura 7.1, se muestra un ejemplo de diagrama de Collins en las que se muestran tres tipos de aguas.

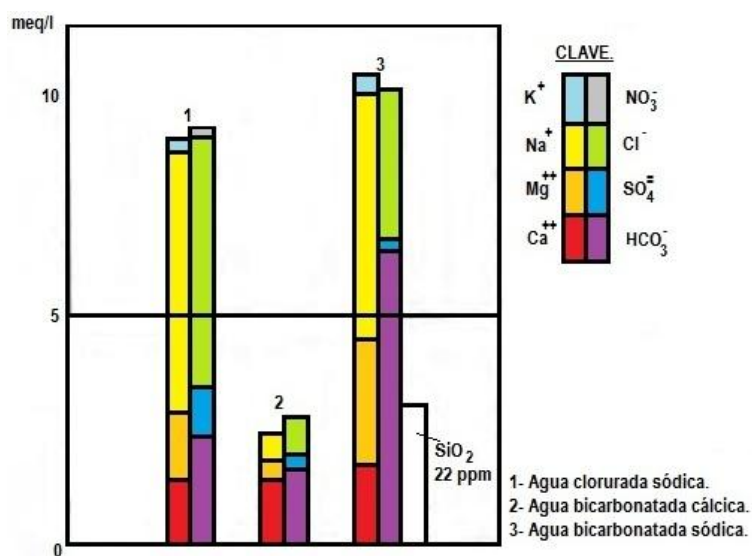


Figura 7.1. Ejemplo de diagrama de Collins, para la interpretación química del agua.

Fuente: Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, página 1038, figura 10.4 modificada utilizando colores propuestos por Donado, Hidrogeoquímica, 1999, página 10.

En los diagramas columnares de Collins los valores de concentración de los iones se presentan en meq/l; las alturas de las columnas teóricamente deberían ser iguales, en la práctica son casi iguales y es debido al error de análisis al no representarse algún ion que se encuentre en concentraciones más altas de lo normal.

Estos diagramas permiten mostrar la distribución en concentración de los iones mayores de un agua, y además admiten comparaciones con otras aguas al representar otros pares de columnas a partir de una base común.

DIAGRAMAS CIRCULARES.

En los diagramas circulares, se dibuja un círculo de radio proporcional al residuo seco o al total de meq/l disueltos. Este círculo se divide en sectores proporcionales a los % de los diversos componentes. Si se hace con los iones expresados en meq/l, la mitad del círculo es para los cationes y la otra mitad para los aniones; es posible hacer diagramas circulares para aniones solos o para cationes solos.

Estos diagramas se adaptan bien a ser utilizados en mapas geohidroquímicos; no permiten deducir fácilmente relaciones entre componentes ni dan idea rápida de las variaciones de las características geoquímicas de las aguas. Cada diagrama representa un único análisis. A continuación en la figura 7.2 se muestran dos diagramas circulares que representan dos tipos de aguas diferentes.

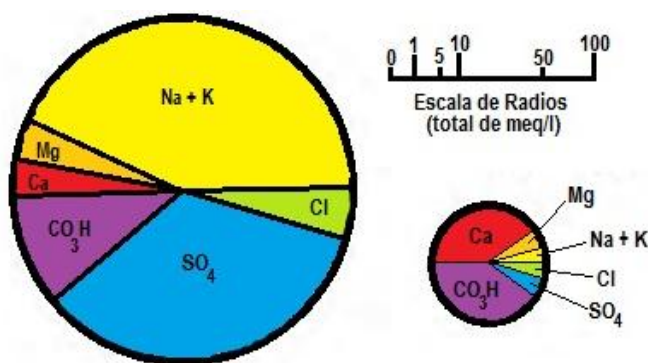


Figura 7.2. Ejemplos de diagramas circulares.

Diagramas subdivididos en % de meq/l.

Fuente: Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, figura 10.10 modificada.

DIAGRAMA DE PIPER.

Este diagrama es de tipo triangular los cuales son ideales en la representación de tres componentes; en los que cada vértice del triángulo representa el 100% de cada componente. El diagrama de Piper tiene la particularidad en que combina dos triángulos inferiores, en los cuales se colocan en uno izquierdo los cationes (usualmente $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{++} y Mg^+) y en el derecho los aniones (usualmente Cl^- , HCO_3^- y SO_4^{--}); y un tercer campo romboidal en el cual se deduce a partir de la representación de los aniones y

cationes la composición química del agua. A continuación en la figura 7.3 se muestra la representación de la composición química de un agua en el diagrama de Piper.

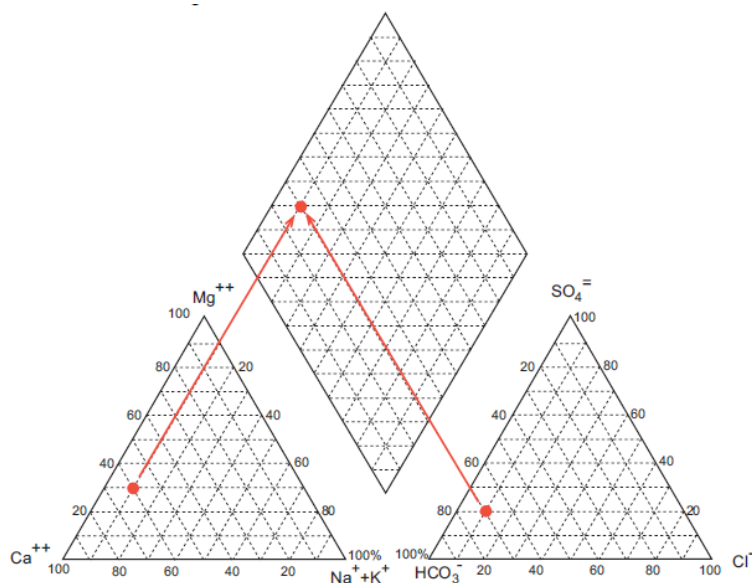


Figura 7.3. Ejemplo de clasificación química de un agua en el diagrama de Piper.

En la figura se representa un agua con la siguiente composición química $\text{Ca}^{++} = 60\%$; $\text{Mg}^{++} = 30\%$, $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+} = 10\%$, $\text{HCO}_3^{-} = 70\%$, $\text{SO}_4 = 20\%$ y $\text{Cl}^{-} = 10\%$.

Fuente: http://hidrologia.usal.es/Complementos/Representar_Piper_y_Stiff.pdf, (Octubre 2012).

En este tipo de diagramas se pueden representar muchos análisis en un mismo gráfico sin dar origen a confusiones, siendo esta una de sus mayores ventajas; además las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones modificaciones, etc., quedan fácilmente reflejadas. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas. En estos diagramas no se tiene una representación de las concentraciones absolutas dado que se utilizan valores reducidos a %. Si conviene tener en cuenta alguna otra propiedad como conductividad, residuo seco, etc., pueden asociarse a cada punto representativo de cada agua.

DIAGRAMA DE STIFF MODIFICADO.

Este diagrama es de tipo poligonal, el cual está compuesto por cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas cortadas por una normal dando así cuatro semirrectas izquierdas (campo cationes) y cuatro semirrectas derechas (campo de aniones). Sobre cada recta se

toma un segmento proporcional a los meq/l del ion correspondiente y se unen los extremos dando un polígono representativo. De arriba hacia abajo se disponen en el campo de los cationes K, Na, Mg y Ca; mientras que en el campo de los aniones se disponen de arriba hacia abajo NO_3 , Cl, SO_4 y $\text{CO}_3\text{H} + \text{CO}_3$ (según Custodio-Llamas este arreglo representa mejor las aguas subterráneas normales, que el propuesto por Stiff originalmente, que caracteriza apropiadamente las aguas de yacimientos de petróleo).

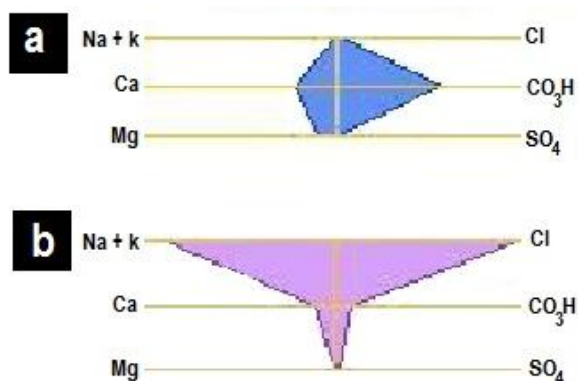


Figura 7.4. Ejemplos de diagramas de Stiff modificados.

En la figura se muestra en: a) Composición química de agua subterránea natural y b) composición química de agua de mar. En ambos diagramas se ha utilizado una disposición alternativa de componentes químicos.

Fuente: <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html> (Octubre, 2012).

Para aguas muy concentradas o muy diluidas el diagrama es muy alargado y entonces conviene reducir o ampliar la escala, indicándolo con un rayado especial. El empleo de valores en % de meq/l evita diferencias de tamaño entre figuras, pero no permite apreciar concentraciones absolutas.

Este tipo de diagramas son muy útiles para comparar aguas entre sí, comparando los polígonos que han formado; son muy útiles en representación de la composición de aguas en mapas hidrogeoquímicos.

7.2.5. CLASIFICACIONES DE LAS AGUAS.

El objetivo de clasificar las aguas subterráneas es para informar de forma breve sobre su composición química o sobre algunos aspectos importantes de la misma; a continuación se presentan algunas clasificaciones útiles en estudios de aguas.

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR SU ORIGEN Y TIEMPO DE CONTACTO CON EL ACUÍFERO.

Custodio y Llamas proponen la siguiente clasificación en base al origen para las aguas subterráneas (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero.

Clasificación.	Origen.	Características.
<i>Aguas vadosas o meteóricas o recientes.</i>	Son aguas incluidas en el ciclo hidrósfera-litósfera-atmósfera. Su composición está influida por la del agua de infiltración y la del material del acuífero.	Poseen radioisótopos de vida no muy larga (tritio, radiosilicio, etc.) de origen atmosférico y una composición isotópica similar a la del agua lluvia.
<i>Aguas fósiles.</i>	Son aguas atrapadas en el terreno y que permanecen en él durante miles de años; no es preciso que sean estacionarias, basta con que el movimiento sea lento y el recorrido largo.	Son aguas en general muy salinas pues el contacto con el terreno es muy prolongado. Muchas aguas fósiles son en realidad una mezcla de verdaderas aguas fósiles y aguas meteóricas. El término aguas fósiles es en ocasiones utilizado impropia y se confunde con aguas meteóricas de elevada salinidad.
<i>Aguas congénitas.</i>	Son aguas atrapadas en el momento de la formación de los sedimentos. Esta agua atrapada es expulsada después de la consolidación, pero si la roca final es aún porosa puede quedar parte del agua de imbibición en ella, la cual es el <i>agua congénita</i> . Con frecuencia son desplazadas y se acumulan en otros materiales donde pueden sufrir una mezcla mayor o menor con aguas vadosas, en este caso no se trata de aguas congénitas de la formación sino de aguas emigradas.	Las aguas congénitas, fósiles y las emigradas, suelen ser fuertemente cloruradas y pueden estar en relación con el agua del mar de otras épocas, enriquecidas en I, B, SiO ₂ , NO ₃ o NH ₄ ⁺ y Ca ⁺⁺ y empobrecidas en SO ₄ ⁻ , y Mg ⁺⁺ . El contenido en deuterio es igual o menor que en el agua del mar y el contenido en O-18 es mayor. En ocasiones puede ser de temperatura superior a la normal. Las aguas congénitas no son necesariamente aguas fósiles pues pueden corresponder a sedimentos muy recientes. El agua de los yacimientos de petróleo ha sido interpretada como agua congénita, pero es más adecuado considerarla en muchos casos como agua estancada emigrada.

Continuación tabla 7.2. Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero.

Clasificación.	Origen.	Características.
<i>Aguas marinas.</i>	Son las aguas del mar que han invadido recientemente sedimentos costeros.	Son similares en composición al agua de mar, quizás con mayor dureza y composición isotópica similar.
<i>Aguas juveniles.</i>	Son aquellas que proceden del interior de la tierra sin haber estado antes en superficie y su interés es limitado.	Muchas aguas consideradas juveniles son meteóricas, por lo menos en su mayor parte como lo muestra la presencia de tritio en ellas. Son difíciles de distinguir con las aguas metamórficas y volcánicas; con frecuencia se mezclan con aguas meteóricas.
<i>Aguas metamórficas.</i>	Son aguas desprendidas de sedimentos en proceso de metamorfismo.	Suelen tener contenidos elevados en CO ₂ , CO ₃ H ⁻ y B, algo elevado en I ⁻ y pueden ser menos cloruradas que el agua del mar, aunque el valor absoluto sea elevado; su contenido en deuterio es menor o igual que el del agua marina y el contenido en O-18 es mayor. A veces tienen temperaturas elevadas si ganan rápidamente la superficie del terreno. Son difíciles de distinguir entre las juveniles y las volcánicas; con frecuencia están mezcladas con aguas meteóricas.
<i>Aguas magmáticas y volcánicas.</i>	Se desprenden de las emisiones de la lava, gases volcánicos, etc.	Suelen ser del tipo clorurado sódico y tienen contenidos anormalmente elevados de Li ⁺ , F ⁻ , SiO ₂ , B, S ⁼ , CO ₂ , y bajos en I ⁻ , Br ⁻ , Ca ⁺⁺ , y NO ₃ ⁻ o NH ₄ ⁺ . En principio contienen menos deuterio y más O-18 que el agua del mar y suelen ser de elevada temperatura. Son difíciles de distinguir con aguas juveniles y metamórficas, salvo que se relacionen con áreas geotérmicas importantes. Con frecuencia llevan mezcladas cantidades importantes de agua meteórica

Continuación tabla 7.2. Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero.

Clasificación.	Origen.	Características.
<i>Aguas minerales.</i>	Suelen estar relacionadas con fenómenos volcánicos, orogénicos y muchas veces son termales. Otras veces son simplemente el resultado de circular el agua por terrenos que pueden aportar grandes cantidades de sales solubles.	Son las que poseen composición química muy variada, pero que se caracterizan por poseer elementos en disolución en cantidad notable o grande, que las aguas vadosas no poseen.
<i>Aguas saladas y salmueras naturales.</i>	En general se acepta que el origen de aguas subterráneas saladas y salmueras es de origen marino, las cuales por su larga permanencia en el terreno (a veces millones de años), han sufrido procesos modificadores (ultrafiltración, secación, disolución de rocas, etc.) que pueden haber alterado sus características originales. Localmente pueden originarse aguas saladas y salmueras en áreas geotérmicas (por pérdida de vapor de agua) y en zonas frías (la congelación progresiva separa el hielo y las salmueras).	Elevado contenido de sales.

Fuente: Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, páginas 1032-1034.

CLASIFICACIÓN DEL AGUA EN BASE AL RESIDUO SECO.

Es una clasificación simple, la cual se basa en la concentración de sales que se encuentran disueltas en el agua; las cuales se obtienen al evaporar el agua a 180 °C, en la tabla 7.3, se presenta dicha clasificación.

Tabla 7.3. Clasificación de las aguas en base al residuo seco.

Clasificación.	Concentración (ppm)
Agua dulce.	0 a 2000.
Agua salobre.	Hasta 5000.
Agua salada.	Hasta 40000.
Salmuera.	Hasta saturación.

Fuente: Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, página 1058.

CLASIFICACIÓN DEL AGUA EN BASE A LA DUREZA.

En la tabla 7.4, se muestra una clasificación simple en base a la propiedad física del agua denominada dureza, la cual se explicó en una sección anterior.

Tabla 7.4. Clasificación de las aguas en base a la dureza.

Clasificación.	Concentración de CO₃Ca (ppm)
Blanda.	0 a 50.
Algo dura.	Hasta 100.
Dura.	Hasta 200.
Muy Dura.	Hasta saturación.

Fuente: Custodio-Llamas, Hidrología Subterránea, 1996, página 1058.

CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR LOS IONES DOMINANTES.

Es una clasificación geoquímica en la cual se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas; si ninguno supera al 50% se nombra los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ion menor de interés y que esté en concentración anormalmente alta, por ejemplo: agua bicarbonatada, agua clorurada sódica, agua bicarbonatada-clorurada cálcico-magnésica (Custodio-Llamas. 1996, página 1059 y 1060); en la figura 7.1 se muestran otros ejemplos.

7.2.6. CONTAMINANTES DEL AGUA.

Como se mencionó anteriormente el agua es muy reactiva por lo que tiende a disolver con facilidad muchos tipos de sustancias, modificando su composición química de tal manera que la puede volver impropia o peligrosa para consumo humano, vida natural, agricultura, pesca, actividades recreativas o incluso para uso industrial.

La contaminación de las aguas puede venir de fuentes naturales o de la actividad humana; siendo en la actualidad la más determinante y peligrosa la provocada por el ser humano. A continuación se mencionan las fuentes de contaminación más comunes.

ALGUNAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Fuentes de contaminación naturales:

- *Clima.* En nuestro medio un efecto climático que afecta la calidad del agua es la precipitación; en los períodos de elevada precipitación se dan lugar velocidades de esorrentía que favorece a las inundaciones y que causan suspensión de sedimentos lo que incrementa la turbiedad, color, metales, etc., en el agua.
- *Características de la cuenca.* Por ejemplo la topografía, que afecta la velocidad de flujo, pudiendo erosionar el suelo ó márgenes de ríos, lo que introduce residuos sedimentarios y nutrientes que pueden incrementar el contenido de algas, color y turbidez.
- *Geología.* La geología local impacta en forma directa la calidad de fuentes superficiales y subterráneas. Por ejemplo, formaciones geológicas con contenido de calcio y magnesio proporcionan dureza elevada al agua.
- *Crecimiento microbiológico de nutrientes.* Por ejemplo: En la mayoría de lagos, ríos y corrientes de agua, la producción de plantas está principalmente regulada por la disponibilidad de fósforo, en lagos que presentan un contenido de fósforo elevado se da un gran crecimiento de algas generando turbiedad en el agua.
- *Incendios.* Se producen efectos adversos a la calidad del agua al destruirse bosques, ya que se elimina su función como filtro natural, aumenta la velocidad de drenaje superficial e incrementa la probabilidad de erosión, etc.
- *Intrusión salina.* Es una fuente de contaminación debido al movimiento permanente o temporal del agua salada que desplaza al agua dulce, pudiendo ocurrir tanto en fuentes superficiales como subterráneas que se encuentren ubicadas en regiones costeras.

Fuentes de contaminación antropogénica:

- *Origen doméstico.* Estas son las que provienen de núcleos urbanos, procedentes de la actividad humana. Entre los desechos que se vierten al agua tenemos: Alimentos, basura, detergentes, etc. Los cuales le proporcionan color gris al

agua e introducen en ella materia orgánica y microorganismos que pueden transmitir enfermedades.

- *Origen agrícola-ganadero.* Son resultado del riego y de otras labores como actividades de limpieza ganadera, que pueden aportar al agua estiércol y orines; es decir, mucha materia orgánica, nutrientes y micro organismos. Esta actividad afecta grandes áreas por lo que resulta muy difícil su depuración.
- *Origen Industrial.* La industria genera una gran variedad de aguas residuales que pueden tener orígenes muy distintos; pudiendo contener sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, elementos propios de la actividad industrial como: detergentes, pesticidas, hidrocarburos, productos químicos, iones metálicos, residuos orgánicos, etc.
- *Origen de la navegación:* Los vertidos de petróleo, accidentales o no son un ejemplo, que puede provocar importantes daños ecológicos.

SUSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA.

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferente manera, a continuación se presenta una clasificación que los agrupa de la siguiente forma:

1. *Microorganismos patógenos.* Estos son los diferentes tipos de bacterias, virus y protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En algunas regiones estas enfermedades son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas, por lo que un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.
2. *Desechos orgánicos.* Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de

oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

3. *Sustancias químicas inorgánicas.* En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
4. *Nutrientes vegetales inorgánicos.* Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.
5. *Compuestos orgánicos.* Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen en ella, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
6. *Sedimentos y materiales suspendidos.* Estas partículas son arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las mismas; en términos de masa total son la mayor fuente de contaminación del agua; la turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.

7. *Sustancias radiactivas.* Los isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua; a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.
8. *Contaminación térmica.* El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales, eleva en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

7.2.7. NORMATIVA SALVADOREÑA PARA LA CALIDAD DE AGUA.

Con el fin de garantizar la calidad de agua de bebida y reducir los índices de contaminación en las aguas, se han desarrollado normas que regulan el agua potable y los vertidos, las cuales son:

- *Norma para Agua potable CONACYT NSO 13.07.01:08 (segunda actualización),*
- *Reglamento sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección, y*
- *Reglamento Especial de Normas Técnicas de calidad Ambiental.*

Estas normas tienen como objetivo, el establecimiento de valores recomendados para la calidad del agua y control de vertidos, procedimientos, registros, frecuencia mínima de muestreo y métodos estandarizados, para ser usados por entes municipales o de instituciones públicas encargadas de velar por el servicio del agua, en la República de El Salvador. A continuación se presenta de forma resumida lo establecido por dichas normas, en lo que concierne a la calidad para uso humano y de regadío del agua.

CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

La NSO para Agua Potable establece que el agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades, por lo que es importante establecer parámetros y sus límites máximos permisibles para garantizar que sea sanitariamente

segura. En la tabla 7.5, se expresan los valores límites establecidos por la norma salvadoreña, comparándolos con los propuestos por la norma regional (a la cual esta suscrito el país) y los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Tabla 7.5. Comparación de valores máximos permisibles para parámetros microbiológicos, físicos y químicos, en la evaluación de la calidad del agua potable. Norma Salvadoreña obligatoria de Agua potable, Norma regional CAPRE y guía para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud.

Parámetro.	NSO Agua Potable. 13.07.01.08	Límites Máximos Permisibles Norma CAPRE. 1994.		Guía para la calidad del agua potable. OMS 1995.
		Recomendado.	Máximo admisible.	
Requisitos microbiológicos				
Bacterias coliformes totales.	0 UFC/100ml ó <1.1 NMP/100ml	--	--	0 UFC/100ml
Bacterias coliformes fecales o termo-tolerantes.	0 UFC/100ml ó <1.1 NMP/100ml	Negativo.	Negativo.	--
Escherichia coli.	0 UFC/100ml ó <1.1 NMP/100ml	--	--	0 UFC/100ml
Conteo de bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas.	0 UFC/100ml ó <1.1 NMP/100ml	--	--	0 UFC/100ml
Organismos patógenos.	Ausencia	--	--	--
Características físicas y organolépticas.				
Color verdadero.	15 Pt-Co.	1 Pt-Co	15 Pt-Co.	15 Pt-Co
Olor.	No rechazable.	--	--	--
pH.	6.0 mín. – 8.5 máx.	6.5 mín. a 8.5 máx.	--	--
Sabor.	No rechazable.	--	--	--
Sólidos totales disueltos.	1000 mg/l.	--	1000 mg/l	1000 mg/l
Turbidez.	5 UNT.	1 UNT	5 UNT	5 UNT
Temperatura.	No rechazable.	18 a 30 °C	--	--
Valores para sustancias químicas.				
Aluminio.	0.2 mg/l.	--	0.2 mg/l	0.2 mg/l
Antimonio.	0.006 mg/l.	--	0.05 mg/l	0.005 mg/l
Cobre.	1.3 mg/l.	1.0 mg/l	2.0 mg/l	2.0 mg/l
Dureza total como CaCO ₃ .	500 mg/l.	400 mg/l	--	--
Fluoruros.	1.00 mg/l.	--	0.5 - 1.5 mg/l	1.5 mg/l
Plata.	0.07 mg/l.	--	--	--
Sodio.	200.00 mg/l.	25 mg/l	200 mg/l	200 mg/l
Sulfatos.	400.00 mg/l.	25 mg/l	250 mg/l	250 mg/l
Zinc.	5.00 mg/l.	--	3.0 mg/l	3.0 mg/l
Hierro Total.	0.30 mg/l.	--	0.3 mg/l	0.3 mg/l
Manganeso.	0.1 mg/l.	0.1 mg/l	0.5 mg/l	0.5 mg/l

Continuación tabla 7.5. Comparación de valores máximos permisibles para parámetros microbiológicos, físicos y químicos, en la evaluación de la calidad del agua potable. Norma Salvadoreña obligatoria de Agua potable, Norma regional CAPRE y guía para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud.

Parámetro.	NSO Agua Potable. 13.07.01.08	Límites Máximos Permisibles Norma CAPRE. 1994.		Guía para la calidad del agua potable. OMS 1995.
		Recomendado.	Máximo admisible.	
Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico.				
Arsénico.	0.01 mg/l.	--	0.01 mg/l	0.01 mg/l
Bario.	0.70 mg/l.	--	--	0.07 mg/l
Boro.	0.30 mg/l.	--	--	0.03 mg/l
Cadmio	0.003 mg/l.	--	0.05 mg/l	0.003 mg/l
Cianuros.	0.05 mg/l.	--	0.05 mg/l	0.07 mg/l
Cromo (Cr ⁺⁶).	0.05 mg/l.	--	0.05 mg/l	0.05 mg/l
Mercurio.	0.001 mg/l.	--	0.001 mg/l	0.001 mg/l
Níquel.	0.02 mg/l.	--	0.05 mg/l	0.02 mg/l
Nitrato.	45.00 mg/l.	25 mg/l	50 mg/l	50 mg/l
Nitrito (Medido como Nitrógeno).	1.00 mg/l.	--	0.1 ó 3.0 mg/l	3 mg/l
Molibdeno.	0.07 mg/l.	--	--	0.07 mg/l
Plomo.	0.01 mg/l.	--	0.01 mg/l	0,01 mg/l
Selenio.	0.01 mg/l.	--	0.01 mg/l	0.01 mg/l
Cloro residual.				
Cloro residual libre.	1.1 mg/l.	0.5 – 1.0 mg/l	--	--

Las normas y guías para agua potable, también presenta valores máximos para sustancias químicas orgánicas (aceites, benceno, etc.), plaguicidas (alaclor, clordane, etc.), desinfectantes (bromato, clorato, etc.) y parámetros radioactivos (alpha global, uranio, etc.).

Fuente: CONACYT; Norma Salvadoreña Obligatoria 13.07.01:08 Agua, Agua potable; 2009; p 5-7. Comité Coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica Panamá y República Dominicana; Norma regional CAPRE: Normas de calidad de agua para consumo humano, 1ra Ed. 1993, rev. 1994, p. 12-14. Truque B., Paola A.; Armonización de los estándares de agua potable en las américas; Anexo 1: Estándares de la calidad de agua potable en los países de América.

Además de establecer los requerimientos de calidad se debe determinar la frecuencia con que se deben de realizar los muestreos para lo cual se agrupan los parámetros en tres categorías como se muestran en la tabla 7.6, y la cantidad de muestras que se deben extraer de acuerdo a las tablas 7.7 y 7.8

Tabla 7.6. Parámetros a determinar para análisis microbiológicos y físico-químicos por tipo de frecuencia.

Parámetro.	Tipo de Análisis.		
	Mínimo.	Normal.	Completo.
Microbiológicos.			
Bacterias coliformes totales	X	X	X
Bacterias coliformes fecales.	X	X	X
Escherichia coli.	X	X	X
Bacterias heterótrofas y aerobias mesófilas.			X
Organolépticos.			
Color verdadero.		X	X
Olor.		X	X
Físico-químicos.			
Temperatura.		X	X
Turbidez.	X	X	X
pH.		X	X
Sólidos totales disueltos.		X	X
Sulfatos.			X
Aluminio.		X	X
Cloro residual.	X	X	X
Dureza total.			X
Zinc.			X
Sustancias no deseables.			
Nitratos.			X
Nitritos.			X
Boro.			X
Hierro.		X	X
Manganeso.		X	X
Flúor.			X
Sustancias tóxicas.			
Bario.		X	X
Arsénico.		X	X
Cadmio.		X	X
Cianuros.		X	X
Cromo.		X	X
Mercurio.		X	X
Níquel.		X	X
Plomo.		X	X
Antimonio.		X	X
Selenio.		X	X
Plaguicidas organoclorados.			X
Plaguicidas organofosforados.			X
Plaguicidas carbamatos.			X
Sub-productos de la desinfección (THM).			X

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria: Agua, Agua potable 13.07.01.08 (Segunda actualización), p. 11.

Tabla 7.7. Intervalos entre muestras para análisis bacteriológicos.

Tamaño de población (habitantes).	Periodo máximo entre muestras consecutivas.
< 25,000.	1 mes.
25,001 a 100,000.	2 veces al mes.
100,001 a 300,000.	Semanal.
> 300,000	Cada tres días.

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria: Agua, Agua potable 13.07.01.08 (Segunda actualización), p. 10.

Tabla 7.8. Número de muestras y frecuencia de muestreo para análisis físico-químicos.

Tamaño de población (Habitantes).	Mínimo.	Normal.	Completo.
< 25,000	1 muestra mensual.	1 muestra bimensual.	1 muestra anual.
25,000 a 100,000	1 muestra / 5,000 El total de muestras distribuidas en dos muestreos quincenales.	1 muestra bimensual / 50,000 usuarios.	1 muestra semestral / 50,000 usuarios.
100,001 a 300,000	1 muestra / 10,000 usuarios más 5 adicionales. (El total de muestras distribuidas en cuatro muestreos mensuales).	1 muestra mensual / 50,000 usuarios.	1 muestra trimestral / 50,000 usuarios.
> 300,000	1 muestra / 10,000 usuarios más 10 muestras adicionales. (El total de muestras distribuidas en 10 muestreos en el mes).	1 muestra / 50,000 usuarios (El total de muestras distribuidas en dos muestreos quincenales).	1 muestra bimensual / 100,000 usuarios.

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria: Agua, Agua potable 13.07.01.08 (Segunda actualización), p. 12.

APTITUD DE USO DEL AGUA.

El agua puede ser utilizada con muchos fines, para los cuales debe cumplir con ciertas características para no atentar contra animales, plantas y/o seres humanos. Entre los usos que se le puede dar al agua y de interés para la población en general, tenemos: Agua cruda para potabilizar por métodos convencionales, riego y uso recreativo con contacto humano.

Para evaluar la aptitud de uso de aguas superficiales la DGOA ha creado una metodología a partir de las normas y reglamentos nacionales y las guías de la OMS, evaluando diferentes parámetros para conocer la calidad de las aguas. En la tabla 7.9, se

resumen los parámetros que se evalúan así como los valores límites que son admitidos en los diferentes usos del agua.

Tabla 7.9. Parámetros límites según aptitud de uso del agua.

Parámetro.	Unidades.	Normativa de Agua cruda para potabilizar por métodos convencionales.	Normativa de agua para riego.	Parámetros de calidad de agua deseables para actividades recreativas.
DBO5.	mg/l	De 3 a 4.	--	--
Coliformes fecales.	NMP/100ml.	1000.	1000.	≤ 1000.
Oxígeno Disuelto.	mg/l	4-6.5.	--	≤ 7.
pH.	U de pH	6.5 a 9.2.	6.5 a 8.4.	--
Cloruros.	mg/l	50 a 250.	--	--
Color aparente.	U de Co-PT	20 a 150.	--	--
Turbidez.	UNT	10 a 250.	--	≤ 10.
Fenoles. *	mg/l	3.5.	--	--
Cobre.	mg/l	0.1-1.	--	--
Nitratos.	mg/l	45.	--	--
Sólidos Totales Disueltos.	mg/l	300-600.	--	--
Zinc.	mg/l	5	--	--
Conductividad.	Siemens/cm	--	250 a 750.	--
CRS**	meq/l	--	≤ 1.25.	--
RAS***		--	0-10.	--
Sodio.	meq/l	--	30 a 60.	--
Boro.	mg/l	--	0.5 a 2.0.	--
Sulfatos.	mg/l	--	200.	--

(*) La DGOA, opta por utilizar el límite de fenoles propuesto por la EPA, ya que se considera muy restrictivo el valor límite propuesto por la normativa salvadoreña, en relación a la calidad del agua superficial existente en el país.

(**) CRS: Carbonato sódico residual; se calcula a partir de las concentraciones de carbonatos, bicarbonatos, calcio y magnesio; y permite estimar la alcalinidad perjudicial para algunos tipos de plantas en la agricultura.

(***) RAS: Relación de absorción de sodio; se calcula a partir de las concentraciones de sodio, calcio y magnesio; y se utiliza para estimar el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo con fines de agricultura.

Fuente: DGOA; Informe de la calidad de agua de los ríos de El Salvador, año 2011; marzo 2012; Anexo 2: Metodología del trabajo.

VIGILANCIA Y VERIFICACIÓN.

Según la normativa salvadoreña, corresponde la vigilancia y verificación de ésta al Ministerio de Salud, así como la observancia y cumplimiento corresponden a todas las empresas e instituciones públicas y privadas, y en general todas aquellas cuya función sea abastecer o comercializar por cualquier medio, agua a la población salvadoreña.

7.2.8. PROTOCOLO PARA EL MUESTREO FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO.

El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua, por lo que la persona que recoge una muestra y la lleva al laboratorio es corresponsable de la validez de los resultados. En este sentido debe asegurarse que la muestra sea representativa de la fuente cuya calidad se desea evaluar, y que no se deteriore, ni se contamine antes de llegar al laboratorio, ya que la calidad de los resultados depende de la integridad de las muestras que ingresan al mismo. Se debe precisar que de nada vale un excelente análisis, con equipos sofisticados, si la muestra no es representativa.

Para asegurar que las muestras sean representativas se proponen los siguientes pasos¹:

A. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Todos los puntos de muestreo deben ser representativos del sistema, de la planta o fuente de agua. En un sistema de agua, los puntos de muestreo deben distribuirse uniformemente a lo largo del sistema y localizarse dependiendo del tipo de sistema de distribución y en proporción al número de ramales.

B. MATERIAL, REACTIVOS Y EQUIPO DE MUESTREO.

Todos los elementos de muestreo deben estar limpios, secos y estériles.

B.1. Análisis bacteriológico:

- Para la toma de muestra de agua sin cloro residual, utilizar bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 ó 250 ml.
- Para la toma de muestra de agua con cloro residual, utilizar bolsas estériles con tiosulfato y cierre hermético y capacidad de 125 ó 250 ml.

¹ Basado en instructivos de muestreo utilizados por el Laboratorio Integral de Calidad de Agua “Profesor Frank A. Escher”, de la Asociación de Ayuda Humanitaria PROVIDA.

B.2. Análisis físico-químicos:

Los recipientes para análisis físico-químicos deben ser de un material no tóxico, impermeable, con cierre hermético, tales como frascos de vidrio o plástico de boca ancha o bolsas de plástico descartables. La capacidad debe ser la adecuada para tomar la unidad de muestra deseada.

Los envases deben estar lavados perfectamente y enjuagados a continuación con agua destilada o desionizada según el procedimiento de limpieza de cristalería. Antes de tomar la muestra se debe de enjuagar el envase al menos 3 veces con la misma agua de la muestra.

C. TOMA DE MUESTRAS.

C.1. En bomba de mano o grifo del sistema de distribución.

El agua de los grifos debe provenir directamente del sistema de distribución. No se debe efectuar la toma de muestra en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior del grifo y contaminar la muestra. También se deben remover los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.

En muestras para *análisis bacteriológicos* se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Abrir el chorro y dejar caer el agua entre 1 y 2 minutos.
- Limpiar y esterilizar por unos 10 segundos el orificio de salida con pinzas con una torunda de algodón con alcohol encendido.
- Abrir nuevamente el chorro y dejar caer el agua aproximadamente 2 min o hasta asegurarse que el agua que contenían las tuberías ha sido vaciada totalmente.
- Cerca del orificio de salida, quitar cuidadosamente la cerradura de la bolsa estéril evitando que se contamine y abrir la bolsa estéril.
- Mantener la bolsa hacia abajo para evitar contaminación y proceder a tomar la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagarla; dejar aproximadamente 10% de

volumen de espacio libre, requerido para la agitación de la muestra previa al análisis. Efectuada la toma de muestra, cierre la bolsa dándole vueltas.

En muestras para análisis *físico-químicos* se deben seguir los pasos siguientes:

- Abrir el chorro y dejar correr el agua aproximadamente por 3 min o hasta asegurarse que el agua que contenía las tuberías ha sido vaciada totalmente.
- Antes de tomar la muestra, enjuagar dos o tres veces el envase con un poco del agua que se va a analizar.
- Realizar el muestreo cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase. Dejar aproximadamente 10% de volumen de espacio libre, requerido para la agitación de la muestra previa al análisis. Efectuada la toma de muestra, cierre el recipiente cuidadosamente.

C.2. Captación de un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento.

- Lavarse manos y antebrazos con agua y jabón.
- En muestreo para *análisis bacteriológico*: Quitar cuidadosamente la cerradura de la bolsa estéril evitando que se contamine y abrir la bolsa estéril. En muestreo para *análisis físico-químicos*: Antes de tomar la muestra, enjuagar dos o tres veces el envase con un poco del agua que se va a analizar.
- Sumergir el recipiente estéril en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm, abrir y enderezar a continuación con la apertura hacia arriba.

En todos los casos debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no tomar muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción; si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del recipiente en contracorriente.

- Efectuada la toma de muestra, cierre el recipiente cuidadosamente, y en el caso de bolsas, cierre la bolsa dándole vueltas.

En el caso de tanques de almacenamiento, si no es posible la toma de muestra como se indica en este punto, debe procederse como en pozos excavados.

C.3. En pozo excavado o fuente similar.

- ✓ Si el pozo cuenta con grifo, para la toma de muestra debe procederse como en C.1.
- ✓ Si el pozo no cuenta con grifo, para la toma de muestra debe abrirse la válvula de una tubería de desfogue, dejarse correr el agua por un mínimo de 3 minutos y proceder como en C.1.
- ✓ Si el pozo no cuenta con un grifo ni válvula de una tubería de desfogue para toma de muestra, tomar la muestra con la extensión del brazo como en C.2.
- ✓ Si el pozo no cuenta con grifo ni válvula de una tubería de desfogue ni se puede tomar la muestra con la extensión del brazo, seguir el siguiente procedimiento:
 - Atar al recipiente estéril un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio.
 - Abrir el recipiente y hacer descender el recipiente y hacer descender el recipiente dentro del pozo, desenrollando el cordel lentamente, evitando que el recipiente toque las paredes del pozo.
 - Sumergir el recipiente completamente en el agua y bajarlo hasta una profundidad mínima de 15 a 30 cm. Una vez que se considere que el recipiente está lleno, vuelva a enrollar el cordel.
 - Efectuada la toma de muestra, dejar aproximadamente 10% del volumen del espacio libre y cierre el recipiente cuidadosamente.

D. MANEJO DE MUESTRAS.

- ✓ Colocar las muestras inmediatamente en hielera con frascos refrigerantes para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre los 4 y 10 °C, cuidando de no congelar las muestras.

- ✓ Las muestras de agua para consumo humano, las muestras microbiológicas y las muestras de aguas residuales deben ser transportadas en diferentes hieleras.
- ✓ El período máximo recomendado que debe transcurrir entre la toma de muestras y análisis bacteriológico es de 6 horas, en el caso de análisis físico-químicos depende de la preservación empleada para cada parámetro; como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.10. Técnicas y tiempo máximo de preservación de muestras; previo a su análisis fisicoquímico en laboratorio.

Parámetro.	Técnica	Tiempo máximo de preservación.	Parámetro.	Técnica.	Tiempo máximo de preservación.
pH.	Ninguna.	15 minutos.	Nitrato.	Acidificar a pH < 2, enfriar entre 2 y 5 °C.	48 horas.
Turbiedad.	Refrigerar 2 -5 °C.	24 horas.	Nitrito.	Refrigerar a 2-5 °C.	Ninguno.
Conductividad Eléctrica.	Refrigerar 2 – 5 °C.	28 días.	Sulfato.	Refrigerar 2 – 5 °C.	1 mes.
Solidos totales disueltos.	--	--	Fosfato.	Refrigerar 2 – 5 °C.	48 horas.
Temperatura.	Ninguna.	15 minutos.	Demanda Química de Oxígeno.	Acidifica a pH <2 con H ₂ SO ₄ , refrigerar entre 2-5 °C.	7 días.
Oxígeno disuelto.	Ninguna.	15 minutos.	Demanda Biológica de Oxígeno.	Refrigeración entre 2 y 5 °C, almacenamiento en lugar oscuro.	6 horas.
Cloruros	No requiere.	No establecido.	Hierro Total.	Acidificar a pH < 2, con HNO ₂ .	6 meses.
Dureza total como carbonato de calcio.	--	24 – 48 horas si conductividad > 70 mS/m	Manganeso.	Acidificar a pH < 2, con HNO ₂ .	6 meses.
Calcio.	Acidificación a pH <2.	1 mes.	Arsénico.	Acidificar a pH <2 con HNO ₃ , refrigerar a 4 °C.	6 meses, si la concentración es del orden de varios mg/l, para concentraciones de µg/l analizar inmediatamente.

Continuación tabla 7.10. Técnicas y tiempo máximo de preservación de muestras; previo a su análisis físicoquímico en laboratorio.

Parámetro.	Técnica	Tiempo máximo de preservación.	Parámetro.	Técnica.	Tiempo máximo de preservación.
Potasio.	Acidificación a pH < 2.	1 mes.	Cadmio.	Acidificar a pH<2 con HNO ₃ , refrigerar a 4°C.	6 meses, si la concentración es del orden de varios mg/l, para concentraciones de µg/l analizar inmediatamente.
Sodio.	Acidificar a pH < 2.	--	Mercurio.	Acidificar a pH<2 con HNO ₃ , refrigerar a 2 – 5 °C.	28 días.
Magnesio.	Acidificar a pH < 2 con HNO ₂ .	6 meses.	Plomo.	Acidificar a pH<2 con HNO ₃ .	6 meses.
Bicarbonatos.	Refrigerar 2 – 5 °C.	24 horas.			

Fuente: Instituto Nacional de Salud Pública de Colombia. Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogotá, Colombia. 2011. p. 73-82.

7.3. HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DE AGUA EN EL SALVADOR.

AGUA SUBTERRÁNEA.

Las aguas subterráneas en El Salvador, se pueden clasificar (en su mayoría) de acuerdo a su origen como *meteóricas*, según lo establecido en la tabla 7.2, ya que se considera que el principal aporte a los sistemas de agua del país es la precipitación; parte de la lluvia que cae sobre la superficie escurre hacia y en los cuerpos de agua; y otra parte se infiltra alimentando los acuíferos tanto someros como profundos.

En cuanto a la calidad del agua subterránea, la ANDA expresa en su página web² que el agua que utiliza para abastecer a sus usuarios proviene de mantos acuíferos que se encuentran a más de 150 metros de profundidad, lo que les indica un agua que ha pasado

² * http://www.anda.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=355&Itemid=267.

por un filtro natural, y debido a que provienen de las profundidades son altamente cristalinas y puras, por lo que la desinfección del agua para uso humano se realiza con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos que se encuentren en ella.

Para tener mayor certeza de las afirmaciones hechas en los párrafos anteriores hay que realizar más investigaciones a nivel nacional y analizar las existentes, ya que las características geológicas propias de cada lugar afectan propiedades como la conductividad hidráulica, lo cual determina el tiempo que el agua se mantiene en el acuífero, también de acuerdo al tipo de rocas, el agua puede adquirir componentes químicos que modifiquen sus características y que afecten su aptitud de uso.

AGUA SUPERFICIAL.

En el estudio de aguas subterráneas es muy importante también conocer el estado de las aguas superficiales, ya que según el tipo de contaminación que estas contengan, pueden ser una amenaza para los mantos acuíferos, conforme al grado de vulnerabilidad que estos posean (sin mencionar el daño que se hace al medio ambiente en general).

La DGOA anualmente publica el ***“Informe de la Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador”***, el cual se elabora gracias al monitoreo permanente que tiene el MARN en 123 sitios de 55 ríos, distribuidos a nivel nacional y en los cuales se recolectan muestras para análisis de parámetros de calidad de agua. Cabe mencionar que el muestreo únicamente se realiza una vez al año, siendo lo deseable trimestralmente; pero de igual forma genera información valiosa, tanto para otras investigaciones, como para toma de decisiones de las autoridades competentes y para concientizar a la población del uso racional del agua.

Para realizar ese estudio la DGOA ha elaborado una metodología que abarca desde protocolos para la toma de muestra, transporte y custodia de las muestras, análisis de laboratorio y técnicas de análisis de datos obtenidos. Aplican el Índice de Calidad general del Agua (ICA): En este índice se evalúan ciertos parámetros al agua y se ponderan, con lo cual se puede clasificar el agua en 5 categorías: Excelente y buena, que se caracterizan por facilitar el desarrollo de la vida acuática; regular y mala, que

representan aguas en las que se limita el desarrollo de la vida acuática; y pésima la cual es asignada a las aguas que imposibilitan el desarrollo de vida acuática. De acuerdo a esta clasificación a continuación se presentan en la tabla 7.11, los resultados que se han obtenido en los últimos cinco años a nivel nacional en términos de porcentaje de los sitios analizados.

Tabla 7.11. Evaluaciones de calidad de agua en ríos (%), a través de la aplicación del Índice de calidad de agua propuesto por la DGOA.

Calidad Ambiental.	Porcentaje de sitios (%).				
	2006.	2007.	2009.	2010.	2011.
Excelente.	0	0	0	0	0
Buena.	17	3	0	2	12
Regular.	50	45	60	65	50
Mala.	20	46	31	27	31
Pésima.	13	6	9	6	7

Fuente: DGOA; Informe de la Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador del Año 2011; marzo 2012; p. 3; <http://mapas.snet.gob.sv/hidrologia/Documentos/CalidadAgua2011.swf>.

En la tabla 7.11, se observa que en la mayoría de los sitios muestreados (81% en 2011) se determinó, que la calidad del agua se evalúa como de regular a mala, lo cual significa que el desarrollo de la vida acuática es limitado en la mayoría de ríos de El Salvador; lo que a su vez expresa que no puede ser empleada para uso humano. Cabe destacar que en ningún año de los estudiados se ha encontrado calidad excelente de las aguas en todo el territorio salvadoreño.

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LEMPA Y RÍO TAMULASCO (CON ENFASIS EN EL EMBALSE CERRÓN GRANDE).

Diversas instituciones se han encargado de estudiar la calidad del agua superficial dentro de la cuenca del río lempa, entre estas investigaciones podemos mencionar: Los *Informes de calidad de agua de los ríos de El Salvador*, elaborados por la DGOA, el *Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa 2003-2008*, elaborado por la CEL y el *Informe de calidad de agua del Embalse Cerrón Grande*, elaborado por PROVIDA de los cuales se presentan parte de los resultados en la tabla 7.12, se muestran las ubicaciones de los lugares muestreados en la figura 7.5.

Tabla 7.12. Resultados de algunos análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en diferentes puntos de la cuenca del río Lempa, en distintos trabajos de investigación.

ESTUDIO.	SITIOS MUESTREADOS	FECHAS.	pH	Color Aparente	Conductividad eléctrica	Oxígeno disuelto	Turbidez	Boro	Cloruros	Fenoles	Nitratos	Sulfatos	Cinc	Cobre	Demanda Bioquímica de Oxígeno Solidos Totales	Disueltos	Coliformes fecales	RAS	Sodio
Valores límites	Agua cruda para potabilizar.		6.5-9.2	0-150	--	4.0-6.5	0-250	--	0-250	≤3.5	≤45	--	≤5	0-1	0-4	0-600	≤1000	--	--
	Riego.		6.5-8.4	--	0-750	--	--	0-2.0	≤195	--	--	≤200	--	--	--	--	≤1000	0-10	0-60
	Uso recreativo con contacto humano.		--	--	--	≥7	≤10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	≤1000	--	--
DGOA (SNET), Informe de calidad de agua de los ríos de El Salvador, año 2011 y año 2010.	A01LEMPA (Río Lempa, después de su ingreso al país en Estación Hidrométrica Citalá).	abril-julio/2011	7.48	3750	81.9	4.7	350.5*	ND	4.09	0	2.6	19.5	0.04	ND	3	131	2700	0.46	29
		abril-julio/2010	6.92	442.5	70.9	7.14	74.35	ND	6.03	0.1	3.7	14	ND	ND	1	157.5	2800	0.27	14.97
	A08LEMPA (Río Lempa, antes de confluencia con Río Peñanalapa en El Tamarindo, Cerro El Gritadero).	abril-julio/2011	7.38	670	198.6	5.2	83.6*	ND	3.46	2.25	2.57	15	0.02	ND	3	199	1700	0.59	26.93
		abril-julio/2010	8.01	248	121	8.38	55.2	ND	7.52	2.2	6.15	20.5	ND	ND	4	104	1700	0.53	22.54
	A12LEMPA (Río Lempa, en el lugar El Tamarindo, cantón Nancintepeque).	abril-julio/2011	7.25	2065	237	4.3	220.5*	ND	5.44	2.2	3.85	16	0.03	ND	3	182	17000	0.54	23.04
		abril-julio/2010	8.25	59	169.7	6.6	15.65	ND	8.34	3.1	2.95	18.5	ND	ND	5	188	1100	0.68	26.58
	A17LEMPA (Río Lempa, antes de confluencia con Río Sucio en Estación Hidrométrica San Fco. Los Dos Cerros).	abril-julio/2011	7.99	209.5	421	4.91	63.35*	ND	22.27	0	30.6	35.5	0.02	ND	3	60	1300	1.14	33.68
		abril-julio/2010	7.29	165.5	256.3	8.46	35.65	ND	18.89	1	2.95	48.5	ND	ND	1	203.5	1100	0.54	18.83
	A19LEMPA (Río Lempa, en Valle Nuevo, El Refugio).	abril-julio/2011	7.55	228	555	2.6	28.45*	ND	34.5	0.5	6.97	41	0.02	ND	2	381	1200	1.71	43.39
		abril-julio/2010	7.69	197.5	218.2	9.52	51.4	ND	18.7	0.7	5.5	30.5	ND	ND	5	308.5	9000	1.15	35.66
	A20LEMPA (Río Lempa, desvío del río a la Presa 15 de Septiembre).	abril-julio/2011	7.61	35	298	4.02	0.26*	ND	10.12	3.2	1.59	19.5	ND	ND	1	149	<1.8	0.82	31.98
		abril-julio/2010	7.88	40	175.7	8.97	1.535	ND	10.78	1.4	2.7	19.5	ND	ND	5	154	4	0.76	29.68
	A01TAMUL (Río Tamulasco, cantón Las Minas, Chalatenango).	abril-julio/2011	8.02	50	420	6.5	5.21*	ND	1.48	3	2.2	6	0.01	ND	2	170	450	0.5	24.61
		abril-julio/2010	7.73	49	116.1	7.47	6.665	ND	3.82	2.1	2.15	37.5	ND	0.01	1	134	2400	0.22	10.69
	A02TAMUL (Río Tamulasco, cantón Totolco, Chalatenango).	abril-julio/2011	7.91	203	235	4.5	22.65*	ND	0.91	2.6	4.68	13	0.02	ND	3	181	35000	0.64	26.74
		abril-julio/2010	7.13	151	341	1.85	12.55	ND	29.95	2	4.1	24	ND	0.01	10	327	900000	0.26	7.604
	A03TAMUL (Río Tamulasco, caserío Concepción, cantón San José, Chalatenango).	abril-julio/2011	7.86	192	257	6.7	46.85*	ND	10.39	2	9.78	1	0.01	ND	4	232.5	2100	0.73	28.77
		abril-julio/2010	7.72	28.5	214.9	7.84	3.595	ND	16.48	3.5	2.15	10	ND	ND	2	232	5000	0.96	30.56
	A25ACELH (Río Acelhuate, Puente El Tule, antes de desembocadura a Río Lempa).	abril-julio/2011	7.67	60.95	675	2.06	382.5*	ND	31.95	1.55	10.65	45.5	0.03	ND	17	455	48000	1.98	44.84
		abril-julio/2010	7.406	398.5	542	4.22	21	ND	47.17	2.3	15.1	85.5	ND	0.02	18	428.5	100000	1.03	27.08
A01LSUCIO (Río Sucio, calle de Tenancingo a Suchitob, Cuscatlán).	abril-julio/2011	7.62	394.5	421	3.85	47.85*	ND	7.9	5	2.9	53.5	0.01	0.02	5	537	4600	1.03	44.84	
	abril-julio/2010	7.5	1005	273.1	7.11	162.5	ND	6.23	ND	3.2	52	ND	0.01	2	53	9000	0.3	6.549	

Continuación Tabla 7.12. Resultados de algunos análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en diferentes puntos de la cuenca del río Lempa, en distintos trabajos de investigación.

ESTUDIO.	SITIOS MUESTREADOS	FECHAS.	pH	Color aparente	Conductividad eléctrica	Oxígeno disuelto	Turbidez	Boro	Cloruros	Fenoles	Nitratos	Sulfatos	Cinc	Cobre	Demanda Bioquímica de Oxígeno Totales	Disueltos	Coliformes fecales	RAS	Sodio
Valores límites	Agua cruda para potabilizar.		6.5-9.2	0-150	--	4.0-6.5	0-250	--	0-250	≤3.5	≤45	--	≤5	0-1	0-4	0-600	≤1000	--	--
	Riego.		6.5-8.4	--	0-750	--	--	0-2.0	≤195	--	--	≤200	--	--	--	--	≤1000	0-10	0-60
	Uso recreativo con contacto humano.		--	--	--	≥7	≤10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	≤1000	--	--
CEL. Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Lempa, 2003-2008	E04 (Puente Colima).	R10 14/08/2007	7.55	--	140	5.2	4	--	10	ND	7.2	34	--	ND	0.4	--	5000	--	12
		R09 26/04/2007	--	--	--	--	--	--	--	7	ND	2.6	17	--	0.00011	0.6	--	2.5	--
	E05 (Frente a Reubicaciones, cantón San Bartolo, Chalatenango).	R10 14/08/2007	8.12	--	238	6.2	0	--	14	ND	0.8	13	--	ND	0.4	--	1.2	--	18
		R09 26/04/2007	8.31	--	265	8.78	1.8	--	13	ND	0.1	13	--	0.00011	5.9	--	2	--	22
	E06 (Frente a San Francisco Lempa Superficie).	R10 14/08/2007	7.8	--	240	6.1	12	--	15	ND	0.1	9	--	ND	0.3	--	38	--	18.5
		R09 26/04/2007	8.09	--	265	7.98	1.9	--	12	ND	0.1	11	--	0.00011	6.4	--	2.3	--	22
	E07 (Frente a dique Cerrón Grande).	R10 14/08/2007	7.3	--	260	3.4	22	--	15	ND	1.6	16	--	ND	0.3	--	45	--	19.5
		R09 26/04/2007	7.65	--	240	7.5	0	--	13	ND	0.1	15	--	0.00011	5.6	--	2	--	19.5
	R16 (Río Acelhuate, puente en Carretera Troncal del Norte, zona de Colima aproximadamente 1.2 km aguas arriba de)	agos-sept/2007	7.25	--	320	3.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		febrero-abril/2007	7.5	--	770	0.5	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	R19 (Río Tamulasco, puente sobre este río en carretera que de Chalatenango conduce a Potónico, aproximadamente 10 km)	agos-sept/2007	7.95	--	110	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		febrero-abril/2007	7.2	--	180	5.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	PROVIDA, Reporte del Estudio del Análisis de la Contaminación del Cerrón Grande.	Intersección de Embalse Cerrón Grande y Río Acelhuate, Puente viejo Colima, Colima, Tejuita, Chalatenango.	30/3/2009	7.59	26	503	4.22	85.8	--	--	--	0.5	39	<0.03595	0.012	--	246.0	--	--
			3/11/2008	6.8	32	216	7.71	14.5	--	--	--	0.3	18	<0.03595	0.01035	--	107.9	--	--
Embalse Cerrón Grande enfrente de El Tablón, El Tablón, El Paraíso, Chalatenango.		30/3/2009	9.65	30	246	12.78	23.8	--	--	--	0.8	15	<0.03595	<0.00384	--	119.8	--	--	
		3/11/2008	6.75	76	154.6	5.77	19.8	--	--	--	0.5	10	<0.03595	<0.00384	--	77.3	--	--	
Embalse Cerrón Grande enfrente de Suchitob, Suchitob, Suchitob, Cuscatlán.		30/3/2009	7.81	5	226	7.3	7.13667	--	--	--	0.6	14	<0.03595	<0.00384	--	105.8	--	--	
	3/11/2008	6.64	90	149	4.02	20.4	--	--	--	0.2	10	<0.03595	<0.00384	--	74.5	--	--		

Fuente: DGOA (SNET), Informes de calidad de agua de los ríos de El Salvador, año 2011 y 2010, p. 57-59 p.46-48 respectivamente. CEL, Monitoreo de la calidad de agua de la cuenca del río Lempa, p. 82-119, (datos obtenidos a partir de lectura de gráficos). PROVIDA, Reporte del estudio del análisis de la contaminación del Cerrón Grande, tabla resumen.

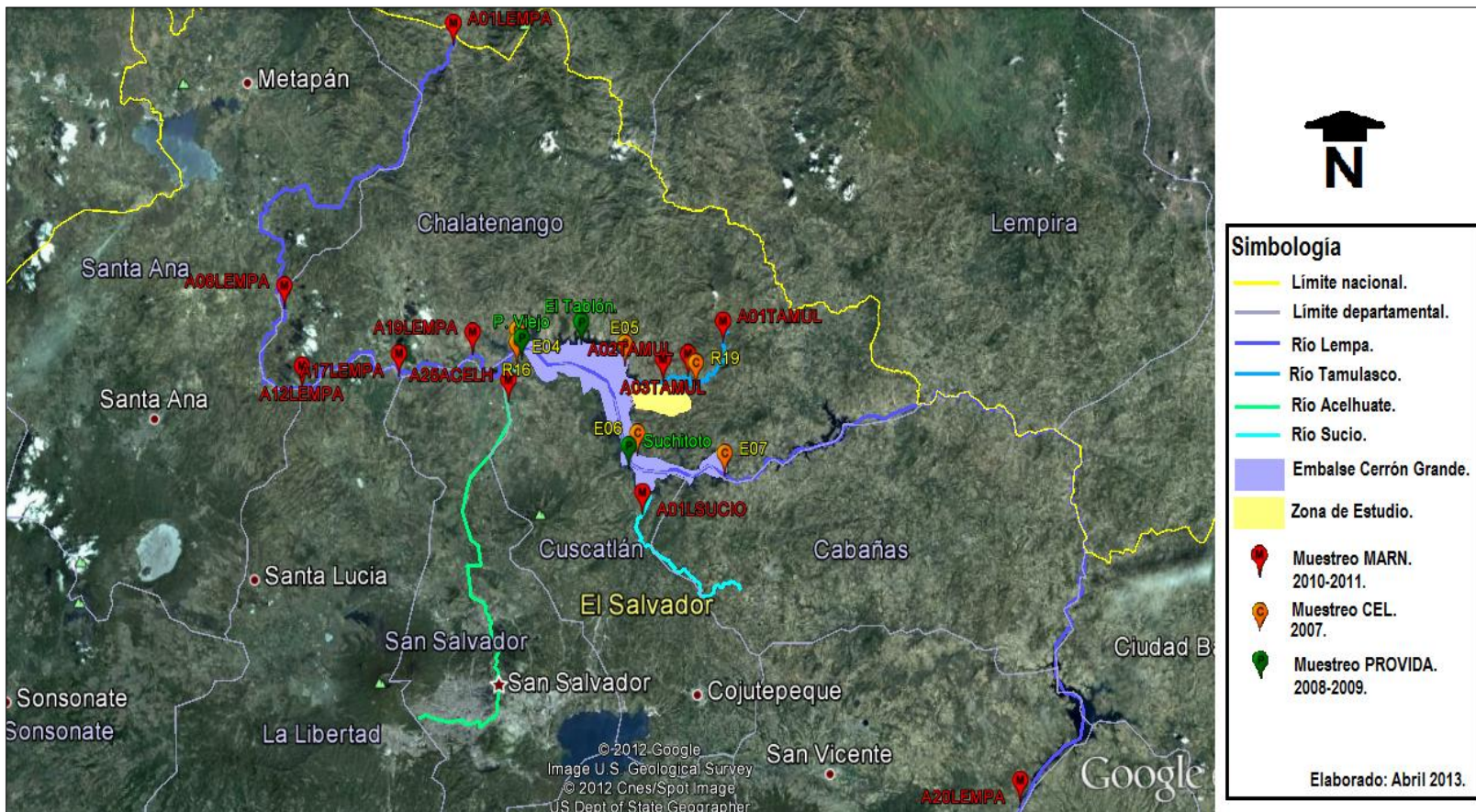


Figura 7.5. Mapa de sitios muestreados en la realización de estudios de calidad de agua de la cuenca del río Lempa.

Fuente: Captura de imagen de puntos de muestreo, rutas (ríos) y polígonos (embalse y zona de estudio) ploteados en Google Earth.

En la tabla 7.12, se han presentado los parámetros que la DGOA utiliza para determinar la aptitud de uso; cabe mencionar que los estudios que se han revisado poseen muchos más parámetros analizados. De los parámetros presentados en la tabla 7.12, se puede comentar lo siguiente:

- La mayoría de sitios muestreados (para la fecha indicada) la aptitud de uso del agua está totalmente restringida debido a la alta concentración de coliformes fecales; la cual es producida por la descarga sin tratamiento de aguas residuales de las ciudades sobre los ríos del país. En este sentido uno de los ríos que aporta mayor concentración de coliformes es el río Acelhuate que recoge la mayor parte de la descarga de aguas residuales de toda el área metropolitana de San Salvador.
- El color aparente que presentan las aguas sobre los cauces de los ríos es otro parámetro que se detecta elevado para utilizar las aguas para consumo humano previo a tratamientos primarios; sin embargo, en el embalse Cerrón Grande, este parámetro no resulta elevado en sus aguas superficiales, ya que el agua en ese lugar se mueve con flujo que puede denominarse como laminar.
- La demanda bioquímica de oxígeno, es un parámetro que se ha determinado elevado en gran parte de las muestras tomadas por el MARN y CEL.

También es importante mencionar que en el estudio de PROVIDA, se detectaron concentraciones importantes de otras sustancias como: Amonio (7.30 mg/l) en el puente colima en la segunda ronda de muestreo, aluminio (mayores a 200µg/l) en la primera ronda de muestreo en El Tablón y Suchitoto; así como la presencia de plaguicidas como el Dieldrin (17.4 ng/l) en el puente viejo de Colima y Suchitoto, en la segunda ronda de muestreo. Estos contaminantes pueden provenir en el caso del amonio y aluminio de las industrias que descargan sus aguas residuales en los ríos sin tratamiento previo; y en el caso de los plaguicidas de los distritos de riego que se encuentran dentro de la cuenca del río Lempa (Zapotitan, Acahuapa).

7.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DE CALIDAD DEL AGUA.

Los objetivos de esta sección dentro de la investigación hidrogeológica fueron:

- *Determinar la calidad del agua subterránea de la zona de estudio y su actitud de uso.*
- *Caracterizar hidrogeoquímicamente las aguas subterráneas que se encuentran dentro de la zona de estudio.*

Para lograr los objetivos planteados se llevaron a cabo las siguientes actividades:

7.4.2. RECOPILOCIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.

La información pertinente a pozos profundos, fue solicitada a las instituciones propietarias de dichos pozos; mientras que resultados de análisis de calidad de agua para pozos superficiales fue solicitada a la Unidad de Saneamiento Ambiental del municipio de Chalatenango.

Los resultados obtenidos de esta actividad fueron los siguientes:

- ANDA consideró como confidencial, la información de la calidad de aguas de los pozos ubicados en el Caserío La Concepción, Cantón San José, municipio de Chalatenango, por lo cual la OIR de dicha institución no pudo proporcionar la información solicitada.
- La administración actual (2012) de la Alcaldía Municipal de Azacualpa poseía únicamente análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del pozo realizados por PRO-VIDA en el año 2011, dichos análisis fueron solicitados y obtenidos.
- La Alcaldía Municipal de Chalatenango, proporcionó únicamente resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en el año 2009, en el marco de la elaboración de la evaluación técnica y económica del proyecto San José, Chalatenango. Los análisis fueron realizados por el laboratorio LECC.

- Por su parte la Unidad de Saneamiento Ambiental del Municipio de Chalatenango, proporcionó, todos los resultados de análisis de calidad de agua que tienen en sus archivos; los cuales son bastante limitados con respecto a la cantidad de pozos que hay en la zona, en su mayoría corresponden únicamente a análisis microbiológicos y no cuentan con la información necesaria para determinar a qué pozo pertenecen los resultados, ya que sólo mencionan el caserío al cual pertenece la ubicación del pozo.

La información recolectada se presenta en la sección 7.5, en la tabla 7.15.

7.4.3. MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA PROVENIENTE DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Esta actividad contó con el apoyo del Laboratorio Integral de Calidad de Agua “Prof. Frank A. Escher”, de la Asociación Salvadoreña de Ayuda Humanitaria PRO-VIDA. Esta institución colaboró proporcionando información teórica presentada en las secciones anteriores, datos de estudios realizados al Embalse Cerrón Grande, apoyo en la toma de muestras y en el análisis de la mayoría de los parámetros evaluados en esta investigación.

MUESTREO.

El trabajo consistió en la extracción de 10 muestras de agua provenientes de diversos puntos del Cantón San José, Chalatenango.

Selección de sitios.

La selección de los sitios para el muestreo se realizó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se seleccionaron únicamente pozos someros y cuerpos de agua superficial; considerando que es un aporte importante para los habitantes de la zona de estudio, generar más información de la calidad de agua de los pozos de uso

doméstico; así como también determinar si los cuerpos de agua superficiales ejercen alguna influencia sobre dichos pozos.

- Se distribuyó la ubicación de los puntos de muestreo de tal manera que abarcara la totalidad de las zonas en que se encontraron pozos durante el inventario de las fuentes de agua.
- Los sitios de muestreo se ubicaron en zonas de mayor densidad de pozos, correspondientes a los diferentes caseríos.

La distribución resultante de los sitios consistió en extracción de muestra de 8 pozos someros (caseríos Gualcho, El Conacaste, Los Amates, Agua Caliente, La Concepción, 2 en San José y 1 en Común Las Marías), 1 en río Tamulasco y 1 en Embalse Cerrón Grande. En la siguiente figura se presenta la dispersión de los sitios muestreados.

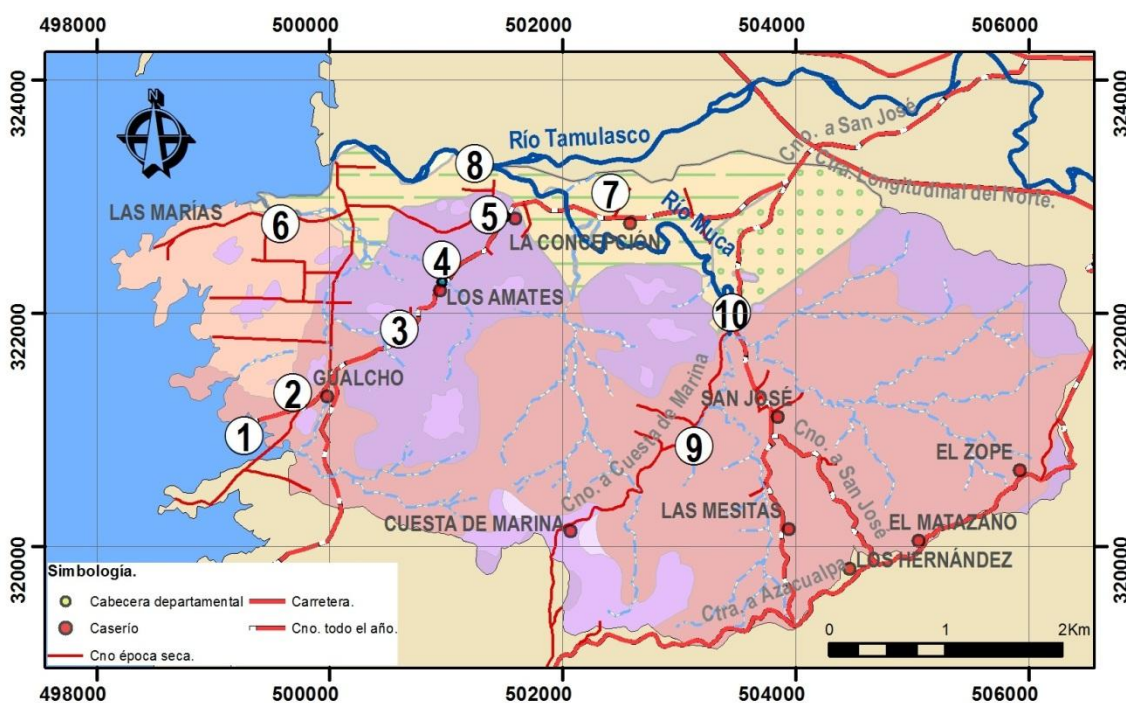


Figura 7.6. Ubicación de puntos de muestreo en el Cantón San José.
Fuente: Elaboración propia, en base a muestreo realizado en Agosto y Septiembre de 2012.

Manejo de muestras.

Las muestras fueron recolectadas por técnicos asignados por la asociación PRO-VIDA, siguiendo las indicaciones presentadas en la sección 7.2.8 (protocolo de toma de muestras). El personal etiquetó cada recipiente con viñetas presentadas en anexo A.8 y además capturó los datos pertinentes a cada muestra, incluyendo algunos parámetros tomados en campo en la ficha mostrada en anexo A.7a.



Figura 7.7. Fotografía muestreo de agua en punto 6 del Cantón San José.

Fuente: Elaboración propia, fecha de captura 6/9/2012.

Equipo utilizado en la toma de muestras.

Para la toma de muestras de agua se utilizaron recipientes de polietileno (análisis químicos), bolsas estériles y bolsas estériles con tiosulfato (análisis microbiológico). Para la medición de parámetros en campo se utilizó un turbidímetro, un pHmetro y un conductivímetro portátil. El transporte de las muestras fue por medio de hieleras dotadas de tapaderas que permiten un cierre tal, que se mantenga la temperatura debajo de los 5 °C; el hielo se mantuvo dentro de bolsas para evitar contaminar las muestras. En la siguiente tabla 7.13 se presenta el equipo principal utilizado, con una breve descripción de cada uno de ellos.

Tabla 7.13. Equipo utilizado en campo para toma de muestras de agua.

Fotografía de Equipo.	Características.
	<p>Recipientes para toma de muestras para análisis químico y traza de metales. Material: <i>Polietileno.</i> Capacidad: <i>900 ml.</i> Cierre: <i>Boca en rosca para un cierre hermético.</i></p>
	<p>Bolsa estéril para toma de muestras para análisis microbiológico. Marca de la bolsa: <i>Whirl-pak.</i> Material: <i>Polietileno transparente.</i> Capacidad: <i>384 ml.</i></p>
	<p>Bolsa estéril para toma de muestras para análisis microbiológico, cuando hay presencia de cloro residual. Marca de la bolsa: <i>Whirl-pak.</i> Material: <i>Polietileno transparente.</i> Capacidad: <i>100 ml.</i> Componente especial: <i>10 mg de tiosulfato de sodio.</i> Este tipo de bolsa tiene la característica que neutraliza el cloro activo al momento de la recolección.</p>
	<p>pHmetro. Marca y modelo: <i>HACH, sensION 1.</i> Parámetros que registra: <i>pH y temperatura.</i> Rango de lecturas: <i>-2 a 19.99 y -10 a 110 °C.</i> Precisión: <i>± 1 °C</i> Dimensiones: <i>25.4 x 15.0 x 8.4 cm</i></p>
	<p>Conductivímetro. Marca y modelo: <i>HACH, sensION 5.</i> Parámetros que registra: <i>Conductividad, TDS, Salinidad y Temperatura.</i> Rango de lecturas: <i>200 a 19999 µS/cm; 0 a 50.000 mg/L, 0 a 42 g/L y -10.0 a 110.0 °C</i> Precisión: <i>± 0.5%, ± 0.5%, ± 0.1 ppt y ± 0.5° C respectivamente.</i> Dimensiones: <i>21.2 x 8.7 x 4.2 cm</i></p>
	<p>Turbidímetro. Marca y modelo: <i>HACH, 2100P</i> Parámetros que registra: <i>Turbiedad.</i> Rango de lecturas: <i>0 a 1000 NTU.</i> Precisión: <i>± 2 %.</i> Método utilizado: <i>Nefelométrico.</i> Dimensiones: <i>22.2x9.5x7.9 cm</i></p>

Fuente: Fotografías propias a equipo propiedad de PRO-VIDA, especificaciones a partir de su manual respectivo.

Jornadas de muestreo.

La actividad de muestreo se realizó en dos jornadas, la primera en fecha correspondiente al 30/08/2012, se obtuvieron muestra de los siguientes puntos: Punto 1, en Embalse Cerrón Grande a 100 m de la rivera, en las cercanías del caserío Gualcho; punto 2, caserío Gualcho en propiedad de Don Félix Muñoz; punto 3, caserío El Conacaste, en propiedad de Don Teodolo Romero, caserío Los Amates, punto 4 en pozo perteneciente al Centro Escolar Caserío Los Amates; y punto 5, caserío Agua Caliente, en propiedad de Juan Romero. En la segunda jornada realizada el 06/09/2012 se muestrearon los siguientes puntos: Punto 6, Común Las Marías; propiedad de José Recinos; punto 7, caserío La Concepción, en propiedad de Alfonso Hernández; punto 8, río Tamulasco 100 m aguas abajo de la intersección con el río Muca; punto 9, calle a Cuesta de Marina Caserío y Cantón San José, en propiedad de Ángel Velásquez; y punto 10, en Cantón y Caserío San José, en propiedad de Alfaro Romero.

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA.

De todas las muestras de agua se obtuvo el análisis del Laboratorio de PRO-VIDA, de los parámetros que ellos analizan para determinar la calidad de agua para consumo humano, complementando la información y poder caracterizar algunos puntos de agua se enviaron muestras adicionales para análisis complementarios, al Laboratorio LECC. En la tabla 7.14, se presentan los parámetros analizados por laboratorio para cada uno de los puntos muestreados.

Tabla 7.14. Análisis realizados por los laboratorios PROVIDA y LECC en el contexto de esta investigación.

Parámetros del agua	Laboratorio PROVIDA.	Laboratorio LECC.
pH.	Todas las muestras.	--
Turbiedad.	Todas las muestras.	--
Conductividad.	Todas las muestras.	--
Solidos Totales Disueltos.	Todas las muestras.	--
Temperatura.	Todas las muestras.	--
Oxígeno Disuelto.	Todas las muestras.	--
Cloruros	Todas las muestras.	--
Dureza Total como carbonato de calcio.	Todas las muestras.	--
Calcio	--	Muestras 1, 2, 4, 8 y 9.
Potasio	--	Muestras 1, 2, 4, 8 y 9.

Continuación tabla 7.14. Análisis realizados por los laboratorios PROVIDA y LECC en el contexto de esta investigación.

Parámetro.	Laboratorio PROVIDA.	Laboratorio LECC.
Sodio	--	Muestras 1, 2, 4, 8 y 9.
Magnesio.	--	Muestras 1, 2, 4, 8 y 9.
Bicarbonatos.	--	Muestras 1, 2, 4, 8 y 9.
Nitrato.	Todas las muestras.	--
Nitrito.	Todas las muestras.	--
Sulfato.	Todas las muestras.	--
Fosfato.	Todas las muestras.	--
Demanda Química de Oxígeno.	Todas las muestras.	--
Demanda Bioquímica de Oxígeno.	Todas las muestras.	--
Hierro total.	Todas las muestras.	--
Manganeso.	Todas las muestras.	--
Arsénico.	--	Muestras 1 y 2.
Cadmio.	--	Muestras 1 y 2.
Mercurio.	--	Muestras 1 y 2.
Plomo.	--	Muestras 1 y 2.
Bacterias coliformes totales.	Todas las muestras.	--
Escherichia Coli.	Todas las muestras.	--

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizados en agosto y septiembre de 2012.

Los análisis complementarios a los realizados por el Laboratorio de PRO-VIDA, en las muestras 1, 2, 4, 8 y 9 de calcio, potasio, sodio, magnesio y bicarbonatos, se obtuvieron para caracterizar geoquímicamente el tipo de agua. La evaluación de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en el punto 1 y 2 se hizo con el fin de determinar su presencia proveniente de posibles cargas contaminantes vertidas por diferentes industrias a ríos afluentes al Lempa.

Para el análisis geoquímico de las aguas se utilizó el programa informático AquaChem versión 5.1, del cual posee licencia la Unidad de Postgrado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura; obteniendo por medio de éste la clasificación de las aguas de acuerdo a los iones dominantes; así como, la obtención del diagrama de Piper para efecto de comparación de la composición química entre las aguas muestreadas y los diagramas de Stiff que también permiten visualizar de forma individual la composición de las aguas, y que fueron utilizados además en el Mapa Hidrogeológico presentado en el anexo H2. Mapa Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Muca y Microcuencas al oeste limítrofes al Embalse Cerrón Grande.

7.5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DE CALIDAD DE AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE LIMÍTROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.

Esta sección se divide en dos partes principales, en la primera se hace una revisión de los datos históricos de análisis físico-químicos, bacteriológicos y de traza de metales, a aguas provenientes de la zona de estudio y a lugares cercanos de interés. En la segunda parte se hace una valoración de los análisis realizados en el desarrollo de esta investigación.

7.5.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS PROVENIENTES DE OTROS TRABAJOS.

Los resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados en otras investigaciones de la zona de estudio se presentan en la tabla 7.15, sin embargo se pueden hacer las siguientes observaciones:

- A ninguna de las muestras se le realizó un análisis completo, esto debido a la falta de análisis de al menos dos iones mayoritarios, por tal razón no es posible realizar interpretaciones hidrogeoquímicas.
- De acuerdo a los parámetros en las muestras, no se visualiza ningún parámetro físico-químico y de traza de metales que presente valores fuera de lo establecido por las normas.
- Se observa que los resultados para todos los lugares en que se extrajo muestra para análisis bacteriológicos al río Tamulasco, revelan que éste contiene coliformes fecales, aunque los valores de contaminación superan a los límites establecidos en la norma para uso de consumo humano, son lo suficientemente bajos para ser tratados y desinfectados. Los puntos muestreados pertenecen a puntos ubicados al menos a 5 km aguas arriba de la zona de estudio.

Tabla 7.15. Información de análisis físico-químicos y bacteriológicos históricos de la zona de estudio y Río Tamulasco.

LUGAR Y FECHA DE MUESTREO	MICROBIOLÓGICOS.							FÍSICOS.							QUÍMICOS INORGÁNICOS.								
	Bacterias Heterótrofas (UFC/ml).	Coliforme fecal (NMP/100 ml).	Coliforme total (NMP/100ml).	Escherichia coli (NMP/100 ml).	Parásitos.	Salmonella sp.	Virus (colifagos).	Color (Escala Platino-Cobalto).	Conductividad (µmho/cm)	Olor.	pH 25 grados.	Sólidos Totales (mg/l).	Sólidos Totales Disueltos (mg/l).	Temperatura (°C).	Turbidez (UNT).	Arsénico (mg/l).	Cadmio (mg/l).	Cromo (mg/l).	Mercurio (mg/l).	Níquel (mg/l).	Nitritos (mg/l).	Plomo (mg/l).	Cloro residual libre (mg/l).
VALORES LÍMITES SEGÚN NSO 13.07.01.08	100	<1.1	<1.1	<1.1	AU	AU	AU	5	400*	NR	6-8.5	--	1000	18-30	5	0.01	0.003	0.05	0.001	0.02	45	0.01	1.1
ANÁLISIS REALIZADOS POR EL MINISTERIO DE SALUD A TRAVÉS DE SUS LABORATORIOS DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL Y DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y AGUA.																							
Río Tamulasco, boca toma ANDA (31/01/2011).**	--	130	--	--	AU	--	--	--	--	--	7.73	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Gualcho, cantón San José. Punto de uso. (31/01/2011).	--	0	0	0	AU	--	AU	--	--	--	7.49	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Río Tamulasco. (01/02/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.0003	<0.002	--	<0.004	--	<0.003	--	--
Caserío Gualcho, cantón San José. Punto de uso. (01/02/2011).	--	0	0	0	AU	--	AU	--	--	--	6.87	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cantón San José. (15/02/2011).	--	<1.1	<1.1	AU	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Río Tamulasco, poza San Miguelito (05/04/2011).**	--	50	--	--	AU	--	--	--	--	--	7.66	--	--	--	--	<0.00002	<0.0005	--	<0.004	--	<0.003	--	--
Caserío Los Amates, cantón San José. (21/07/2011)	--	<1.1	<1.1	AU	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Poza el Pintor, Río Tamulasco (16/08/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.00002	<0.0009	--	<0.004	--	<0.003	--	--
Bocatoma Río Tamulasco (08/11/2011).**	--	4	--	--	AU	--	--	--	--	--	7.85	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Agua Caliente, cantón San José (06/02/2012).	--	16000	16000	90	AU	--	AU	--	--	--	6.8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Agua Caliente, cantón San José (06/02/2012).	--	0	0	0	AU	--	AU	--	--	--	7.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ANÁLISIS SOLICITADOS POR ALCALDÍA MUNICIPAL DE CHALATENANGO, REALIZADOS POR LABORATORIOS ESPECIALIZADOS EN CONTROL DE CALIDAD (LECC).																							
Pozo alcaldía de Chalatenango. (19/11/2009).	62	<1.1	<1.1	<1.1	--	AU	--	1	500	NR	8.3	328	251	3.1	--	--	--	--	--	0.02	--	--	--
CONSULTORÍA DE PRO-VIDA A AGUA DE POZO DE AZACUALPA, ANÁLISIS REALIZADOS POR LABORATORIOS ESPECIALIZADOS EN CONTROL DE CALIDAD (LECC).																							
Agua de Chorro, Alcaldía municipal de Azacualpa (13/05/2011).	3	<1.1	<1.1	<1.1	--	--	--	1	--	--	7.6	--	--	--	--	<0.005	--	--	--	--	--	<0.005	--
Agua de Chorro, de la Calle al Llano, El Aguacate, Azacualpa Chalatenango (13/05/2011).	160	5.1	>23	1.1	--	--	--	1	--	--	6.9	--	--	--	--	<0.005	--	--	--	--	--	0.005	--
Agua Nacimiento El Sitio, Azacualpa, Chalatenango (13/05/2011).*	--	<1.8	170	<1.9	--	--	--	1	--	--	6.9	--	--	--	--	<0.005	<0.002	--	<0.001	--	--	<0.005	--

Continuación tabla 7.15. Información de análisis físico-químicos y bacteriológicos históricos de la zona de estudio y Río Tamulasco.

LUGAR Y FECHA DE MUESTREO	QUÍMICOS.																							
	Aluminio (mg/l)	Alcalinidad al bicarbonato de sodio o potasio (mg/l)	Alcalinidad total (mg/l)	Bicarbonatos (mg/l)	Bióxido de Carbono (mg/l)	Calcio (mg/l)	Carbonatos (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Cobre (mg/l)	Dureza Carbonática (mg/l)	Dureza no carbonática (mg/l)	Dureza total (mg/l)	Fluoruros (mg/l)	Hidroxiidos (mg/l)	Sodio (mg/l)	Hierro (mg/l)	Hierro Soluble (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Manganeso soluble (mg/l)	Silice (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Zinc (mg/l)	
VALORES LÍMITES SEGÚN NSO 13.07.01.08	0.2	--	--	--	--	100*	--	25*	1.3	500	--	--	1	--	200	0.3	--	30*	0.1	--	--	400	5	
ANÁLISIS REALIZADOS POR EL MINISTERIO DE SALUD A TRAVÉS DE SUS LABORATORIOS DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL Y DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y AGUA.																								
Río Tamulasco, boca toma ANDA (31/01/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Gualcho, cantón San José. Punto de uso. (31/01/2011).	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Río Tamulasco. (01/02/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.007	--	--	--	--	--	8.38	<0.02	--	--	--	<0.02	--	--	<0.011	--
Caserío Gualcho, cantón San José. Punto de uso. (01/02/2011).	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cantón San José. (15/02/2011).	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Río Tamulasco, poza San Miguelito (05/04/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.007	--	--	--	--	--	13.8	0.088	--	--	--	<0.005	--	--	<0.047	--
Caserío Los Amates, cantón San José. (21/07/2011)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Poza el Pintor, Río Tamulasco (16/08/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.007	--	--	--	--	--	6.38	0.414	--	--	--	0.022	--	--	<0.047	--
Bocatoma Río Tamulasco (08/11/2011).**	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Agua Caliente, cantón San José (06/02/2012).	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Caserío Agua Caliente, cantón San José (06/02/2012).	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
ANÁLISIS SOLICITADOS POR ALCALDÍA MUNICIPAL DE CHALATENANGO, REALIZADOS POR LABORATORIOS ESPECIALIZADOS EN CONTROL DE CALIDAD (LECC).																								
Pozo alcaldía de Chalatenango. (19/11/2009).	--	166	230	230	2.07	10.4	0	21.1	--	64	0	64	0.1	0	--	0.14	0.07	9.2	<0.025	<0.025	10	12.7	--	--
CONSULTORÍA DE PRO-VIDA A AGUA DE POZO DE AZACUALPA, ANÁLISIS REALIZADOS POR LABORATORIOS ESPECIALIZADOS EN CONTROL DE CALIDAD (LECC).																								
Agua de Chorro, Alcaldía municipal de Azacualpa (13/05/2011).	<0.05	--	--	--	--	--	--	--	--	54	--	--	0.6	--	--	<0.05	--	--	<0.025	--	--	11.6	--	--
Agua de Chorro, de la Calle al Llano, El Aguacate, Azacualpa Chalatenango (13/05/2011).	<0.05	--	--	--	--	--	--	--	--	70	--	--	0.6	--	--	<0.05	--	--	<0.025	--	--	<1	--	--
Agua Nacimiento El Sitio, Azacualpa, Chalatenango (13/05/2011).*	<0.05	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.05	--	--	0.03	--	--	--	--	--	--

(*) Parámetro límite tomado de la Norma Regional de Calidad de Agua para Consumo Humano (CAPRE). (**) Fuentes de agua ubicadas fuera de zona de estudio.

Fuente: Registro histórico de análisis realizados por la Unidad de Saneamiento Ambiental de Chalatenango, Ministerio de Salud; Estudio técnico y económico del proyecto cantón San José Chalatenango, Alcaldía de Chalatenango; Consultoría: Estudio Técnico sobre fuentes de agua Municipio de Azacualpa, PRO-VIDA. Se han colocado en color rojo los valores que sobrepasan los límites de la norma.

- De los puntos analizados por el Ministerio de Salud, pertenecientes a pozos someros, un análisis presenta valores fuera de normativa para consumo humano de Coliforme fecal, Coliforme total y Escherichia Coli, por lo que el agua proveniente del pozo no es conveniente utilizarla para consumo humano sin tratamiento de desinfección previo. El resto de muestras analizadas no presentan problemas microbiológicos, ya que según comentan los inspectores de saneamiento ambiental, en la mayoría de ocasiones extraen el agua de los pozos la colocan en recipientes y aplican tratamiento de desinfección con “Puriagua”, posteriormente se toma la muestra que es enviada a analizar. Se hace de esta manera ya que el interés principal de su investigación es determinar que el agua que consume la población esté libre de problemas microbiológicos. En algunas muestras para detallar que se trata de agua con previo tratamiento colocan las palabras “en el punto de uso”, en la identificación de las mismas.
- De acuerdo a los resultados de análisis físico-químicos, bacteriológicos y de traza de metales proporcionados por la Alcaldía de Chalatenango del pozo profundo ubicado en el Cantón San José, los parámetros del agua analizados cumplen con los rangos permitidos por la Norma Salvadoreña de Agua Potable; sin embargo no fueron analizados todos los parámetros (véase tabla 7.15) que la norma establece.
- En cuanto a los resultados analizados del pozo de la Alcaldía Azacualpa, la muestra tomada de un grifo en las instalaciones de dicha alcaldía proveniente del tanque de almacenamiento municipal, en el cual se aplica tratamiento para desinfección microbiológica, no presentó valores fuera de norma en los parámetros analizados. Mientras la muestra obtenida de grifo ubicado en la calle El Llano, proveniente de la tubería de impelencia (previo al tanque de almacenamiento), los análisis microbiológicos presentaron valores fuera de norma por lo tanto el agua no es recomendable para consumo humano, sin previa desinfección. Además se presenta al final información complementaria correspondiente a manantial ubicado en el Municipio de Azacualpa, éste aunque

se encuentra fuera de la zona de estudio, se presenta debido a que el agua que proviene del manantial, para el corriente año (2013) se espera comience a sustituir el agua extraída del pozo, por los costos de bombeo que son demasiado elevados; de los parámetros analizados únicamente los microbiológicos presentaron valores fuera de norma, pero que pueden ser corregidos por medio de tratamientos desinfectantes con cloro.

7.5.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS A MUESTRAS PROVENIENTES DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

En la tabla 7.16, se presentan los resultados de los análisis físico-químicos, bacteriológicos y de traza de metales realizados en el marco de esta investigación.

CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Parámetros microbiológicos.

Los parámetros analizados de Coliforme total y *Escherichia coli*; presentaron en un 90% de las muestras valores fuera de lo admitido por la Norma Salvadoreña para agua potable; y es que este indicador de contaminación está estrechamente relacionado a las condiciones de saneamiento básico prevalentes en la zona de estudio. El Río Tamulasco y el Embalse reciben descarga de agua residual en sus cauces, además de que se observó durante el inventario de puntos de agua que los desechos humanos son depositados en fosas que se encuentran muy cercanas a los pozos. Por lo tanto la presencia de estos microorganismos explica el que las enfermedades más comunes en los habitantes de la zona de estudio fueron la diarrea y las infecciones en las vías urinarias según promotora de salud de la zona.

Tabla 7.16. Resumen de análisis microbiológicos, físico-químicos y de traza de metales, de agua proveniente de la zona de estudio.

ID	LUGAR Y FECHA DE MUESTREO.	MICROBIOLÓGICOS		FÍSICOS.					QUÍMICOS										QUÍMICOS INORGÁNICOS.										
		Coliforme total (UFC/100ml).	Escherichia coli (UFC/100ml).	Conductividad (µmho/cm)	pH 25 grados.	Oxígeno disuelto (mg/l O2).	Sólidos Totales Disueltos (mg/l).	Temperatura (°C).	Turbidez (UNT).	Bicarbonatos (mg/l).	Calcio (mg/l).	Cloruros (mg/l).	Demanda bioquímica de oxígeno DBO5 (mg/l).	Demanda química de oxígeno DCO (mg/l).	Dureza total como carbonato de Calcio, (mg/l).	Fosfato (mg/l).	Hierro total (mg/l).	Magnesio (mg/l).	Manganeso (mg/l).	Potasio (mg/l).	Sulfatos (mg/l).	Sodio (mg/l).	Arsénico (mg/l).	Cadmio (mg/l).	Mercurio (mg/l).	Nitratos (mg/l).	Nitrito (mg/l).	Plomo (mg/l).	Cloro residual (mg/l).
VALORES LÍMITES SEGÚN NSO 13.07.01.08.		0	0	400*	6-8.5	--	1000	18-30	5	--	100*	25*	--	--	500	--	0.3	30*	0.1	--	400	200	0.01	0.003	0.001	45	1	0.01	1.1
1	Embalse Cerrón Grande, caserío Gualcho (30/08/2012).	>100	9	70.3	7.2	5.24	35.1	29.9	6.5	77	18.5	4.2	N.D	23	36	0.21	0.1	16.4	0.1	4.3	20	16	<0.005	<0.002	<0.001	1.3	0.005	<0.005	--
2	Pozo de Don Félix Muñoz, caserío Gualcho (30/08/2012).	>100	>100	137.4	6.94	4.62	68.7	29.4	1.41	195	65.5	0.4	N.D	1	178	0.55	0.01	32.2	N.D.	1.4	17	12.6	<0.005	<0.002	<0.001	2.4	0.006	<0.005	--
3	Pozo de Teodoro Romero, caserío El Conacaste (30/08/2012).	>100	>100	114.4	6.87	1.28	57.2	28.3	1.41	--	--	5.8	40	72	124	0.51	N.D	--	0.2	--	11	--	--	--	1.1	0.002	--	--	
4	Pozo en funcionamiento del Centro Escolar Caserío Los Amates (30/08/2012).	>100	21	203	6.81	2.83	101.5	28.3	0.6	265	84.9	20.4	N.D	2	252	0.48	N.D	39.9	0.1	1.4	13	24.4	--	--	--	0.6	0.001	--	--
5	Pozo de Juan Romero, caserío Agua Caliente (30/08/2012).***	0	0	253	6.92	2.99	126.3	28.1	0.7	--	--	15.5	N.D	17	324	0.54	N.D	--	0.5	--	80	--	--	--	0.8	0.003	--	1	
6	Pozo de José Antonio Recinos, El Común Las Marías (06/09/2012).	>100	2	54.9	6.2	3.49	27.4	29.8	0.61	--	--	0.3	N.D	69	80	0.67	N.D	--	0.2	--	17	--	--	--	2.5	0.001	--	--	
7	Pozo de Alfonso Hernández, caserío La Concepción (06/09/2012).	>100	100	81.7	6.2	1.5	40.9	27.1	11.1	--	--	24	N.D	N.D.	94	0.87	0.04	--	0.3	--	53	--	--	--	3.2	0.001	--	--	
8	Río Tamulasco a 100 m aguas debajo de intersección con Río Muca (06/09/2012).	>100	>100	23.5	7.4	8.21	11.7	29	18.2	54	13.9	1.8	N.D	38	16	0.53	0.26	1.2	0.5	2.7	2	6.5	--	--	--	2.9	0.025	--	--
9	Pozo de Don Ángel Velásquez, calle a Cuesta de Marina (06/09/2012).	>100	2	55.6	6.8	4.84	27.8	28.5	0.3	282	157.1	0.7	N.D	1	72	0.32	0.02	29.8	0.1	2.1	6	38.5	--	--	--	0.9	0.001	--	--
10	Pozo de Alfaro Romero, caserío San José (06/09/2012).	>100	>100	245	6.9	4.38	122.6	27.5	0.6	--	--	0.9	N.D	10	76	0.33	N.D	--	0.1	--	6	--	--	--	1.5	N.D	--	--	

(*) Parámetro límite tomado de la Norma Regional de Calidad de Agua para Consumo Humano (CAPRE).

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de análisis realizados por el Laboratorio Integral de Calidad de Agua "Prof. Frank A. Escher" PRO-VIDA, y Laboratorios Especializados en Control de Calidad (LECC). Los resultados individuales para cada muestra se presentan en el Anexo G, así como, el Informe técnico final de consultoría de Calidad de Agua, presentado por la Asociación Salvadoreña de Ayuda Humanitaria PRO-VIDA, en el marco de esta investigación. Los valores de color rojo son los que exceden el establecido por las normas.

La única muestra que no presentó presencia de coliformes, fue la muestra extraída en pozo somero de uso doméstico, al cual se le aplicó directamente “Puriagua” la mañana del día en que se realizó el muestreo. Esta práctica no se considera correcta ya que la desinfección debe realizarse en un envase de volumen conocido, para aplicar la cantidad requerida de “Puriagua” y evitar problemas por exceso (concentración elevada de cloro residual) y por defecto (desinfección incompleta).

Parámetros físicos.

De los parámetros físicos evaluados únicamente la Turbidez presentó valores rechazables en tres muestras, las que eran provenientes de las aguas superficiales (aguas que están en constante movimiento y por consiguiente son valores esperados) y una muestra de un pozo somero de uso doméstico, resultado que puede deberse al uso incorrecto del pozo al no ser tapado adecuadamente o al agitar demasiado el agua del pozo lo que provoca la caída de las paredes del mismo y el que haya materiales suspendidos en el agua.

Parámetros químicos.

En este grupo de parámetros el único que presentó valores fuera de los permitidos por la Norma Salvadoreña de Agua Potable, fue la concentración de manganeso; en 4 muestras se determinó el valor límite, mientras que en 5 lo superó y solamente en una muestra correspondiente caserío Gualcho no fue detectado (aunque no se descarta su presencia). El valor más elevado se encontró en las muestras provenientes del Caserío Agua Caliente, tanto en pozo de uso doméstico, como en la muestra extraída del río Tamulasco a 500 m del pozo, con una concentración de 0.5 mg/l, siendo el valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 0.4 mg/l, según La Organización Mundial de la Salud.

No se ha evaluado este parámetro a una muestra extraída de pozo somero del caserío Agua Caliente, según registro histórico investigado; mientras que las muestras extraídas del río Tamulasco no han presentado valores elevados de este ion.

Debido a que no existe presencia de industrias dentro de la zona de estudio y a las poca concentración de manganeso en análisis previos realizados al río Tamulasco, podría descartarse la posibilidad que éste provenga de Industrias ubicadas en el casco urbano de Chalatenango, (aunque deberían de investigarse a través de análisis más recientes al agua del río Tamulasco). Aunque en la zona no se visualizan sembradíos de mayor extensión, no se puede descartar la procedencia del manganeso debido a pesticidas compuestos por éste.

Otra posible fuente de contaminación de manganeso podría ser la geología local; ya que en la zona de estudio, principalmente en el caserío Agua Caliente, se evidencia presencia de alteración hidrotermal en rocas, como se ha presentado en el capítulo II de esta investigación y a muestra de roca extraída de este lugar que fue enviada para análisis petrográfico. En dicho análisis se evidencia la presencia de Olivinos que están siendo reemplazados por iddingsita; recordando que la fórmula química del olivino es A_2SiO_4 , en algunos casos el lugar del aluminio es ocupado por metales como el hierro, magnesio, manganeso o níquel, lo que en este caso podría tratarse de manganeso y explicaría la presencia de este ion en el agua.

Parámetros químicos inorgánicos.

Ninguno de los parámetros evaluados de esta categoría, presentaron valores fuera de lo permitido por la Norma.

Cloro residual.

En la muestra correspondiente al pozo en que se aplicó “Puriagua”, los valores de cloro residual son aceptables, por lo que se considera que no representaría un problema para la salud.

Nota importante sobre los resultados.

Es de hacer notar que los resultados de los análisis obtenidos durante esta investigación son válidos para el momento y el lugar en el que se tomaron las muestras; las

características del agua pueden variar de un momento a otro según cambie el estado de las fuentes contaminantes; por lo que los resultados obtenidos durante este trabajo se consideran un indicativo temporal de las condiciones de la calidad de agua en la zona de estudio, ya que se tomaron las muestras en un día cualquiera.

OTROS USO DEL AGUA.

Aunque no se realizaron análisis de todos los parámetros que utiliza la DGOA, para asignar tipo de uso al agua, se presentan a continuación en la tabla 7.17, los resultados de los análisis realizados comparándolos con los límites propuestos por dicha institución.

Tabla 7.17. Comparación de resultados de análisis físico-químicos con respecto a límites para distintos usos del agua.

LUGAR Y FECHA DE MUESTREO.		Conductividad (umho/cm)	pH 25 grados.	Oxígeno disuelto (mg/l O ₂).	Sólidos Totales Disueltos (mg/l).	Turbidez (UNT).	Cloruros (mg/l).	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ (mg/l).	Sulfatos (mg/l).	Sodio (mg/l).	Nitratos (mg/l).	RAS (%)
RIEGO.		0-750	6.5-8.4	--	--	--	≤195	--	--	0-60	--	0-10
USO RECREATIVO.		--	--	≥7	--	≤10	--	--	--	--	--	--
1	Embalse Cerrón Grande, caserío Gualcho (30/08/2012).	70.3	7.2	5.24	35.1	6.5	4.2	N.D	20	16	1.3	0.65
2	Pozo de Don Félix Muñoz, caserío Gualcho (30/08/2012).	137.4	6.94	4.62	68.7	1.41	0.4	N.D	17	12.6	2.4	0.32
3	Pozo de Teodolo Romero, caserío El Conacaste (30/08/2012).	114.4	6.87	1.28	57.2	1.41	5.8	40	11	--	1.1	--
4	Pozo en funcionamiento del Centro Escolar Caserío Los Amates (30/08/2012).	203	6.81	2.83	101.5	0.6	20.4	N.D	13	24.4	0.6	0.55
5	Pozo de Juan Romero, caserío Agua Caliente (30/08/2012).***	253	6.92	2.99	126.3	0.7	15.5	N.D	80	--	0.8	--
6	Pozo de José Antonio Recinos, El Común Las Marías (06/09/2012).	54.9	6.2	3.49	27.4	0.61	0.3	N.D	17	--	2.5	--
7	Pozo de Alfonso Hernández, caserío La Concepción (06/09/2012).	81.7	6.2	1.5	40.9	11.1	24	N.D	53	--	3.2	--
8	Río Tamulasco a 100 m aguas debajo de intersección con Río Muca (06/09/2012).	23.5	7.4	8.21	11.7	18.2	1.8	N.D	2	6.5	2.9	0.45
9	Pozo de Don Ángel Velásquez, calle a Cuesta de Marina (06/09/2012).	55.6	6.8	4.84	27.8	0.3	0.7	N.D	6	38.5	0.9	0.74
10	Pozo de Alvaro Romero, caserío San José (06/09/2012).	245	6.9	4.38	122.6	0.6	0.9	N.D	6	--	1.5	--

Adicionalmente se debería de evaluar los parámetros: Color aparente, Boro, Fenoles, Cinc y Cobre. El índice RAS se calcula de la siguiente manera $RAS = [Na] / \sqrt{[(Ca+Mg)/2]}$ (concentraciones en meq/l).

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos en análisis físico-químicos del Anexo G.

Además se debe revisar el parámetro coliformes fecales, que en este trabajo no se realizó ya que se cuenta con unidades diferentes a las propuestas por el límite.

Agua para riego.

De acuerdo a la tabla 7.17, este uso estaría limitado para el agua obtenida en el pozo del sitio conocido por Común Las Marías y pozo de Caserío La Concepción, siendo el primero utilizado para regadíos. Si bien es cierto el pH obtenido no es en extremo ácido, podría limitar la absorción adecuada de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio, molibdeno y boro en las plantas.

Uso recreativo.

En su estado natural el uso recreativo de las aguas debería estar totalmente restringido a las fuentes del agua analizada, ya que en 9 de 10 muestras no existe suficiente oxígeno disuelto en las aguas, mientras que la que si lo posee es la muestra extraída del río Tamulasco, pero su turbidez es tal que supera el límite admisible, así como la presentada en el pozo del Caserío La Concepción.

HIDROGEOQUÍMICA.

De las diez muestras de agua extraídas de la zona de estudio, a cinco se le hicieron los análisis necesarios para la interpretación geoquímica de las aguas, estas muestras son la extraída del Embalse (AS-01), pozo C99|aserío Gualcho (PS-02), pozo Centro Escolar los Amates (PS-04), Río Tamulasco (AS-08) y Calle a Cuesta de Marina (PS-09).

Para comenzar el análisis se hace el balance iónico a los resultados de las muestras, presentado en tabla 7.18.

Tabla 7.18. Balance iónico de análisis de muestras 1, 2, 4, 8 y 9.

ID	Ca	Mg	Na	K	Total Cationes	HCO	SO	Cl	NO3	Total Aniones	% error
meq/l											
AS-01	0.923	1.349	0.696	0.110	3.078	1.263	0.416	0.118	0.021	1.818	25.730
PS-02	3.268	2.649	0.548	0.036	6.501	3.197	0.354	0.011	0.039	3.601	28.706
PS-04	4.237	3.282	1.061	0.036	8.616	4.345	0.271	0.575	0.010	5.201	24.718
AS-08	0.694	0.099	0.283	0.069	1.144	0.885	0.042	0.051	0.047	1.025	5.512
PS-09	7.839	2.451	1.675	0.054	12.019	4.624	0.125	0.020	0.015	4.783	43.067

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de análisis químicos de agua, Anexo G.

El porcentaje de error obtenido en el balance iónico es bastante alto en la mayoría de las muestras, obteniéndose un error aceptable en la muestra AS-8 con 5.5%; los porcentajes de error altos se podrían deber a una de las siguientes dos razones:

- 1) Debido a que algunos parámetros fueron evaluados en diferentes laboratorios.
- 2) La presencia en altas concentraciones de iones menores en las aguas.

A continuación se muestra el diagrama de Piper y posteriormente se presenta un cuadro resumen con la clasificación hidrogeoquímica de las aguas muestreadas acompañadas de su respectivo diagrama de Stiff.

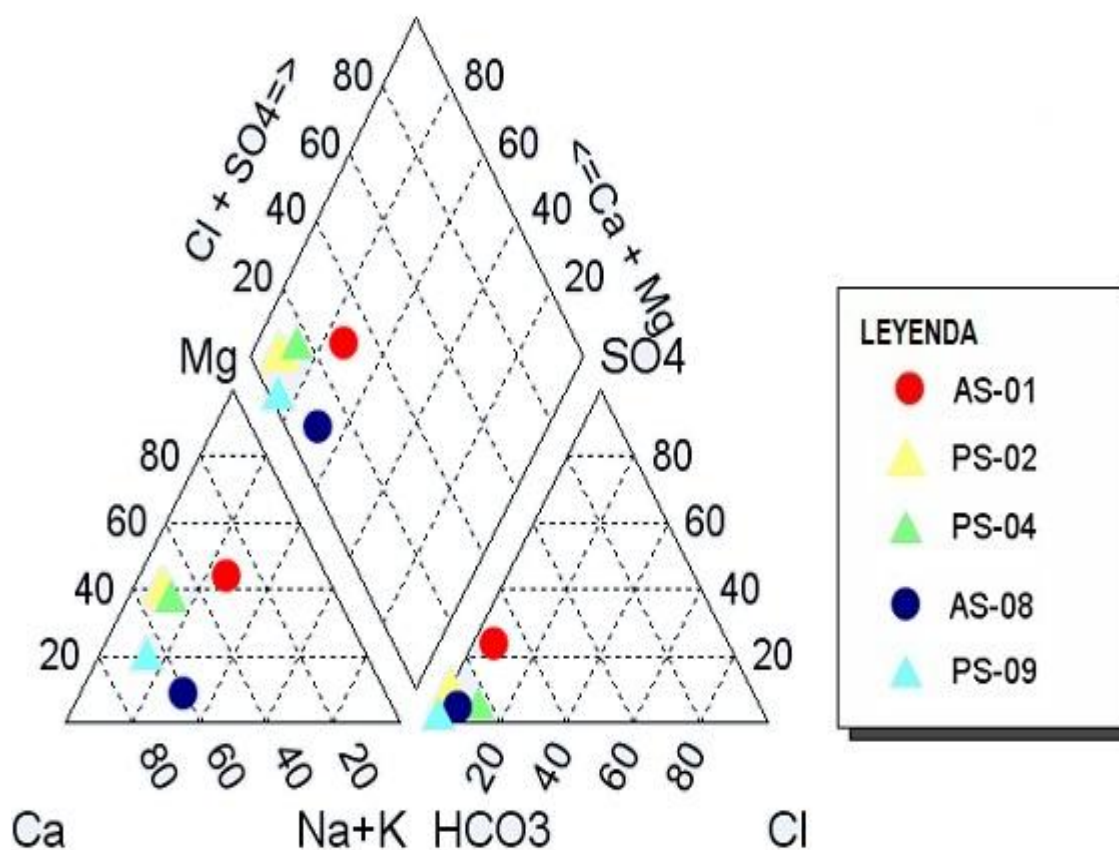


Figura 7.8. Diagrama de Piper para las muestras 1, 2, 4, 8 y 9.

En la simbología AS = Agua superficial; PS = Pozo somero.

Fuente: Elaboración propia en base a resultado de análisis presentados en anexo G, diagrama obtenido utilizando el programa informático AquaChem versión 5.1.

Tabla 7.19. Diagramas de Stiff y Clasificación de las aguas del Cantón San José.

ID.	Diagrama de Stiff.	Clasificaciones.
AS-01		<p>Por su Origen: Agua meteórica.</p> <p>Por Iones Dominantes: Agua Magnésica-Cálcica Bicarbonatada.</p> <p>Por su dureza: Blanda.</p>
PS-02		<p>Por su Origen: Agua meteórica.</p> <p>Por Iones Dominantes: Agua Cálcica-Magnésica Bicarbonatada.</p> <p>Por su dureza: Dura.</p>
PS-04		<p>Por su Origen: Agua meteórica.</p> <p>Por Iones Dominantes: Agua Cálcica-Magnésica Bicarbonatada.</p> <p>Por su dureza: Muy Dura.</p>
AS-08		<p>Por su Origen: Agua meteórica.</p> <p>Por Iones Dominantes: Agua Bicarbonatada Cálcica.</p> <p>Por su dureza: Blanda.</p>
PS-09		<p>Por su Origen: Agua meteórica.</p> <p>Por Iones Dominantes: Agua Cálcica Bicarbonatada.</p> <p>Por su dureza: Muy Dura.</p>

Fuente: Elaboración propia. Diagramas de Stiff creados en el programa informático AquaChem versión 5.1. Las clasificaciones fueron hechas en base a los datos expresados en la sección 7.2.5 Clasificación de las Aguas. El color de los diagramas corresponde al color utilizado en el diagrama de Piper para cada muestra.

De las muestras analizadas a partir de los diagramas de Stiff y de acuerdo a la clasificación por iones dominantes, las aguas procedentes de pozos, poseen el catión calcio como dominante junto al magnesio, por su parte los aniones son dominados por el bicarbonato, en el diagrama de Piper se visualizan las tres muestras ubicadas en la misma zona, por lo que se consideran aguas que pertenecen al mismo acuífero y son aguas que se clasifican de duras a muy duras.

Por su parte el agua proveniente del embalse es dominada por los cationes magnesio y calcio, por el lado de los aniones el dominante es el bicarbonato. En el agua derivada del Río Tamulasco el ion sobresaliente es el bicarbonato mientras que por los cationes es el calcio. Ambas aguas procedentes de la escorrentía superficial se clasifican como blandas.

Al visualizar el diagrama de Piper globalmente se determina que la composición química en general de las 5 muestras es similar. Custodio en 2001, proporciona datos acerca de la composición geoquímica del agua lluvia y establece que para aguas lluvias continentales pueden ser dominantes los iones Ca^{++} y el HCO_3^- , tal es el caso de las muestras analizadas, por lo que pueden clasificarse como de origen meteórico y además por pertenecer a un acuífero somero se estima que el tiempo que permanece el agua en el acuífero, le permite mantener su composición química (iones fundamentales principalmente).

CAPÍTULO VIII:
VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

8.1. INTRODUCCIÓN.

En un estudio de características hidrogeológicas de una región específica no debe faltar la evaluación de la vulnerabilidad del o los acuíferos encontrados, ya que esta información es de suma importancia para que las comunidades e instituciones pertinentes, tomen medidas para garantizar en primera instancia la afectación mínima del medio ambiente, al no contaminar sus aguas y además reducir los costos de explotación del agua subterránea, al necesitar lo menos posible tratamientos para su aprovechamiento.

Dentro de este capítulo en la sección 8.2, *Fundamentos de la Vulnerabilidad de Acuíferos*, se describen los conceptos básicos que se deben conocer sobre esta área del conocimiento, incluyendo los métodos para su determinación más conocidos en nuestro medio y las consideraciones que deben de tomarse para elegir uno u otro método, describiendo también algunos fundamentos para la elaboración de mapas de esta índole. Por otra parte en la sección 8.3, se exponen de forma breve algunos estudios de vulnerabilidad de acuíferos realizados en nuestro país a través de trabajos de investigación.

La sección 8.4, establece la metodología realizada en esta investigación para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos presentes dentro de la zona de estudio. El método desarrollado ha sido el GOD, y en esta sección se presenta en forma detallada en qué consiste el método, mostrando un esquema sistemático de su aplicación en la figura 8.1. También se argumenta la ponderación de los diferentes parámetros asignados a cada uno de los acuíferos estudiados.

Por último la sección 8.5, exhibe los mapas de vulnerabilidad GOD obtenidos, para la zona de estudio, mostrando en la figura 8.4, la distribución espacial de la vulnerabilidad para el acuífero somero y el local limitado por fallas; mientras que la figura 8.5, se presenta para el acuífero profundo, del cual se extrae agua de forma industrial para el abastecimiento de grandes asentamientos poblacionales.

8.2. FUNDAMENTOS DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

8.2.1. DEFINICIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

El término *vulnerabilidad de acuíferos*, es definido y nombrado de diversas maneras por los autores; algunos prefiriendo llamarlo como *vulnerabilidad de aguas subterráneas* y otros sustituyen el término vulnerabilidad por susceptibilidad; en este trabajo se adoptará la definición siguiente:

“La vulnerabilidad de acuíferos, es la tendencia o probabilidad con la que un contaminante puede acceder al acuífero a través del suelo y de la zona saturada; lo que expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales”.

Dentro del concepto de vulnerabilidad se deben distinguir la *vulnerabilidad intrínseca* y la *vulnerabilidad específica*; la primera depende de las características hidrogeológicas del acuífero, características que son permanentes en una escala razonable de tiempo y que determinan la mayor o menor accesibilidad del medio a la penetración de contaminantes, así como la atenuación del medio como resultado de la retención físico-química o de la reacción de los polucionantes con el terreno; y la segunda tiene en cuenta factores de carácter externo, como los climatológicos (precipitación y temperatura) y relativos a la carga contaminante (procedimiento de contaminación, lugar de penetración del contaminante en el acuífero, movilidad y persistencia del contaminante).

8.2.2. MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS.

Existe diversidad de métodos para evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, cada uno con particularidades que les proporcionan ventajas y desventajas, y en algunos casos los métodos son para aplicaciones específicas. De acuerdo a la metodología de

evaluación de la vulnerabilidad los métodos se pueden agrupar en 3 grupos, los cuales son:

- *Métodos de ambientes hidrogeológicos:* Estos evalúan la vulnerabilidad de grandes ambientes hidrogeológicos en términos cualitativos, utilizando una superposición de mapas temáticos.
- *Métodos de modelos analógicos:* Estos utilizan expresiones matemáticas para parámetros claves (tales como el tiempo de tránsito promedio en la zona no saturada) como un indicador del índice de vulnerabilidad.
- *Métodos de sistemas paramétricos:* Utilizan parámetros convenientemente seleccionados para representar la vulnerabilidad a los cuales les asignan distintos rangos e interacciones para generar un índice de vulnerabilidad absoluto o relativo.

Los métodos paramétricos cuentan con gran aceptación y es por ello que se cuenta con experiencias tanto a nivel nacional como internacional que avalan su funcionamiento.

En la siguiente tabla (8.1), se explican de manera resumida los métodos más conocidos en la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos; posteriormente se profundiza en el método GOD, el cuál se empleará en este trabajo.

Tabla 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.

<u>Método.</u> Autor	<u>Descripción.</u>	<u>Ventajas y desventajas.</u>
GOD Foster (1987)	Este método se basa en la asignación de índices entre 0 y 1, a 3 variables que son las que nominan el acrónimo: G = Tipo de acuífero (G round water occurrence). O = Litología de la cobertura (O verall aquiferclass). D = Profundidad del agua o del acuífero (D epth). Luego de asignar el índice a cada variable se evalúa en la siguiente ecuación: $V = G * O * D$ Obteniendo valores que van del 0.0 al 1.0.	<p>✓ Sencillo en su operación y escaso número de parámetros requeridos para su empleo.</p> <p>✗ No considera la incidencia del suelo, que es un factor importante considerándolo como filtro natural para la contaminación.</p> <p>✗ Proporciona definiciones menos claras por las pocas variables que utiliza.</p>

Continuación tabla 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.

<u>Método.</u> Autor	<u>Descripción.</u>	<u>Ventajas y desventajas.</u>
DRASTIC Aller et al (1987).	<p>Método muy usado tanto en la evaluación cualitativa como para mapeo. Se basa en la asignación de índices que van de 1 a 10 (1 mínima y 10 máxima vulnerabilidad) de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables (subíndice R); y además a éstas se les asigna un peso ponderado de 1 a 5 (subíndice W), a continuación se mencionan las variables consideradas en el acrónimo:</p> <p>D = Profundidad del agua freática (Depth). R = Recarga neta (Recharge). A = Litología del acuífero (Aquifer). S = Tipo de suelo (Soil). T = Topografía (Topography). I = Litología de la sección sub-saturada (Impact). C = Conductividad hidráulica del acuífero (Hydraulic Conductivity).</p> <p>La expresión con que se calcula la vulnerabilidad en este método queda definida de la siguiente forma:</p> <p style="text-align: right;">(8.2)</p> $V = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W \dots$ $\dots + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$ <p>Los valores de vulnerabilidad así obtenidos tienen extremos de 23 como mínimo y 230 como máximo, aunque en la práctica los valores varían entre 50 y 200.</p>	<p>✓ Se considera un método más robusto que el GOD, dado que emplea mayor cantidad de variables (7).</p> <p>✗ Debido a su mayor cantidad de variables a veces puede transformarse en un inconveniente cuando no se dispone de los valores de algunas de ellas.</p> <p>✗ Se le critica al método la reiteración en el alcance de algunos parámetros como R y C, ambos vinculados a la renovación de agua en el acuífero y la poca incidencia que tienen otros respecto a la vulnerabilidad como S.</p>
SINTACS Civita et al (1990).	<p>Este es un método derivado del DRASTIC, el cual ha sido adecuado a las características hidrogeológicas de Italia y al requerimiento de un mapeo de mayor detalle. El acrónimo italiano SINTACS comprende:</p> <p>S = Profundidad del agua (Soggiacenza). I = Infiltración (Infiltrazione). N = Sección sub-saturada (Non saturo). T = Tipo de suelo (Tipologia della copertura). A = Características hidrogeológicas del acuífero (Acquifero). C = Conductividad hidráulica (Conductività). S = Pendiente topográfica (Superficie topografica).</p> <p>Este método presenta una estructura compleja, tanto para la entrada de datos como para la salida, por lo que su operación se realiza mediante un programa computarizado preparado especialmente para el mismo.</p>	<p>Por ser un método derivado del DRASTIC, presenta las mismas ventajas y desventajas. Además por ser un método en el que se emplea un programa computarizado se agregan las siguientes:</p> <p>✓ Simplifica la introducción de nueva información (oscilación freática), lo que permite actualizar rápidamente la cartografía resultante, especialmente si se lo emplea dentro de un programa SIG.</p> <p>✗ Requiere el empleo del programa computarizado correspondiente y la falta de él limita el uso del método.</p>

Continuación tabla 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.

<u>Método.</u> Autor	<u>Descripción.</u>	<u>Ventajas y desventajas.</u>
AVI Van Stempvoort et al (1992).	<p>Acrónimo (ingles) de índice de vulnerabilidad de acuífero (aquifer vulnerability index), fue desarrollado para el mapeo de la vulnerabilidad del agua subterránea de la provincia de Prairie en Canadá. Cuantifica la vulnerabilidad a través de un parámetro denominado resistencia hidráulica (C, en años), el cual es función del espesor de la zona sub-saturada (d, en cm) y la permeabilidad vertical de los componentes de la misma (k, en cm/h); se calcula de la siguiente manera:</p> $C = \sum_{i=\text{estratos}} \frac{d_i}{k_i} \quad (8.3)$	<p>✓ Sencillo en su operación. ✗ Solamente considera 2 parámetros.</p>
EKv Auge (1995).	<p>Es un método creado para ser usado en acuíferos libres y cuyos parámetros a determinar son la profundidad de la superficie freática (E) y la permeabilidad vertical en la zona sub-saturada (Kv); a cada variable se le asigna índices que van de 1 a 5, posteriormente se suman y nos brindan un índice final, con extremos de 2 y 10; la expresión con que se calcula es la siguiente:</p> $EKv = E + Kv \quad (8.4)$	<p>✓ Sencillo y de fácil aplicación. ✗ Únicamente considera 2 parámetros.</p>
EPIK Doerfliger y Zwahlen (1997).	<p>Este es un método paramétrico para ser usado específicamente en acuíferos kársticos, el acrónimo significa:</p> <p>E = Zona de fisuras y grietas en terreno kárstico (Epikarst). P = Cubierta de protección (Protective cover). I = Condiciones de infiltración (Infiltracion conditions). K = Desarrollo de la red kárstica (Karst network development).</p> <p>El cálculo del índice de vulnerabilidad intrínseca se puede representar en la siguiente fórmula:</p> $Vi = \alpha * Ei + \beta * Pi + \gamma * Ii + \delta * Ki \quad (8.5)$ <p>En donde: Ei, Pi, Ii, Ki = Valores relativos a los parámetros E, P, I, K. α, β, γ, δ = Factores de ponderación para los parámetros EPIK, a los que proponen los autores 3, 1, 3 y 2 respectivamente.</p>	<p>✓ Es el único método desarrollado específicamente para acuíferos kársticos. ✗ Poca claridad en la definición de los parámetros K e I.</p>

Continuación tabla 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.

<u>Método.</u> Autor	<u>Descripción.</u>	<u>Ventajas y desventajas.</u>
$\Delta hT'$ Auge (2004).	Método desarrollado para acuíferos semi-confinados; considera que la vulnerabilidad de éstos, está controlada por propiedades físicas geométricas del acuitardo que conforma su techo y también por la diferencia de potencial hidráulico, las variables que se deben determinar son: Δh = Diferencia de potencial hidráulico. T' = Transmisividad vertical del acuífero. Considerando ambas variables se pueden establecer 3 grados de vulnerabilidad (alta, media y baja), determinados primariamente para Δh y secundariamente para T' .	✓ Método desarrollado para acuíferos semiconfinados. ✗ La transmisibilidad vertical es un parámetro que no es de fácil determinación.
BGR Höltling et al (1995).	Este método estima la protección de los materiales de la zona no saturada al acuífero, los parámetros que son necesarios determinar en la evaluación de la protección (P_T) son: S = Capacidad de campo efectiva del suelo. W = Recarga natural del acuífero. R = Litología. T = Espesor de cada una de las capas de la zona no saturada. Q = Presencia de acuíferos colgados. H_p = Condiciones de presión. Para cada parámetro se asocia un puntaje, los cuales se ponderan y se suman como se muestra en la ecuación 8.6; de la cual el resultado obtenido se traduce en la vulnerabilidad. (8.6) $P_T = W * S + (W * \Sigma(R * E) + Q + H_p$	✓ Método muy detallado. ✗ Requiere un elevado nivel de información, el que no siempre está disponible en los sistemas de acuíferos a estudiar.
PATHS. Valcarce y Rodríguez (2004)	Método que aplica un sistema por rangos ponderados (W) para calcular un índice directamente proporcional a la vulnerabilidad del acuífero; las variables que intervienen son: P_p = Precipitación. P = Profundidad del nivel freático. A = Litología del acuífero. T = Tectónica. PT = Pendiente Topográfica. HS = Hidráulica del suelo. La expresión que se utiliza para calcular la vulnerabilidad por este método es la siguiente: (8.7) $V = WP + WP_p + WA + WT \dots$ $\dots + WPT + WHS$	✓ Considera la tectónica entre las variables. ✗ Requiere conocer considerable cantidad de información.

Continuación tablas 8.1. Resumen de métodos para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos.

<u>Método.</u> Autor	<u>Descripción.</u>	<u>Ventajas y desventajas.</u>
GODE Auge et al (2004).	Este método desarrolla una modificación al método GOD, para usarlo en acuíferos confinados y semiconfinados; en el GODE se incluye la variable "E" la cual se refiere al espesor de la zona saturada correspondiente al acuífero libre sobrepuesto y el espesor del acuitardo.	✓ Aprovecha la experiencia que se tiene con el método GOD, al utilizar las mismas variables (con excepción de E) y el mismo sistema de ponderación.
GODS Foster et al (1996).	Este método es otra variante del método GOD, en la que se mantienen las tres variables y se incluye una cuarta correspondiente al suelo (S); este surge debido al consenso de algunos investigadores en que al método GOD le faltaba incluir el efecto del suelo.	✓ Aprovecha la experiencia que se tiene con el método GOD al utilizar la misma forma de determinación, con la diferencia de incluir la variable S.

Fuente: Mena G. & Montes J., Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada al antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona departamento de San Salvador, 2010, p. 59 y 60; Auge M., Vulnerabilidad de acuíferos conceptos y métodos, 2004; Hernández L., Haro J., & Mahlknecht J., Generación de índices de vulnerabilidad para acuíferos: Comparación de métodos; Valcarce R. & Rodríguez W., Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en los acuíferos cubanos, <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/lima/7valcarce.html>, 2004, consultado noviembre 2012.

ELECCIÓN DEL MÉTODO.

La elección del método para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos en una región depende de varios factores, entre los que se destacan:

- *Conocimiento y difusión de la metodología.* Existen países, regiones y hasta continentes, en los que algunos métodos son más conocidos y se han difundido más que otros. En los países latinoamericanos se utilizan principalmente los métodos GOD y DRASTIC.
- *Información disponible.* La evaluación de la vulnerabilidad de una región generalmente se realiza, al menos en su fase preliminar, empleando información existente. Los métodos requieren diferentes cantidades de parámetros por ejemplo: El método Ekv se basa en 2, GOD en 3 y DRASTIC Y SINTACS en 7.
- *Alcance de la evaluación.* En trabajos semiregionales y regionales que persiguen la planificación para la preservación y el uso adecuado de los recursos naturales en regiones relativamente extensas, resultan prácticos los

métodos que requieren menos valores paramétricos como el GOD y EKv; mientras que en los estudios de semidetalle y de detalle se logra una mejor definición de la vulnerabilidad con DRASTIC y SINTACS.

- *Validación de resultados.* Para validar la representatividad de las cartas de vulnerabilidad, suelen aplicarse las diferentes metodologías, a sitios afectos, a fin de verificar cuál de ellas resulta la más adecuada para luego emplearla con el objetivo de prevenir la contaminación.
- En los casos de evaluar la vulnerabilidad de acuíferos kársticos o semiconfinados se puede recurrir a emplear los métodos EPIK y $\Delta hT'$ respectivamente ya que son métodos creados para esos tipos de acuíferos.

8.2.3. MAPAS DE VULNERABILIDAD.

La síntesis de toda investigación sobre los recursos naturales, es su representación cartográfica; esta consideración es aplicable a la hidrogeología en general y a la vulnerabilidad del agua subterránea en particular. El uso de mapas de vulnerabilidad permite evaluar la magnitud del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en diferentes sectores de la misma ante la presencia de diversas actividades humanas.

Los mapas de vulnerabilidad son denominados como semáforo ya que la mayoría emplean los colores: verde, amarillo y rojo, para su representación; cuando se utilizan 5 categorías para la vulnerabilidad en lugar de 3, se incluyen los colores verde oscuro y rosa, tal como se presenta en la tabla 8.2 y figura 8.1.

A continuación se describe el uso de los mapas de vulnerabilidad en función de su escala:

- *Mapas regionales (menor de 1:500000):* Se emplean a nivel de reconocimiento y abarcan grandes extensiones territoriales; contribuyen en la planificación del uso sustentable del agua subterránea, generalmente se aplican al manejo de acuíferos compartidos interestatalmente.

- **Mapas semiregionales (1:100000-1:500000):** Se utilizan para evaluar la vulnerabilidad a nivel del ambiente hidrogeológico (región que presenta características distintivas en relación a sus aguas subterráneas como: geología, morfología, clima y biología).
- **Mapas semidetalle (1:25000-1:100000):** Se emplean para el estudio de cuencas hidrogeológicas o unidades acuíferas individuales.
- **Mapas de detalle (mayor de 1:25000):** Se usan para evaluar ambientes específicos como: zonas urbanas, regiones cultivadas y de cría de ganado, plantas industriales, etc.

Algunos mapas de vulnerabilidad incluyen la representación de puntos o lugares que suponen un riesgo para el agua subterránea, debido a la contaminación que en ellos se genera, como lo son: zonas industriales, granjas, zonas agrícolas, zonas urbanas, etc.

8.3. ALGUNOS ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS DESARROLLADOS EN EL SALVADOR.

Actualmente el país no cuenta con un mapa de vulnerabilidad de acuíferos ya que la información hidrogeológica existente es muy limitada; pero se cuenta con experiencia, de trabajos de investigación de universidades, en la aplicación de métodos paramétricos en el cálculo de vulnerabilidad en áreas muy limitadas, en las que se ha identificado algún riesgo para los acuíferos, entre estos trabajos podemos mencionar:

- **“Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada al antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona, departamento de San Salvador”;** por Gonzalo Mena y Juan Montes; tesis de pregrado de ingeniería civil, UES; año 2010. El objetivo de esta investigación era evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas en el sector donde se localiza el antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona; para lo cual se aplicaron los métodos GOD y DRASTIC, utilizando como SIG, ILWIS 3.7. Para ambos métodos se obtuvo un mapa de vulnerabilidad, en el caso del método GOD el resultado fue

un mapa que presenta en su totalidad una vulnerabilidad moderada, mientras que el método DRASTIC dio como resultado un mapa que presenta vulnerabilidades de moderadas a extremas; se le atribuyen las diferencias a la cantidad y al tipo de parámetros que intervienen en cada método.

- ***“Un enfoque de gestión ambiental del recurso hídrico desde la perspectiva de la vulnerabilidad de acuíferos”***; por Gloria Cerros; tesis de postgrado en gestión medio ambiental, UCA; año 2007. Entre los objetivos planteados en esta investigación estaba la aplicación de una metodología adaptable a nuestro país para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos, en la Subcuenca del río Acahuapa departamento de San Vicente; se utilizó el método GOD y el paquete informático ArcGis 8.3. Se obtuvo como resultado de la evaluación, vulnerabilidades que van desde la muy baja a la moderada para dicha zona de estudio.
- ***“Hidrogeofísica de la cuenca del río San Antonio, El Salvador: Aplicación al modelo conceptual y vulnerabilidad intrínseca”***; por Laura Gil y Mario Arias; tesis de postgrado en geología, UCR; año 2007. Entre los objetivos de este trabajo se planteó calcular la vulnerabilidad intrínseca del acuífero a partir del modelo conceptual que se obtuvo por medio de geofísica. Se utilizó el método GOD y se obtuvieron como resultado vulnerabilidades desde baja a alta, correspondiendo el 77% del área estudiada a la vulnerabilidad moderada.

Entre otros trabajos también podemos mencionar: ***“Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada en el Valle de Zapotitán”***, por Mario Escobar; y ***“Modelo conceptual y vulnerabilidad intrínseca del acuífero Quezaltepeque-Nejapa”***, por César Alvarado. Trabajos de pregrado en los que también se utilizó el método GOD (Escobar, utilizó además el método DRASTIC) para el cálculo de la vulnerabilidad de acuíferos en sus respectivas zonas de estudio.

8.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS EN LA SUBCUENCA DE RÍO MUCA Y MICROCUENCAS DE QUEBRADAS AL OESTE, LÍMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.

El objetivo de esta etapa de la investigación es determinar la vulnerabilidad intrínseca que poseen los acuíferos identificados en la zona de estudio.

ELECCIÓN DEL MÉTODO.

El método escogido es el GOD (Ground water occurrence, Overall aquiferclass, Depth), ya que está desarrollado específicamente para zonas en las cuales la información acerca del subsuelo y sistemas de agua subterránea es escasa. Las simplificaciones introducidas en este método están justificadas por la disponibilidad real de datos.

Al momento de interpretar los resultados obtenidos en esta investigación hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- El método tiene como contrapartida, que no es posible diferenciar un tipo de contaminante de otro (el valor numérico obtenido significa una u otra cosa en función del contaminante que se considere, quedando la interpretación en cierto grado a criterio del investigador).
- El método sólo toma en cuenta la posible atenuación de un contaminante antes de alcanzar la zona saturada, sin tomar en cuenta la dilución y dispersión en el acuífero.

DESARROLLO DEL MÉTODO GOD.

Este método se basa en la evaluación de 3 parámetros: Tipo de acuífero (G), litología de la cobertura (O) y profundidad del acuífero (D); a los que se les asigna un valor dependiendo de sus características. En la figura 8.1, se presenta el esquema

metodológico que se debe seguir para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos haciendo uso del método GOD.

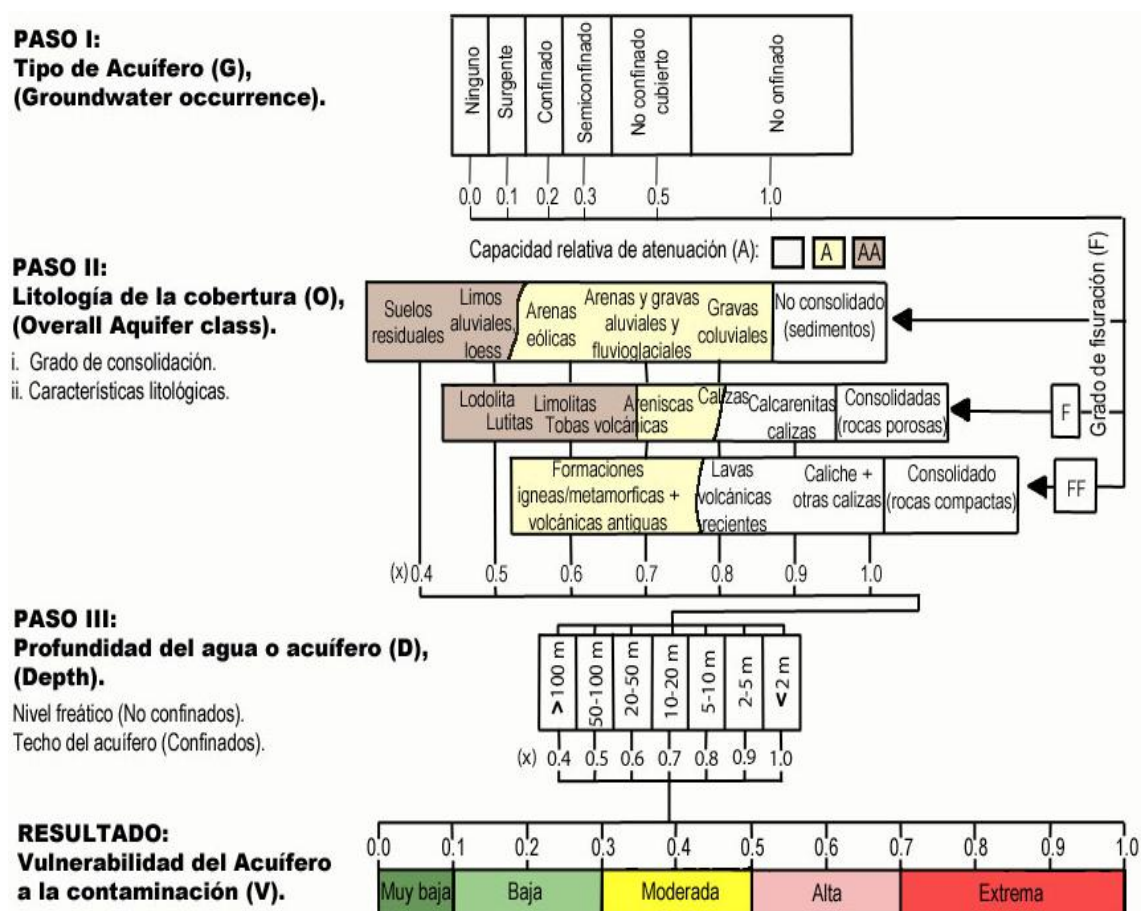


Figura 8.1. GOD; sistema empírico para la rápida evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos.

Fuente: Elaboración propia en base a Auge M., Vulnerabilidad de acuíferos conceptos y métodos, 2004, p. 5.

A continuación se describe en detalle cada parámetro y la forma en que se han asignado los valores a cada uno de ellos en esta investigación.

Tipo de acuífero (G).

Este parámetro está definido por el tipo de acuífero y el grado de confinamiento, para lo cual el índice varía entre 0.0 y 1.0. El tipo de acuífero puede catalogarse como: ninguno

(0.0), surgente (0.1), confinado (0.2), semiconfinado (0.4), no confinado cubierto (0.6) y no confinado (1.0).

Para determinar este parámetro es útil contar con un inventario de pozos y un modelo de elevación digital de la zona en estudio; el primero proporciona información sobre el tipo de acuífero y el segundo para referenciar geográficamente los datos que se poseen.

De acuerdo a la información obtenida en los capítulos IV y V (Geofísica aplicada e Hidrogeología), la zona de estudio posiblemente posee tres acuíferos, correspondiendo a un acuífero somero, un local generado por fallas y un acuífero profundo confinado. Partiendo de esta información la asignación del parámetro G fue de la siguiente manera:

Tabla 8.2. Valoración del parámetro G, para los acuíferos de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Acuífero.	Tipo de Acuífero.	G (valoración).
Acuífero somero.	No confinado.	1.0
Acuífero local generado por fallas	No confinado.	1.0
Acuífero profundo.	Confinado.	0.2

Fuente: Elaboración propia, basado en interpretación geofísica, información hidrogeológica y aplicando el sistema empírico GOD.

Litología de la cobertura (O).

Este parámetro se refiere al tipo de litología de la zona no saturada del acuífero (considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad) y al grado de consolidación de los materiales que lo constituyen (teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de permeabilidad por fisuras). La valoración asignada a “O” varía entre 0.4 y 1.0; y para la obtención de este parámetro se debe contar con información hidrogeológica. Se debe notar que cuando se presente una secuencia de depósitos diferentes, se debe seleccionar la litología predominante o limitante para caracterizar al sustrato suprayacente.

De acuerdo a la litología probable del lugar, el acuífero somero está conformado por piroclastos; al hacer uso de la figura 8.1, para determinar el valor de este parámetro, se observa que no está definido un valor de manera directa para éste material, pero

diferentes autores que han determinado vulnerabilidad de acuíferos en el país, considerando que se trata de un material no consolidado, recomiendan relacionarlo con un material volcánico reciente, asignándole un valor de “O” de 0.8. La formación identificada en el lugar del acuífero limitado por fallas muestra que en el lugar existen rocas basálticas fisuradas de la formación bálsamo por lo que el valor de G adoptado fue de 1.0 para los acuíferos libres y 0.2 para acuíferos confinados. En el acuífero profundo, es probable que el material predominante sobre éste sea toba.

A continuación se presenta en la tabla 8.3 el parámetro “O” para las litologías probables de la zona de estudio.

Tabla 8.3. Valoración del parámetro O, para la litología probable de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Litología.	Características.	O (valoración).
Piroclastos.	Poco consolidados.	0.8
Rocas Basálticas.	Rocas compactas fisuradas.	0.7
Tobas.	Material consolidado.	0.6

Fuente: Elaboración propia, basado en interpretación geofísica y aplicando el sistema empírico GOD.

Profundidad del acuífero (D).

Para este parámetro se toma en cuenta la profundidad a la cual se encuentra el nivel del agua subterránea en los acuíferos no confinados y al techo de éste cuando se trata de uno confinado; el índice varía de 0.6 a 1.0. Para la valoración de este parámetro es necesario contar con información sobre inventario de pozos, hidrogeología y modelo de elevación.

Para determinar el valor de este parámetro en el acuífero somero, se utilizó la profundidad del agua para el verano de 2012, obtenido a través del inventario de pozos y generando por medio de ArcMap10 la superficie para interpolar el nivel freático. En la figura 8.2, se muestra la distribución de profundidad obtenida para este acuífero y del limitado por fallas.

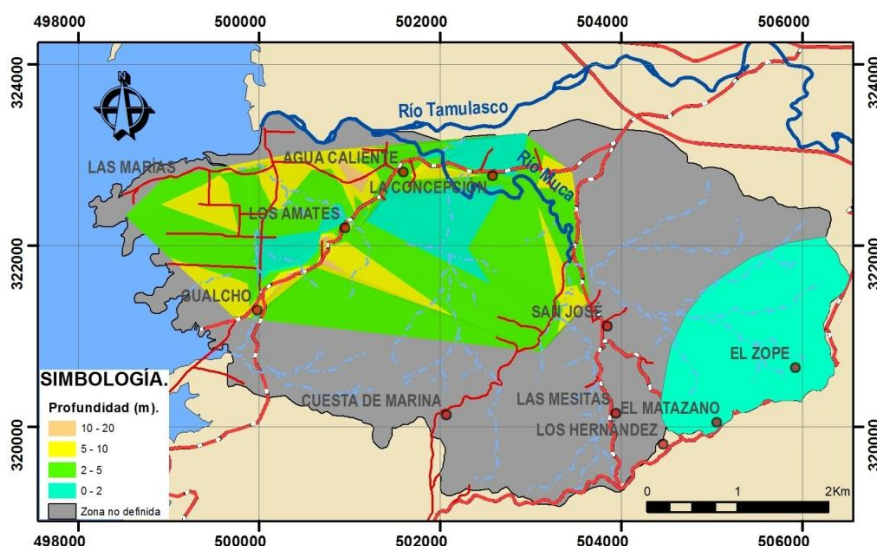


Figura 8.2. Profundidad del nivel freático interpolada para acuífero somero, verano 2012.

Fuente: Elaboración propia en base a inventario de pozos, obtenida a través del programa informático ArcMap10.

En la siguiente tabla se presenta la asignación del valor del parámetro “D” para cada rango de profundidades.

Tabla 8.4. Valoración del parámetro profundidad D, para el acuífero somero y el limitado por fallas.

Profundidad (m).	D (valoración).
0-2	1.0
2-5	0.9
5-10	0.8
10-20	0.7

Fuente: Elaboración propia, basado en inventario de pozos y manantiales; aplicación del sistema empírico GOD.

Para el acuífero profundo, debido a que se desconoce con precisión el nivel freático, se utilizará la profundidad probable del techo del acuífero obtenida a través del análisis geofísico. Como se cuenta con pocos datos al respecto se asignó el área de influencia para cada ubicación de SEV, utilizando el método de polígonos de Thiessen en el programa informático ArcMap10; nótese que este método se utilizó con el fin de regionalizar la profundidad del acuífero y no necesariamente es constante dentro de esa área. En la figura 8.3, se muestra la región de influencia asignada a cada SEV, mientras que en la tabla 8.5 se presenta la valoración del parámetro D, para cada profundidad.

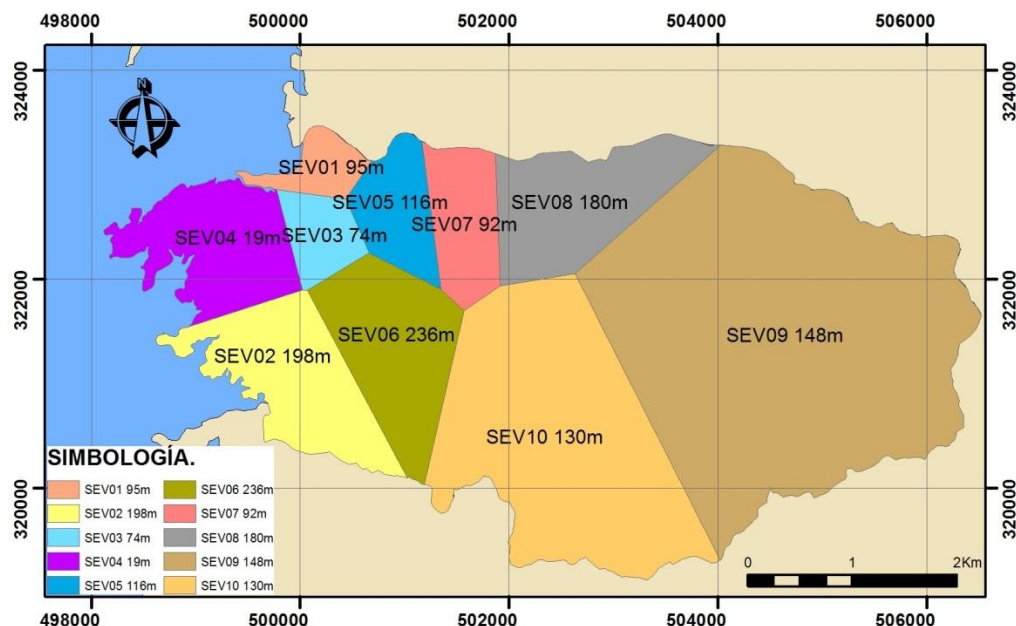


Figura 8.3. Zonas de Influencia asociadas a SEV en el Cantón San José, para la determinación de la profundidad del acuífero profundo.

Fuente: Elaboración propia, basado en análisis geofísica, elaborado en programa informático ArcMap10.

Tabla 8.5. Valoración del parámetro profundidad D, para el acuífero profundo de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

N°SEV	Profundidad(m)	D (valoración).
SEV 01.	95	0.5
SEV 02	198	0.4
SEV 03	74	0.5
SEV 04	19	0.7
SEV 05	116	0.4
SEV 06	236	0.4
SEV 07	92	0.5
SEV 08	180	0.4
SEV 09	148	0.4
SEV 10	130	0.4

Fuente: Elaboración propia, basado en la campaña geofísica y en sistema empírico GOD.

Una vez obtenidos los valores (índices) de cada parámetro se evaluó en la ecuación 8.1, obteniendo así el índice de vulnerabilidad GOD. A continuación en las tablas 8.6 y 8.7 se presenta el resumen de la valoración de los parámetros G, O y D y la obtención del índice de vulnerabilidad GOD, para los acuíferos de la zona.

Tabla 8.6. Obtención del índice de vulnerabilidades GOD, para el acuífero somero y el limitado por fallas de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Zona delimitada por profundidad (m).	G	O	D	V _{GOD}
0-2	1.0	0.8	1.0	0.80
2-5	1.0	0.8	0.9	0.72
5-10	1.0	0.8	0.8	0.64
10-20	1.0	0.8	0.7	0.56
Acuífero limitado por fallas.	1.0	0.7	1.0	0.7

Fuente: Elaboración propia, basada en datos expresados en tablas 8.2, 8.3 y 8.4. Aplicando la fórmula $V_{GOD}=G*O*D$.

Tabla 8.7. Obtención del índice de vulnerabilidad GOD, para acuífero profundo de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Zona delimitada por la influencia de la profundidad de cada SEV.	G	O	D	V _{GOD}
SEV 01.	0.2	0.6	0.5	0.06
SEV 02	0.2	0.6	0.4	0.05
SEV 03	0.2	0.6	0.5	0.06
SEV 04	0.2	0.6	0.7	0.08
SEV 05	0.2	0.6	0.4	0.05
SEV 06	0.2	0.6	0.4	0.05
SEV 07	0.2	0.6	0.5	0.06
SEV 08	0.2	0.6	0.4	0.05
SEV 09	0.2	0.6	0.4	0.05
SEV 10	0.2	0.6	0.4	0.05

Fuente: Elaboración propia, basada en datos expresados en tablas 8.2, 8.3 y 8.5. Aplicando la fórmula $V_{GOD}=G*O*D$

Para la interpretación de los resultados obtenidos del índice de vulnerabilidad aplicando el método GOD, puede utilizarse la tabla 8.8, tabla en la cual se presentan los rangos del índice de vulnerabilidad, la clasificación de vulnerabilidad asociada del acuífero, el color representativo que se utiliza en mapas de vulnerabilidad para cada clasificación obtenida y además se presenta una breve descripción, sobre lo que implica la clasificación.

Tabla 8.8. Valoración del índice GOD para la vulnerabilidad de los acuíferos.

Índice obtenido (V).	Clasificación de vulnerabilidad del acuífero.	Color representativo en mapas de vulnerabilidad.	Descripción.
0.0-0.1	Muy baja.	 Verde oscuro.	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.
0.1-0.3	Baja	 Verde Claro.	Vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos períodos de tiempo.
0.3-0.5	Moderada.	 Amarillo.	Vulnerable a algunos contaminantes sólo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
0.5-0.7	Alta.	 Rosa.	Vulnerable a muchos contaminantes, en muchos escenarios de contaminación.
0.7-1.0	Extrema.	 Rojo.	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.

Fuente: Mena G. & Montes J., Evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada al antiguo botadero de desechos sólidos de Mariona departamento de San Salvador, 2010, p. 46; Auge M., Vulnerabilidad de acuíferos conceptos y métodos, 2004, p. 5 y 16; D'Elia M., Protección de la calidad del agua subterránea.

8.5. VULNERABILIDAD “GOD” DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS DE QUEBRADAS AL OESTE UBICADAS LIMITROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.

Partiendo de la información geológica, geofísica e hidrogeológica obtenida durante la investigación, la cual ha sido presentada a lo largo de los capítulos anteriores, se presentan a continuación los resultados del índice de vulnerabilidad GOD, para los acuíferos encontrados en la zona de estudio.

8.5.1. VULNERABILIDAD “GOD” DE LOS ACUÍFEROS SOMEROS Y LOCAL LIMITADO POR FALLAS.

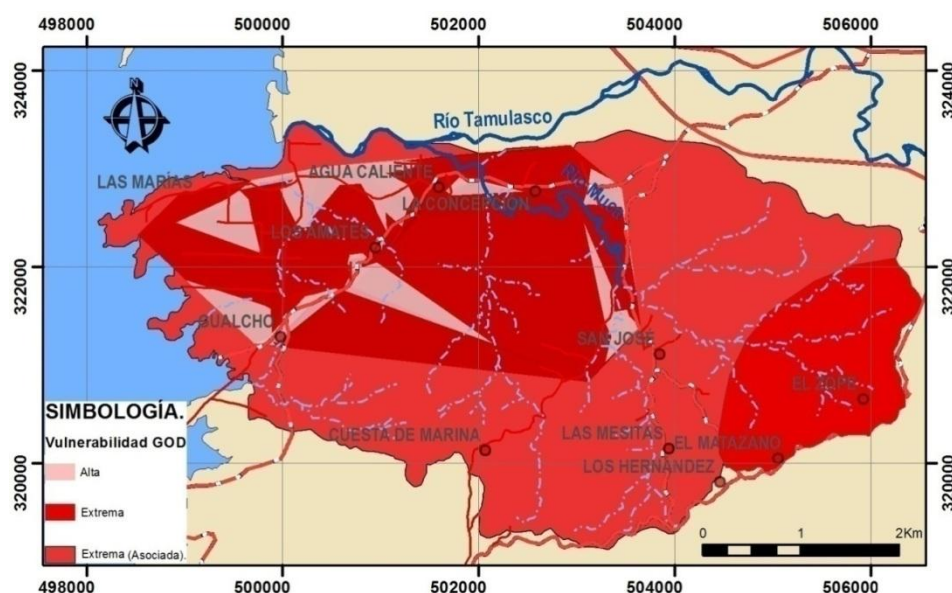


Figura 8.4. Mapa de Vulnerabilidad GOD, para el acuífero somero y el limitado por fallas de la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Fuente: Elaboración propia, utilizando el software informático ArcMap10.

En la figura 8.4 se presentó el mapa de vulnerabilidad GOD, mostrando tres categorías Alta, Extrema, y Extrema asociada, las primeras dos categorías representan zonas en las

que la información recolectada en esta investigación permite asociar un índice de vulnerabilidad; mientras que en la última por carecer de datos que caractericen esa región, se le ha asociado a la categoría extrema, por tratarse de una región con características similares y debido a que no ha sido posible delimitar el acuífero superficial, además se considera que en esa región, de existir un acuífero somero, la vulnerabilidad GOD que posee sería de la categoría extrema.

8.5.2. VULNERABILIDAD “GOD” DEL ACUÍFERO PROFUNDO.

De acuerdo al mapa 8.4, en la zona de estudio para el acuífero somero se determinó una vulnerabilidad que va de alta a extrema, mientras que el acuífero limitado por fallas se caracteriza por ser extrema; por lo que se considera que en la mayoría de los contaminantes generarían un impacto rápido en el recurso hídrico que estos acuíferos poseen.

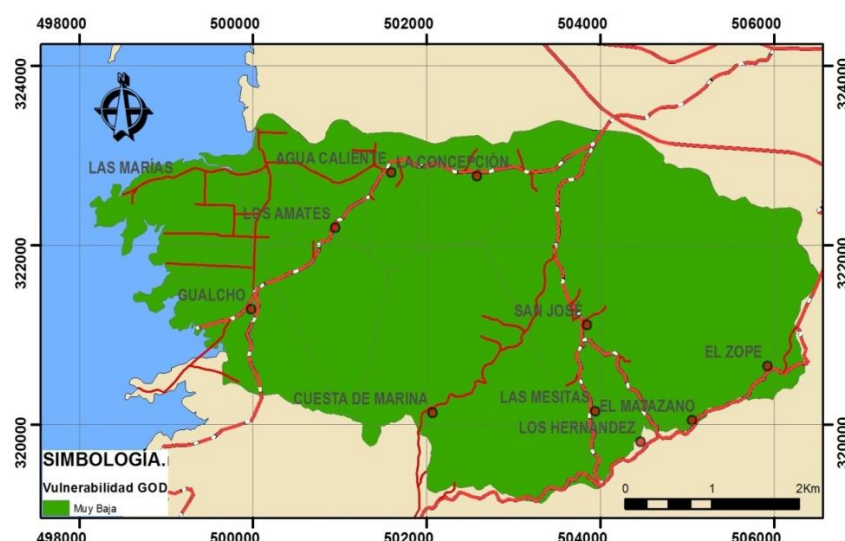


Figura 8.5. Mapa de vulnerabilidades GOD, para acuífero profundo ubicado en la región hidrográfica del Río Muca y micro-cuencas al oeste, limítrofes con el Embalse Cerrón Grande.

Fuente: Elaboración propia, utilizando el programa informático ArcMap10.

De acuerdo a las variables analizadas el acuífero profundo, presenta vulnerabilidad GOD muy baja, por lo que representa baja susceptibilidad a contaminación por percolación porque las capas que confinan el acuífero son de bajas permeabilidades.

CAPÍTULO IX:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.

9.1. CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se presentan a continuación están enfocadas en dar respuesta a las preguntas hechas en el planteamiento del problema del capítulo I, estructuradas de acuerdo al orden en que se desarrolló la investigación.

1. Las formaciones geológicas identificadas en la zona de estudio favorecen a la infiltración de las aguas, ya que en las zonas bajas están caracterizadas por piroclastos no consolidados, mientras que en las zonas altas por la presencia de rocas fisuradas; y siendo que la pendiente media de la zona de estudio aproximadamente es del 14%.
2. La existencia de fallas dentro de la zona de estudio explicaría el hecho de que en zonas como el caserío Agua Caliente, se encuentren pozos secos, mientras que en zonas como los Amates que tienen mayor elevación, se encuentren pozos con un nivel piezométrico cercano a la superficie.
3. Durante la época seca la escorrentía superficial dentro de la zona de estudio es baja, ya que hasta el Río Muca, presenta un flujo despreciable, en comparación al que despliega en época invernal.
4. De acuerdo a la interpretación de los resultados de la investigación geofísica realizada en la zona de estudio, se ha determinado la posible existencia de dos tipos de acuíferos superpuestos, uno somero ubicado en la zona correspondiente a una posible formación piroclástica y en el cual se detectó posible humedad a una profundidad de 6 – 15 m; y otro profundo en la que pueden existir materiales de origen sedimentario a una profundidad promedio estimada de 130 m (profundidad muy variable de acuerdo a los sondeos realizados). Estos acuíferos estarían separados por una capa de arcilla y otra de tobas, que los aíslan, por lo que se descarta que la existencia de nuevos pozos profundos afecte el agua de los pozos superficiales.
5. Durante los Sondeos Eléctricos verticales se registraron resistividades de los materiales menores a los 10 Ω .m, los cuales no son usuales en las investigaciones

de aguas subterráneas que no están en contacto con agua salada; por lo que se consideró que en el lugar podría haber algún tipo de alteración en los materiales que favorece a la conductividad eléctrica.

6. Las aguas de los ríos Tamulasco y del Embalse Cerrón Grande, no representan mayor influencia sobre el acuífero somero en la zona de estudio, ya que de acuerdo a las líneas de flujo, este acuífero es el que podría estar aportando agua a esos ríos.
7. De acuerdo al balance hídrico en la zona, la escasez de agua en el acuífero somero en algunos puntos podría responder a que durante el año 2011, la cantidad de agua precipitada fue inferior, a la que se calculó como la promedio anual de los últimos 30 años, ya que según los resultados obtenidos, la posible cantidad de agua almacenada en un año promedio debería ser suficiente para cubrir las necesidades de la población actual.
8. El agua extraída de los pozos someros, no es apta para el consumo humano sin un previo tratamiento microbiológico y tratamiento para la reducción de la concentración del manganeso. Además, en términos generales el uso agrícola en algunos pozos estaría limitado por el bajo pH del agua. Mientras que el uso recreativo del agua estaría limitado por la baja concentración de oxígeno disuelto o por la turbidez en algunos casos.
9. La población a pesar de las constantes visitas de la promotora de salud de la zona, aún realizan mal manejo de los pozos, ya que en algunos casos se detectó turbidez en el agua y en otros se identificó la inadecuada utilización del “Puriagua” al aplicarlo directamente a éstos.
10. El agua extraída del acuífero somero, se considera de origen meteórico, y se clasifica de acuerdo a su composición química, como Agua Cálcica-Magnésica Bicarbonatada, y que en general son consideradas aguas muy duras.
11. La vulnerabilidad GOD del acuífero somero y del acuífero local limitado por fallas se considera en la mayoría de su amplitud como extrema, por lo que

cualquier contaminante introducido a éstos, desencadenaría en una rápida contaminación de las aguas.

12. La vulnerabilidad GOD del acuífero profundo se determinó como muy baja dentro de los límites de la zona de estudio, por lo que se considera que la percolación no afecta significativamente a este acuífero. Cabe mencionar que de este acuífero no se han establecido los límites de sus dimensiones laterales por lo que se considera que trasciende a las fronteras de la zona estudiada.

9.2. RECOMENDACIONES.

1. Se debe hacer un estudio enfocado en el acuífero subterráneo para determinar su estado de explotación, ya que existen al menos 4 pozos industriales en operación, tres de ellos muy cercanos; y al cierre de esta investigación se tiene conocimiento que la alcaldía de Chalatenango ha perforado uno nuevo, ubicado en el plan de las Tenerías cercano al pozo de la Alcaldía de Azacualpa.
2. Es necesario se realicen análisis físico-químicos, bacteriológicos, traza de metales, pesticidas y de detergentes a los pozos profundos tal y como lo establece la Norma para Agua Potable de El Salvador.
3. Se recomienda a las instituciones interesadas en realizar investigaciones de análisis del agua, hacer uso del inventario de pozos presentado en esta investigación para realizar un mejor control de las viviendas visitadas y de los pozos analizados; el cual puede servir como guía en la determinación de pozos representativos conforme a la actividad que se esté realizando.
4. Se debe hacer un estudio enfocado en el análisis del origen de la concentración elevada del manganeso en el agua y de la determinación del procedimiento adecuado para la reducción de su concentración, ya que en esta investigación se estableció como posibilidad de procedencia la litología.
5. Se recomienda implementar un sistema de alcantarillado, para la evacuación o disposición final de excretas y de aguas residuales ya que actualmente en el Cantón San José, para la disposición de excretas se hace uso de letrinas.

GLOSARIO.

A

ÁCIDO CÍTRICO: Es un ácido orgánico tricarbónico que está presente en la mayoría de frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja; su fórmula química es $C_6H_8O_7$. Es un buen conservante y antioxidante natural

ÁCIDO ORTOSILÍCICO: Es un ácido que pertenece una familia de compuestos químicos que contienen silicio adosado a grupos de óxido o hidroxilo; su fórmula química es H_4SiO_4 . Este ácido es la forma común en que se presenta el silicio en los océanos.

ÁCIDO OXÁLICO: Es un ácido común en las plantas del género *Oxalis* y en una amplia gama de vegetales como las espinacas; su fórmula química es HO_2CCO_2H o $C_2H_2O_4$. Este ácido es moderadamente tóxico ya que puede precipitar el calcio en forma de oxalato de calcio lo que deriva en obstrucción de los capilares renales; los cálculos en los riñones suelen contener una parte importante de oxalato cálcico.

ÁCIDO TARTÁRICO: Es un ácido carboxílico cuya fórmula química es $C_4H_6O_6$. Este ácido se encuentra en muchas plantas y en la naturaleza en forma de tartrato ácido de potasio en el zumo de la uva. Se utiliza en la preparación de bebidas efervescentes como gaseosa, en fotografía y barnices, etc.

ÁCIDO HÚMICO: Estos ácidos son los principales constituyentes del humus (materia orgánica que se encuentra en el suelo) y son los precursores de combustibles fósiles.

AFORO: Medida del caudal de un curso de agua en un punto y durante un periodo determinado.

AFLUENTE O RÍO TRIBUTARIO: Corriente de agua que desemboca en otra corriente más importante por su longitud, caudal, superficie de la cuenca y los aluviones que transporta.

AGUAS CONGÉNITAS: Son un subproducto de la extracción de crudo al igual que el gas natural que fluye a través del pozo. El vertido incontrolado genera un enorme impacto sobre el ambiente. Las concentraciones de sales en estas aguas varían entre 10 y 150 g/l.

AGUAS POLUCIONADAS: Se denomina de esta manera cuando la composición o estado de un agua están tan alterados de tal modo que no reúnen las condiciones para su utilización, como se hubiera destinado en su estado natural.

AMBLIGONITA: Mineral, fluofosfato de aluminio y litio PO_4LiAlF .

ALUVIÓN: Sedimento no consolidado depositado por un río

ANDESITA: Roca ígnea volcánica de composición intermedia, su composición mineral comprende plagioclasas y varios otros minerales ferro-magnesianos como piroxeno, biotita y hornblenda.

ANHIDRITA: Mineral, sulfato de calcio anhidro SO_4Ca . Cristaliza en el sistema romboédrico, tiene aspecto fibroso, a veces es granudo, de color blanco, traslúcido.

ANOMALÍA: Del latín *prospicere*, examinar. De lo que se trata es de registrar, procesar y graficar la respuesta dada por distintos campos físicos en las áreas de potencial interés exploratorio o de desarrollo de recursos

ANTICICLÓN: Es una zona atmosférica de alta presión, en la cual la presión atmosférica (corregida al nivel del mar) es superior a la del aire circundante. El aire de un anticiclón es más estable que el aire que le circunda y desciende sobre el suelo desde las capas altas de la atmósfera, produciéndose un fenómeno denominado subsidencia. Los anticiclones, debido a lo anterior, provocan situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones, ya que la subsidencia limita la formación de nubes.

APATITA: Mineral, fosfato tricálcico de flúor y cloro $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}\cdot\text{Cl}$. Es soluble en el ácido clorhídrico (HCl). Se le encuentra en las rocas eruptivas (pegmatitas) y en las metamórficas.

ARENISCA: Conocida como psamita, es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena, constituye el 20% de las rocas sedimentarias.

B

BAKERITA: Silicato borato hidratado de boro y calcio.

BASALTO: Roca ígnea volcánica de color oscuro de composición máfica, rica en silicatos de magnesio y hierro, con bajo contenido de sílice y es de las rocas más abundantes de la corteza terrestre.

C

CALCÁREO: De la roca sedimentaria cuyos componentes esenciales son los carbonatos de calcio y magnesio.

CALIZA: Es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca.

CARNALITA (Carnallita): Es un haluro $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, se presenta en masas compactas incoloras o rosadas (contenido de hematita), se forma en la fase final del proceso evaporítico. Se le usa como fertilizante potásico y es mena de magnesio, potasio, cloro.

CAUCE: El cauce natural de una corriente continúa o discontinua es el terreno que cubren las aguas cuando se producen las crecidas máximas ordinarias.

CAUDAL: Cantidad de fluido que atraviesa una sección conocida de una corriente durante una unidad de tiempo concreta. Generalmente se expresa en m^3/s .

CIANOSIS: Es la coloración azulada de la piel, mucosas y lechos ungueales (tejido entre las uñas y los dedos).

CICLÓN: Usualmente suele aludir a vientos intensos acompañados de tormenta; aunque también designa a las áreas del planeta en las cuales la presión atmosférica es baja. En esta segunda acepción el significado de ciclón es equivalente al de borrasca, y es el fenómeno opuesto al anticiclón.

CIÉNAGA: Zona mal drenada en una llanura de inundación que aparece cuando hay diques naturales.

CINDER: Es un material piroclástico (roca volcánica); el cinder es similar a la pómez, con muchas cavidades y posee baja densidad que puede flotar en el agua y es color café.

CLASTOS: Fragmentos de roca que aparece en sedimentos de menor antigüedad.

CONDUCCIÓN: Equipamiento de servicios para conducir agua mediante tuberías o canales.

CONFLUENCIA: Lugar donde confluyen y se mezclan aguas diferentes.

CONGLOMERADO: Roca sedimentaria compuesta de granos redondeados de tamaño de la grava o mayor.

CUENCA OCEÁNICA: Porción del suelo oceánico que se encuentra entre el margen continental y el sistema de dorsales oceánicas. Esta región comprende casi el treinta por ciento de la superficie terrestre.

D

DACITA: Roca ígnea volcánica con alto contenido de hierro, se compone principalmente de feldespato, plagioclasas con biotita, hornblenda y piroxeno.

DETRITOS: Son residuos generalmente sólidos permanentes, que provienen de la descomposición de fuentes orgánicas (vegetales y animales). **DEUTERIO:** Es un isótopo estable del hidrógeno, cuyo símbolo es 2H . Se encuentra en la naturaleza con una abundancia del 0.015% de átomos de hidrógeno. El núcleo del deuterio está formado por un protón y un neutrón a diferencia del hidrógeno que solo posee un protón.

DIACROMATO POTÁSICO (Dicromato de potasio): Su fórmula química es $K_2Cr_2O_7$ es una sal del

hipotético ácido dicrómico ($H_2Cr_2O_7$). Es una sustancia de color anaranjado intenso. Es un oxidante fuerte. En contacto con sustancias orgánicas puede provocar incendios

DIASTROFISMO: Es el conjunto de muchos procesos y fenómenos geofísicos de deformación, alteración y dislocación de la corteza terrestre por efecto de las fuerzas internas.

DIATOMITA: Roca sedimentaria silícea formada por micro fósiles de diatomeas, algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula.

DIORITA: Roca plutónica de composición intermedia compuesta generalmente de dos tercios de plagioclasas y un tercio de minerales oscuros como hornablenda, biotita y a veces piroxeno.

DATOLITA: Nesosilicato de calcio y boro $CaB_4(OH)SiO_4$. Cristales con múltiples facetas del sistema monoclinico, incoloro y blanquecino, jaspeado de color verde. Mineral secundario formado en las cavidades de las rocas basálticas, serpentinas e hidrotermales, dura, fractura concoidea. Es mena del boro, ocasionalmente se le usa como gema.

DOLOMÍA: Carbonato de calcio y magnesio, más resistente que la calcita.

E

EDAD DE LOS ANFIBIOS:

Corresponde al período Carbonífero y parte del Pérmico, entre 354 y 248 millones de años atrás, (106 millones de años de duración), en este tiempo abundaron los anfibios, y aparecieron los primeros reptiles.

EDAD DE LOS INVERTEBRADOS:

Corresponde a los períodos Cámbrico y Ordovícico, entre 540 y 243 millones de años atrás (297 millones de años de duración), aparecieron los primeros organismos con concha y los Trilobites eran dominantes.

EDAD DE LOS PECES:

Corresponde a los períodos Silúrico y Devónico entre 443 y 354 millones de años atrás (91 millones de años de duración), los peces eran dominantes y parecieron las primeras plantas terrestres.

EDAD DE LOS REPTILES:

Esta edad abarca completamente la Era Mesozoica, entre 248 y 65 millones de años atrás (183 millones de años de duración). Se caracteriza porque durante ese tiempo los reptiles alcanzaron un extraordinario desarrollo y tamaño gigantesco (dinosaurios).

EDAD GEOLÓGICA:

Es una unidad geocronológica formal de la escala temporal geológica que representa el tiempo correspondiente a la duración de un piso. Los pisos, a su vez, son los conjuntos de estratos sucesivos que cubren la totalidad del Fanerozoico (los últimos 540 millones de años), definidos principalmente por criterios bioestratigráficos, es decir, por presentar conjuntos de fósiles consistentes y

diferenciables de las unidades adyacentes inferior y superior inmediatas.

ELECTRODO: Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

ELECTROLITO: Es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten de iones en solución, los electrólitos también son conocidos como **soluciones iónicas**, pero también son posibles electrólitos fundidos y electrólitos sólidos.

ENDÓGENO: Término utilizado por distintas disciplinas para hacer referencia a algo que es originado dentro de una cosa.

ENLACE COVALENTE: Un enlace covalente entre dos átomos o grupos de átomos se produce cuando estos, para alcanzar el octeto estable, comparten electrones del último nivel.

EÓN: La mayor unidad de tiempo en la escala geológica anterior en orden de la magnitud era. Representan aproximadamente 1,000 millones de años.

EÓN ARCAICO: Segundo eón del tiempo Precámbrico. Es posterior al Hádico y previo al Proterozoico. Se extiende desde 3800 millones de años hasta hace 2500 millones de años. Se produce una evolución de la corteza terrestre, por lo cual tuvo que haber un

movimiento de placas y una estructura interna terrestre similar a la que conocemos hoy en día, aunque la diferenciaba el exceso de calor.

EÓN FANEROZOICO: Parte del tiempo geológico representado por rocas que contienen abundantes restos fósiles. Se extiende desde el final del eón Proterozoico hace 570 millones de años hasta la actualidad.

EÓN HÁDICO: El primer eón en la escala de tiempo geológico. Comienza desde que se formó la tierra hace 4500 millones de años y acabó hace 3800 millones de años y precedió al eón Arcaico.

EÓN PROTEROZOICO: El eón posterior al Arcaico y previo al Fanerozoico. Se extiende entre hace 2500 y 540 millones de años. Se caracteriza por la presencia de grandes cratones (masa continental), que darán lugar a las plataformas continentales.

EPICLASTITAS: Fragmentos de lava incandescente y rocas proyectadas a la atmósfera por erupción de carácter explosivo.

ÉPOCA GEOLÓGICA: Unidad de la escala de tiempo geológico, es una subdivisión de un período basada en estratos, que se utiliza para indicar la abundancia o decadencia de especies vivas o las transiciones de procesos geológicos como la deriva continental, sedimentación de cuencas y orogénesis, entre otros.

ÉPOCA EOCENO: Segunda época del período Paleógeno en la era Cenozoica. Comprende entre 54.8 y 33.7 millones de años atrás, durante este tiempo se formaron algunas de las cordilleras más importantes del mundo como los Alpes o el Himalaya, además de cambios climáticos como el máximo térmico de la primera parte del período Terciario.

ÉPOCA HOLOCENO: División de la escala temporal geológica, es la última y actual época del período Cuaternario. Comprende los últimos 11,784 años desde el fin de la última glaciación. La temperatura se hizo más suave y la capa de hielo se derritió lo que provocó un ascenso en el nivel del mar. La única especie humana que ha vivido en esta época ha sido el Homo-sapiens desarrollando la agricultura y la civilización.

ÉPOCA MIOCENO: División de la escala temporal geológica, es la cuarta época de la era Cenozoica y período Terciario, comenzó hace 23.8 millones de años y terminó hace 5.3 millones de años. En este tiempo continuó la elevación de cordilleras como los Pirineos, los Alpes y el Himalaya. La erosión originó sedimentos y depósitos de petróleo en las zonas que eran cuencas marinas de poca profundidad. La temperatura era más baja que la actual. Los mamíferos y las aves estaban bien establecidos. Proliferaron especies como el rinoceronte, el gato, el camello y el caballo.

ÉPOCA OLIGOCENO: División de la escala temporal geológica, es la tercer época del período Terciario, comenzó

hace 33.7 millones de años y terminó hace 23.8. El nombre hace referencia a la escasez de nuevos mamíferos. El cambio más significativo de los ecosistemas del Oligoceno es la expansión global de los pastizales y una regresión de los bosques tropicales de la franja ecuatorial. Está marcada por un gran evento de extinción, una sustitución de la fauna de Europa con otra de Asia, excepto para familias endémicas de roedores y marsupiales.

ÉPOCA PALEOCENO: Escala temporal geológica, es la primera época de período Terciario comenzó hace 65 y terminó hace 54.8 millones de años. Es inmediatamente posterior a la extinción masiva del final del Cretácico, que marca la desaparición de los dinosaurios.

ÉPOCA PLEISTOCENO: División de la escala temporal geológica, comienza hace 1.8 millones de años atrás y termina hace 11,784 mil años, la más antigua época del período Cuaternario. Este abarca las últimas glaciaciones. Se consolida el predominio de los mamíferos. El modo de vida humano era tipo cazador y recolector muy sencillo, con lo que conseguía comida, ropa, leña y materiales para herramientas.

ÉPOCA PLIOCENO: División de la escala temporal geológica, que comienza hace 5.3 millones de años y termina hace 1.8 millones de años. Las capas rocosas que definen el inicio y el fin están bien definidas pero sus fechas exactas aun son algo inciertas. Continuaron los mamíferos modernos.

Los continentes continuaron su deriva hacia sus posiciones actuales moviéndose desde sus posiciones originales hasta 250 km de distancia.

ERA GEOLÓGICA: División principal en la escala de tiempo geológico; las eras se dividen en unidades más cortas denominadas períodos.

ERA CENOZOICA: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico que empieza hace aproximadamente 65 millones de años, después del Mesozoico. Su nombre procede del griego “animales nuevos”. Durante este tiempo es que los continentes se han trasladado a sus posiciones actuales. El Océano Atlántico se ensanchó y más tarde Norteamérica con la formación del Istmo de Panamá.

ERA MESOZOICA: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico que transcurre entre las eras Paleozoica y Cenozoica: desde hace unos 248 millones de años hasta hace 65 millones de años. Conocida también como la era de los dinosaurios. Las deformaciones tectónicas fueron relativamente leves, sin embargo, la era destaca por la dramática fragmentación del supercontinente Pangea.

ERA PALEOZOICA: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico comprendido entre eras Precámbrica y Mesozoica: desde hace unos 540 millones de años hasta hace 248 millones de años. Los mares poco profundos invadieron los continentes. La configuración de los continentes era

muy diferente a la actual. Poca evidencia se tiene ya que fue destruida por la erosión.

ESPODUMENA: Mineral, silicato doble de aluminio y litio. La kunzita y la hidenita son variedades de la espodumena muy usadas en joyería.

ESTRUCTURA QUÍMICA: La estructura química de una sustancia aporta información sobre el modo en que se enlazan los diferentes átomos o iones que forman una molécula, o agregado atómico. Incluye la geometría molecular, la configuración electrónica y, en su caso, la estructura cristalina.

F

FENOLES: Son compuestos que presentan uno o más grupos hidroxilo (OH) unidos directamente a un anillo aromático. El fenol es el miembro más sencillo de esta serie homóloga y es denominado también hidroxibenceno. Estos presentan propiedades semejantes a los alcoholes, debido a la presencia del grupo –OH. Se utilizan para la preparación de resinas sintéticas, medicamentos, plaguicidas, colorantes sintéticos, sustancias aromáticas, aceites lubricantes, solventes, etc.

FLUORITA: Fluoruro de calcio, CaF_2 , cristales cúbicos, octaédricos del sistema cúbico, con maclas de compenetración, negra (antazonita), frecuentemente compacta, semidura, sensación de frío al tacto. Se forma en filones hidrotermales de media y alta

temperatura, asociada a la turmalina, topacio y sulfuro de plomo, cinc, plata. Se le usa en la preparación de ácido fluorhídrico, tratamiento de la bauxita, óptica, etc.

FOFOFILITA: Fosfato de Mn, Fe y Zn del grupo de fosfosiderita-strengita.

FOSFATO DE CALCIO: su fórmula empírica es $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ junto con ortofosfatos (PO_4^{3-}), metafosfatos o pirofosfatos ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) y en forma ocasional iones de hidrógeno o hidróxido. El fosfato de calcio es la principal forma en que el calcio se encuentra en la leche bovina.

G

GEÓFONO: Son transductores (dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida), de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica.

GRANITO: Es una roca ígnea plutónica constituida esencialmente por cuarzo, feldespato y mica. Su textura es fanerítica o granular y su color es claro.

H

HORNFELS: Designa un tipo de roca metamórfica de contacto, muy dura, capaz de resistir la acción glacial, que se

produce al hornearse y endurecerse por el calor de las masas ígneas intrusivas.

I

IGNIMBRITA: Roca ígnea y depósito volcánico con grado de cristalización holovítrea formado por flujos piroclásticos, de más de un kilómetro cúbico.

ILLITA: Es un mineral de la clase 9 silicatos, según la clasificación de Strunz, del grupo de las micas. Es una arcilla no expansiva, micácea. La illita es un filosilicato o silicato laminar, estructuralmente es similar a la moscovita o a la sericita con algo más de silicio, magnesio, hierro y agua, ligeramente menos aluminio tetraédrico y potasio interlaminar, cuya fórmula química es $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$.

IMBIBICIÓN se define como el desplazamiento de un fluido viscoso por otro fluido inmisible con este. Este proceso es controlado, y se ve afectado, por varios factores: El número de capilaridad Ca y el cociente de movilidad M tienen gran importancia.

K

KIESERITA: Sulfato magnesiano, blanco-amarillo. Se le encuentra en yacimientos salinos.

L

LACUSTRE: Deriva del idioma latín para lacus (lago). El término se entiende como un ambiente sedimentario de un lago.

LAHARES: Depósitos de flujo volcánico-glaciario poco consolidado.

LEGUMINOSAS: (Fabáceas). Familia del reino plantae que reúne a árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, que se reconocen por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas; comunes en bosques lluviosos neotropicales.

LEPIDOLITA: Variedad de mica blanca, tendiendo a violeta, silicato de aluminio, potasio, litio y flúor, $\text{KLiAl}(\text{F},\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})$. Se le busca como mena de litio.

LIGNITO: Es un carbón mineral que se forma por compresión de la turba, convirtiéndose en una sustancia desmenuzable en la que aún se pueden reconocer algunas estructuras vegetales.

LIMO: Conocida también como légamo es un material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento que se deposita en el lecho de los cursos de agua sobre terrenos que han sido inundados.

LIMOLITA: Es una roca compuesta por fragmentos de limo, consolidados y

diagenizados. La Limolita es de origen sedimentario, clástico.

LUTITA: Roca formada por la consolidación de partículas muy finas, arcillas. Presenta estructura laminar, muy fina, friable.

M

MANTO SUPERIOR: Es la parte del manto de la Tierra, que inicia a una profundidad media de 6 km bajo la corteza oceánica y a una profundidad media de 35.5km, bajo la corteza continental, aunque puede alcanzar en ésta última profundidades superiores a 400 km en las zonas de subducción.

MICA: Familia de minerales constituida por silicatos aluminicos, potásicos, magnesianos, cálcicos, sódicos y férricos, que algunas veces contienen litio, titanio, cromo, manganeso y flúor. Se presentan en láminas delgadas perfectamente exfoliables, flexibles y elásticos, son materiales refractarios, no conducen el calor ni la electricidad, de ahí su uso en este sentido. Son minerales accesorios de las rocas ígneas, en algunos casos se presentan en grandes cantidades que pueden constituir verdaderos yacimientos.

MONTMORILLONITA: Es una variedad de caolín, arcilla perteneciente al grupo de los filosilicatos, es aluminica, sódica, magnesia, de aspecto terroso, pulverulento, escamosa, untuosa al tacto, color blanco a gris,

tiene la propiedad de aumentar su volumen hasta 16 veces por absorción de agua. Se le usa en la industria farmacéutica y de cosméticos, para purificar y decolorar líquidos, como elemento floculante y aglutinante, en la industria del papel, goma y pinturas. Forma parte de las arcillas bentónicas.

Q

OROGÉNESIS: Es la formación o rejuvenecimiento de montañas y cordilleras causadas por la deformación compresiva de regiones más o menos extensas de litosfera continental.

OXÍGENO-18 (O^{18}): Es el segundo isótopo más abundante de oxígeno, después del oxígeno-16. Es un isótopo estable que ocurre naturalmente en el medio ambiente. La abundancia de este isótopo en la naturaleza es del 0.2%. Se utiliza junto al deuterio en estudios hidrológicos, como trazador para entender el origen de las aguas meteóricas.

P

PARAGÉNESIS: Asociación de minerales presentando un origen común. En las rocas metamórficas designa las asociaciones de minerales que son estables conjuntamente bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

PERÍODO CÁMBRICO: División de la escala temporal geológica, primero de

los seis períodos de la era Paleozoica. Se cree que los continentes del Cámbrico son resultado de la fragmentación del supercontinente del Neo proterozoico llamado Pannotia.

PERÍODO GEOLÓGICO: Unidad básica de la escala de tiempo geológico que es una subdivisión de una era. Los períodos pueden dividirse en unidades más pequeñas denominadas épocas.

PERÍODO CARBONÍFERO: División de la escala geológica, período de la era Paleozoica, que comienza 354 millones de años y finaliza 290 millones de años. Es posterior al Devónico y anterior al Pérmico. En Norteamérica se subdivide en Pensilvaniense y Misisipiense. Se caracteriza porque grandes extensiones de bosques quedaron sucesivamente sepultadas, dando origen a estratos de carbón. Al principio de este período se invirtió la caída global del nivel del mar que ocurrió al final del Devónico y este subió.

PERÍODO CRETÁCICO: División de la escala temporal geológica de la era Mesozoica, comenzó hace 144 millones de años y finalizó hace 65 millones. Su nombre proviene del latín creta que significa "tiza". Durante este el nivel de los mares estaba en continuo ascenso; este ascenso produjo que zonas anteriormente desérticas se convirtieran en llanuras inundadas.

PERÍODO CUATERNARIO: División de la escala temporal geológica, el último período geológico. Se desarrolla en el Cenozoico a

continuación del período Terciario, desde hace 1.8 millones de años hasta el presente. Durante este corto período la deriva continental fue inferior a 100 km. El registro geológico se conserva en mayor detalle que en los períodos anteriores y es fácilmente relacionable en los mapas actuales.

PERÍODO DEVÓNICO: División de la escala temporal geológica, que comenzó hace 417 millones de años y terminó hace 354 millones de años. Es el cuarto período de la era Paleozoica, después del Silúrico y antes del Carbonífero. La paleografía está dominada por el supercontinente Gondwana al sur, el continente Siberia al norte y la formación del pequeño supercontinente de Euramérica en el medio; este fue de gran actividad tectónica.

PERÍODO JURÁSICO: División de la escala temporal geológica, período central de la era Mesozoica que comenzó hace 206 millones de años y terminó hace 144 millones de años. El nivel del mar experimentó cambios menores durante el Jurásico menor mientras que en el mayor experimentó oscilaciones más rápidas y una inundación de grandes áreas de Norteamérica y Europa; durante este se dio la fragmentación de Pangea.

PERÍODO MISISIPIENSE: Llamado también Carbonífero Inferior, es una división temporal geológica, es un sub-período geológico que comenzó hace 354 millones de años y terminó hace 323 millones de años. Los estratos de roca que definen el período están bien

identificados, pero la fecha exacta de comienzo y final son inciertas en unos pocos millones de años.

PERÍODO ORDOVÍCICO: División de la escala temporal geológica, el segundo de la era Paleozoica, comenzó hace 490 millones de años y terminó hace 443 millones. Abundan los fósiles entre los que destacan los trilobites y en algunas regiones se formaron los yacimientos de petróleo y gas. Los niveles del mar fueron altos, los más altos que la Tierra haya experimentado, las rocas principales son sedimentarias. Existen 4 continentes: Laurentia, Siberia, Báltica y Gondwana.

PERÍODO PENSILVANIENSE: También llamado Carbonífero Superior es una división de la escala temporal geológica, siendo un sub-período Carbonífero, que comienza hace 323 millones de años y termina hace 290 millones. Lleva este nombre porque las rocas de esta antigüedad están muy extendidas en Pensilvania.

PERÍODO PÉRMICO: División de la escala temporal geológica, comenzó hace 290 millones de años y terminó hace 248 millones de años. Cuando éste período comenzó la Tierra todavía sentía los efectos de la última glaciación por lo que las regiones polares estaban cubiertas por vastas capas de hielo. El nivel del mar permaneció bajo y los ecosistemas próximos a la costa se ven limitados por la unión de casi todos los grandes continentes en uno solo Pangea.

PERÍODO TERCIARIO: División de la escala temporal geológica, que se

inició hace 65 millones de años y terminó hace 1.8 millones. Este precede al período Cuaternario, y en él se desarrollan las épocas Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno.

PERÍODO TRIÁSICO: División de la escala temporal geológica, uno de los tres períodos de la era Mesozoica, el cual comenzó 248 millones de años, y terminó hace 206 millones. Los primeros mamíferos, los cuales evolucionaron de los reptiles mamíferoides, hicieron su aparición debido a los cambios climáticos y la deriva continental que motivaron la gran regresión marina del Triásico.

PERMANGANATO DE POTASIO: Es un compuesto químico formado por iones potasio y permanganato, cuya fórmula química es KMnO_4 . Es un fuerte agente oxidante. Tanto sólido como en solución acuosa presenta un color violeta intenso.

PETALITA: Tectosilicato de litio, cristaliza en el sistema monoclinico, en cristales tabulares y columnares, incoloros o blancos, dura, exfoliable. Se forma en las pegmatitas litiníferas asociadas a la espodumena, lepidolita y turmalina. Es mena del litio.

PIROCLASTO: Cualquier fragmento sólido de material volcánico expulsado a través de la columna eruptiva arrojado al aire durante una erupción volcánica.

PIZARRA: Es una roca metamórfica homogénea formada por la compactación de arcillas. Se presenta

generalmente en un color opaco azulado oscuro y dividida en lascas u hojas planas siendo, por esta característica utilizada en cubiertas y como antiguo elemento de escritura.

PLACAS TECTÓNICAS: Fragmento de litosfera que se mueve como bloque rígido sin que ocurra deformación interna sobre la astenósfera de la Tierra.

POLARIZACIÓN ESPONTÁNEA Consiste en que los yacimientos de ciertos minerales producen débiles corrientes eléctricas apreciables desde la superficie.

POTENCIAL ELÉCTRICO: Es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga unitaria q desde la referencia hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica.

PRECIPITADO: Es un sólido que se produce en una disolución por efecto de difusión (movimiento molecular), o de una reacción química o bioquímica. Al proceso se le llama precipitación. (en caso de ser aplicado a temas de geológicos).

Q

QUÍMICA: ciencia que estudia tanto la composición, estructura y propiedades de la materia como los cambios que ésta experimenta durante las reacciones químicas y su relación con la energía.

R

RIOLITA: roca ígnea volcánica de color gris a rojizo con una textura de granos finos o a veces también vidrio y una composición química muy parecida a la del granito.

ROCAS ÁCIDAS: Son aquellas que contienen cuarzo.

ROCAS BÁSICAS: Son aquellas que contienen feldespato cálcico.

ROCAS INTERMEDIAS: Son las que contienen feldespato alcalino y no contiene cuarzo.

REACTIVIDAD QUÍMICA: Es la capacidad de reacción química que presenta ante algunos reactivos

S

SILICIFICACIÓN: Es el proceso por el cual la madera, los huesos, las conchas y otros materiales a veces fosilizan o petrifican por acción de silicatos como el jaspe, el cuarzo criptocristalino e incluso el ópalo.

SILVINITA: Roca sedimentaria formada por silvina, sal gema y otros materiales. Evaporita.

T

TANINOS: Son sustancias orgánicas que son utilizadas para convertir a las pieles crudas de animales en cuero (es

decir para curtir); se extraen de las plantas con agua o con una mezcla de agua y alcohol, que luego se decanta y se deja evaporar a baja temperatura hasta obtener el producto final. Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro, expuestos al aire se tornan oscuros y pierden su efectividad para curtir. Se considera por algunos autores la fórmula $C_{14}H_{14}O_{11}$ como la del tanino común.

TOBA: (volcánica), Es un tipo de roca ígnea volcánica ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

TOBAS DE LAPILLI: Son tobas que contienen Lapilli, el cual es un término de clasificación de la tefra según su tamaño y está constituido por fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante una erupción y con un diámetro variable de 2 a 64 mm.

TRITIO: Isótopo radiactivo del hidrógeno más pesado que el deuterio. Su símbolo es ^3H ; su núcleo consta de un protón y dos neutrones.

V

VOLCANES ACTIVOS: Son volcanes que cumplen las siguientes consideraciones: que existan registros históricos y prehistóricos de la actividad

del volcán; reconocida actividad explosiva del volcán durante los últimos 5000 años; que se trate de zonas con antecedentes de enjambres sísmicos y presencia de fumarolas y fuentes termales; que la estructura volcánica se encuentre bien conservada; y volcanes que no entran dentro de las categorías anteriores, pero que al explorarlos se encuentra un cráter bien conservado, además en sus laderas se identifican depósitos sanos de erupciones pasadas.

VOLCANES EXTINTOS: Volcanes que no presentan signo de actividad y se

encuentran deformados por tanto no se consideran activos.

U

ULTRAFILTRACIÓN: Proceso mediante el cual un agua es forzada a pasar a través de niveles arcillosos continuos, por lo que puede dejar atrás gran parte de sus sales; el agua o salmuera así originada puede permanecer donde se formó o bien emigrada hacia otras formaciones a merced de la evolución geológica.

BIBLIOGRAFÍA.

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. Atlanta. 2006. Consultado octubre 2012.

http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_toxfaqs.html.

BURGA, Jorge Dávila **“Diccionario Geológico”** Tercera Edición, Perú 2011.

CHELOTTI, L., Acosta, N., Foster, M., (2009), **“Cátedra de Geofísica Aplicada”**, U.N.P.S.J.B., Chubut, Argentina.

CUPERTINO DF. De 2005. **Caracterización de las propiedades del suelo arenoso poroso a través del Porosímetro gas - Rio de Janeiro**. El trabajo de finalización de Geología, IGEO / UFRJ. Monografías, 61 p.

CUSTODIO, Emilio y LLAMAS, Manuel. **“Hidrología Subterránea TOMO I”**. Ferraté, G. (rev.) 2da. Ed. Barcelona. Ediciones Omega. 1996. 1194 p. ISBN 978-84-282-0447-7.

CUSTODIO, Emilio y LLAMAS, Manuel. **“Hidrología Subterránea TOMO II”**. Ferraté, G. (rev.) 2da. Ed. Barcelona. Ediciones Omega. 1996. 1194 p. ISBN 978-84-282-0447-7.

DONADO GARZON, Leonardo David. **“Hidrogeoquímica”**. Universidad Nacional de Colombia. 1999. 33 p. Consultado octubre 2012.
http://www.docentes.unal.edu.co/lldonadog/docs/Presentations/Donado_1999a.pdf

ECHARRI, Luis. **“Contaminación del agua”**. Universidad de Navarra. 2007. 26 p.

ESCOBAR, Carlos. **“Volcanes activos de El Salvador”**. Servicio Geológico de El Salvador. www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/paginas/volcanesactivos.htm. 2002. (consultado mayo 2012).

GARCÍA GALDÁMEZ, José Isidro, et al.,(2011); Tesis **“Aplicación De La Prospección Geofísica Utilizando El Método Schlumberger Para La Exploración Del Agua Subterránea En Cantón Los Magueyes, Colonia Santa Lucia, Municipio De Ahuachapán”**. Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

GONZALES DE VALLEJO Luis, FERRER Mercedes, OTTUÑO Luis, OTEO Carlos. **“Ingeniería Geológica”**, Madrid, Prentice Hall, Pearson Educación. 2002

HIEBER, Mäggi - PROVIDA. **“Instructivo de muestreo microbiológico”**. Ramírez, Karen (rev.). p. 4.

Ing. CAMPOS, Susan. **“Guiones de clases de la asignatura Geología Aplicada”**, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador. 2007.

Ing. Msc. Ana Deisy Lopez, **“Modulo No. 6 Balance Hídrico”**. Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos. Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Instituto de hidrología de España / UNESCO. **“MÉTODOS DE CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO, Guía internacional de investigación y métodos”**. Sokolov, A. A. y Chapman T. G. (edit.); Rafael Heras (trad.). 1981. 191 p. ISBN 92-3-301227-1.

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD DE COLOMBIA. **“Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano, para análisis de laboratorio”**. Bogotá. 2011. p. 87. ISBN 978-958-13-0147-8.

MILTON B. Dobrin, Carl H. Savit. **“Introduction Geophysical Prospecting”**. Cuarta Edición, Internacional 1988.

ORELLANA, Ernesto **“Prospección Geoeléctrica en corriente continua”**. Segunda Edición corregida y ampliada,. Madrid España 1982.

PASTORA CHÉVEZ, Eric Mauricio. **“Comprobación cartográfica geológica de Suchitoto, departamento de Cuscatlán”**. Directores: Ing. MSc. GODINEZ, Rogelio e Ing. CHÉVEZ, Diógenes. Tesis de Pre-grado. Universidad de El Salvador; Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2003.

PLAZA DIEZ, Oscar. **“Geología Aplicada”**. Universidad Politécnica de Madrid. 81 p.

SEARS Et al., **“Física Universitaria”** Decimo Segunda Edición, México 2009.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET. **“BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINÁMICO EN EL SALVADOR, Componente evaluación de recursos hídricos”**. 2005. 118 p.

TARBUCK, Edward y LUTGENS, Frederick. “Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física”. Rodríguez, Manuel y González, José (rev. y adapt.); AMR Traducciones científicas (trad.). 8va Ed. Madrid. PERSON Prentice Hall. 2005. 710 p. ISBN 84-205-4400-0.

TELFORD W. N. Et al., **“Applied Geophysics”** Segunda Edición, USA 1990

ANEXO A.

FICHAS PARA CAPTURA DE DATOS.

ANEXO A.1a. FICHA PARA CAPTURA DE DATOS DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA.

Número de punto:	Esquemas:	
Coordenadas:		Elevación: m.s.n.m.
Fecha:		Hora:
Ubicación:		
Descripción:		
Id Fotografías:		
Id Muestras:		
Reconocimiento por:		

ANEXO A.1b. INSTRUCTIVO PARA EL LLENADO DE FICHA PARA CAPTURA DE DATOS DE VERIFICACIÓN GEOLÓGICA.

En los campos que presenta el Anexo A.1a, se colocará la siguiente información:

Número de punto: Número correlativo de los puntos de interés geológico que sean visitados.

Coordenadas: Se anotarán las coordenadas norte y oeste en el sistema que sean proporcionadas por el GPS (Lambert o geográficas).

Elevación: Se anotará el valor que proporcione el GPS en unidades de metros sobre el nivel medio del mar.

Fecha: Se anotará día, mes y año en el que se realice la visita al lugar.

Hora: La hora exacta en la que se realice la visita al lugar.

Ubicación: Se anotará de manera descriptiva la ubicación del lugar, buscando puntos de referencia y también se anotará la localidad en la que se encuentre (Caserío, Cantón, Comunidad, Municipio, Departamento, etc.).

Descripción: En este espacio se debe de escribir toda la información geológica y descriptiva en detalle de lo que se observa en el lugar visitado.

Id Fotografías: En este espacio se anotará toda la información que permita identificar posteriormente las fotografías que se han tomado en cada punto visitado, como por ejemplo: cantidad de fotografías y el número correlativo con el que son almacenados en la cámara (en el caso de cámara digital).

Id Muestras: Se deberá anotar la cantidad de muestras tomadas y los números correlativos de éstas.

Reconocimiento por: Se escribirán los nombres de las personas responsables del reconocimiento geológico.

Esquemas: En este espacio se colocarán, tanto el esquema de ubicación detallado del punto visitado, como uno o varios esquemas que describan la estructura geológica observada.

ANEXO A.2. ETIQUETA PARA MUESTRAS DE ROCAS RECOLECTADAS EN CAMPO E INSTRUCTIVO PARA SU LLENADO.

ETIQUETA:

# Muestra:	
# Punto de extracción	
Roca probable:	
Origen:	
Color:	
Textura:	
Diámetro:	

INSTRUCTIVO PARA LLENADO DE ETIQUETA:

Muestra: Se escribirá el número correlativo de la muestra recogida durante el día.

Punto de extracción: Se escribe el número correlativo del punto visitado, anotado en la ficha de captura de datos de verificación geológica.

Roca probable: Se anota el nombre posible de la roca recolectada.

Origen: Se escribe el posible origen de la roca recolectada.


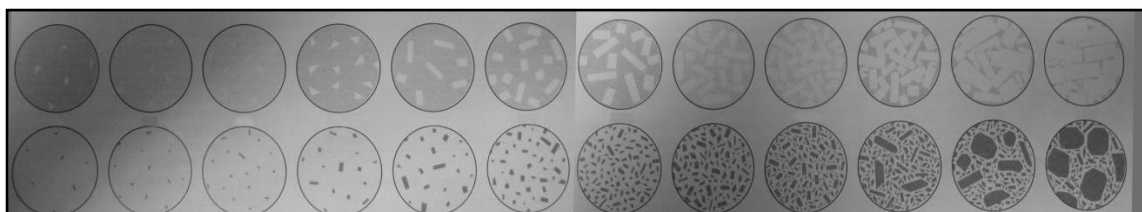
Color: Se anota el color superficial que muestra la roca.

Textura: Se coloca el tipo de textura que se identifica en la roca. (Fanerítica, afanítica, porfídica, vítrea o piroclástica).

Diámetro: Se toma nota del diámetro mayor de la muestra recolectada.

RECOMENDACIÓN: Escribir en etiqueta con lapicero y adherirla fuera de la bolsa en la que se deposite la muestra, para evitar que esta sea dañada.

ANEXO A.3a. FICHA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS EN FUNCIÓN DE SU TEXTURA.

CLASIFICACIÓN VISUAL DE ROCAS ÍGNEAS.											
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA.											
Muestra Número:	Punto de extracción de muestra número:										
RASGOS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES.											
Textura :											
<input type="checkbox"/> Grano grueso (fanerítica). <input type="checkbox"/> Grano fino (afanítica). <input type="checkbox"/> Porfídica. <input type="checkbox"/> Vítreo. <input type="checkbox"/> Piroclástica.											
Índice de Color:											
0%	15%	45%	85%	100%							
Claro	Medio	Oscuro	Muy Oscuro								
											
Composición Mineralógica (% minerales esenciales):											
1%	2%	3%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
											
CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS EN FUNCIÓN DE SU TEXTURA:											
COLOR	Claro	Medio	Oscuro	Muy oscuro							
COMPOSICIÓN QUÍMICA	Félsico	Incremento del contenido en silice Intermedio	Incremento en hierro y magnesio	Ultramáfico							
MINERALES DOMINANTES	Cuarzo Feldespato potásico	Anfíbol Plagioclasa	Olivino/Piroxeno Plagioclasa	Piroxeno Olivino							
TEXTURA	Grano grueso (fanerítica)	Grano fino (afanítica)	Porfídica	Vítreo	Piroclástica						
Porcentaje en volumen	100	80	60	40	20						
	Cuarzo	Feldespato potásico	Plagioclasa	Piroxeno	Olivino						
	Moscovita	Biotita	Anfíbol								
		Rica en Na	Rica en Ca								
	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita							
	Riolita	Andesita	Basalto	No frecuente (komatita)							
	El término porfídica va después en cualquiera de las rocas anteriores siempre que los fenocristales destaquen por su mayor tamaño										
	Obsidiana (vidrio compacto) Pumita (vidrio espumoso)										
	Toba (fragmentos < 2 mm) Brecha Volcánica (fragmentos > 2 mm)										
ROCA PROBABLE:		AMBIENTE DE FORMACIÓN:									
OBSERVACIONES:											
FECHA:		ID DE FOTOGRAFÍAS:									

Basado en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez et al.

ANEXO A.3b. INSTRUCTIVO PARA UTILIZACIÓN DE FICHA PARA LA CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS EN FUNCIÓN DE SU TEXTURA.

1) IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA.

Muestra número: Número correlativo de la muestra, según su etiqueta.

Punto de extracción de muestra número: Número que identifica el punto de interés geológico del cual fue extraída la muestra.

2) RASGOS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES.

Textura: Se identifica el tipo de textura que posee la roca analizada como fanerítica, afanítica, porfídica, vítrea o piroclástica según corresponda. (En el gráfico de clasificación de rocas ígneas según su textura se encuentran representados esquemáticamente los diferentes tipos de textura prescritos).

Índice de color: Con ayuda del gráfico identificar el porcentaje de color de la roca identificando el rango en el que se clasifica, como claro, medio, oscuro o muy oscuro.

Composición mineralógica: Se identifica el porcentaje de minerales esenciales de las rocas con ayuda del gráfico. Para rocas claras se ocupan los círculos inferiores y para rocas oscuras los superiores, con los cuales se compara la muestra y se identifica el porcentaje aproximado que corresponda.

3) CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS EN FUNCIÓN DE SU TEXTURA.

A partir de los datos obtenidos en el paso dos se procede a ingresar en el gráfico de clasificación de rocas ígneas en función de su textura, con lo cuál se obtiene un probable nombre de la roca que se está analizando.

En los campos subsiguientes se anota la información resultante.

ROCA PROBABLE: El nombre de la roca que se obtuvo leyendo el gráfico de clasificación de rocas ígneas en función de su textura.

AMBIENTE DE FORMACIÓN: Se anota en base a la textura identificada el tipo de ambiente de formación que se puede inferir para esa roca.

OBSERVACIONES: Cualquier dato que proporcione más información sobre la roca. (Color, oxidación o cualquier tipo de alteración que se identifique).

FECHA: Se anota la fecha en que se realizó la clasificación (día, mes y año).

ID DE FOTOGRAFÍAS: Se debe anotar la cantidad y los números correlativos que identifican las fotografías tomadas durante la clasificación de la muestra.



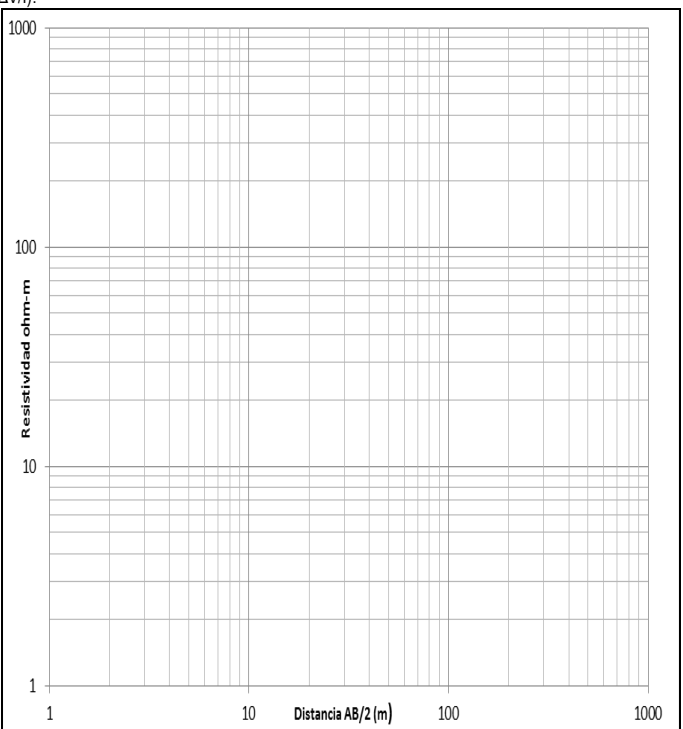
ANEXO A.4a. FICHA PARA REGISTRO GEOELÉCTRICO EN CAMPO (ESTADILLO).

Unidad: _____
 Fecha de Realización: _____
 Ubicación: _____
 Proyecto: _____
 Operador: _____

Código: _____
 Orientación: _____
 Coordenadas X: _____ Y: _____
 Elevación: _____ m.s.n.m.
 Equipo: _____ Configuración: _____

$K=(\pi/4MN)(AB^2-MN^2)$ $\rho_a=K(\Delta V/I)$

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	$\rho_a(\Omega.m)$	OBSERVACIONES



OBSERVACIONES DEL SONDEO: _____

ANEXO A.4b. INSTRUCTIVO PARA LA UTILIZACIÓN DE LA FICHA PARA REGISTRO GEOLÉCTRICO EN CAMPO (ESTADILLO).

La hoja para el registro geoelectrico está dividida en cuatro secciones: Encabezado, tabla de datos, gráfico y observaciones del sondeo, en las cuales se tomará nota de los siguientes datos:

- La sección “**encabezado**” está conformada por 10 campos en los que se registrará la información siguiente:
 - **Unidad:** Unidad o departamento encargado de realizar el sondeo.
 - **Fecha de realización:** Fecha de realización del sondeo.
 - **Ubicación:** Dirección o ubicación del sondeo; indicar puntos de referencia.
 - **Proyecto:** Nombre del proyecto para el cual se realiza el sondeo.
 - **Operador:** Persona encargada de realizar las lecturas del resistivímetro.
 - **Código:** Código o número asignado al sondeo.
 - **Orientación:** Rumbo de las aberturas AB.
 - **Coordenadas:** Coordenadas Norte y Oeste de la ubicación del centro del sondeo. (Lambert o geográficas).
 - **Elevación:** Elevación de la ubicación del centro del sondeo.
 - **Equipo:** Marca y modelo del equipo utilizado.
 - **Configuración:** Configuración del dispositivo utilizado (Schlumberger, Wenner, etc).
- La sección “**tabla de datos**” está compuesta por siete columnas en las que se registrará la información siguiente:
 - **Columna Punto:** Se anota el número correlativo de cada medición, para los diferentes arreglos AB y MN.
 - **Columna AB/2:** Longitud en metros de separación desde el centro del SEV hasta un electrodo de emisión A ó B.
 - **Columna MN/2:** Longitud en metros de separación desde el centro del SEV hasta un electrodo de recepción M ó N.
 - **Columna K:** Constante o factor geométrico, para cada arreglo AB y MN.

$$K = (\pi / 4MN)(AB^2 - MN^2)$$
 En la práctica el geofísico suele proponer separaciones AB y MN previamente, por lo que el valor de K muchas veces aparece pre calculado en las hojas de campo.
 - **Columna R(Ω) ó I(mA):** Lectura en el aparato de resistencia en ohmios o la corriente en miliamperios.
 - **Columna ρ_a ($\Omega.m$):** Resistividad aparente en ohmios-metro; los equipos modernos proporcionan esta lectura directamente y en otros hay que calcularla, con ayuda de las dos columnas anteriores aplicando la fórmula:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$
 - **Columna Observaciones:** Se anota datos de interés para cada lectura realizada.
- La sección “**gráfica**”, está compuesta por una cuadrícula doble logarítmica, en la cual se grafican los datos de las lecturas de ρ_a (eje Y) vrs AB/2 (eje X); a partir de estos puntos se puede trazar una curva y con ella identificar puntos que no estén dentro de la lógica de la misma, datos que podrán verificarse y corregirse con nuevas lecturas.
- La sección “**observaciones del sondeo**”, está dispuesta para anotar cualquier dato de interés para el sondeo que se esté realizando.

ANEXO A.5a. FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.



TRABAJO DE GRADUACIÓN: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LIMÍTROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES.

INFORMACION GENERAL:		Número de formulario: _____
Nombre del dueño o entidad que lo mantiene: _____		Número ID: _____
		Tipo de Sitio: <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Manantial
Dirección:		
Carretera o Calle: _____		
<input type="checkbox"/> a San Francisco Lempa <input type="checkbox"/> a cantón San José <input type="checkbox"/> Otra Especifique: _____		
Caserío:		
<input type="checkbox"/> La Concepción <input type="checkbox"/> Agua Caliente <input type="checkbox"/> Los Amates <input type="checkbox"/> Gualcho <input type="checkbox"/> Las Mesitas		
<input type="checkbox"/> Los Hernández <input type="checkbox"/> Otros. Especifique: _____		
Cantón:		
<input type="checkbox"/> San José <input type="checkbox"/> Cuesta de Marina <input type="checkbox"/> El Ilano <input type="checkbox"/> El Matazano <input type="checkbox"/> Otro. Esp: _____		
Municipio:		
<input type="checkbox"/> Chalatenango <input type="checkbox"/> Azacualpa <input type="checkbox"/> San Luis de Mercedes. <input type="checkbox"/> Otro. Esp: _____		
# de vivienda: _____		
ID de Fotografías: _____ #:		
Uso principal del sitio (uso del suelo):		
<input type="checkbox"/> Habitacional. <input type="checkbox"/> Sembradio. <input type="checkbox"/> Crianza de Animales <input type="checkbox"/> Otro: Esp: _____		
ESTADO DE VISITA:		Fecha de la visita: _____ - _____ - _____ Hora: _____
		día mes año
Estatus de Visita:		Observaciones Complementarias:
<input type="checkbox"/> Visitado y encuestado.		_____
<input type="checkbox"/> Visitado y no encuestado.		
<input type="checkbox"/> Pendiente de otra visita.		
INFORMACIÓN RECOPIADA:		
Latitud: N _____ ' _____ "		
Elevación del terreno: _____ msnm		
Operación: <input type="checkbox"/> en uso <input type="checkbox"/> no utilizado <input type="checkbox"/> indeterminado		
Uso: <input type="checkbox"/> agrícola <input type="checkbox"/> industrial <input type="checkbox"/> comercial <input type="checkbox"/> doméstico		
Cantidad de personas abastecidas: _____ Factibilidad de extracción de muestras: <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		
Manantiales:		
Afloramiento: <input type="checkbox"/> salida horizontal en un punto. <input type="checkbox"/> salida horizontal en franja de anchura limitada.		
<input type="checkbox"/> salida vertical en un punto. <input type="checkbox"/> salida de plano vertical.		
Obra de captación: <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no Caudal: _____ unidades: _____		
Año de Construcción: _____ Metodo de medición: <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> no se puede determinar.		
Pozos: Año de construcción: _____ exacto <input type="checkbox"/> aproximado.		
Método de construcción: <input type="checkbox"/> excavado <input type="checkbox"/> taladrado <input type="checkbox"/> a chorro <input type="checkbox"/> clavado		
<input type="checkbox"/> perforado <input type="checkbox"/> no se conoce.		
Metodo de perforación: <input type="checkbox"/> por percusión. <input type="checkbox"/> por rotación.		
Compañía que construyó: _____		
Material camisa: <input type="checkbox"/> pvc <input type="checkbox"/> hierro <input type="checkbox"/> acero <input type="checkbox"/> sin revestimiento <input type="checkbox"/> no se conoce		
<input type="checkbox"/> Otros. Especifique: _____		
Bombas: <input type="checkbox"/> simple <input type="checkbox"/> doble <input type="checkbox"/> manual <input type="checkbox"/> otro. Esp: _____		
cantidad unidad		
Perimetro del tubo del pozo: _____		
Diámetro del tubo del pozo: _____		
Profundidad del pozo: _____		
Profundidad del agua: _____		
Altura broquel: _____		
Potencia bomba: _____		
Descarga: _____		
Horas de uso diario: _____		
Presión: _____		
cantidad unidad		
¿Sube el nivel del agua en invierno?: <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no ¿cuánto?: _____		
Otros datos de interés:		

ANEXO A.5b. INSTRUCTIVO PARA EL RELLENO DE DATOS DE LA FICHA PARA LEVANTAMIENTO DE INVENTARIO DE POZOS Y MANANTIALES.

Los formularios serán llenados a mano, preferiblemente con bolígrafo color azul; las anotaciones deberán ser claras y precisas. Deben ser tomados todos los datos en el lugar para evitar futuras confusiones.

El formulario se divide en 3 secciones principales: Información general, estado de la visita e información recopilada; esta última se subdivide en: Manantiales y pozos. A demás se incluye una sección complementaria que corresponde a anotaciones de otros datos de interés. A continuación se detalla la información a capturar en cada sección.

PRIMERA PARTE: INFORMACIÓN GENERAL.

Número de Formulario: Este corresponde al número correlativo según el orden de llenado de los formularios y de la jornada en que se realizó; por ejemplo el tercer lugar inventariado el cuarto día, el número de formulario asignado debería de ser 4 – 3.

Número ID: Este es el número con el que se identificará a los pozos y manantiales en la base de datos. Este es el único número que se asignará posteriormente a la realización del inventario.

Esta identificación estará compuesta primero por dos letras; la primera identifica si se trata de un pozo o manantial por medio de las letras P o M respectivamente, en el caso de los pozos la segunda letra distingue si se trata de pozo superficial o pozo profundo por medio de la S o P respectivamente; en el caso de los manantiales la segunda letra distingue si es un afloramiento vertical u horizontal utilizando las letras V o H en cada caso. Seguido de estas letras se colocará un guion.

Las siguientes dos letras sirven para identificar el Municipio en que se encuentra el lugar, se continúa con dos letras que identifican el cantón y las últimas dos letras determinan el caserío al que pertenece el lugar. Finalmente la identificación se concluye con dos números que serán asignados correlativamente con respecto a la ubicación del lugar. En la siguiente tabla se resume la disposición de las letras para asignar el código de identificación.

Tabla A.1. Tabla resumen para asignación de número ID, en inventario de pozos.

Fuente.			Municipio.		Cantón/Casco urbano		Caserío	
Tipo	ID		Nombre	ID	Nombre	ID	Nombre	ID
Pozo profundo.	PP		Azacualpa.	AZ	Cuesta de	CM	Agua Caliente.	AC
			Chalatenango.	CH	Marina.		Común Las	
Pozo superficial.	PS		San Luis de	SL	El Llano.	EL	Marías.	CM
			Mercedes.		El Matazano.	EM	El Conacaste	EC
Manantial afloramiento horizontal	MH				San José.	SJ	Gualcho.	GU
					Casco Urbano	CU	La Concepción.	LC
Manantial afloramiento Vertical.	MV						Las Mesitas.	LM
							Los Amates.	LA
							Los Hernández.	LH

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo: PS-CHSJLA04, corresponde a pozo superficial ubicado en el municipio de Chalatenango, cantón San José, caserío Los Amates, con número correlativo 04.

Nombre del Dueño o entidad que lo mantiene: Corresponde al nombre del propietario del lugar en el que se encuentre el pozo o manantial, o la entidad que mantiene y utiliza el lugar o recurso.

Tipo de sitio: Destinado para identificar si en el lugar visitado se encuentra un pozo o un manantial, se dan ambas opciones de respuesta.

Dirección: Corresponde a la dirección de la propiedad en que se encuentre el pozo o manantial. La cuál está dividida en 6 partes. La primera Carretera o Calle, en esta se dan tres opciones a escoger: A San Francisco Lempa o a Cantón San José, en caso de no corresponder a ninguna de las dos anteriores se da la opción: Otra, para esta última en el espacio destinado a la especificación se debe colocar el nombre de la calle, carretera o camino. La segunda parte es destinada al caserío se dan distintas opciones en caso de no corresponder ninguna se elige la opción Otros y luego se debe especificar en el espacio asignado. De manera similar se llenan los campos de Cantón, y Municipio. Las últimas dos partes son de complementar: # de vivienda, corresponde al número de casa, lote o solar si es que cuentan con alguna distinción. Para finalizar se da el espacio titulado Otros, con el fin de colocar información que ayude a identificar la ubicación del sitio.

ID de fotografías: Se toman al menos cuatro fotografías a los puntos de agua, las cuales serán identificadas según el número que les asigne la cámara fotográfica. Además en el espacio #: deberá colocarse la cantidad total de fotografías que se tomó en el sitio, para mejor control.

Uso principal del sitio (uso del suelo): Se dan las opciones Habitacional, Sembradío, Crianza de animales y Otros, se debe de señalar la que mejor se apegue al lugar en caso de seleccionar otros se deberá especificar en el espacio correspondiente el uso identificado.

SEGUNDA PARTE: ESTATUS DE LA VISITA:

Fecha de Visita: Esta tiene tres espacios, para complementar según la fecha en que se realicé la visita. En el primero se anotará el día según el calendario, en el segundo espacio el número correspondiente a cada mes (04 para abril, 05 para mayo), y el tercer espacio corresponde al año.

Hora: En este se colocará la hora en la que se realizó la visita identificando am y pm de acuerdo si se realiza durante la mañana o tarde.

Estatus de visita: Este tiene tres opciones de respuesta; primera opción: Visitado y encuestado la cual corresponde para los lugares en los que se logre realizar la inspección, segunda opción: Visitado y no encuestado: para los lugares que se visiten pero que no se permita realizar la inspección, pendiente de otra visita: para los lugares en la que se pida volver para realizar la visita.

Observaciones Complementarias: Espacio que se proporciona para realizar cualquier anotación que se considere importante para especificar adecuadamente el estatus de la visita.

TERCERA PARTE: INFORMACIÓN RECOPIADA.

Latitud: Corresponde a la coordenada Norte, de acuerdo a la lectura que proporcione el GPS, como se utilizará un Garmin 12, este proporciona las coordenadas geográficas (formato de grados y minutos hasta su milésima), por lo cual ya se indica que corresponde al N y luego se dejan dos espacios uno para colocar los grados seguido del símbolo (°) y otro con un punto en el centro para colocar los minutos hasta la milésima, seguido del símbolo ('). En el caso de contar con GPS configurado para proporcionar coordenadas Lambert, anotarlas en el espacio destinado para los minutos, ya que es la casilla que tiene mayor espacio para anotar.

Longitud: Similar al anterior pero en este se anotaran las coordenada Oeste respectiva.

Elevación: Corresponde a la altura en metros con respecto al nivel medio del mar, dato obtenido del GPS.

Operación: Apartado que tiene como finalidad identificar si está siendo utilizado el pozo o manantial, por lo que se dan tres opciones de respuesta; la primera En uso: si el lugar está siendo explotado en las fechas del levantamiento, No utilizado: en el caso que ya no se esté utilizando el agua del lugar o por haberse secado, Indeterminado: en el caso que no se pueda determinar el estado de operación.

Uso: Campo que tiene cuatro posibilidades de respuesta; la primera: Agrícola en el caso que el agua extraída sea utilizada para riego y alimentación de ganado, la segunda: Industrial cuando el agua se esté explotando para el uso de una industria, la tercera: Comercial si el agua es destinada a la venta, y por último cuarta: Doméstico: si el uso del agua es exclusivo de las personas dueñas del lugar.

Cantidad de personas abastecidas: Se debe anotar la cantidad de personas que utilizan el agua extraída del lugar.

Factibilidad de extracción de muestras: Se debe identificar si se pueden extraer muestras directamente del pozo o manantial, para lo cual se dan las opciones de sí y no. No para el caso en que se encuentre tapado de alguna forma que no permita la extracción de las muestras ya sea por medio de tapadera o por la misma obra de captación.

En caso de tratarse de un Manantial debe llenarse la información que solicita el recuadro Manantiales, en caso de ser un Pozo el recuadro correspondiente a Pozos.

Manantiales:

Afloramiento: Se dan cuatro opciones las cuales se explican a continuación:

Salida horizontal en un punto: Se conocerá como el afloramiento de aguas que se da en paredes verticales o semi-verticales en un solo punto.

Salida horizontal en franja: Similar al anterior solo que la salida no se da en un solo punto si no en una franja correspondiente a la fractura de alguna roca.

Salida vertical en un punto: Parecido a lo que se conoce como pozo, solo que este se crea de manera natural y el agua llega hasta la superficie por si sola.

Salida de plano vertical: Parecida a la anterior con la diferencia que no se da en un solo punto la salida de agua, sino más bien a lo largo de una fractura de roca.

Obra de captación: Para identificar si se ha construido algún tipo de obra para la captación y aprovechamiento del recurso que emana. Se da la Opción: Sí y No. En caso de responder positivamente se debe anotar de ser posible el año en que se construyó.

Caudal: Se debe medir y anotar el caudal que se registra en los manantiales, para lo cual se dan dos espacios uno destinado a la cantidad en números y el otro para especificar las unidades en que se midió.

También debe especificarse el método empleado para la medición de este identificados por 1 y 2 conforme a lo especificado en el Anexo A.6a. En caso de no poderse determinar el caudal se debe de marcar la casilla correspondiente a "no se puede determinar".

Pozos:

Año de construcción: Se debe anotar el año en que se construyó el pozo, y posteriormente se da las opciones: exacto o aproximado, en estas se debe de identificar si se conoce el año exacto en el que se construyó o si se ha proporcionado un año estimado de construcción.

Método de construcción (o tipo de pozo): Este está destinado a identificar la forma en la que fue construido, se proporcionan las opciones: **Excavado** cuando se ha construido por medio de picos, palas, cucharones; normalmente son de poca profundidad. **Taladrado** son los que se ha hecho su excavación por medio de taladros rotatorios ya sea manual o impulsado por fuerza motriz. **A chorro** aquel que se hace mediante un chorro a alta velocidad. **Clavado** el que se construye clavando una rejilla con punta llamada puntera. **Perforado** el que se hace mediante sistemas de percusión o rotación. También se da la opción de responder **no se conoce**, para los casos que no se conozca cómo se construyó el pozo.

Método de Perforación: En caso de haber contestado en el método de construcción: perforado, se debe especificar si fue perforación por: *percusión* o *rotación*.

Compañía que construyó: Empresa que construyó el pozo en caso de no saber se debe especificar, desconocida, y en el caso de ser construida manualmente por los propietarios también debe ser especificado.

Material de camisa: Material con que se revistió el pozo, si existiese, se dan las opciones, pvc, hierro, acero, sin revestimiento, no se conoce y otros. En el caso de seleccionar otros se debe especificar cuál.

Bomba: Se identifica el tipo de bombeo que se está utilizando en el lugar. Simple: cuando corresponde a una sola bomba, Doble: en el caso que se empleen dos bombas, Manual: si la extracción se hace por mecanismos manuales, Otro: se debe especificar el mecanismo o método.

Perímetro del tubo del pozo: Se especificará el perímetro del tubo en un espacio y la unidad de medida en la otra.

Diámetro del pozo: Se medirá y especificará el diámetro tomando al menos dos medidas en distintas direcciones y luego promediarlas. Se especificarán las unidades de medida.

Profundidad del pozo: Se especifica la profundidad total del pozo. Especificar unidades.

Profundidad del Agua: Se especifica la profundidad a la cual se encuentra el agua o nivel piezométrico, a partir del broquel. Especificar unidades.

Altura de broquel: Altura desde el nivel del suelo hasta la orilla del broquel. Especificar unidades.

Descarga: En este se especifica el caudal aproximado que se obtiene. Especificar unidades.

Horas de uso diario: Las horas en las que es explotado diariamente. Horas/día.

Presión: La presión con que se sale el líquido del pozo si se cuenta con manómetro. Especificar unidades.

¿Sube el nivel del agua en invierno?: Se presentan las opciones de respuesta si y no, en caso de marcar la opción sí, se debe anotar aproximadamente cuanto calculan los propietarios que sube el nivel, especificar unidades.

Otros datos de interés: Espacio destinado para detallar cualquier información que se considere de interés para complementar la información recolectada.

ANEXO A.6a. FICHA PARA EL CÁLCULO DE CAUDAL EN MANANTIALES.



FICHA PARA EL CÁLCULO DE CAUDAL EN MANANTIALES.



MÉTODO A APLICAR: 1 2

Anexo a ficha número: _____.

MÉTODO 1: CAUDAL= VOLUMEN / TIEMPO (Q=V/T).

Experimento.	Volumen (en unidad que se ha medido)	Tiempo (en unidad que se ha medido)	Volumen "V" (lts)	Tiempo "T" (s)	Caudal "Q" (lt/s)
1					
2					
3					
4					
CAUDAL MEDIO:					

OBSERVACIONES: _____

MÉTODO 2: CAUDAL=VELOCIDAD*ÁREA.

Experimento.	Esquema de la Sección.	Área "A" (m ²)	Distancia "X" (m).	Tiempo (en unidades de lectura).	Tiempo "T" (s).	Caudal "Q" (lt/s)
1						
2						
3						
4						
CAUDAL MEDIO:						

En profundidades medidas menores a 1 metro multiplicar por 0.80 (80% de la velocidad superficial = velocidad media de flujo). 1 m³=1000 lts.

OBSERVACIONES: _____

ANEXO A.6b. INSTRUCTIVO PARA LA CAPTURA DE DATOS DE LA FICHA PARA EL CÁLCULO DE CAUDAL EN MANANTIALES.

Esta ficha será llenada en el caso de manantiales en los que se estime pueda calcularse el caudal a través de uno de los dos métodos sencillos de aforo que se explicaran.

A continuación se detalla como rellenar cada campo:

Anexo a ficha número: En este espacio se escribirá el número de ficha de inventario de pozos y manantiales al cual se asocia el lugar en el que se estima el caudal.

Método a aplicar: En este apartado se proporcionan dos opciones 1 y 2; seleccionar la opción de acuerdo a la metodología aplicable, tomando en cuenta las siguientes características:

Método 1: Este método es más utilizado en afloramientos de salida horizontal, en los cuales el agua sale a través de un chorro o se puede encauzar para formar un chorro.

Método 2: Este método es aplicable en manantiales en los que el agua corre a través de un canal, en el que se puede determinar y medir una sección perpendicular al flujo.

Método 1: Caudal=Volumen/Tiempo ($Q=V/T$).

El equipo requerido para llevar a cabo este método es: recipiente de capacidad conocida, con abertura tal que pueda captar el agua de un chorro sin pérdidas significativas y un cronómetro.

Se debe encauzar el agua a manera de crear un chorro, con el cual se pueda llenar el recipiente.

Al tener los implementos listos se procede a llenar el recipiente con el agua que vierte el chorro y se toma el tiempo en que tarda en llenarse el recipiente. La capacidad del recipiente se anota en la columna volumen, en la cual se especifica la unidad de medida que posee este (galones, litros, barriles, etc); en la segunda columna tiempo, se especifica el tiempo que tarda en llenarse el recipiente en unidades de minutos y segundos (por ejemplo 3 min 8 s). En la tercera columna se anota el volumen de recipiente pero convertido a unidades de litros, mientras que en la cuarta columna se anotará el tiempo en segundos. Con los datos de la columna 3 y 4 se procede al cálculo del caudal utilizando la expresión $Q=V/T$ (lt/s); se repite el procedimiento 4 veces y luego los valores de caudal obtenido se promedian. En el caso de ser necesario anotar algún tipo de observación se anota en el espacio correspondiente posterior al cuadro del método.

Método 2: Caudal=Velocidad*Área ($Q=V/T$).


Equipo necesario: cinta métrica (de varios metros de ser posible), flotador (cualquier objeto liviano que tenga la capacidad de flotar) y cronómetro.

Primero se debe seleccionar un lugar en el canal, por el que fluye el agua, en el que se pueda medir una sección perpendicular al flujo; se toman todas las medidas necesarias para obtener el área. El esquema de la sección se dibuja en la columna "esquema de la sección" de la tabla para el método 2, y en la siguiente columna se debe anotar el área en metros cuadrados. Luego se selecciona el lugar del cual se soltará el flotador (aguas arriba de la sección medida) y se mide la distancia (X) entre el punto seleccionado y el lugar de la sección, anotando este valor en la columna correspondiente en metros.

Se suelta el flotador desde la distancia X y se toma el tiempo (tal como lo proporcione el cronómetro), que tarda en cruzar la sección medida, se anota el tiempo y posteriormente se convierte a segundos. Con los datos obtenidos a partir de la fórmula $Q=X*A/T$ se obtiene el caudal en m^3/s , el cual se convertirá a lt/s por medio de la relación $1m^3=1000lt$. Se repite el procedimiento 4 veces y se obtiene el promedio. Las observaciones se anotarán en el espacio correspondiente luego de la tabla para el método 2.

Tomar en cuenta que cuando la profundidad del agua es menor a un metro se considera que la velocidad media de flujo es el 80% de la velocidad superficial del flujo.


ANEXO A.7a. REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRA, pág 1 (PROVIDA).

	Registro de Cadena de Custodia			Código:
	Fecha Elaboración: 13/08/2010	Versión: 1	Fecha Aprobación: 01/09/2010	Página: 1 de 2
	Elaborado por: Mäggi Hieber	Revisado por: Karen Ramirez	Autorizado por: Karen Ramirez	

REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRA

SOLICITANTE:	REFERENCIA DE MUESTRA (LABORATORIO):	
RECOLECCIÓN DE MUESTRA		
Dirección exacta del punto de muestreo Comunidad, Departamento: Punto de muestreo:		
Fecha y hora de muestreo:	Condición ambiental:	
Tipo de fuente (especificar)		
<input type="checkbox"/> Tanque o captación	<input type="checkbox"/> Río	
<input type="checkbox"/> Tubería / Chorro	<input type="checkbox"/> Aguas residuales	
<input type="checkbox"/> Manantial o fuente natural	<input type="checkbox"/> Otro tipo de fuente:	
Tipo de muestra de agua		
<input type="checkbox"/> Agua natural (cruda o sin ningún tratamiento)	<input type="checkbox"/> Agua con tratamiento de: <input type="checkbox"/> Cloro, <input type="checkbox"/> Método SODIS, <input type="checkbox"/> Puri Agua <input type="checkbox"/> Otro : _____	
Observaciones y anomalías o desviaciones del instructivo de Muestreo:		
PARAMETRO MEDIDOS EN EL CAMPO		
Cloro residual:	Conductividad:	
Temperatura:	Sólidos totales disueltos:	
Oxígeno disuelto:	Turbidez:	
pH:	Otros:	
ANÁLISIS SOLICITADOS		
Parámetros microbiológicos	<input type="checkbox"/> Coliforme totales y E.coli	
Parámetros físicos-químicos	Otros	
<input type="checkbox"/> pH	<input type="checkbox"/> Nitratos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Conductividad	<input type="checkbox"/> Nitritos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Sólidos totales disueltos	<input type="checkbox"/> Sulfatos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Turbidez	<input type="checkbox"/> Cloruros	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Color verdadero	<input type="checkbox"/> Fluoruros	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Hierro total	<input type="checkbox"/> DBO ₅	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Manganeseo	<input type="checkbox"/> DQO	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Dureza total	<input type="checkbox"/> Sólidos sedimentables	<input type="checkbox"/>

ANEXO A.7a. REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRA, pág 2 (PROVIDA).

	Registro de Cadena de Custodia			Código:
	Fecha Elaboración: 13/08/2010	Versión: 1	Fecha Aprobación: 01/09/2010	Página: 2 de 2
	Elaborado por: Mäggi Hieber	Revisado por: Karen Ramirez	Autorizado por: Karen Ramirez	

MUESTRAS ENTREGADAS		
<input type="checkbox"/> Muestra microbiológica	<input type="checkbox"/> uso de preservantes: _____	
<input type="checkbox"/> Muestra física-química	<input type="checkbox"/> uso de preservantes: _____	
<input type="checkbox"/> Muestra metales pesados	<input type="checkbox"/> uso de preservantes: _____	
<input type="checkbox"/> Otro tipo de muestra: _____	<input type="checkbox"/> uso de preservantes: _____	
Observaciones y anomalías de las muestras entregadas:		
Entrega de la muestra al Laboratorio Integral de Calidad de Agua "Frank A. Escher":		
Lugar de entrega:	Entregado por :	Recibido por :
Fecha:	Nombre:	Nombre:
Hora :	Firma:	Firma:
Muestra enviada a laboratorio externo con transporte:		
Lugar de entrega:	Entregado por :	Recibido por :
Fecha:	Nombre:	Nombre:
Hora :	Firma:	Firma:
Laboratorio externo que recibe la muestra:		
Lugar de entrega:	Entregado por :	Recibido por :
Fecha:	Nombre:	Nombre:
Hora :	Firma:	Firma:

ANEXO A.7b. ETIQUETA PARA MUESTRAS DE AGUA UTILIZADA POR LABORATORIO DE PRO-VIDA.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN AGUAS
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA
"PROF. FRANK A. ESCHER"

PROVIDA

Numero de referencia: _____

Fecha y hora de toma: _____

Fecha y hora de entrega: _____

Uso y tipo de preservante: _____

Esta etiqueta es utilizada tanto para muestras almacenadas en frascos de polietileno como en bolsas estériles.

El número de referencia corresponde al control de toma de muestras llevado por la institución.

ANEXO B:
TABLAS CON DATOS DE INTERÉS
GENERAL.

**ANEXO B.1.: TABLA DE RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE
PARA EL HEMISFERIO NORTE (MJ m⁻²d⁻¹).**

Latitud.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: Allen et al, 1998. Sitio web consultado en julio de 2012.

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex%2020meteorological%20tables>.

ANEXO B.2.: COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc).

Vegetación.	Kc Inicio.	Kc Desarrollo de Cultivo.	Kc Mediados del periodo.	Kc Final.
Arroz.	1.1	1.1-1.3	1.3	1.3-1
Caña de Azúcar.	0.6	0.6-1.15	1.15	1.15-0.85
Café sin sombra.	1.05	1.5-1.1	1.1	1.1
Maíz.	0.35	0.35-1.05	1.05	1.05-0.6
Maíz dulce.	0.35	0.35-1.05	1.05	1.05-0.95
Tomate.	0.6	0.6-1.05	1.05	1.05-0.6
Brócoli.	0.7	0.7-0.95	0.95	0.95-0.8
Papayo.	--	--	0.8	--
Aguacate.	0.25	0.2-0.75	0.75	0.6-0.3
Mango.	--	--	0.7	--
Cítricos.	--	--	0.6	--
Árboles Latifoliars.	--	--	0.6	--
Piña.	0.3	0.3-0.5	0.5	0.5

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador, 2005.

**ANEXO B.3.: REGISTRO PRECIPITACION MENSUAL ESTACION
“CONCEPCIÓN QUEZALTEPEQUE” DURANTE EL
PERÍODO 1971-2011 EN MM.**

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1971									323	425	57	5	
1972	14	0	0	241	244	375	292	282	284	166	94	0	1992
1973	0	0	1	7	354	510	353	453	492	452	48	57	2727
1974	8	0	129	45	354	365	343	350	413	63	1	0	2071
1975	4	1	16	3	293	392	271	294	512	371	118	0	2275
1976	3	0	4	141	192	526	293	266	370	172	94	0	2061
1977	0	0	0	123	305	468	122	544	352	241	33	8	2196
1978	0	0	32	108	268	327	480	324	431	256	34	54	2314
1979	0	1	12	252	309	392	178	268	421	343	2	1	2179
1980	21	6	4	108	331	420	313	473	393	180	52	0	2301
1981	2	0	41	6	263	536	408	340	436	433	32	55	2552
1982	4	42	27	36	324	379	193	213	391	168	105	58	1940
1983	0	1	6	57	161	302	306	314	292	266	65	40	1810
1984	0		8	83	281	319	393	542	519	202	16	0	2363
1985	0	5	3	110	237	222	445	323	334	273	49	0	2001
1986	5	0	0	40	264	446	279	344	243	207	11	0	1839
1987	0	0	0	54	171	644	488	166	390	14	14	8	1949
1988	0	15	20		213	495	300	329	292	203	31	2	1900
1989	0	1	0	168	236	393	428	420	488	182	84	0	2400
1990	23	13	18	133	515	345	368	297	448	185	65	8	2418
1991	0	0	10	94	184	395	121	254	289	332	37	53	1769
1992	0	0	48		62	530	414	345	444	128	92	4	2067
1993	1	0	36	180	243	435	539	394					
1994	2	5	7	97	197	370	185	587	204	213	43	28	1938
1995	0	0	15	110	124	385	314	311	479	167	7	516	2429
1996	8	4	31	147	228	384	394	343	450	277	21	0	2285
1997	11	2	18	27	182	418	190	230	480	173	85	601	2417

**CONTINUACIÓN ANEXO B.3.: REGISTRO PRECIPITACION MENSUAL
ESTACION “CONCEPCIÓN
QUEZALTEPEQUE” DURANTE EL
PERÍODO 1971-2011 EN MM.**

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1998	0	0	68	1	104	291	223	533	224	389	184	83	2100
1999	1	0	18	32	209	389	257	493	568	313	6	321	2606
2000	0	0	11	40	325	316	130	301	474	140	16	3	1756
2001	0	0	0	40	272	144	338	311	330	132	32	0	1599
2002	0	3	2	48	175	269	280	272	428	212	48	0	1738
2003	0	0	38	66	238	498	523	365	509	81	40	0	2357
2004	0	0	23	21	241	255	190	181	378	234	68	0	1591
2005	0	0	4	21	309	281	195	232	402	390	0	0	1835
2006	10	0	0	128	250	431	395	274	350	462	119	0	2419
2007	0	0	24	103	134	372	375	220	408	216	34	0	1886
2008	0	63	5	108	166	430	454	345	510	430	0	0	2511
2009	0	0	0	0	473	393	282	318	320	83	215	0	2084
2010	0	0	0	107	576	515	366	477	320	82	28	1	2472
2011	7	34	60	98	85	325	591	565	578	628	51	0	3022

Fuente: DGOA, mayo 2012. Datos de precipitación de la estación pluviométrica Concepción Quezaltepeque (G-12), ubicada en las coordenadas N 329182 y W 503960; con elevación de 390 m.s.n.m. Los datos sombreados en color salmón han sido obtenidos por medio de relleno de datos faltantes utilizando el método de U.S. Weather Bureau, con registros obtenidos de las estaciones Cerrón Grande, Chorrera de Guayabo, La Palma y Nueva Concepción.

**ANEXO B.4.: REGISTRO PRECIPITACION MENSUAL ESTACION
“CERRON GRANDE” DURANTE EL PERÍODO 1974-
2011 EN MM.**

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1974						366	161	348	314	32	0	0	1221
1975	1	0	49	1	185	195	237	346	416	266	106	0	1802
1976	0	0	2	224	195	615	191	183	248	125	47	0	1830
1977	0	0	0	90	164	363	218	465	281	107	98	0	1786
1978	0	0	29	29	140	250	367	286	245	180	63	4	1593
1979	0	1	5	178	191	385	284	321	308	314	3	3	1993
1980	0	0	0	55	274	-	389	-	-	-	28	0	746
1981	0	0	14	44	144	478	291	216	326	330	3	19	1865
1982	1	10	0	122	374	384	215	170	430	210	63	28	2007
1983	0	1	4	44	198	326	151	335	227	156	32	26	1500
1984	2	4	7	67	176	210	327	271	376	133	10	0	1583
1985	0	0	0	112	183	220	361	312	210	206	46	15	1665
1986	0	0	0	34	186	189	-	257	266	186	20	0	1138
1987	0	2	24	82	144	514	464	301	297	-	-	14	1842
1988	0	0	61	85	133	425	282	353	195	261	-	-	1795
1989	2	0	0	66	221	260	258	448	303	-	143	0	1701
1990	0	1	20	75	340	355	276	260	667	159	61	4	2218
1991	0	0	0	55	316	390	121	283	221	378	37	74	1875
1992	0	0	1	101	115	476	453	320	453	150	26	8	2103
1993	23	0	34	101	329	272	305	371	346	197	10	0	1988
1994	0	10	5	55	225	172	207	446	244	136	71	1	1572
1995		0	19	78	179	305	352	223	490	137	6	30	1819
1996	33	0	48	120	216	444	323	276	420	126	27	0	2033

**ANEXO B.4.: REGISTRO PRECIPITACION MENSUAL ESTACION
“CERRON GRANDE” DURANTE EL PERÍODO 1974-
2011 EN MM.**

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1997	8	0	8	49	225	326	177	196	400	120	73	37	1619
1998	0	0	27	0	88	239	219	414	181	362	170	0	1700
1999	0	8	0	47	271	392	234	476	316	184	1	13	1942
2000	0	0	0	39	163	299	195	242	410	166	34	0	1548
2001	0	0	0	12	250	145	343	256	278	130	39	0	1453
2002	1	14	4	100	224	161	329	350	304	304	7	0	1797
2003	0	1	21	29	198	344	280	214	591	139	24	15	1856
2004	0	0	15	53	534	348	360	305	385	182	49	7	2238
2005	0	0	100	20	346	303	322	248	551	308	19	5	2221
2006	3	0	10	137	318	440	364	225	446	110	81	1	2135
2007	0	0	27	147	174	188	339	232	338	306	16	0	1766
2008	0	9	22	97	87	478	453	237	369	387	0	0	2139
2009	0	2	2	24	442	356	250	302	341	152	208	16	2096
2010	0	2	1	150	349	458	349	361	430	95	34	0	2229
2011	6	15	33	36	122	348	445	410	202	382	33	0	2032

Fuente: DGOA, mayo 2012. Datos de precipitación de la estación pluviométrica Cerrón Grande (B-10), ubicada en las coordenadas N 312404 y W 509005; con elevación de 325 m.s.n.m.

**ANEXO B.5.: TABLA DE PRECIPITACION MENSUAL
ESTACION“CHORRERA DE GUAYABO”
DURANTE EL PERÍODO 1993-2010 EN MM.**

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1994	1	0	1	81	212	352	209	533	217	178	38	2	1824
1995	0	0	12	69	24		400	251	452	274	20	10	1512
1996	8	1	16	66	287	427	411	238	411	183	21	0	2069
1997	9	11	29	33	218	318	209	294	286	134	125	3	1669
1998	0	0	91	0	106	242	174	566	90	376	195	6	1846
1999	0	0	7	28	326	483	318	532	530	295	1	14	2534
2000	0	0	1	46	407	286	120	189	421	193	20	0	1683
2001	0	1	0	21	376	81	301	259	219	168	44	0	1470
2002	0	4	0	39	205	322	375	254	492	191	72	0	1954
2003	0	1	33	24	160	256	450	483	431	184	42	0	2064
2004	0	0	1	73	290	287	285	415	498	329	35	0	2213
2005	0	0	80	10	329	394	175	364	492	366	41	5	2256
2006	1	0	8	164	398	309	339	303	444	273	77	4	2320
2007	0	0	9	64	379	181	391	250	379	271	10	1	1934
2008	11	14	0	85	162	462	448	283	316	424	0	0	2205
2009	0	2	0	50	380	511	204	327	315	118	190	25	2121
2010	0	2	1	150	349	458	349	361	544	78	69	0	2361

Fuente: DGOA, mayo 2012. Datos de precipitación de la estación pluviométrica Chorrera de Guayabo (B1), ubicada en las coordenadas N 319793 y W 527008; con elevación de 190 m.s.n.m.

ANEXO B.6.: TABLA DE PRECIPITACION MENSUAL ESTACION “LA PALMA” DURANTE EL PERÍODO 1993-2010 EN MM.

Año/Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1993	1.7	0.0	35.4	129.2	153.7	443.0	414.0	464.0	414.7	245.9	4.1	0.0	2305.7
1994	2.6	14.6	11.0	159.7	235.2	701.8	172.5	690.4	185.6	442.6	53.0	0.0	2669
1995	0.0	0.0	0.7	159.4	190.6	509.9	305.0	370.4	488.9	163.5	0.4	10.3	2199.1
1996	5.5	16.1	0.8	206.2	335.9	453.8	531.7	419.1	441.7	162.6	16.2	0.0	2589.6
1997	15.5	0.0	0.0	6.5	152.3	621.2	222.2	174.4	673.3	351.1	103.0	9.0	2328.52
1998	0.0	0.0	110.5	0.0	135.2	524.4	266.1	473.7	346.4	610.3	238.7	3.2	2708.5
1999	2.5	0.0	83.9	29.8	141.8	377.8	260.4	364.4	809.4	430.0	23.4	1.7	2525.1
2000	0.0	0.0	12.7	31.1	682.2	392.6	106.9	346.2	669.5	146.8	11.5	0.5	2400
2001	0.0	0.0	0.6	57.9	347.8	177.7	406.9	391.3	464.6	184.6	51.2	0.0	2082.6
2002	0.7	6.2	1.7	3.7	192.6	351.1	272.3	227.4	387.8	249.0	84.3	0.0	1776.8
2003	0.1	0.0	33.2	10.0	468.1	527.9	261.2	356.9	578.0	--	61.0	0.0	2296.4
2004	0.4	6.0	0.0	117.6	184.5	426.1	310.1	183.5	411.2	310.8	9.9	0.0	1960.1
2005	0.0	0.3	30.5	1.6	179.2	522.4	477.0	373.8	497.0	342.7	21.7	6.1	2452.3
2006	3.9	5.4	0.7	42.2	200.0	773.3	397.8	312.5	565.7	317.0	117.7	13.4	2749.6
2007	0.0	0.0	0.0	194.4	51.4	412.0	368.6	463.5	565.4	433.9	2.8	0.0	2492
2008	9.5	53.4	7.4	104.3	223.7	370.0	565.5	556.0	560.9	169.3	0.0	0.0	2620
2009	0.0	2.6	0.0	8.1	599.0	257.5	65.7	359.2	343.6	228.6	286.6	--	2150.9
2010	0.0	0.0	0.0	192.9	150.3	438.1	402.3	748.1	484.3	75.0	4.0	0.0	2495

Fuente: DGOA, mayo 2012. Datos de precipitación de la estación pluviométrica La Palma, ubicada en las coordenadas N 352053 y W 482556; con elevación de 1000 m.s.n.m.

ANEXO B.7.: TABLA DE PRECIPITACION MENSUAL ESTACION “NUEVA CONCEPCION” DURANTE EL PERÍODO 1993-2010 EN MM.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1993	--	0.0	66.7	12.6	129.9	423.1	249.7	483.6	230.6	135.7	5.7	0.0	1737.6
1994	--	2.8	12.2	40.8	188.0	230.0	218.0	407.0	107.0	109.0	34.5	0.0	1349.3
1995	0.0	0.0	5.9	86.4	168.0	348.0	294.0	259.0	361.5	140.0	5.7	5.7	1674.2
1996	6.3	0.0	1.0	135.0	142.0	266.0	432.0	288.0	434.0	969.0	39.0	0.0	2712.3
1997	16.2	6.4	20.8	4.1	191.0	452.7	214.3	175.1	419.8	110.8	94.5	15.7	1721.4
1998	0.0	0.4	5.9	2.8	137.1	141.6	317.3	485.9	208.6	301.6	279.4	1.7	1882.3
1999	0.8	0.0	0.0	6.3	135.2	398.5	305.7	459.5	430.6	496.7	0.5	6.1	2239.9
2000	0.0	0.0	46.6	26.0	174.1	342.7	141.4	309.1	205.1	95.2	10.9	0.0	1351.1
2001	0.0	0.0	0.0	56.2	199.3	203.6	419.6	188.1	250.7	67.1	3.1	0.0	1387.7
2002	0.0	3.4	0.2	28.0	126.0	283.0	220.0	183.0	460.0	188.0	54.2	0.0	1545.8
2003	0.1	0.0	4.7	8.4	159.1	300.8	307.0	242.0	397.7	53.4	27.3	17.8	1518.3
2004	0.0	1.4	0.8	33.0	153.4	365.0	239.0	200.2	358.9	156.9	40.9	0.6	1550.1
2005	0.1	0.0	20.3	22.1	275.7	409.3	207.0	363.9	318.8	231.0	6.9	7.7	1862.8
2006	4.7	0.0	29.7	52.8	238.3	412.3	340.0	182.8	219.4	278.4	51.1	0.8	1810.3
2007	0.0	0.0	3.5	168.3	97.0	230.6	225.9	226.4	422.5	151.3	20.8	0.0	1546.3
2008	0.0	31.7	0.0	29.5	191.3	251.6	327.0	343.6	431.2	248.8	0.0	0.0	1854.7
2009	0.0	9.9	0.3	39.6	187.7	200.6	147.2	246.2	121.1	121.7	156.3	--	1230.6
2010	0.0	0.0	4.8	143.7	466.0	344.5	295.1	451.9	321.2	55.3	10.4	0.0	2092.9

Fuente: DGOA, mayo 2012. Datos de precipitación de la estación pluviométrica Nueva Concepción, ubicada en las coordenadas N 333627 y W 468687; con elevación de 320 m.s.n.m.

ANEXO B.8.: PERFIL LITOLÓGICO DE POZO EN CASERÍO LA CONCEPCIÓN, CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO DE CHALATENANGO.

PROFUNDIDAD.	CARACTERÍSTICAS.
0- 20 Pies	PIROCLASTOS: Formación compuesta por clastos de pómez, cenizas volcánicas, lapillí, tobas, predominando los clastos de lavas basálticas, lavas escoriáceas en una matriz limo arcillosa. La formación presenta estructura suelta, textura clástica. La muestra se aprecia como arenas gruesas multicromo, predominando la tonalidad marrón, forma subredondeada y redondeada. Formación con características de alta trasmisividad y alta permeabilidad, Formación semidura.
20- 40 Pies	ARCILLA: Formación compuesta por limos y arcilla de color café claro, con un aproximado de 10% de arenas finas con alta plasticidad, con estructura semicompacta. La muestra de perforación se visualiza como una mezcla de arcillas, limos un bajo contenido de arena color café claro. Formación con características de baja trasmisividad y baja permeabilidad. Formación suave.
40 – 290 Pies	ARCILLA: Formación compuesta por limos y arcilla de color café claro, con un aproximado de 5% de arenas finas con alta plasticidad, con estructura semicompacta. La muestra de perforación se visualiza como una mezcla de arcillas, limos un bajo contenido de arena color café oscuro. Formación con características de baja trasmisividad y baja permeabilidad. Formación suave.
290 – 310 Pies	ARCILLA: Formación compuesta por limos y arcilla de color café claro, con un aproximado de 5% de arenas finas con alta plasticidad, con estructura semicompacta. La muestra de perforación se visualiza como una mezcla de arcillas, limos un bajo contenido de arena color café - amarillento. Formación con características de baja trasmisividad y baja permeabilidad. Formación suave.
310 –340 Pies	ARCILLA: Formación compuesta por limos y arcilla de color café claro, con un aproximado de 5% de arenas finas con alta plasticidad, con estructura semicompacta. La muestra de perforación se visualiza como una mezcla de arcillas, limos un bajo contenido de arena color negro oscuro. Formación con características de baja trasmisividad y baja permeabilidad. Formación suave.
340 – 380 Pies	SEDIMENTO ALUVIAL- FLUVIAL: Formación compuesta por clastos que trasportados y depositados, la formación está compuesta principalmente por ceniza y lapilli, limos, arcillas y arenas, con estructura suelta y textura clástica. La muestra se visualiza como arenas finas y gruesas en una matriz arcillosa de color negro. Formación con características de moderada permeabilidad y moderada trasmisividad. Formación suave.
380 – 420 Pies	TOBA LITICA: Formación compuesta por arenas y arcillas litificadas en proceso de descomposición y alto grado de fracturamiento, con estructura semicompacta, textura afanítica. La muestra de perforación se visualiza como gravas y arenas gruesas de color negro de forma laminar. Zona con características de moderada permeabilidad y moderada trasmisividad .Formación suave.

**CONTINUACIÓN ANEXO B.8.: PERFIL LITOLÓGICO DE POZO
EN CASERÍO LA CONCEPCIÓN,
CANTÓN SAN JOSÉ, MUNICIPIO
DE CHALATENANGO.**

PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS.
420 – 600 Pies	TOBA AGLOMERADA: Formación compuesta por aglomerado tobáceo en proceso de descomposición y alto grado de fracturamiento, con estructura semicompacta, textura clástica. La muestra de perforación se visualiza como arenas gruesas de forma laminar, combinadas con un bajo contenido de arcilla de color negro. Zona con características de moderada permeabilidad y moderada trasmisividad. Formación suave.
600 – 770 Pies	SEDIMENTO FLUVIAL: Formación compuesta por arenas finas y limos mezclada en una matriz arcillosa (50% de arcilla), estructura suelta, textura clástica. La muestra de perforación se visualiza como arenas finas en una matriz arcillosa, color negro. Zona con características de moderada permeabilidad y moderada trasmisividad. Formación suave.
770 – 790 Pies	SEDIMENTO FLUVIAL: Formación compuesta por arenas finas y limos mezclada en con arcilla (75% de arcilla), estructura suelta, textura clástica. La muestra de perforación se visualiza como arenas finas en una matriz arcillosa, color negro. Zona con características de baja permeabilidad y baja trasmisividad. Formación suave.
790 – 810 Pies	SEDIMENTO ALUVIAL: Formación compuesta por clastos que trasportados y depositados, la formación está compuesta principalmente por arenas gruesas y finas, estructura suelta y textura clástica. La muestra se visualiza como arenas finas y gruesas color gris claro. Los clastos presentan forma redondeada y subangulos. La zona presenta características de alta permeabilidad y alta trasmisividad. Formación suave.
810 – 900 Pies	TOBAS LITICAS (LUTITAS): Formación compuesta por arcillas litificadas (lutitas) con alto fracturamiento y descomposición. La muestra de perforación se visualiza como gravas, arenas gruesas y finas, con tonalidades gris claro y blanco, la forma de la muestra se aprecia como clastos angulosos y sub-redondeados. La zona presenta características de baja permeabilidad y baja trasmisividad. Formación suave.

Fuente: ANDA, Unidad de Investigación e Hidrogeología. "PERFIL LITOLOGICO POZO CANTON LOS AMATES, CHALATENANGO".

Tabla B.9.: VARIACIONES DE CONSUMO.

CONSUMO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Consumo máximo diario:	1.2 a 1.5 consumo medio diario
Consumo máximo horario:	1.8 a 2.4 consumo medio diario
Coefficiente de variación diaria	K1= 1.2 a 1.5
Coefficiente de variación horaria	K2 = 1.8 a 2.4
Coefficiente de variación mínima horaria	K3= 0.1 a 0.3 consumo medio diario.

Fuente: Normas técnicas para abastecimiento de agua potable y alcantarillados de aguas negras, ANDA1998, página 4.

ANEXO B.9.: DEMANDA DIARIA DE AGUA PARA LAS PRINCIPALES ESPECIES DOMESTICAS.

ESPECIE	CONSUMO (l/día)
Vacas adultas secas.	57
Vacas adultas productoras.	90-130
Lechones de 1 kg.	0.5
Cerdos en crecimiento de 13.6 kg.	2.6
Cerdos última etapa de crecimiento (54.5 kg).	6.8
Cerdos en finalización de crecimiento, 100 kg.	08-dic
Ovinos en crecimiento.	3
Ovinos a 1 mes de gestación.	3
Ovinos a 2 meses de gestación.	4.2
Ovinos a 3 meses de gestación.	4.5
Ovinos a 4 meses de gestación.	5.4
Ovinos a 5 meses de gestación.	6.6
Cabras productoras de carne.	4.2
Cabras productoras de leche.	11.2
Conejas a 8 semanas de parto.	4.5
Conejos a 8 semanas de edad.	0.5
Conejos machos adultos.	0.5
Conejas preñadas.	0.5
Pollos de 0.4 kg.	0.6
Pollos de 1.3 kg.	1.6
Gallinas de 1.3 kg.	3.3
Gallinas de 2.2 kg.	5.5
Gallinas de 4 kg.	10

Fuente: Estimación de las demandas de consumo de agua, Dr. Demetrio S. Fernández Reynoso, Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, México. Universidad Técnica Especializada UTE.

ANEXO B.10.: COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION.

Ocupación del suelo.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Agricultura limpia anua.	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Árboles Frutales.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque Caducifolio.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque de coníferas denso.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de coníferas raro.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de Galería.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque de Mangle.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque latifolia do.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque mixto.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque Secundario (Arbustal).	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque Siempre Verde.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosques de Coníferas.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosques Mixtos.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosques mixtos semi caducifoleos.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Caña de Azúcar.	0.6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1	1.05	1.15	1.15	0.85
Café.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Charral o Matorral.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coníferas.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cultivo de Piña.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos.	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	1	1	1	1

CONTINUACIÓN ANEXO B.10. COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION.

Ocupación del suelo.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Espacios con Vegetación Escasa.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estuarios.	1.15	1.15	1.15	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Granos Básicos.	1	1	1	1	0.35	1	1.05	1.05	0.6	1	1	1
Hortalizas.	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	0.95	1	1	1
Humedal con cobertura boscosa.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Lagos, Lagunas y otros (Lenticos).	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Lagos, lagunas y lagunetas.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Lagunas costeras y esteros.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Latifoliadas.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Mares y océano.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Marismas interiores.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Mixto.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Morrales en potreros.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos y Pastos.	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación.	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Otros Cultivos.	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Otros Cultivos Irrigados.	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1
Otros Humedales.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Palmeras Oleíferas.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CONTINUACIÓN ANEXO B.10. COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION.

Ocupación del suelo.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pastos Cultivados.	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Pastos naturales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Perímetro acuícola.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Plantaciones de Bosques Mono específico.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Platanales y Bananeras.	0.55	0.55	0.55	0.65	0.7	0.85	0.95	1	1	1	1	0.95
Playas, dunas y arenales.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas Pantanosas.	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Rocas Expuestas (incluye áreas erosionadas).	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roqueda, lavas.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ríos.	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Salinas.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas Agroforestales.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Tierras sin bosque.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vacías.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Vegetación Arbustiva Baja.	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vegetación arbustiva de playa.	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Vegetación Esclerófila o espinoso.	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Vegetación herbácea natura.	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1

CONTINUACIÓN ANEXO B.10. COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION.

Ocupación del suelo.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Viveros de Plantas Ornamentales y Otras.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas de Extracción Minera.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Eco tonales.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Quemadas.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Verdes Urbanas.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Modulo 6 Balance Hídrico; Maestría en gestión de recursos Hidrogeológicos, Universidad de El Salvador.

ANEXO B.11.: CLASIFICACION DE SUELOS USDA.

Ordenes de suelos.	Características más frecuentes.
Alfisoles.	Suelos minerales maduros, bien desarrollados, con un horizonte superficial de color claro (epipedónócrico) o de color oscuro (epipedónúmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (horizonte argílico); el orden de los Alfisoles se caracteriza por presentar un horizonte subsuperficial de enriquecimiento secundario de arcillas desarrollado en condiciones de acidez o de alcalinidad sódica, y asociado con un horizonte superficial claro, generalmente pobre en materia orgánica o de poco espesor. Los suelos que pertenecen a este orden presentan una alta saturación con bases en todo el perfil. El drenaje interno en estos suelos varía de pobre, moderado a bien drenados.
Molisoles.	Los Molisoles son básicamente suelos negros o pardos, ricos en humus, que se han desarrollado a partir de sedimentos minerales. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral genera en el transcurso del tiempo un proceso de oscurecimiento del suelo por la incorporación de materia orgánica, que refleja más profundamente en la parte superficial, la que se denomina epipedónmólico. Otras propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y aire; la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la fluctuación de los coloides; la dominancia de arcillas; moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases; son suelos de poco profundos a muy profundos; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piro clásticas. El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado.
Ultisoles.	Suelos de zonas húmedas templadas a tropicales sobre antiguas superficies intensamente meteorizadas. Se desarrollan de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales. Presentan un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenado. Son suelos profundos a muy profundos, con texturas superficiales franco arcillosa y arcillosa, textura del subsuelo de arcillosa a muy arcillosa; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del hidromorfismo de gris parduzco claro a gris claro.
Entisoles.	Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no poseen el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros (epipedónócrico) u oscuros (epipedónúmbrico), la profundidad varía de profundos a muy superficiales. El drenaje interno varía de excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre. Las texturas tanto superficiales como del subsuelo varían de arenosas a arcillosas, con colores que van desde oscuros a pardos.
Inceptisoles.	Son suelos minerales de desarrollo incipiente, con débil desarrollo de horizontes. Muestran horizontes alterados que han sufrido pérdida de bases, hierro y aluminio pero conservan considerables reservas de minerales meteorizables. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas El drenaje natural interno de estos varía de muy pobre a bien drenados La textura superficial varía de arena franca hasta arcillosa, de franco arcilloso a arcilloso.
Vertisoles.	Son suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente. Formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0 a 8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15%. El drenaje natural es de imperfecto a moderado, pobre y muy pobre.

Fuente: Modulo 6 Balance Hídrico; Maestría en gestión de recursos Hidrogeológicos, Universidad de El Salvador.

ANEXO B.12.: CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE Y AGUA DISPONIBLE PARA PROFUNDIDAD DEL SUELO DE 60cm.

Clasificación del Suelo	Capacidad de Retención (mm)	Capacidad de Campo(mm)	Punto de Marchitez Permanente (mm)	Textura Asociada
Alfisoles, algunos Molisoles.	100	190	90	franco arcilloso
Alfisoles, Molisoles.	100	190	90	franco arcilloso
Alfisoles, Ultisoles.	100	190	90	franco arcilloso
Aluviales.	100	160	60	franco
Andosoles.	105	175	70	franco limoso
Aquents Aquepts.	100	160	60	franco
Aquept.s	100	160	60	franco
Aquepts Ustepts.	100	160	60	franco
AqueptsUstolls.	100	190	90	franco arcilloso
Aquerts Aquepts Orthents.	70	200	130	arcillas
Basalt.	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles.	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles.	100	160	60	franco
Entisoles, Inceptisoles, Molisoles.	100	160	60	franco
Entisoles, Vertisoles .	100	190	90	franco arcilloso
Inceptisoles.	100	160	60	franco
Inceptisoles, Alfisoles, Molisoles.	100	190	90	franco arcilloso
Inceptisoles, Entisoles.	100	160	60	franco
Inceptisoles, Ultisoles, Alfisoles.	100	190	90	franco arcilloso
Litosoles.	70	200	130	arcillas
No Clasificado.	100	160	60	franco
Non-calcic.	100	160	60	franco
Orthents.	100	160	60	franco
OrthentsAquents.	100	160	60	franco
OrthentsPsammentsAquents.	100	160	60	franco
OrthentsUsteps.	100	160	60	franco
OrthentsUstepsUstafs.	100	160	60	franco
OrthentsUsterts.	100	160	60	franco

CONTINUACIÓN ANEXO B.12. CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE Y AGUA DISPONIBLE PARA PROFUNDIDAD DEL SUELO DE 60cm.

Clasificación del Suelo	Capacidad de Retención (mm)	Capacidad de Campo(mm)	Punto de Marchitez Permanente (mm)	Textura Asociada
OrthentsUstertsUsteps.	100	160	60	franco
Psamments.	100	160	60	franco
PsammentsOrthents.	100	160	60	franco
PsammentsUstolls.	100	160	60	franco
Suelo de valles.	100	160	60	franco
UstalfsUsteps.	100	190	90	franco arcilloso
UstalfsUstult.	100	160	60	franco
UstandsOrthents.	100	160	60	franco
UstandsOrthentsUsteps.	100	190	90	franco arcilloso
UstandsPsamments.	100	190	90	franco arcilloso
UstandsUstalfsOrthents	100	190	90	Franco arcilloso
UstandsUsteps.	100	190	90	Franco arcilloso

Fuente: SNET, Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador componente evaluación de recursos hídricos, 2005, página 45.


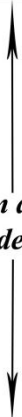


ANEXO C.


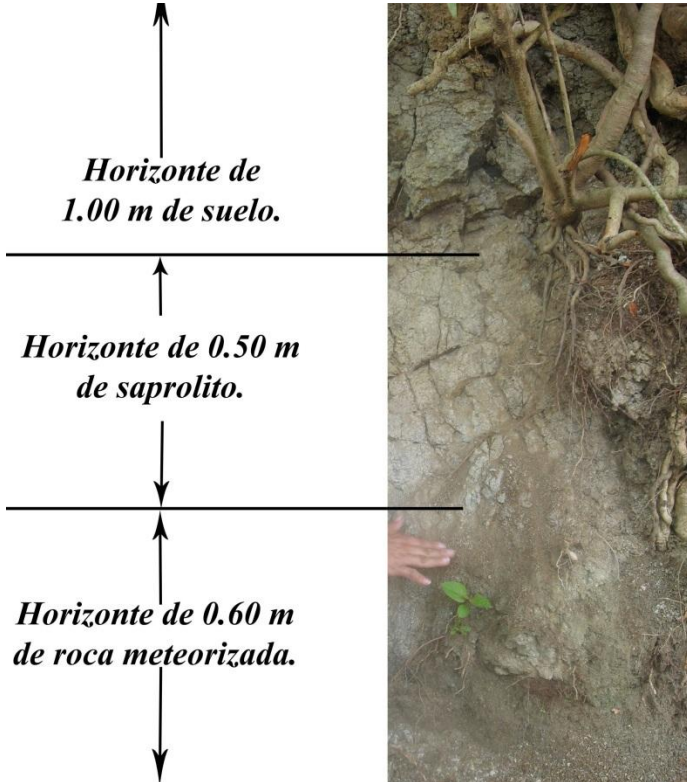
DESCRIPCIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS
GEOLÓGICO Y CLASIFICACIÓN DE ROCAS.


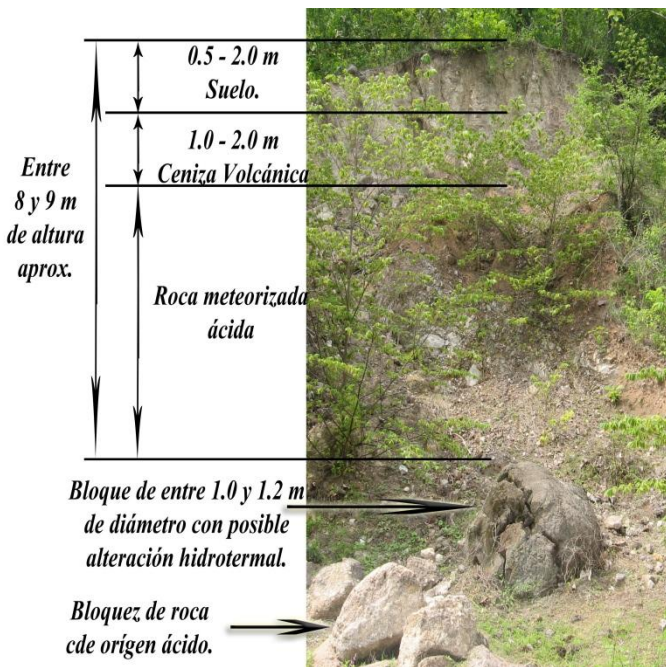
(VERIFICACIÓN GEOLÓGICA).

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 1.	
<p>LUGAR: Cauce de quebrada seca.</p> <p>UBICACIÓN: Intersección de Calle a San José con Quebrada del Río Muca. Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 321786 W 503517 (m) ELEVACIÓN: 295 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN: Taludes descubiertos a lo largo de los márgenes de la quebrada.</p> <p>Litología: En ambos bordes de la quebrada se observa a partir del fondo una capa de espesor variable de Brecha Volcánica, de aproximadamente 65 cm altura en la orilla izquierda aguas abajo del río Muca, mientras que en la margen derecha aguas arriba el espesor de la capa varía entre 1 y 1.5 m. Sobre esta capa en la margen derecha aguas arriba se encuentra un horizonte de aproximadamente 10 cm de Ceniza Volcánica, el cuál deja de ser visible en algunos tramos. Sobre la brecha y la ceniza se localiza una capa de suelo de espesor variable entre 2 y 3 m., cubierta de abundante vegetación. A lo largo del fondo del río se encuentran depósitos aluviales de diferentes diámetros que varían entre 5 y 30 cm. Durante ambas visitas la quebrada se encontró sin flujo de agua. (En la visita del mes de mayo contenía agua estancada).</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p>Litología margen izquierda, aguas abajo. (de intersección).</p>  <p>Litología margen derecha, aguas arriba. (de intersección).</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 24/03 y 12/05 de 2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos y S. Ticay.</p>

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 2.	
<p>LUGAR: Afloramiento.</p> <p>UBICACIÓN: 90 m río arriba del punto de verificación geológica # 1. Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 321722 W 503593 (m)</p>	<p>ELEVACIÓN: 295 (m.s.n.m.)</p>
<p>DESCRIPCIÓN: Afloramiento de roca Basalto.</p> <p>Este afloramiento de basalto tiene una altura de aproximadamente 3 m y su ancho es de al menos 10 m. Al pie de este afloramiento se encuentra una capa de brecha volcánica meteorizada.</p> <p>El afloramiento se encuentra bastante fracturado y en estas fracturas se evidencian marcados planos de fallas en distintas direcciones. También presenta la superficie de la roca estrías que evidencian el desplazamiento de la roca.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;"><i>3.00 m aprox., de roca descubierta</i></p> <p style="text-align: center;">Vista de perfil de afloramiento de basalto.</p>  <p style="text-align: center;">Vista del alto grado de fracturación que posee el afloramiento.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 24/03 y 12/05 de 2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos y S. Ticay.</p>

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 3.	
<p>LUGAR: Afloramiento.</p> <p>UBICACIÓN: Cantón y Caserío San José a 250 m aproximadamente de Turicentro “La Ramada”. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 320379 W 503828 (m) ELEVACIÓN: 317 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN: Afloramiento de Toba Riolítica.</p> <p>El afloramiento tiene dimensiones de aproximadamente 2 m de altura, y al menos 8 metros de amplitud de roca expuesta.</p> <p>La roca presenta un alto grado de fracturación.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;">  <p><i>2.00 m aprox., de roca descubierta</i></p> </div>  </div> <p style="text-align: center;">Vista un sector del Afloramiento.</p>  <p style="text-align: center;">Afloramiento de toba riolítica con alto grado de fracturación.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 24/03 y 12/05 de 2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos y S. Ticay.</p>


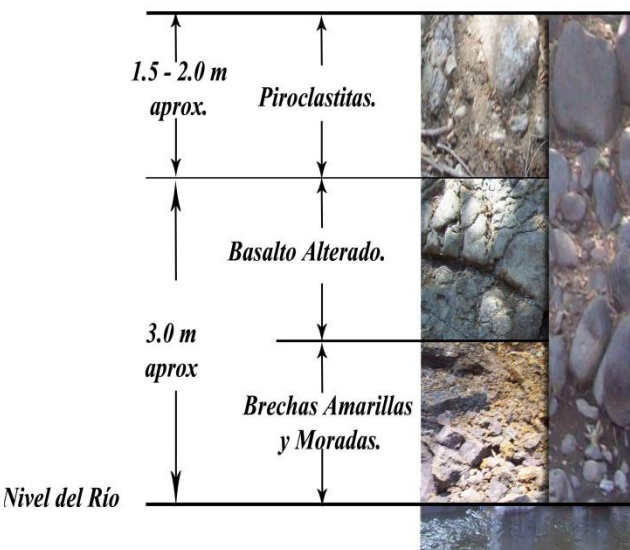

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 4.	
<p>LUGAR: Pequeño Talud.</p> <p>UBICACIÓN: Cantón San José a 500 m aproximadamente de Turicentro “La Ramada” y a 250 m al Sur de punto verificación geológica # 3. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 320166 W 503886 (m) ELEVACIÓN: 342 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud de poco más de 2 m de altura.</p> <p>En este se observa un primer estrato de roca Riolita con alto grado de meteorización, la cual posee un color café claro que denota el origen ácido de la roca, fragmentos de ésta se pueden extraer con relativa facilidad.</p> <p>Como segundo estrato se encuentra la misma roca con un grado muy alto de descomposición por lo que se puede decir que esta totalmente descompuesta, se pueden extraer fragmentos con la mano los cuales pueden desgranarse con facilidad.</p> <p>En la parte superior se encuentra una capa de suelo de aproximadamente 1 m de espesor, la cual esta cubierta totalmente por vegetación.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Vista del Talud.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 12/05/ 2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniera S. Campos.</p>


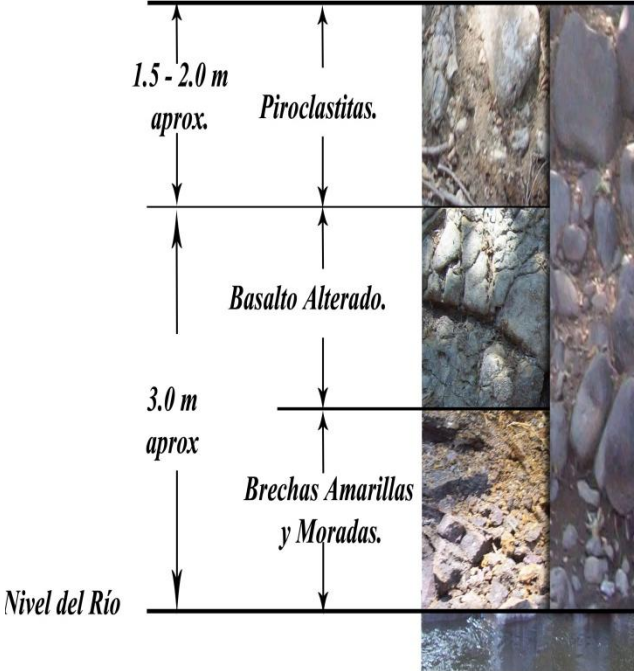
PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 5.	
<p>LUGAR: Deslizamiento.</p> <p>UBICACIÓN: A 300 m de del punto de intersección de Carretera a Cantón San José y Carretera a Azacualpa. Municipio de San Miguel de Mercedes, Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 319420 W 503838 (m) ELEVACIÓN: 380 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN: Deslizamiento que evidencia una capa de suelo superior de entre 0.5 y 2.0 m, cubierto por abundante vegetación. Luego se encuentra una capa de ceniza volcánica de entre 1 y 2 m de espesor. En la parte baja se muestran rocas meteorizadas, su color claro denota la composición ácida de éstas. Al pie del deslizamiento se encuentran unos bloques rocosos de entre 35 y 50 cm de diámetro de roca de composición ácida. También se muestra un bloque de roca de entre 1 y 1.2 metros que puede haber sufrido alteración hidrotermal</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Vista del talud producto de deslizamiento.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 12/05/2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos.</p>

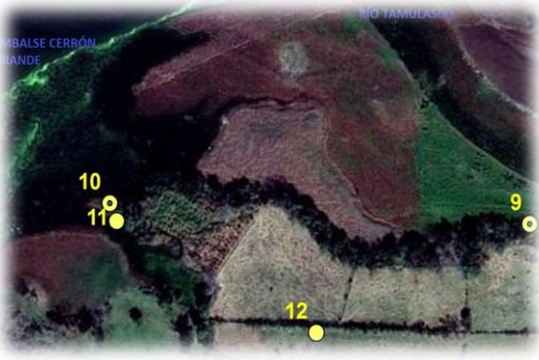

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 6.	
<p>LUGAR: Cauce de Río Muca.</p> <p>UBICACIÓN: Intersección de Carretera a San Francisco Lempa con Río Muca, entre los Caseríos “La Concepción” y “Agua Caliente”. Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 322888 W 502033 (m) ELEVACIÓN: 260 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>En el fondo del cauce se encuentran depósitos aluviales, con cantos de tamaño entre los 5 y 40 cm de diámetro. Cauce que actualmente posee un pequeño flujo de agua cercano a la margen derecha.</p> <p>En la margen derecha se observa brecha volcánica a lo largo de todo el talud. Con espesor que varía desde 2 a 3 m de altura. Esta brecha se encuentra en diferentes tonalidades, color rojizo en la parte inferior y un tono blanco en algunas partes superiores del talud. En la parte superior se encuentra cubierto de abundante vegetación.</p> <p>En la margen izquierda se encuentra un talud de suelo de al menos 2 metros de altura, conformando una terraza aluvial de aproximadamente 10 m de ancho, sobre la cual se presume se encontraba el cauce del río con anterioridad.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Cauce del Río Muca, aguas arriba del puente del caserío Agua Caliente.</p>  <p style="text-align: center;">Talud descubierto en margen derecha del río.</p>  <p style="text-align: center;">Terraza aluvial en margen izquierda del río.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 24/03 y 12/05 de 2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos y S. Ticay.</p>




PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 7.	
<p>LUGAR: Pozo en excavación.</p> <p>UBICACIÓN: Caserío Aguas Calientes, frente a pozo comunal. Cantón San José, Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 322803 W 501472 (m) ELEVACIÓN: 267 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Pozo que se secó por primera vez, en enero de 2012, por lo cual se comenzó a excavar más profundo, originalmente poseía aproximadamente 8 m de profundidad, en el momento de la visita rondaba los 15 m.</p> <p>Se observa que posee un primer estrato de roca basáltica meteorizada con arcilla.</p> <p>El segundo estrato está compuesto de brecha volcánica oxidada con clastos rojizos y matriz arcillosa.</p> <p>El material más profundo es brecha oxidada roja-marrón, con mineralización de cuarzo.</p> <p>Según el material que se encontró depositado junto al pozo.</p> <p>Las alteraciones que presentan las rocas del segundo y tercer estrato parecen de carácter hidrotermal, ya que según los lugareños, aproximadamente a 50 m de este lugar, cruzaba una quebrada con agua caliente, que se secó hace 4 años. La causa de las diferentes tonalidades puede deberse a la diferencia de temperatura a la que fueron sometidos dichos estratos.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Perfil esquemático del pozo.</p> </div>  <p>Materiales obtenidos durante la excavación de pozo, a la izquierda el material intermedio, y a la derecha el material más profundo.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 24/03 y 12/05 de 2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León, Ingenieros S. Campos y S. Ticay.</p>

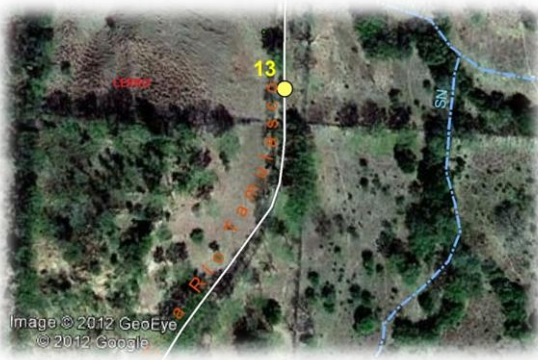



PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 8.	
<p>LUGAR: Intersección de camino a San Bartolo con el Río Tamulasco.</p> <p>UBICACIÓN: Sobre camino que conduce del Caserío Gualcho a las reubicaciones del Cantón San Bartolo, cercano a la desembocadura del río Tamulasco en Embalse Cerrón Grande. Municipio y Departamento de Chalatenango</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 323287 W 500043 (m) ELEVACIÓN: 240 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>En este lugar se encuentra material aluvial, cantos de pocos centímetros hasta cantos que alcanzan y superan los 50 cm de diámetro, siendo más evidentes éstos de gran tamaño.</p> <p>En la parte del talud visible, se observa basalto y material piroclástico.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Vista de un sector del Río Tamulasco, en su parte baja.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>




PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 9.	
<p>LUGAR: Talud a lo largo del Río Tamulasco.</p> <p>UBICACIÓN: Parte baja del río cercano a la desembocadura en Embalse Cerrón Grande. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 323008 W 499657 (m) ELEVACIÓN: 240 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud que se encuentra a lo largo del Río Tamulasco.</p> <p>En la parte superior se encuentra material piroclástico en el cual se observan pómez a una altura de aproximadamente 3 m a partir del nivel del río.</p> <p>Bajo las piroclástitas se encuentra una capa de Basalto alterado, y bajo este una capa de Brecha de tono amarillo, aproximadamente tienen una altura de 3.0 m de espesor ambas capas.</p> <p>Sobre el material antes descrito se encuentra depositado material aluvial con rocas desde los pocos centímetros hasta los 40-50 cm de diámetro.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Perfil esquemático de Talud a lo largo del Río Tamulasco.</p>  <p style="text-align: center;">Rocas en el talud a lo largo del Río Tamulasco.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>



PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 10.	
<p>LUGAR: Desembocadura del Río Tamulasco en Embalse Cerrón Grande</p> <p>UBICACIÓN: En la desembocadura del Río Tamulasco con Embalse Cerrón Grande e intersección con Quebrada S/N. Municipio y Departamento de Chalatango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 323021 W 499377 (m)</p>	<p>ELEVACIÓN: 240 (m.s.n.m.)</p>
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>En la desembocadura del Río Tamulasco el Talud de la margen izquierda se mantiene con la misma configuración que mostraba aguas arriba, con una capa de piroclástitas en la parte superficial, seguido de una capa de basaltos, y por último se visualiza una capa de brecha, sobre lo cual se ha depositado material aluvial.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Perfil esquemático de Talud a lo largo del Río Tamulasco.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 11.	
<p>LUGAR: Cauce de Quebrada S/N.</p> <p>UBICACIÓN: Desembocadura de quebrada S/N en Embalse Cerrón Grande, cerca del punto de desembocadura del río Tamulasco en Embalse. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 323010 W 499382 (m) ELEVACIÓN: 240 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud que muestra estratos de Brechas coloreadas en tonos morados y amarillos.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p>Talud conformado por brechas de color amarillo y morado.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>




PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 12.	
<p>LUGAR: Talud debido a deslizamiento.</p> <p>UBICACIÓN: Entre dos quebradas con nombre desconocido, punto cercano al Rio Tamulasco y a Embalse Cerrón Grande. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 322940 W 499515 (m)</p>	<p>ELEVACIÓN: 243 (m.s.n.m.)</p>
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud en el que se muestra una capa de más de 2 metros de Brecha Volcánica, sobre la cual descansa material piroclástico.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Talud de 2 m de altura, formado por brecha volcánica.</p>  <p style="text-align: center;">Vista panorámica de talud con material piroclástico.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>




PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 13.	
<p>LUGAR: Colada de lava evidente.</p> <p>UBICACIÓN: Sobre camino que conduce del Caserío Gualcho a Cantón San Bartolo (Camino que se intersecta con Río Tamulasco) 750 m al sur de intersección con Río Tamulasco, frente a loma El Coco. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 322586 W 500193 (m) ELEVACIÓN: 268 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Se observan rocas basálticas de color gris, con textura en forma de láminas, las cuales presentan meteorización. Debido a la morfología del terreno (valle al pie de loma “El Coco”), se presume provienen de una colada de lava. Se observa al menos una capa de 30 cm sobre el camino.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p>Roca basáltica característica del lugar.</p>  <p>Camino que conduce de Caserío Gualcho a Cantón San José.</p>  <p>Vista que muestra al fondo la loma El Coco.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>



PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 14.	
<p>LUGAR: Loma compuesta por roca basáltica.</p> <p>UBICACIÓN: 350 m al norte del Caserío Gualcho, sobre camino que conduce de éste caserío a Cantón San Bartolo. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 321724 W 500022 (m)</p>	<p>ELEVACIÓN: 281 (m.s.n.m.)</p>
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Loma formada por roca basáltica alterada por meteorización, de al menos 7 m de altura.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Loma formada por roca basáltica.</p>  <p style="text-align: center;">Roca basáltica alterada.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>


PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 15.	
<p>LUGAR: Talud de roca basáltica descubierta.</p> <p>UBICACIÓN: A 50 m, de la intersección de Calle del Caserío Gualcho y Camino que conduce de este Caserío a San Bartolo. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 321460 W 500008 (m) ELEVACIÓN: 279 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud de Roca Basáltica de 3 m de altura, fracturada y alterada por meteorización</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Roca basáltica alterada y fracturada.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 04/04/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniero S. Ticay.</p>





PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 16.	
<p>LUGAR: Talud de roca basáltica descubierta.</p> <p>UBICACIÓN: Embalse Cerrón Grande a 500 m del Caserío Gualcho. Municipio y Departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 321121 W 499353 (m) ELEVACIÓN: 245 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud en las cercanías del Embalse Cerrón Grande en la que se observa de color Marrón capa de Brecha volcánica, sobre la cual descansa material piroclástico.</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Talud en las cercanías del Embalse Cerrón Grande.</p>  <p style="text-align: center;">Zonas de planicies que se inundan al incrementar el nivel del agua del Embalse Cerrón Grande.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 12/05/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León e Ingeniera S. Campos.</p>

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 17.	
<p>LUGAR: Talud de Toba Riolítica.</p> <p>UBICACIÓN: Sobre carretera que conduce de San Miguel de Mercedes a Azacualpa. Entre caseríos “Los Hernández” y “Matazano” municipio de San Miguel de Mercedes, departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 319878 W 504818 (m) ELEVACIÓN: 425 (m.s.n.m.)</p>	
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Talud de roca Toba Riolítica de 35 m de ancho por 20 m de alto aproximadamente, con pendiente entre 85 y 90 grados con respecto a la horizontal.</p> <p>En este talud en el lado sur-oeste se encuentra en contacto con Rocas basálticas oxidadas que superficialmente presentan color amarillento.</p> <p>Según un lugareño el material de ese lugar fue utilizado para la construcción de la carretera que pasa frente a él (San Miguel de Mercedes – Azacualpa).</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Talud de Toba Riolítica.</p>  <p style="text-align: center;">Contacto entre Tobas Riolíticas y Rocas Basálticas.</p>
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 28/08/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León.</p>

PUNTO VERIFICACIÓN GEOLÓGICA # 18.	
<p>LUGAR: Manantial “El Ojushte”.</p> <p>UBICACIÓN: A las afueras de San Miguel de Mercedes, en las faldas del Cerro El Zope, sobre la carretera que conduce de ese municipio a Azacualpa, ambos del departamento de Chalatenango.</p>	<p>ESQUEMA DE UBICACIÓN:</p> 
<p>COORDENADAS: N 319878 W 504818 (m)</p> <p>ELEVACIÓN: 425 (m.s.n.m.)</p>	<p>ESQUEMAS Y FOTOGRAFÍAS:</p>  <p style="text-align: center;">Roca Basalto característica del Cerro El Zope.</p>  <p style="text-align: center;">Roca Basalto fisurada en la cual brota agua.</p>
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Las rocas que se distinguen en el Cerro El Zope son basaltos; estos basaltos están fisurados. En el lugar conocido como el Ojushte (debido a un árbol), entre las fisuras de las rocas brota agua, la cual es captada por una pequeña pila.</p>	
<p>FECHA DE RECONOCIMIENTO: 28/08/2012.</p>	<p>RECONOCIMIENTO POR: A. Rivera, B. Montoya, V. León.</p>


Muestra número: 1		Punto de verificación Geológica: 3	
		  	
Roca probable: Toba Riolítica.			
Ambiente de formación: Volcánico.			
Procedencia: Extraída de afloramiento en punto de verificación geológica # 3.			
Características físicas:		Características químicas probables:	
Textura: Piroclástica.		Composición Química: Félsica.	
Índice de color: 10% (Claro)		Minerales Dominantes: Cuarzo y Feldespato potásico.	
Composición mineralógica: Entre 3% y 5% (minerales oscuros)		Otros minerales presentes: Biotita y Anfíbol.	
Color (aparente): Gris Claro. (amarillento y café superficialmente).			
Observaciones: En la fotografía A, se observa que superficialmente la muestra posee un pequeño grado de alteración en la superficie debido a la meteorización, que le dan un aspecto amarillento y café; En la fotografía B, se visualiza que la alteración ha penetrado por medio de las fisuras presentando un aspecto similar al de la superficie de la muestra. La roca resulta difícil de romper y al hacerlo, falla a través de los planos de fisura, en la fotografía C, se muestran algunas fisuras que presenta la muestra. Y en la fotografía D, se muestra el color de la roca pulverizada el cual es café claro que tiende a verse blanco.			
Fecha de Clasificación: 4/7/2012.		Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León.	
<i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i>			

Muestra número: 2	Punto de verificación Geológica: 5
	
Roca probable: Toba Alterada.	
Ambiente de formación: Volcánico.	
Procedencia: Extraída de bloque de 1 m de diámetro encontrado en punto de verificación geológica 5.	
Características físicas: Textura: Piroclástica. Índice de color: 45% (Medio) Composición mineralógica: 30%. (minerales claros) Color (aparente): Gris Oscuro. (amarillento y marrón superficialmente).	Características químicas probables: Composición Química: Intermedia. Minerales Dominantes: Plagioclasa y Anfíbol. Otros minerales presentes: Piroxeno.
Observaciones: La muestra presenta alteraciones debidas a la meteorización, lo que superficialmente se evidencia en las tonalidades amarillas y marrón (óxido) que se visualizan en las fotografías A y B. También contiene fisuras, por las cuales la roca se parte al intentar romperla y el óxido se ha desarrollado entre las fisuras ya que al partir la roca en su interior presenta un aspecto similar al que tiene la muestra superficialmente, como se muestran en la fotografía C. En la fotografía D, se observa el color de la roca pulverizada el cual es café claro un poco grisáceo.	
Fecha de Clasificación: 4/7/2012.	Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León. <i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i>

Muestra número: 3	Punto de verificación Geológica: 5
	  
Roca probable: Toba Riolítica.	
Ambiente de formación: Volcánico (Efusiva).	
Procedencia: Roca común en punto de verificación geológica 5.	
Características físicas: <i>Textura:</i> Piroclástica. <i>Índice de color:</i> 15% (Medio) <i>Composición mineralógica:</i> 5%. (minerales oscuros) <i>Color (aparente):</i> Gris claro. (amarillento y marrón superficialmente)	Características químicas probables: <i>Composición Química:</i> Félsica. <i>Minerales Dominantes:</i> Cuarzo y Feldespato Potásico. <i>Otros minerales presentes:</i> Anfíbol.
Observaciones: Contiene vesículas y alteraciones debida a meteorización que le dan un tono más oscuro superficialmente (fotografía A), esta alteración se observa en el interior de la roca al partirla como lo muestran las fotografías B y C. En la fotografía D, se muestra la roca pulverizada que tiene color café.	
Fecha de Clasificación: 4/7/2012.	Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León. <small>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</small>

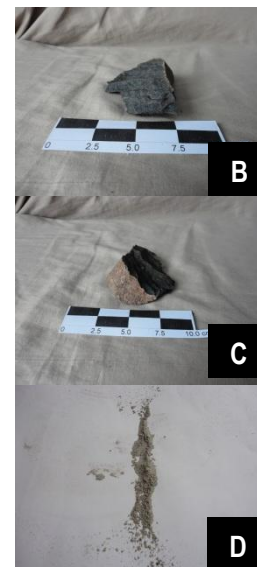
Muestra número: 4	Punto de verificación Geológica: 5
	
<p align="center">Roca probable: Toba Riolítica con Bajo Grado de Metamorfismo.</p>	
<p>Ambiente de formación: Volcánico (efusiva) y metamorfismo.</p>	
<p>Procedencia: Roca común en punto de verificación geológica 5.</p>	
<p>Características físicas: Textura: Piroclástica. Índice de color: 10% (Claro) Composición mineralógica: 3% (minerales oscuros) Color (aparente): Gris claro con rayas más oscuras.</p>	<p>Características químicas probables: Composición Química: Félsica. Minerales Dominantes: Cuarzo y Feldespato Potásico. Otros minerales presentes: Anfíbol.</p>
<p>Observaciones: En la figura A, se puede apreciar oxidación en la muestra y que la roca presenta un bajo grado de metamorfismo, ya que posee foliación, la cual se puede observar en el interior al romper la roca como lo muestran las fotografías B y C. La foliación se da comúnmente en regiones de metamorfismo regional en la cual los esfuerzos de compresión generan la alineación de los minerales. Esta muestra resultó más dura que las anteriores muestras para pulverizar, y el color de raya obtenido fue café claro que tiende a ser blanco (fotografía D).</p>	
<p>Fecha de Clasificación: 4/7/2012.</p>	<p>Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León. <i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i></p>

Muestra número: 5		Punto de verificación Geológica: 5			
					
					
		Roca probable: Toba Riolítica.			
Ambiente de formación: Volcánico.					
Procedencia: Roca común en punto de verificación geológica 5.					
Características físicas: <i>Textura:</i> Piroclástica. <i>Índice de color:</i> 12% (Medio) <i>Composición mineralógica:</i> 3% (minerales oscuros) <i>Color (aparente):</i> Gris claro.		Características químicas probables: <i>Composición Química:</i> Félsica. <i>Minerales Dominantes:</i> Cuarzo Feldespato Potásico. Otros minerales presentes: Anfíbol.			
Observaciones: Presenta un pequeño grado de alteración que le da colores amarillentos en la superficie como se muestra en las fotografías A, B y C. Esta muestra presento alta resistencia a la fractura ya que no pudo ser partida al golpearse repetidamente con el martillo. El color de la roca pulverizada es blanco (fotografía D).					
Fecha de Clasificación: 4/7/2012.		Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León.			
<i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i>					

Muestra número: 6	Punto de verificación Geológica: 7
	
Roca probable: Brecha Volcánica con Alteración Hidrotermal	
Ambiente de formación: Volcánico – Hidrotermal.	
Procedencia: Roca que se encuentra al menos a 8 metros de profundidad. (Roca extraída de pozo en excavación).	
Características físicas: Textura: Piroclástica. Índice de color: 45% (Oscura) Composición mineralógica: 80%. (minerales oscuros) Color (aparente): Rojizo.	Características químicas probables: Composición Química: Intermedio Minerales Dominantes: Cuarzo (incrustaciones), anfíbol y plagioclasa. Otros minerales presentes: Piroxeno.
Observaciones: La matriz de ceniza ha sido sustituida por una de cuarzo que se ha incrustado entre los clastos (fotografías A, B y C), posiblemente debido a alteraciones hidrotermales que son típicas de la zona. El color de la roca (clastos) obtenidos al pulverizar la muestra es rojo. Esta muestra en las zonas de los clastos presenta poca resistencia a ser rayada, y puede hacerse con las uñas.	
Fecha de Clasificación: 4/7/2012.	Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León.
<i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i>	

Muestra número: 8

Punto de verificación Geológica: 12



Roca probable: Basalto Alterado.

Ambiente de formación: Volcánico.

Procedencia: Roca común en punto de verificación geológica 12.

Características físicas:

Textura: Afanítica (Grano Fino). (Laminar)

Índice de color: 85% (Oscuro)

Composición mineralógica: 1%.
(minerales claros)

Color (aparente): Gris oscuro. (amarillento superficialmente).

Características químicas probables:

Composición Química: Máfica.

Minerales Dominantes: Olivino, Piroxeno y plagioclasas.

Otros minerales presentes: Anfíbol.

Observaciones: Presenta alteraciones debido a meteorización que le proporcionan un color amarillento – rojizo en la superficie como se muestra en las fotografías A, B y C. El color de la roca pulverizada es gris claro.

Fecha de Clasificación: 5/7/2012.

Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León.

Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.

Muestra número: 9	Punto de verificación Geológica: 14
Roca probable: Brecha Volcánica.	
Ambiente de formación: Volcánico.	
Procedencia: Roca común en punto de verificación geológica 14.	
Características físicas: Textura: Piroclástica. Índice de color: 50% (Oscuro) Composición mineralógica: 2% (minerales claros) Color (aparente): Morado	Características químicas probables: Composición Química: Máfica. Minerales Dominantes: Olivino, Piroxeno y plagioclasas. Otros minerales presentes: Anfíbol.
Observaciones: En la matriz presenta alto grado de porosidad que se distingue en la fotografía A, también presenta oxidación que se visualiza en los costados de la muestra en las fotografías B y C. El color de la roca al ser pulverizada es color morado claro (fotografía D); la muestra en el sitio de su extracción está cubierta de polvo de ese mismo color, el cual se le desprendió al ser limpiada.	
Fecha de Clasificación: 5/7/2012.	Clasificación por: A. Rivera, B. Montoya y V. León.
<i>Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.</i>	

Muestra número: 10	Punto de verificación Geológica: 14
--------------------	-------------------------------------



Roca probable: Basalto.

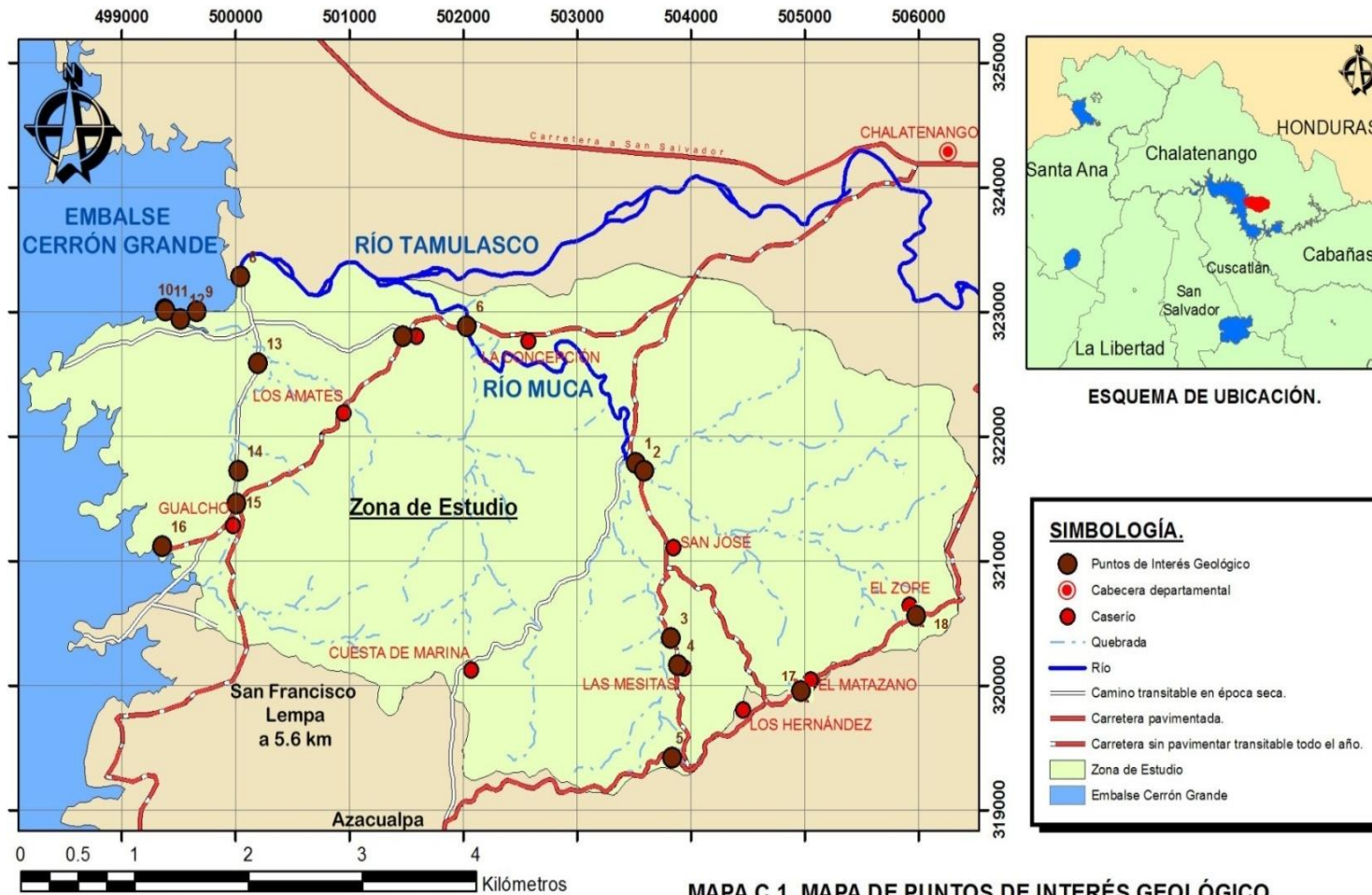
Ambiente de formación: Volcánico.

Procedencia: Roca de la que esta compuesto la Loma vista en el punto geológico 14.

Características físicas: Textura: Afanítica (Grano Fino). Índice de color: 70% (Oscuro) Composición mineralógica: 5% (minerales claros) Color (aparente): Gris oscuro. (amarillento superficialmente).	Características químicas probables: Composición Química: Máfica. Minerales Dominantes: Olivino, Piroxeno y plagioclasas. Otros minerales presentes: Anfíbol.
---	---

Observaciones: La roca presenta alteración por meteorización que le dan tonalidades amarillentas en unas zonas y en mayor parte moradas en la superficies; la tonalidad morada puede atribuirse a que el basalto en la zona esta en contacto con Brechas volcánicas que poseen dicho color. Las fotografías A y B muestran la apariencia de la roca. Esta muestra resultado muy frágil ya que con un solo golpe de martillo fue fragmentada en muchos pedazos como el que se muestra en la fotografía C. El color de la roca al ser pulverizada es café claro (fotografía D).

Fecha de Clasificación: 5/7/2012. **Clasificación por:** A. Rivera, B. Montoya y V. León.
Clasificación basada en: Práctica 5: Reconocimiento de «visu» de las principales rocas ígneas. Geología Práctica. Manuel Pozo Rodríguez Et al.



ANEXO D:

MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS
CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS
DE LA SUB CUENCA DEL RIO MUCA.

EJEMPLO DE CÁLCULO CUENCA RIO MUCA

El cálculo de las características de la cuenca está basado en la literatura consultada y en la digitalización de la zona de estudio, en una base de datos ejecutada en ARCGIS10 versión de prueba.

Delimitación de una cuenca (parteaguas).

La delimitación de la cuenca ó trazo de parteaguas se realizó posteriormente a la digitalización de las curvas de nivel en la base de datos en el programa antes mencionado. Para trazar el parteaguas se han tomado las consideraciones hechas en la sección 3.2.3.

Características Geométricas.

1. *Área (A)= 16.690366 km²*
2. *Perímetro (P)= 18.355 km*
3. *Longitud Axial (L_{axial})= 5.7597 km*

Estas características fueron calculadas en base a la digitalización de cartografía topográfica en el programa ARCGIS10 versión de prueba.

4. *Ancho promedio (B).*

Se calculó en base a la ecuación 3.20

$$B = \frac{A}{L_{axial}} = \frac{16.690366km^2}{5.7597km} = 2.8978km$$

Características de la red de drenajes de la cuenca.

1. *Tipo de cuenca por su forma de drenar “Exorreica”*

2. **Tipo de corrientes:** la clasificación de las corrientes fue obtenida en base a observaciones en las visitas de campo a la zona de estudio, donde se identificaron las corrientes en base al tiempo en que transportan agua, y se clasificaron como corrientes *intermitentes*.

3. **Orden de las corrientes (u)=4**

El orden de las corrientes se determinó basado en la figura 3.14, utilizando el criterio expuesto en la sección 3.2.3.

4. **Número de las corrientes (N_u)=43**

Obtenido de la suma de las corrientes de cada orden mediante la siguiente tabla extraída de la figura 3.14.

Tabla D.1. Orden , número y longitud de corrientes del Rio Muca.

Orden de corriente (u)	Número de corrientes (N_u)	Log (N_u)
Orden 1	33	1.51851394
Orden 2	7	0.84509804
Orden 3	2	0.30103
Orden 4	1	0
Σ	43	

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la cuenca. (Coberturas creadas).

5. **Longitud de las corrientes (L_c)= 34.572 km**

Obtenido de la suma de las longitudes de cada cause calculado en ARCGIS10 versión de prueba.

6. **Relación de la bifurcación (R_b)=3.2359**

El cálculo se ejecutó en el programa Microsoft Excel basado en lo expuesto en la sección 3.2.3

- ✓ Graficar N_u vrs. Log N_u .
- ✓ Obtener la ecuación tipo $y=bx+a$ de la gráfica línea de tendencia.
- ✓ De ecuación [3.22] $R_b = \text{Log}^{-1} |.51| = 3.2359$



Figura D.1: Esquema grafico orden de corrientes vs Logaritmo de número de corrientes
Fuente: Elaboración propia.

7. Densidad de corriente (D_s)=2.5763 corrientes/km²

Calculado en base a ecuación [3.23]

$$D_s = \frac{N_s}{A} = \frac{43}{16.690366} = 2.5763 \text{ corrientes/km}^2$$

8. Densidad de drenaje (D_d).

Calculado en base a ecuación [3.24]

$$D_d = \frac{L_c}{A} = \frac{34.572}{16.690366} = 2.0713/\text{km}$$

9. Coeficiente de estabilidad

Calculado en base a ecuación 3.25

$$C_e = \frac{1}{D_d} = \frac{1}{2.0713} = 0.4828 \text{ km}$$

Características de la corriente principal.

1. Longitud de la corriente principal (L_{cp})= 7.8460km

Determinado mediante el programa ArcMap 10 versión de prueba.

2. Perfil de la corriente principal.

El perfil del río fue trazado de acuerdo a los datos en la tabla D.2, mostrada a continuación.

Tabla D.2. Perfil de la corriente principal del Río Muca.

<i>Elevación (m.s.n.m)</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Longitud Acumulada (m)</i>	<i>Longitud Acumulada (km)</i>
369	0	0	0
360	118	118	0.118
350	95	213	0.213
340	173	386	0.386
330	353	739	0.739
320	403	1142	1.142
310	374	1516	1.516
300	698	2214	2.214
290	1176	3390	3.39
280	1102	4492	4.492
270	1457	5949	5.949
260	1172	7121	7.121
255	725	7846	7.846

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la cuenca. (Coberturas creadas).

Las longitudes entre cada curva de nivel fueron obtenidas con ARCGIS10 versión de prueba.

3. Pendiente de la corriente principal (S).

Método A: Pendiente Media, calculado en base a la ecuación 3.26

$$S_A = \frac{(369 - 255)}{7486} \times 100 = 1.523\%$$

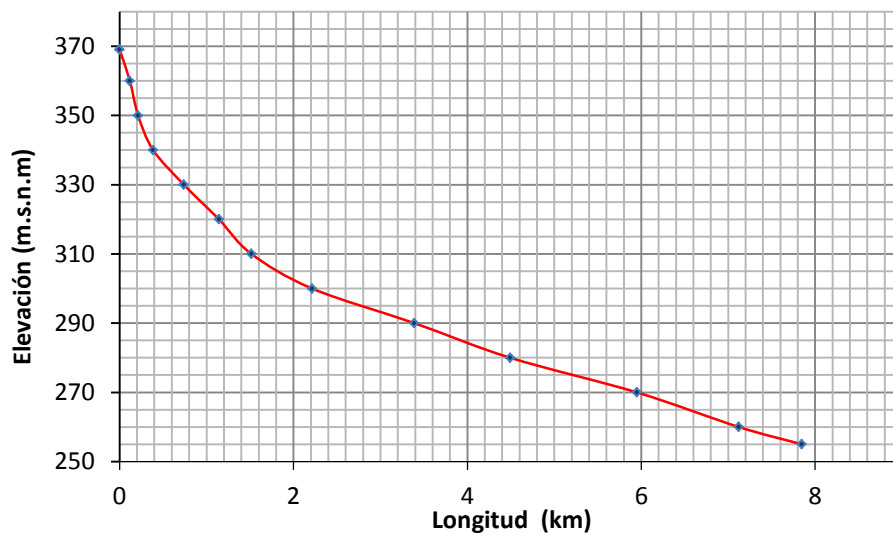


Figura D.2: Perfil de la corriente principal Río Muca.
Fuente: Elaboración propia.

Método B: Pendiente compensada. Calculado en base a ecuación 3.26 basado a la figura 3.15.

$$S_B = \frac{(324.5 - 255)}{7486} \times 100 = 0.9284\%$$

Características topográficas.

1. Elevaciones.

Elevación máxima (E_{max}): Obtenida en base a cartografía topográfica.

Elevación mínima (E_{min}): Obtenida en base a cartografía topográfica.

2. Pendiente de la cuenca (S_c):

Método A Criterio de J.W. Alvord: calculado en base a ecuación 3.27. utilizando los datos de la tabla D.3.

$$S_c = \frac{(D)L_{curvas}}{A} = \frac{(0.01\text{km})(222.398\text{km})}{16.6903\text{km}^2} \times 100 = 13.325\%$$

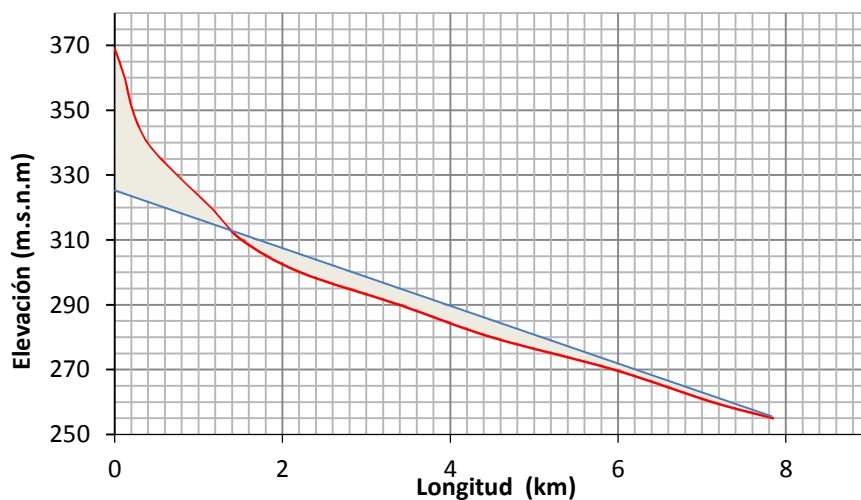


Figura D.3: Grafico Pendiente compensada de la corriente principal del Río Muca
Fuente: Elaboración propia.

Tabla D.3. Longitud de curvas de nivel cuenca Río Muca.

<i>Curva de nivel (m.s.n.m)</i>	<i>Longitud (km)</i>	<i>Curva de nivel (m.s.n.m)</i>	<i>Longitud (k)</i>
540	0.064	390	20.834
530	0.458	380	12.716
520	0.077	370	15.922
510	0.181	360	14.931
500	1.677	350	10.394
490	1.861	340	11.217
480	3.335	330	9.924
470	5.729	320	8.877
460	6.834	310	3.590
450	8.778	300	2.895
440	10.905	290	2.109
430	11.867	280	7.113
420	13.448	270	3.791
410	14.731	260	1.214
400	16.754	255	0.172
	Σ 96.699		Σ 125.699 Total: 222.398km

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la cuenca. (Coberturas creadas).

3. Elevación media de la cuenca (E_m).

Método A Red de puntos.

Calculado en base a ecuación 3.31

$$E_m = \frac{\sum \text{Elev}}{\text{N}^\circ \text{ Intersecciones}} = \frac{34386}{101} = 340.4556$$

Método B Curva Hipsométrica.

Dibujada en base a la tabla D4, el valor de la elevación media se obtuvo de la figura D4.

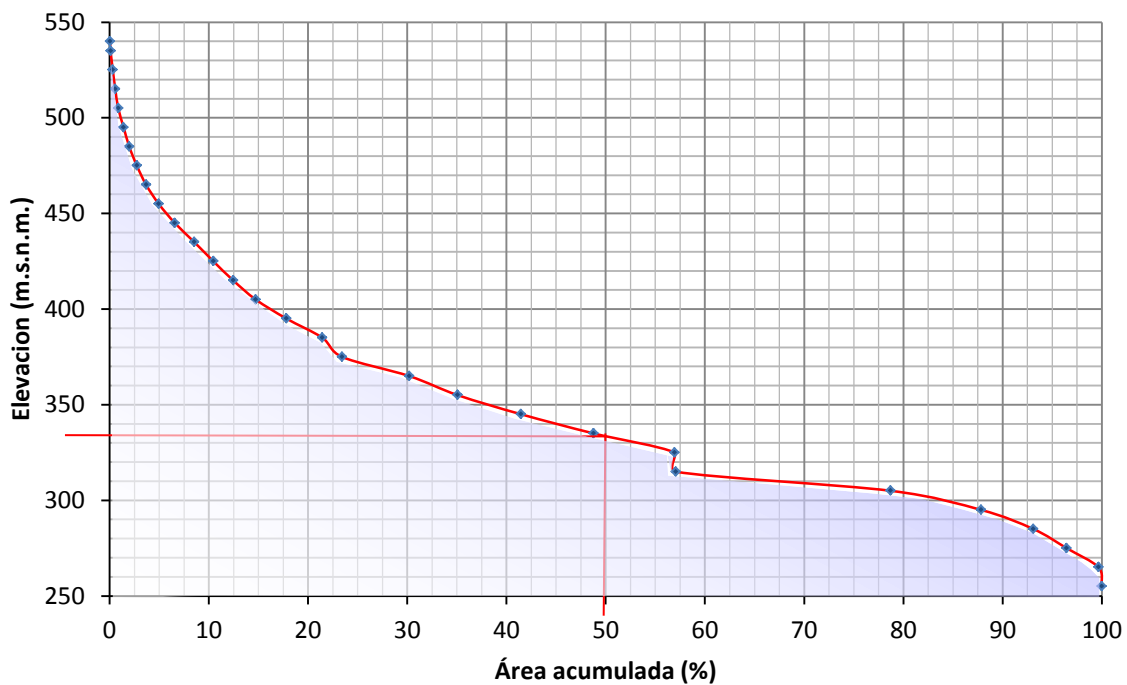


Figura D.4: Curva hipsométrica cuenca del Río Muca

Fuente: Elaboración propia.

Tabla D.4. Áreas entre curvas de nivel cuenca Rio Muca.

Cotas	Cota promedio (m.s.n.m)	Área	Área Acumulada	Área Acumulada (%)
540	540	0.009705	0.009705	0.1
540 530	535	0.006468	0.016173	0.1
530 520	525	0.037467	0.05364	0.3
520 510	515	0.041559	0.095199	0.6
510 500	505	0.050153	0.145352	0.9
500 490	495	0.090954	0.236306	1.4
490 480	485	0.093921	0.330227	2.0
480 470	475	0.128207	0.458434	2.7
470 460	465	0.155959	0.614393	3.7
460 450	455	0.212653	0.827046	5.0
450 440	445	0.270658	1.097704	6.6
440 430	435	0.328767	1.426471	8.5
430 420	425	0.319658	1.746129	10.5
420 410	415	0.333245	2.079374	12.5
410 400	405	0.379624	2.458998	14.7
400 390	395	0.517766	2.976764	17.8
390 380	385	0.603944	3.580708	21.4
380 370	375	0.331884	3.912592	23.4
370 360	365	1.128248	5.04084	30.2
360 350	355	0.817224	5.858064	35.1
350 340	345	1.066398	6.924462	41.5
340 330	335	1.217974	8.142436	48.8
330 320	325	1.36554	9.507976	56.9
320 310	315	0.021757	9.529733	57.1
310 300	305	3.613411	13.143144	78.7
300 290	295	1.521272	14.664416	87.8
290 280	285	0.879611	15.544027	93.1
280 270	275	0.559826	16.103853	96.4
270 260	265	0.535656	16.639509	99.7
260 250	255	0.058006	16.697515	100.0

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la cuenca. (Coberturas creadas).

Características de Comparación

1. *Tamaño y forma de la cuenca*
2. El tamaño de una cuenca puede compararse en base a la tabla 3.10 y la forma en base a la figura 3.17.

3. *Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc).*

Calculado en base a ecuación 3.32

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} = \frac{0.28(18.355)}{\sqrt{16.690366}} = 1.2580$$

4. *Relación de elongación (Re):*

Se calcula en base a la ecuación 3.33

$$R_e = \frac{d}{L_{axial}} = \frac{1.1284\sqrt{A}}{L_{axial}} = \frac{1.1284\sqrt{16.690366}}{5.7597} = 0.8004$$

5. *Rectángulo Equivalente*

Calculado en base a ecuación 3.34.

$$L = \frac{0.8004\sqrt{16.690366}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{0.8004^2}} \right] = 8.6363$$

6. *Factor de Forma (Kf).*

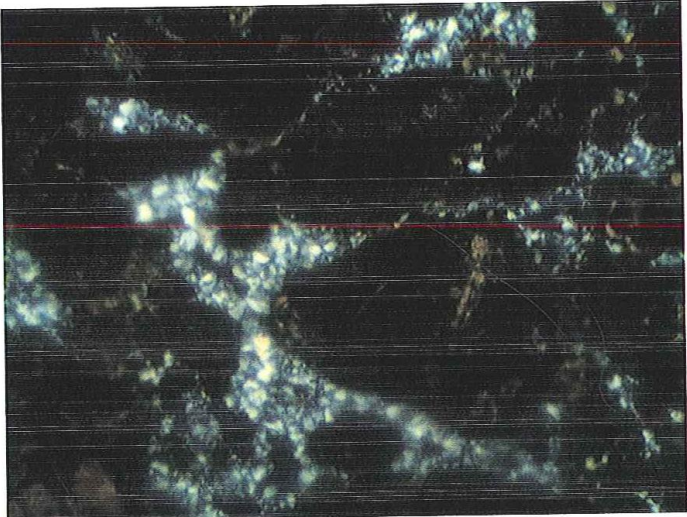
Se calcula en base a la ecuación 3.36

$$K_f = \frac{B}{L_{axial}} = \frac{2.8978}{5.7597} = 0.5031$$

ANEXO E.

PETROGRAFÍA.

RESULTADO DE ANÁLISIS PETROGRÁFICO. LÁMINA DELGADA.

LaGeo	Laboratorio de Geología	Área: GEO	Número: 07
	Código: F - GEO-005		Fecha: 08/04/13
Resultados de Análisis			
<p>Código: CT014-13</p> <p>Descripción de muestras:</p> <p>La muestra fue analizada utilizando el microscopio petrográfico polarizante marca Leica modelo DMLSP.</p> <p>La muestra está compuesta por una acumulación de fragmentos subredondeados a subangulares de escoria y/o lava basáltica escoriácea de diferentes tamaños desde < 1 mm hasta 10.3 mm, soportados por ceolitas, calcita, minerales de sílice de baja temperatura tales como calcedonia y ópalo y algunos minerales de arcilla (Foto 1).</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Foto 1: Fragmentos de escoria en luz polarizada</p> <p>Se observa la sílice ocasionalmente formando la primera franja en forma homogénea en los intersticios, seguidos por abundantes ceolitas, en forma de abanico y por último calcita (Foto 2).</p> <p>La mayoría de los fenocristales de los fragmentos de escoria poseen alta intensidad de alteración hidrotermal. Los cristales de plagioclasas están reemplazados por sílice y minerales de arcillas (Foto 3) casi por su totalidad, mientras los olivinos por iddingsita y minerales de arcillas.</p>			



Las oquedades o vesículas de los fragmentos de escoria son pequeñas y en forma irregular. Generalmente están rellenas por ceolitas y minerales de arcillas.

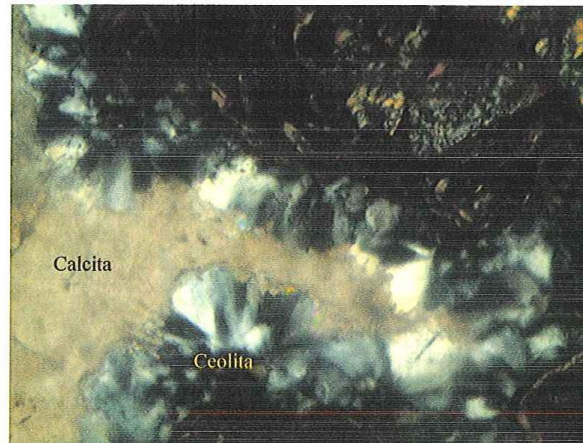


Foto 2: Ceolita + Calcita en intersticios

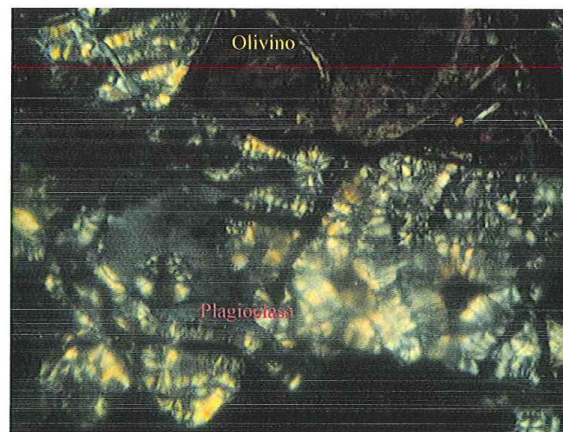


Foto 3: Sílice en plagioclasas, iddingsita en olivino

Estos minerales de ceolita, calcita, sílice y minerales de arcilla son minerales de alteración generalmente de baja temperatura de hasta 100 – 150°C. La porosidad total de la roca es mínima ya que la mayoría de los poros están rellenos también de minerales de alteración tales como ceolita y minerales de arcilla.



El nombre de roca se identifica como brecha de escoria (brecha volcánica monomictica, ya que solamente un tipo de fragmento se encuentra, en este caso, escoria).

La presencia de la brecha fue complementada por el análisis macroscópico utilizando el microscopio esteréoscópica Leica MZ 12.5.

Composición general:

Fragmentos de escoria (lítico): 90%
Matriz (con minerales de alteración): 10%

Minerales de alteración en fenocristales, matriz u oquedades:

Minerales de arcilla (incluyendo arcilla hematítica) : 55%
Ceolita : 20%
Calcita: 10%
Sílice (calcedonia y ópalo): 10%
Iddingsita: 5%

Analizado por: Elizabeth de Henríquez

Fecha de Entrega: 09/04/13

Revisado por: Arturo Quezada
Coordinador, Área de Geología



COMPLEMENTE ANEXO E.

Procedimiento para elaborar una lámina delgada de roca para análisis petrográfico utilizando un microscopio de luz polarizada

El procedimiento para la preparación de lámina delgada de muestras de roca para el análisis petrográfico, es el siguiente:

No.	Actividad	Comentarios
1	Cortar la muestra (esquirla mineral ideal, mide 4 cm. de largo, 2.5 cm. de ancho y 1.5-2.0 cm. de espesor)	Se realizan los cortes necesarios, hasta que la esquirla de la roca sea adecuada al portaobjeto
2	Pulir la muestra	Se realiza con una pulidora de disco giratorio con abrasivos calibre 60, 240, 320 y 400 hasta lograr una superficie suave y plana
3	Lavar y secar la muestra	Para montarla sobre un cristal portaobjetos
4	Eliminar brillo al portaobjeto	Utilizar polvo abrasivo 400, hasta que el portaobjeto se vea nevado
5	Fijar muestra en portaobjeto	Previamente calentada la muestra a unos 90°C y el portaobjeto a 120-150°C, se utiliza una capa continua de cemento termoplástico
6	Marcar en el portaobjeto la identificación de la muestra	Usando un lápiz con punta de diamante, se marca su procedencia.
7	Cortar la esquirla con un sistema al vacío	Eliminar el exceso de esquirla hasta 1.0 cm
8	Lavar, secar y limpiar la sección delgada	Para realizar el acabado grueso
9	Colocar la lámina en un portamuestra	
10	Desbastar uniformemente la lámina hasta un espesor de 0.1 mm aproximadamente	Usando diferentes números de abrasivos: 60-240 ; para realizar el acabado de la sección delgada
	Acabado de la sección delgada:	
11	Reducir el espesor de la lámina hasta 0.05 mm	Con abrasivo No. 320
12	Pulir la sección hasta 0.03 mm	Con abrasivos 400 y 600.

		Dicho espesor de la lámina debe controlarse con luz transmitida en un microscopio polarizante
13	Lavar y secar la sección	Para librarla del polvo de la pulimentación
14	Verificar en el microscopio la lámina terminada	Colores de interferencia del cuarzo y/o plagioclasa serán blancos o grises
15	Una vez verificada se entrega la lámina al geólogo petrógrafo	Para su respectivo análisis

1) Cortado de la muestra



2) Pulido de la muestra



4) Eliminación del brillo del portaobjeto



5) Fijado de la muestra en el portaobjeto



7) Cortado de la esquila en el sistema al vacío




14) Verificación en el microscopio de la lámina terminada



ANEXO F.

REGISTRO GEOELÉCTRICO.

ANEXO F.1. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV01.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	31/07/2012.				
	Ubicación:	Camino a San Bartolo, contiguo al río Tamulasco, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV01.				
	Orientación:	ESTE - OESTE.				
	Coordenadas:	14°01'56.6" N; 88°59'53.8" W. (323270; 500197).				
	Elevación:	247 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					


PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω.m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		48.45	Desviación "0".
2	2.0	0.5	11.78		86.13	Lecturas: 86.10, 86.15.
3	3.0	0.5	27.49		45.97	
4	5.0	0.5	77.75		100.30	
5	7.0	0.5	153.15		86.41	
6	9.0	0.5	253.68		64.30	
7	12.0	0.5	451.60		43.44	
8	12.0	2.5	86.55		47.38	
9	15.0	2.5	137.44		38.64	
10	20.0	2.5	247.40		25.73	
11	30.0	2.5	561.56		8.67	
12	40.0	2.5	1001.38		5.20	
13	50.0	2.5	1566.87		4.70	
14	60.0	2.5	2258.02		4.57	
15	75.0	2.5	3530.36		1.11	
16	75.0	10.0	867.86		3.54	
17	85.0	10.0	1119.19		4.47	
18	95.0	10.0	1401.94		26.20	
19	110.0	10.0	1884.96		4.15	Lecturas: 4.13, 4.15, 4.16.
20	130.0	10.0	2638.94		5.24	
21	150.0	10.0	3518.58		4.58	
22	150.0	20.0	1735.73		4.07	
23	200.0	20.0	3110.18		3.32	
24	300.0	20.0	7037.17		3.79	

OBSERVACIONES DEL SONDEO: Se realizarón medidas hasta los 300 metros por lluvia.

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

ANEXO F.2. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV02.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	30/11/2012.				
	Ubicación:	Intersección calle a San Francisco Lempa y calle del caserío Gualcho, cantón San José Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV02.				
	Orientación:	NE-SO.				
	Coordenadas:	321446 N; 500014 W.				
	Elevación:	280 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					


PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω.m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		14.27	
2	2.0	0.5	11.78		19.54	
3	3.0	0.5	27.49		19.38	
4	5.0	0.5	77.75		13.97	
5	7.0	0.5	153.15		11.86	
6	9.0	0.5	253.68		12.66	
7	15.0	0.5	706.07		16.07	
8	15.0	2.5	137.44		14.75	
9	20.0	2.5	247.40		16.31	
10	30.0	2.5	561.56		18.89	
11	40.0	2.5	1001.38		16.78	
12	50.0	2.5	1566.87		15.61	
13	60.0	2.5	2258.02		16.91	
14	75.0	2.5	3530.36		19.15	
15	75.0	10.0	867.86		13.67	
16	100.0	10.0	1555.09		13.86	
17	150.0	10.0	3518.58		14.27	
18	150.0	20.0	1735.73		12.82	
19	200.0	20.0	3110.18		13.12	
20	300.0	20.0	7037.17		14.12	
21	400.0	20.0	12534.95		20.72	
22	400.0	30.0	8330.46		8.72	Lecturas:9.34, 8.47, 8.35.
23	500.0	30.0	13042.85		12.40	Lecturas: 12.52, 12.49, 12.19.
24	--	--	--		--	--

OBSERVACIONES DEL SONDEO:

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

ANEXO F.3. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV03.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	30/11/2012.				
	Ubicación:	Calle que conduce a cantón San Bartolo, entre Gualcho y Los Amates, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV03.				
	Orientación:	NNE-SSO.				
	Coordenadas:	322336 N; 500074 W.				
Elevación:	270 m.s.n.m.					
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	ρ .a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		6.05	
2	2.0	0.5	11.78		6.22	
3	3.0	0.5	27.49		6.67	
4	5.0	0.5	77.75		5.80	
5	7.0	0.5	153.15		4.86	
6	9.0	0.5	253.68		4.24	
7	15.0	0.5	706.07		1.34	Lecturas: 1.24, 1.43.
8	15.0	2.5	137.44		3.56	Lecturas 3.64, 3.51, 3.56, 3.53.
9	20.0	2.5	247.40		2.66	Lecturas: 2.66, 2.66.
10	30.0	2.5	561.56		1.08	Lecturas: 1.09, 1.07.
11	40.0	2.5	1001.38		2.50	
12	50.0	2.5	1566.87		2.74	
13	60.0	2.5	2258.02		2.69	Lecturas: 2.70, 2.68.
14	75.0	2.5	3530.36		0.49	Lecturas: 0.40, 0.58.
15	75.0	10.0	867.86		2.72	Lecturas: 2.74, 2.71, 2.71.
16	100.0	10.0	1555.09		1.58	Lecturas: 1.54, 1.55, 1.65.
17	150.0	10.0	3518.58		13.76	Lecturas: 13.61, 13.91
18	150.0	20.0	1735.73		3.90	Lecturas: 4.07, 4.05, 3.57.
19	200.0	20.0	3110.18		4.86	Lecturas: 4.85, 4.86.
20	300.0	20.0	7037.17		3.93	Lecturas: 3.78, 4.03, 3.98.
21	400.0	20.0	12534.95		9.28	Lecturas: 9.52, 9.15, 9.18.
22	400.0	30.0	8330.46		8.64	Lecturas: 8.78, 8.55, 8.58.
23	500.0	30.0	13042.85		28.56	Lecturas: 26.28, 31.45, 27.95.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO: Cercos de alambre a ambos lados del camino.

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

ρ .a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=2.45; (75)=1.61; (150)=8.83; (400)=8.96.

ANEXO F.4. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV04.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	30/11/2012.				
	Ubicación:	Potrero, sobre camino paralelo a calle que conduce a San Bartolo, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV04.				
	Orientación:	Este -Oeste.				
	Coordenadas:	322254 N; 499756 W.				
	Elevación:	272 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		25.70	
2	2.0	0.5	11.78		26.36	
3	3.0	0.5	27.49		28.45	
4	5.0	0.5	77.75		19.83	
5	7.0	0.5	153.15		11.60	Lecturas:11.61, 11.58.
6	9.0	0.5	253.68		6.45	Lecturas: 6.44, 6.45.
7	15.0	0.5	706.07		4.58	
8	15.0	2.5	137.44		3.54	Lecturas: 3.85, 3.22.
9	20.0	2.5	247.40		2.78	Lecturas: 2.78, 2.77.
10	30.0	2.5	561.56		5.99	Lecturas: 6.06, 5.42, 6.48.
11	40.0	2.5	1001.38		9.02	Lecturas 9.14, 8.90.
12	50.0	2.5	1566.87		12.25	Lecturas: 11.83, 11.95, 12.98.
13	60.0	2.5	2258.02		26.58	Lecturas: 20.17, 39.81,23.24, 23.09.
14	75.0	2.5	3530.36		103.50	Lecturas: 104.10, 102.5, 103.9.
15	75.0	10.0	867.86		20.56	Lecturas: 20.71, 20.89, 17.26, 23.37.
16	100.0	10.0	1555.09		32.31	Lecturas: 38.51, 32.32, 26.10.
17	150.0	10.0	3518.58		29.24	Lecturas: 31.64, 19.46, 45.0, 20.85.
18	150.0	20.0	1735.73		35.73	Lecturas: 42.94, 29.52, 34.72.
19	200.0	20.0	3110.18		5.77	Lecturas: 5.75, 5.78.
20	300.0	20.0	7037.17		4.96	Lecturas: 4.60, 5.08, 5.20.
21	400.0	20.0	12534.95		483.30	Lecturas: 498.7, 473.4, 479.1, 482.0.
22	400.0	30.0	8330.46		14.64	Lecturas: 13.75, 21.49, 11.58, 11.75.
23	--	--	--		--	No se realizó debido a un obstáculo.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO: Las medidas pueden ser afectadas por influencia de una quebrada.

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empaLmes: (15)=4.06; (75)=62.03; (150)=32.49; (400)=248.97.

ANEXO F.5. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV05.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	01/12/2012.				
	Ubicación:	Caserío Los Amates, zona agrícola, Cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV05.				
	Orientación:	Este-Oeste.				
	Coordenadas:	322734 N; 500998 W.				
	Elevación:	274 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		5.53	
2	2.0	0.5	11.78		3.84	
3	3.0	0.5	27.49		4.21	
4	5.0	0.5	77.75		4.28	
5	7.0	0.5	153.15		4.33	
6	9.0	0.5	253.68		4.18	
7	15.0	0.5	706.07		3.97	
8	15.0	2.5	137.44		3.96	
9	20.0	2.5	247.40		4.22	
10	30.0	2.5	561.56		5.07	
11	40.0	2.5	1001.38		5.03	
12	50.0	2.5	1566.87		6.19	Lecturas: 6.12, 6.25.
13	60.0	2.5	2258.02		17.08	Lecturas: 38.76, 6.23, 6.24.
14	75.0	2.5	3530.36		6.44	
15	75.0	10.0	867.86		6.74	
16	100.0	10.0	1555.09		35.18	Lecturas: 33.79, 36.56.
17	150.0	10.0	3518.58		3.64	Lecturas: 3.63, 3.64.
18	150.0	20.0	1735.73		3.55	
19	200.0	20.0	3110.18		3.18	Lecturas: 3.15, 3.20.
20	300.0	20.0	7037.17		15.22	Lecturas: 15.56, 14.87.
21	400.0	20.0	12534.95		2.91	Lecturas: 2.85, 2.96.
22	400.0	30.0	8330.46		3.38	Lecturas: 3.38, 3.38.
23	500.0	30.0	13042.85		18.19	Lecturas: 18.22, 18.49, 17.85.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO: 55 mt al NE de pozo de 15.5 m de profundidad, seco en esta fecha con humedad al fondo.

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=3.97; (75)=6.59; (150)=3.60; (400)=3.12.

ANEXO F.6. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV06.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	01/12/2012.				
	Ubicación:	Caserío El Conacaste, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV06.				
	Orientación:	NE-SO.				
	Coordenadas:	321688 N; 500468 W.				
	Elevación:	299 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		29.98	Lecturas: 29.98, 29.98.
2	2.0	0.5	11.78		17.34	
3	3.0	0.5	27.49		11.92	
4	5.0	0.5	77.75		7.85	
5	7.0	0.5	153.15		7.26	
6	9.0	0.5	253.68		6.51	
7	15.0	0.5	706.07		5.43	
8	15.0	2.5	137.44		6.03	
9	20.0	2.5	247.40		6.53	
10	30.0	2.5	561.56		5.55	
11	40.0	2.5	1001.38		6.59	
12	50.0	2.5	1566.87		5.90	
13	60.0	2.5	2258.02		6.15	
14	75.0	2.5	3530.36		8.77	Lecturas: 8.80, 8.74.
15	75.0	10.0	867.86		7.20	
16	100.0	10.0	1555.09		6.99	
17	150.0	10.0	3518.58		9.02	Lecturas: 9.05, 9.0, 9.0.
18	150.0	20.0	1735.73		8.58	Lecturas: 8.64, 8.51.
19	200.0	20.0	3110.18		9.79	Lecturas: 9.81, 9.76.
20	300.0	20.0	7037.17		9.80	Lecturas: 9.83, 9.77.
21	400.0	20.0	12534.95		8.14	Lecturas: 8.05, 8.23.
22	400.0	30.0	8330.46		5.90	Lecturas: 6.07, 5.22, 5.22, 7.51, 5.46.
23	500.0	30.0	13042.85		10.51	Lecturas: 10.79, 8.69, 11.46, 11.09.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO:

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=5.73; (75)=7.99; (150)=8.80; (400)=7.02.

ANEXO F.7. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV07.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	01/12/2012.				
	Ubicación:	Caserío Agua Caliente, calle a San Francisco Lempa, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV07.				
	Orientación:	NE-SO.				
	Coordenadas:	322794 N; 501474 W.				
Elevación:	270 m.s.n.m.					
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		23.50	Lecturas: 23.49, 23.50.
2	2.0	0.5	11.78		12.13	Lecturas: 12.12, 12.14.
3	3.0	0.5	27.49		9.27	Lecturas: 9.28, 9.26.
4	5.0	0.5	77.75		8.72	Lecturas: 8.70, 8.73.
5	7.0	0.5	153.15		8.92	Lecturas: 8,94, 8.9.
6	9.0	0.5	253.68		9.41	Lecturas: 9.43, 9.38.
7	15.0	0.5	706.07		8.03	Lecturas: 8.02, 8.04.
8	15.0	2.5	137.44		8.24	Lecturas: 8.27, 8.21.
9	20.0	2.5	247.40		8.34	Lecturas: 8.34, 8.34.
10	30.0	2.5	561.56		8.53	Lecturas: 8.51, 8.54.
11	40.0	2.5	1001.38		9.76	Lecturas: 10.14, 9.32, 9.82.
12	50.0	2.5	1566.87		9.48	Lecturas: 9.50, 9.45.
13	60.0	2.5	2258.02		6.98	Lecturas: 6.96, 6.99.
14	75.0	2.5	3530.36		6.88	Lecturas: 6.87, 6.89.
15	75.0	10.0	867.86		7.22	Lecturas: 7.20, 7.24.
16	100.0	10.0	1555.09		6.61	Lecturas: 6.59, 6.64, 6.59.
17	150.0	10.0	3518.58		2.26	Lecturas: 3.19, 1.53, 2.69, 1.62.
18	150.0	20.0	1735.73		2.92	Lecturas: 2.832.95, 2.97.
19	200.0	20.0	3110.18		5.66	Lecturas: 5.66, 5.69, 5.66, 5.61.
20	300.0	20.0	7037.17		8.09	Lecturas: 8.06, 8.11.
21	400.0	20.0	12534.95		15.42	Lecturas: 17.04, 14.69, 14.53.
22	400.0	30.0	8330.46		3.38	Lecturas: 3.10, 1.57, 3.33, 1.55, 5.53, 5.23.
23	500.0	30.0	13042.85		12.33	Lecturas: 8.18, 13.35, 11.94, 13.96, 14.21.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO:

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=8.14; (75)=7.05; (150)=2.59; (400)=9.40.

ANEXO F.8. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV08.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	07/12/2012.				
	Ubicación:	Caserío La Concepción, frente a pozo de ANDA, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV08.				
	Orientación:	SEE-NOO				
	Coordenadas:	322824 N; 502288 W. (N 14° 01.710"; W 88° 58.728")				
	Elevación:	269 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		73.72	
2	2.0	0.5	11.78		32.88	
3	3.0	0.5	27.49		10.29	
4	5.0	0.5	77.75		6.31	
5	7.0	0.5	153.15		5.67	Lecturas: 5.63, 5.7.
6	9.0	0.5	253.68		6.96	
7	15.0	0.5	706.07		38.79	
8	15.0	2.5	137.44		5.61	Lecturas: 5.60, 5.62.
9	20.0	2.5	247.40		6.20	
10	30.0	2.5	561.56		7.48	
11	40.0	2.5	1001.38		9.05	
12	50.0	2.5	1566.87		7.52	
13	60.0	2.5	2258.02		9.14	
14	75.0	2.5	3530.36		5.48	Lecturas: 5.40, 5.56.
15	75.0	10.0	867.86		4.94	Lecturas: 4.93, 4.95.
16	100.0	10.0	1555.09		6.95	Lecturas: 6.36, 7.54.
17	150.0	10.0	3518.58		4.75	
18	150.0	20.0	1735.73		2.70	
19	200.0	20.0	3110.18		2.21	Lecturas: 1.71, 1.45, 3.96, 1.70.
20	300.0	20.0	7037.17		6.48	Lecturas: 5.61, 5.07, 9.21, 6.02.
21	400.0	20.0	12534.95		2.75	Lecturas: 1.47, 2.10, 2.05, 5.37.
22	400.0	30.0	8330.46		4.14	Lecturas: 3.24, 2.64, 6.0, 4.68.
23	500.0	30.0	13042.85		4.91	Lecturas: 5.59, 6.08, 1.87, 8.44, 3.69, 3.77.
24	--	--	--		--	--


OBSERVACIONES DEL SONDEO: Sondeo para correlación.

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=22.20; (75)=5.21; (150)=3.73; (400)=3.45.


ANEXO F.9. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV09.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	07/12/2012.				
	Ubicación:	Sobre calle a Cuesta de Marina, a 300 mts de Río Muca, cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV09.				
	Orientación:	NNE-SSO.				
	Coordenadas:	321614 N; 503353 W.				
	Elevación:	292 m.s.n.m.				
	Configuración:	Schlumberger.				

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	p.a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		16.98	
2	2.0	0.5	11.78		14.53	
3	3.0	0.5	27.49		12.13	
4	5.0	0.5	77.75		10.75	
5	7.0	0.5	153.15		8.68	
6	9.0	0.5	253.68		9.89	
7	15.0	0.5	706.07		10.94	
8	15.0	2.5	137.44		8.75	
9	20.0	2.5	247.40		8.56	
10	30.0	2.5	561.56		9.22	
11	40.0	2.5	1001.38		10.54	
12	50.0	2.5	1566.87		11.16	Lecturas: 11.14, 11.17.
13	60.0	2.5	2258.02		12.20	Lecturas: 12.18, 12.22.
14	75.0	2.5	3530.36		5.94	
15	75.0	10.0	867.86		3.29	
16	100.0	10.0	1555.09		5.66	Lecturas: 6.00, 5.78, 5.42, 5.42.
17	150.0	10.0	3518.58		1.39	Lecturas: 0.47, 1.47, 2.14, 1.49.
18	150.0	20.0	1735.73		1.13	Lecturas: 0.76, 1.69, 0.95.
19	200.0	20.0	3110.18		1.37	Lecturas: 0.99, 1.67, 1.55, 1.26.
20	300.0	20.0	7037.17		1.12	Lecturas: 1.14, 1.09, 1.13.
21	400.0	20.0	12534.95		2.57	Lecturas: 4.08, 2.05, 2.34, 2.23, 2.13.
22	400.0	30.0	8330.46		1.25	Lecturas: 0.80, 1.84, 1.16, 1.46, 0.99.
23	500.0	30.0	13042.85		8.92	Lecturas: 26.27, 4.28, 7.93, 6.84, 2.04, 6.13.
24	--	--	--		--	--

OBSERVACIONES DEL SONDEO:	
Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.	
p.a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).	
Promedio en empalmes: (15)=9.85; (75)=4.62; (150)=1.26; (400)=1.91.	

ANEXO F.10. REGISTRO GEOELÉCTRICO SEV10.

	Unidad:	Escuela de Ingeniería Civil y Escuela de Física.				
	Fecha de Realización:	07/12/2012.				
	Ubicación:	Sembradío entre caseríos San José y Los Amates, Cantón San José, Chalatenango.				
	Proyecto:	TESIS-UES.				
	Observador:	Lic. Ludwin Morán.				
	Código:	SEV10.				
	Orientación:	NO-SE.				
	Coordenadas:	321209 N; 502555 W.				
	Elevación:	310 m.s.n.m.				
Configuración:	Schlumberger.					

PUNTO	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	R(Ω) ó I(mA)	ρ .a.m.(Ω .m)	OBSERVACIONES
1	1.0	0.5	2.36		16.98	Lecturas: 118.40, 118.40.
2	2.0	0.5	11.78		14.53	Lecturas: 79.58, 79.55.
3	3.0	0.5	27.49		12.13	Lecturas: 72.43, 72.47.
4	5.0	0.5	77.75		10.75	Lecturas: 25.87, 25.52.
5	7.0	0.5	153.15		8.68	Lecturas: 45.66, 45.17.
6	9.0	0.5	253.68		9.89	Lecturas: 43.49, 43.39.
7	15.0	0.5	706.07		10.94	Lecturas: 26.86, 26.66.
8	15.0	2.5	137.44		8.75	
9	20.0	2.5	247.40		8.56	
10	30.0	2.5	561.56		9.22	
11	40.0	2.5	1001.38		10.54	Lecturas: 12.50, 12.43.
12	50.0	2.5	1566.87		11.16	Lecturas: 12.51, 12.46.
13	60.0	2.5	2258.02		12.20	Lecturas: 12.98, 13.17.
14	75.0	2.5	3530.36		5.94	Lecturas: 11.54, 11.57.
15	75.0	10.0	867.86		3.29	Lecturas: 8.38, 9.02.
16	100.0	10.0	1555.09		5.66	Lecturas: 9.06, 9.11.
17	150.0	10.0	3518.58		1.39	Lecturas: 4.45, 4.76.
18	150.0	20.0	1735.73		1.13	Lecturas: 7.99, 7.5.
19	200.0	20.0	3110.18		1.37	Lecturas: 9.61, 9.66.
20	300.0	20.0	7037.17		1.12	Lecturas: 8.79, 9.00.
21	400.0	20.0	12534.95		2.57	Lecturas: 13.63, 16.08, 16.37.
22	400.0	30.0	8330.46		1.25	Lecturas: 14.46, 15.38, 15.25.
23	500.0	30.0	13042.85		8.92	Lecturas: 16.42, 16.47, 16.71.
24	--	--	--		--	--

OBSERVACIONES DEL SONDEO:

Equipo utilizado en el sondeo: SARIS, este equipo proporciona datos de resistividad aparente directamente.

ρ .a.m. = Resistividad aparente media (para los estacionamientos en los que se tomaron varias lecturas).

Promedio en empalmes: (15)=30.12; (75)=10.38; (150)=6.18; (400)=15.70.

ANEXO G.

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y
BACTERIOLÓGICOS.

ANEXO G.1. RESULTADO DE MUETRA A EMBALSE CERRON GRANDE.



ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"

37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador
Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv

INFORME DE ENSAYO

Página 1 de 2

No. de referencia:	4.094.08.12	Solicitante:	
Muestreo realizado por: ¹⁾	CARLOS CRUZ	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA
Tipo de fuente:	EMBALSE		
Nombre y dirección de muestra:	EMBALSE, CASERIO GUALCHO, CANTON SAN JOSE, CHALATENENGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	30/08/2012, 10:15:00 AM
		Fecha y hora de recepción:	30/08/2012, 3:30:00 PM
		Fecha y hora de análisis:	30/08/2012, 4:30:00 PM
		Fecha de informe:	24/09/2012

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	7.20
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	6.50
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	70.30
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	35.1
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	29.9
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	5.24
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercúrico	-	4.2
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	36
CALCIO	mg/l Ca	Volumétrico, EDTA	-	18.5
POTASIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	-	4.3
SODIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	200.00	16
MAGNESIO	mg/l	⁴⁾ 3500-Mg B	-	16.4
BICARBONATOS	mg/l	⁴⁾ 4500-CO ²	-	77
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	1.3
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	0.005
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	20.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.21
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	23
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	0.10
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.1
ARSÉNICO	mg/l As	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.01	< 0.005
CADMIO	mg/l Cd	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.003	< 0.002
MERCURIO	mg/l Hg	⁴⁾ Absorción Atómica con FIAS	0.001	< 0.001
PLOMO	mg/l Pb	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.01	< 0.005

CONTINUACION ANEXO G.1. RESULTADO DE MUETRA A EMBALSE CERRON GRANDE.


PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	9

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.


De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la **Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08**: Turbiedad, Coliformes totales y E.coli.

Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.


¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.
²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.
⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC



Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



ASOCIACION SALVADOREÑA
DE AGUAS POTABLES
PRO VIDA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD
DE AGUA POTABLE



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

CONTINUACION ANEXO G.1. RESULTADO DE MUESTRA A EMBALSE CERRON GRANDE.


Laboratorios Especializados en Control de Calidad
 ESEBESA, S.A. DE C.V.
Inscripción en C.S.S.P. No. 357
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Telefax: (503) 2226-5223 * 2226-7042 * 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

Página 1 de 1

Control No.: A-12-2263 **INFORME DE ANALISIS**

NOMBRE/PUNTO TOMA DE MUESTRA: Agua Embalse Cerrón Grande, Punto Cercano a Caserío Gualcho (100m de la Orilla) Superficial. 4.094		Fecha de Ingreso: 30/08/12	Fecha de Análisis: 31/08/12-12/09/12
		Fecha de Emisión: 13/09/12	Muestra tomada por: CLIENTE
PROCEDECENCIA: VICTOR ALBERTO LEON TESIS - UES	DESCRIPCIÓN: Líquido incoloro, con partículas.	DATOS DE CAMPO	
		Fecha: 30/08/12	Hora: 10:00 am
		T° Agua: N/D	T° Ambiente: N/D

REFERENCIAS:
⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
⁽²⁾ NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria) NSO 13.07.01.08. Agua Potable (Segunda Actualización)

DETERMINACION	METODO	RESULTADO	LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES ⁽²⁾
CALCIO	3500-Ca B ⁽¹⁾	18.5 mg/L	No Disponible
MAGNESIO	3500-Mg B ⁽¹⁾	16.4 mg/L	No Disponible
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	4500-CO ² D ⁽¹⁾	77.0 mg/L	No Disponible
ARSÉNICO *	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.005 mg/L	0.01 mg/L
SODIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	16.0 mg/L	200 mg/L
POTASIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	4.3 mg/L	No Disponible
PLOMO *	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.005 mg/L	0.01 mg/L
MERCURIO	Absorción Atómica con FIAS ⁽¹⁾	Menor de 0.001 mg/L	0.001 mg/L
CADMIO	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.002 mg/L	0.003 mg/L

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA Y ENSAYADA.
 N/D: No Declarado


 Lic. Oscar David Guzmán Julián
 Químico Farmacéutico



Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
 QUIMICO FARMACEUTICO
 Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810


 ENSAYOS
 LEA-05-02

*** PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE**

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

ANEXO G.2. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO GUALCHO.


ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"
 37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador
 Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv


INFORME DE ENSAYO Página 1 de 2

No. de referencia:	4.095.08.12	Solicitante:	
Muestreo realizado por: ¹⁾	CARLOS CRUZ	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA
Tipo de fuente:	POZO		
Nombre y dirección de muestra:		Fecha y hora de muestreo:	30/08/2012, 10:40:00 AM
CASA DE FELIX MUÑOZ, CRIO. GUALCHO, CTON.		Fecha y hora de recepción:	30/08/2012, 3:30:00 PM
SAN JOSE, CHALATENENGO, CHALATENANGO		Fecha y hora de análisis:	30/08/2012, 5:00:00 PM
		Fecha de informe:	24/09/2012

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisible ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.94
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	1.41
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	137.40
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	68.7
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	29.4
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	4.62
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercúrico	-	0.4
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	178
CALCIO	mg/l Ca	Volumétrico, EDTA	-	65.5
POTASIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	-	1.4
SODIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	200.00	12.6
MAGNESIO	mg/l	⁴⁾ 3500-Mg B	-	32.2
BICARBONATOS	mg/l	⁴⁾ 4500-CO ²	-	195
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	2.4
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	0.006
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	17.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.55
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	0.01
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	N.D.
ARSÉNICO	mg/l As	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.01	< 0.005
CADMIO	mg/l Cd	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.003	< 0.002
MERCURIO	mg/l Hg	⁴⁾ Absorción Atómica con FIAS	0.001	< 0.001
PLOMO	mg/l Pb	⁴⁾ Absorción Atómica con HGA	0.01	< 0.005

CONTINUACION ANEXO G.2. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO GUALCHO.

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	> 100
<p>Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.</p> <p>De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01.08: Coliformes totales y E.coli.</p> <p>Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliar), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.</p>				
<p>¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.</p> <p>²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</p> <p>³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.</p> <p>⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC</p>				



Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



PRO VIDA
LABORATORIO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

CONTINUACION ANEXO G.2. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO GUALCHO.


Laboratorios Especializados en Control de Calidad
 ESEBESA, S.A. DE C.V.
Inscripción en C.S.S.P. No. 357
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Telefax: (503) 2226-5223 * 2226-7042 * 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

Control No.: A-12-2264 Página 1 de 1

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE/PUNTO TOMA DE MUESTRA: Agua Pozo Habitacional Félix Muñoz, Caserío Gualcho, Cantón San José, Chalatenango. 4.095.		Fecha de Ingreso: 30/08/12	Fecha de Análisis: 31/08/12-12/09/12
		Fecha de Emisión: 13/09/12	Muestra tomada por: CLIENTE
PROCEDENCIA: VICTOR ALBERTO LEON TESIS - UES	DESCRIPCIÓN: Líquido transparente e incoloro.	DATOS DE CAMPO	
		Fecha: 30/08/12	Hora: 10:40 am
		Tº Agua: N/D	Tº Ambiente: N/D

REFERENCIAS:
⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
⁽²⁾ NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria) NSO 13.07.01:08. Agua Potable (Segunda Actualización)

DETERMINACION	METODO	RESULTADO	LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES ⁽²⁾
CALCIO	3500-Ca B ⁽¹⁾	65.5 mg/L	No Disponible
MAGNESIO	3500-Mg B ⁽¹⁾	32.2 mg/L	No Disponible
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	4500-CO ² D ⁽¹⁾	195.0 mg/L	No Disponible
ARSÉNICO *	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.005 mg/L	0.01 mg/L
SODIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	12.6 mg/L	200 mg/L
POTASIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	1.4 mg/L	No Disponible
PLOMO *	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.005 mg/L	0.01 mg/L
MERCURIO	Absorción Atómica con FIAS ⁽¹⁾	Menor de 0.001 mg/L	0.001 mg/L
CADMIO	Absorción Atómica con HGA ⁽¹⁾	Menor de 0.002 mg/L	0.003 mg/L

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA Y ENSAYADA.
 N/D: No Declarado


 Lic. Oscar David Guzmán Julián,
 Químico Farmacéutico




Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
 QUIMICO FARMACEUTICO
 Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810


 ENSAYOS
 LEA-05-02

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

ANEXO G.3. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO EL CONACASTE.

ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"		INFORME DE ENSAYO			Página 1 de 2
 <p>37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv</p>		No. de referencia: 4.096.08.12		Solicitante:	
Muestreo realizado por: ¹⁾ CARLOS CRUZ		(nombre y dirección)		TESIS UES-FIA	
Tipo de fuente: POZO					
Nombre y dirección de muestra: CASA DE TEODOLO ROMERO, CASERIO EL CONACASTE, CANTON SAN JOSE, CHALATENENGO, CHALATENANGO		Fecha y hora de muestreo: 30/08/2012, 11:18:00 AM			
		Fecha y hora de recepción: 30/08/2012, 3:30:00 PM			
		Fecha y hora de análisis: 30/08/2012, 5:30:00 PM			
		Fecha de informe: 24/09/2012			
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO	
PARÁMETROS FÍSICOS					
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.87	
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	1.41	
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	114.40	
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	57.2	
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	28.3	
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	1.28	
PARÁMETROS QUÍMICOS					
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercúrico	-	5.8	
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	124	
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	1.1	
NITRITO	mg/l NO ₂ ⁻ N	Colorimétrico,	1.00	0.002	
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	11.0	
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.51	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	72	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	40	
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	N.D.	
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.2	
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS					
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100	
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	> 100	
Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.					
De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08: Manganeseo, Coliformes totales y E.coli.					

CONTINUACION ANEXO G.3. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO EL CONACASTE.

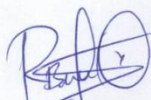
Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.

⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC




Ing. Ronald Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

ANEXO G.4. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO LOS AMATES.

		ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"		
<small>ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA</small> <small>LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"</small>		<small>37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador</small> <small>Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv</small>		
INFORME DE ENSAYO				Página 1 de 2
No. de referencia:	4.097.08.12	Solicitante:		
Muestreo realizado por: ¹⁾	CARLOS CRUZ	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA	
Tipo de fuente:	POZO			
Nombre y dirección de muestra:	CENTRO ESCOLAR, CASERIO LOS AMATES, CANTON SAN JOSE, CHALATENENGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	30/08/2012, 11:54:00 AM	
		Fecha y hora de recepción:	30/08/2012, 3:30:00 PM	
		Fecha y hora de análisis:	30/08/2012, 6:00:00 PM	
		Fecha de informe:	24/09/2012	
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisible ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.81
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	0.60
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	203
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	101.5
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	28.3
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	2.83
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	20.4
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	252
CALCIO	mg/l Ca	Volumétrico, EDTA	-	84.9
POTASIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	-	1.4
SODIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	200.00	24.4
MAGNESIO	mg/l	⁴⁾ 3500-Mg B	-	39.9
BICARBONATOS	mg/l	⁴⁾ 4500-CO ²	-	265
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	0.6
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	0.001
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	13.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.48
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	2
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	N.D.
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.1
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	21

CONTINUACION ANEXO G.4. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO LOS AMATES.

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.

De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la **Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08**: Coliformes totales y E.coli.

Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

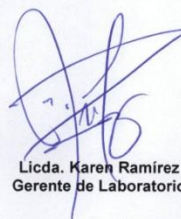
²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.

⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC




Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

CONTINUACION ANEXO G.4. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO LOS AMATES.


Laboratorios Especializados en Control de Calidad
 ESEBESA, S.A. DE C.V.
Inscripción en C.S.S.F. No. 357
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Telefax: (503) 2226-5223 * 2226-7042 * 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

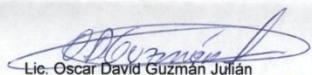
Control No.: A-12-2265 INFORME DE ANALISIS Página 1 de 1


NOMBRE/PUNTO TOMA DE MUESTRA:		Fecha de Ingreso:	30/08/12
Agua de Pozo del Centro Escolar "Los Amates", Cantón San José, Chalatenango. 4.097.		Fecha de Análisis:	31/08/12-12/09/12
		Fecha de Emisión:	13/09/12
		Muestra tomada por:	CLIENTE
PROCEDENCIA:	DESCRIPCIÓN:	DATOS DE CAMPO	
VICTOR ALBERTO LEON TESIS - UES	Líquido transparente e incoloro.	Fecha: 30/08/12	Hora: 11:54 am
		T° Agua: N/D	T° Ambiente: N/D

REFERENCIAS:
⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
⁽²⁾ NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria) NSO 13.07.01:08. Agua Potable (Segunda Actualización)

DETERMINACION	METODO	RESULTADO	LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES ⁽²⁾
CALCIO	3500-Ca B ⁽¹⁾	84.9 mg/L	No Disponible
MAGNESIO	3500-Mg B ⁽¹⁾	39.9 mg/L	No Disponible
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	4500-CO ² D ⁽¹⁾	265.0 mg/L	No Disponible
SODIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	24.4 mg/L	200 mg/L
POTASIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	1.4 mg/L	No Disponible

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA Y ENSAYADA.
 N/D: No Declarado



 Lic. Oscar David Guzmán Julián
 Químico Farmacéutico



Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
 QUIMICO FARMACEUTICO
 Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810

Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

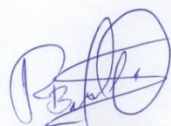
ANEXO G.5. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DE CASERIO AGUA CALIENTE.

		ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER" 37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv		
INFORME DE ENSAYO				Página 1 de 2
No. de referencia:	4.098.08.12	Solicitante:		
Muestreo realizado por. ¹⁾	CARLOS CRUZ	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA	
Tipo de fuente:	POZO			
Nombre y dirección de muestra:	CASA DE JUAN FRANCISCO ROMERO, CRIO. AGUA CALIENTE, CTON. SAN JOSE, CHALATENENGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	30/08/2012, 12:16:00 PM	
		Fecha y hora de recepción:	30/08/2012, 3:30:00 PM	
		Fecha y hora de análisis:	30/08/2012, 6:30:00 PM	
		Fecha de informe:	24/09/2012	
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.92
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	0.70
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	253
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	126.3
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	28.1
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	2.99
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	Colorimétrico	1.1	1.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	15.5
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	324
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	0.8
NITRITO	mg/l NO ₂ ⁻ -N	Colorimétrico,	1.00	0.003
SULFATO	mg/l SO ₄ ⁻²	Colorimétrico	400.0	80.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ⁻³	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.54
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	17
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	N.D.
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.5
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	0
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	0
Observaciones: Agua bacteriológicamente apta para el consumo humano.				
De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08: Manganeseo.				
Se recomienda: Modificar el método de desinfección, ya que el meter una pastilla de cloro al interior del pozo no es una manera correcta de desinfectar el agua, se pueden utilizar métodos alternativos como				

CONTINUACION ANEXO G.5. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DE CASERIO AGUA CALIENTE.

SODIS o cloración a nivel domiciliar con PURIAGUA.

- ¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.
- ²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
- ³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.
- ⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC




Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

ANEXO G.6. RESULTADO DE MUESTRA A POZO EL COMUN LAS MARIAS.


ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"
 37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador
 Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv

INFORME DE ENSAYO Página 1 de 2

No. de referencia:	4.101.09.12	Solicitante:	TESIS UES-FIA
Muestreo realizado por: ¹⁾	JAIME RIVERA	(nombre y dirección)	
Tipo de fuente:	POZO		
Nombre y dirección de muestra:	POZO DE JOSE ANTONIO RECINOS, EL COMUN LAS MARIAS, CANTON SAN JOSE, CHALATENANGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	06/09/2012, 10:02:00 AM
		Fecha y hora de recepción:	06/09/2012, 5:15:00 PM
		Fecha y hora de análisis:	06/09/2012, 5:45:00 PM
		Fecha de informe:	24/09/2012

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.20
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	0.61
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	54.90
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	27.4
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	29.8
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	3.49
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	0.3
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	80
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	2.5
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	0.001
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	17.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.67
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	69
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	N.D.
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.2
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	2

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.

De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08: Manganeseo, Coliformes totales y E.coli.

CONTINUACION ANEXO G.6. RESULTADO DE MUESTRA A POZO EL COMUN LAS MARIAS.

Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.




Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramírez
Gerente de Laboratorio

ANEXO G.7. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO CONCEPCION.



ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"
 37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador
 Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv

INFORME DE ENSAYO
Página 1 de 2

No. de referencia:	4.102.09.12	Solicitante:	
Muestreo realizado por: ¹⁾	JAIME RIVERA	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA
Tipo de fuente:	POZO		
Nombre y dirección de muestra:		Fecha y hora de muestreo:	06/09/2012, 10:53:00 AM
POZO DE ALFONSO HERNANDEZ, CASERIO		Fecha y hora de recepción:	06/09/2012, 5:15:00 PM
CONCEPCION, CANTON SAN JOSE,		Fecha y hora de análisis:	06/09/2012, 5:45:00 PM
CHALATENANGO, CHALATENANGO		Fecha de informe:	24/09/2012

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.20
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	11.10
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	81.70
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	40.9
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	27.1
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	1.5
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	24
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	94
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	3.2
NITRITO	mg/l NO ₂ ⁻ -N	Colorimétrico,	1.00	0.001
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	53.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.87
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	N.D.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	0.04
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.3
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	100

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.

De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08: Manganeseo, Coliformes totales y E.coli.

CONTINUACION ANEXO G.7. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO CONCEPCION.

Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater


³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.


Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad




Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

ANEXO G.8. RESULTADO DE MUESTRA A RIO MUCA.

		ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER" 37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv		
INFORME DE ENSAYO				Página 1 de 2
No. de referencia:	4.103.09.12	Solicitante:		
Muestreo realizado por: ¹⁾	JAIME RIVERA	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA	
Tipo de fuente:	RIO			
Nombre y dirección de muestra:	INTERSECCION RIO TAMULASCO Y RIO MUCA, LIMITE ENTRE CANTON SAN JOSE Y SAN BARTOLO, CHALATENANGO, CHALATENANGO		Fecha y hora de muestreo:	06/09/2012, 11:57:00 AM
			Fecha y hora de recepción:	06/09/2012, 5:15:00 PM
			Fecha y hora de análisis:	06/09/2012, 5:45:00 PM
			Fecha de informe:	24/09/2012
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisible ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	7.40
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	18.20
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	$\mu\text{S/cm}$ a 25 °C	Conductivimétrico	-	23.5
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	11.7
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	29.0
OXIGENO DISUELTOS	mg/l O ₂	Oximétrico	-	8.21
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	1.8
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	16
CALCIO	mg/l Ca	Volumétrico, EDTA	-	13.9
POTASIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	-	2.7
SODIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	200.00	6.5
MAGNESIO	mg/l	⁴⁾ 3500-Mg B	-	1.2
BICARBONATOS	mg/l	⁴⁾ 4500-CO ₂	-	54
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	2.9
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	0.025
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	2.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.53
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	38
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	0.26
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.5
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	> 100

CONTINUACION ANEXO G.8. RESULTADO DE MUESTRA A RIO MUCA.

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.

De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la **Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08**: Turbiedad, Manganeseo, Coliformes totales y E.coli.

Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliari), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

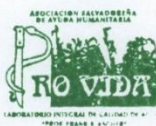
²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.

⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC



Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

CONTINUACION ANEXO G.8. RESULTADO DE MUESTRA A RIO MUCA.

LECC® **Laboratorios Especializados en Control de Calidad**
 ESEBESA, S.A. DE C.V.
 Inscripción en C.S.S.P. No. 357
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Telefax: (503) 2226-5223 * 2226-7042 * 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

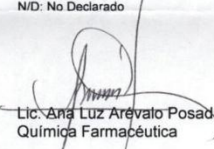
Control No.: A-12-2302 **INFORME DE ANALISIS** Página 1 de 1


NOMBRE/PUNTO TOMA DE MUESTRA: Agua del Río Tamulasco, 75m Aguas abajo de la Intersección con Río Muca. 4.103		Fecha de Ingreso: 06/09/12	Fecha de Análisis: 07-17/09/12
		Fecha de Emisión: 19/09/12	Muestra tomada por: CLIENTE
PROCEDENCIA: VICTOR ALBERTO LEON TESIS - UES	DESCRIPCIÓN: Líquido ligeramente opalescente, amarillento, con partículas.	DATOS DE CAMPO	
		Fecha: 06/09/12	Hora: N/D
		T° Agua: N/D	T° Ambiente: N/D


REFERENCIAS:
⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
⁽²⁾ NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria) NSO 13.07.01:08. Agua Potable (Segunda Actualización)

DETERMINACION	METODO	RESULTADO	LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES ⁽²⁾
CALCIO	3500-Ca B ⁽¹⁾	13.9 mg/L	No Disponible
MAGNESIO	3500-Mg B ⁽¹⁾	1.2 mg/L	No Disponible
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	4500-CO ² D ⁽¹⁾	54.0 mg/L	No Disponible
SODIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	6.5 mg/L	200 mg/L
POTASIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	2.7 mg/L	No Disponible

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA Y ENSAYADA.
 N/D: No Declarado


 Lic. Ana Luz Arevalo Posada
 Química Farmacéutica





Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

ANEXO G.9. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO SAN JOSE.

ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA		LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"		
37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv				
INFORME DE ENSAYO				Página 1 de 2
No. de referencia:	4.104.09.12	Solicitante:		
Muestreo realizado por: ¹⁾	JAIME RIVERA	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA	
Tipo de fuente:	POZO			
Nombre y dirección de muestra:	POZO DE ALFARO ROMERO, CASERIO SAN JOSE, CANTON SAN JOSE, CHALATENANGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	06/09/2012, 2:00:00 PM	
		Fecha y hora de recepción:	06/09/2012, 5:15:00 PM	
		Fecha y hora de análisis:	06/09/2012, 5:45:00 PM	
		Fecha de informe:	24/09/2012	
PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisible ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.90
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	0.60
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	245
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	122.6
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	27.5
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	4.38
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercurico	-	0.9
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	76
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	1.5
NITRITO	mg/l NO ₂ -N	Colorimétrico,	1.00	N.D.
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	6.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.33
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	10
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	N.D.
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.1
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	> 100
Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.				
De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08 : Coliformes totales y E.coli.				
Se recomienda: De utilizar esta agua para consumo humano, es necesario implementar un método de desinfección (método SODIS o clorar a nivel domiciliario), para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.				

CONTINUACION ANEXO G.9. RESULTADO DE MUESTRA A POZO DEL CASERIO SAN JOSE.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.




Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

ANEXO G.10. RESULTADO DE MUESTRA A POZO CUESTA MARINA.



ASOCIACION SALVADOREÑA
DE AYUDA HUMANITARIA
PROVIDA
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA
"PROF. FRANK A. ESCHER"

ASOCIACION SALVADOREÑA DE AYUDA HUMANITARIA PRO-VIDA
LABORATORIO INTEGRAL DE CALIDAD DE AGUA "PROF. FRANK A. ESCHER"

37 Avenida Norte, Calle Las Rosas # 34, Colonia Santa Fe, San Salvador, El Salvador
Tel. +503 2225 0697, Fax: +503 2275 7472, laboratorio_provida@yahoo.com, www.provida.org.sv

INFORME DE ENSAYO

Página 1 de 2

No. de referencia:	4.105.09.12	Solicitante:	
Muestreo realizado por: ¹⁾	JAIME RIVERA	(nombre y dirección)	TESIS UES-FIA
Tipo de fuente:	CHORRO		
Nombre y dirección de muestra:	CASA DE ANGEL VELASQUEZ, CALLE CUESTA MARINA, CANTON SAN JOSE, CHALATENANGO, CHALATENANGO	Fecha y hora de muestreo:	06/09/2012, 1:31:00 PM
		Fecha y hora de recepción:	06/09/2012, 5:15:00 PM
		Fecha y hora de análisis:	06/09/2012, 5:45:00 PM
		Fecha de informe:	24/09/2012

PARÁMETRO	UNIDADES	METODO ²⁾	Valor máximo permisibles ³⁾	RESULTADO
PARÁMETROS FÍSICOS				
PH	-	Potenciométrico	8.5	6.80
TURBIEDAD	UNT	Nefelométrico	5	0.30
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/cm a 25 °C	Conductivimétrico	-	55.60
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/l	Conductivimétrico	1000	27.8
TEMPERATURA	°C	Termométrico	No Rechazable	28.5
OXIGENO DISUELTO	mg/l O ₂	Oximétrico	-	4.84
PARÁMETROS QUÍMICOS				
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	Colorimétrico, Tiocianato Mercuríco	-	0.7
DUREZA TOTAL COMO CARBONATO DE CALCIO	mg/l CaCO ₃	Volumétrico, EDTA	500	72
CALCIO	mg/l Ca	Volumétrico, EDTA	-	157.1
POTASIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	-	2.1
SODIO	mg/l	⁴⁾ Absorción Atómica	200.00	38.5
MAGNESIO	mg/l	⁴⁾ 3500-Mg B	-	29.8
BICARBONATOS	mg/l	⁴⁾ 4500-CO ²	-	282
NITRATO	mg/l NO ₃ ⁻	Colorimétrico, Reducción de Cadmio	45.0	0.9
NITRITO	mg/l NO ₂ ⁻ -N	Colorimétrico,	1.00	0.001
SULFATO	mg/l SO ₄	Colorimétrico	400.0	6.0
FOSFATO	mg/l PO ₄ ³⁻	Colorimétrico, Ácido Ascórbico	-	0.32
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mg/l DQO	Colorimétrico,	-	1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l DBO ₅	Medición de respiración por autocontrol, OxiTop	-	N.D.
HIERRO TOTAL	mg/l Fe	Colorimétrico	0.30	0.02
MANGANESO	mg/l Mn	Colorimétrico, Oxidación de Periodato	0.1	0.1
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	Filtración con membrana	0	> 100
ESCHERICHIA COLI	UFC/100 ml		0	2

CONTINUACION ANEXO G.10. RESULTADO DE MUESTRA A POZO CUESTA MARINA.

Observaciones: Agua bacteriológicamente no apta para el consumo humano.

De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra, se observa que los siguientes parámetros no cumplen con la **Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08**: Coliformes totales y E.coli.


Se recomienda: Utilizar un método de desinfección (Cloración), Además mantener la concentración de cloro residual entre 0.3 a 1.1 mg/L en el sistema, para eliminar la carga bacteriológica total y fecal y dar cumplimiento a la norma salvadoreña.

¹⁾ Según el Procedimiento de Muestreo. Laboratorio de Análisis de Agua Pro-Vida. 2010.

²⁾ REFERENCIA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³⁾ Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.08 Agua. Agua potable.

⁴⁾ Análisis hecho por los Laboratorios Especializados en Control de Calidad LECC




Ing. Ronal Cortez
Referente de Control de Calidad



Licda. Karen Ramirez
Gerente de Laboratorio

CONTINUACION ANEXO G.10. RESULTADO DE MUESTRA A POZO CUESTA MARINA.


Laboratorios Especializados en Control de Calidad
 ESEBESA, S.A. DE C.V.
Inscripción en C.S.S.P. No. 357
 Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Telefax: (503) 2226-5223 * 2226-7042 * 2235-4836 • www.lecc.com.sv • e-mail: info@lecc.com.sv

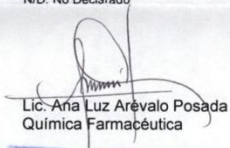
Control No.: A-12-2303 INFORME DE ANALISIS Página 1 de 1


NOMBRE/PUNTO TOMA DE MUESTRA: Agua de Pozo de Ángel Velásquez, Calle a Cuesta de Marina, Cantón San José. 4.105		Fecha de Ingreso: 06/09/12 Fecha de Análisis: 07-17/09/12 Fecha de Emisión: 19/09/12 Muestra tomada por: CLIENTE
PROCEDENCIA: VICTOR ALBERTO LEON TESIS - UES	DESCRIPCIÓN: Líquido transparente e incoloro.	DATOS DE CAMPO Fecha: 06/09/12 T° Agua: N/D Hora: N/D T° Ambiente: N/D


REFERENCIAS:
⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.
⁽²⁾ NSO (Norma Salvadoreña Obligatoria) NSO 13.07.01:08. Agua Potable (Segunda Actualización)

DETERMINACION	METODO	RESULTADO	LIMITES MAXIMOS ADMISIBLES ⁽²⁾
CALCIO	3500-Ca B ⁽¹⁾	157.1 mg/L	No Disponible
MAGNESIO	3500-Mg B ⁽¹⁾	29.8 mg/L	No Disponible
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	4500-CO ² D ⁽¹⁾	282.0 mg/L	No Disponible
SODIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	38.5 mg/L	200 mg/L
POTASIO	Absorción Atómica ⁽¹⁾	2.1 mg/L	No Disponible

EL INFORME CORRESPONDE A LA MUESTRA REMITIDA Y ENSAYADA.
 N/D: No Declarado


 Lic. Ana Luz Arévalo Posada
 Químico Farmacéutica



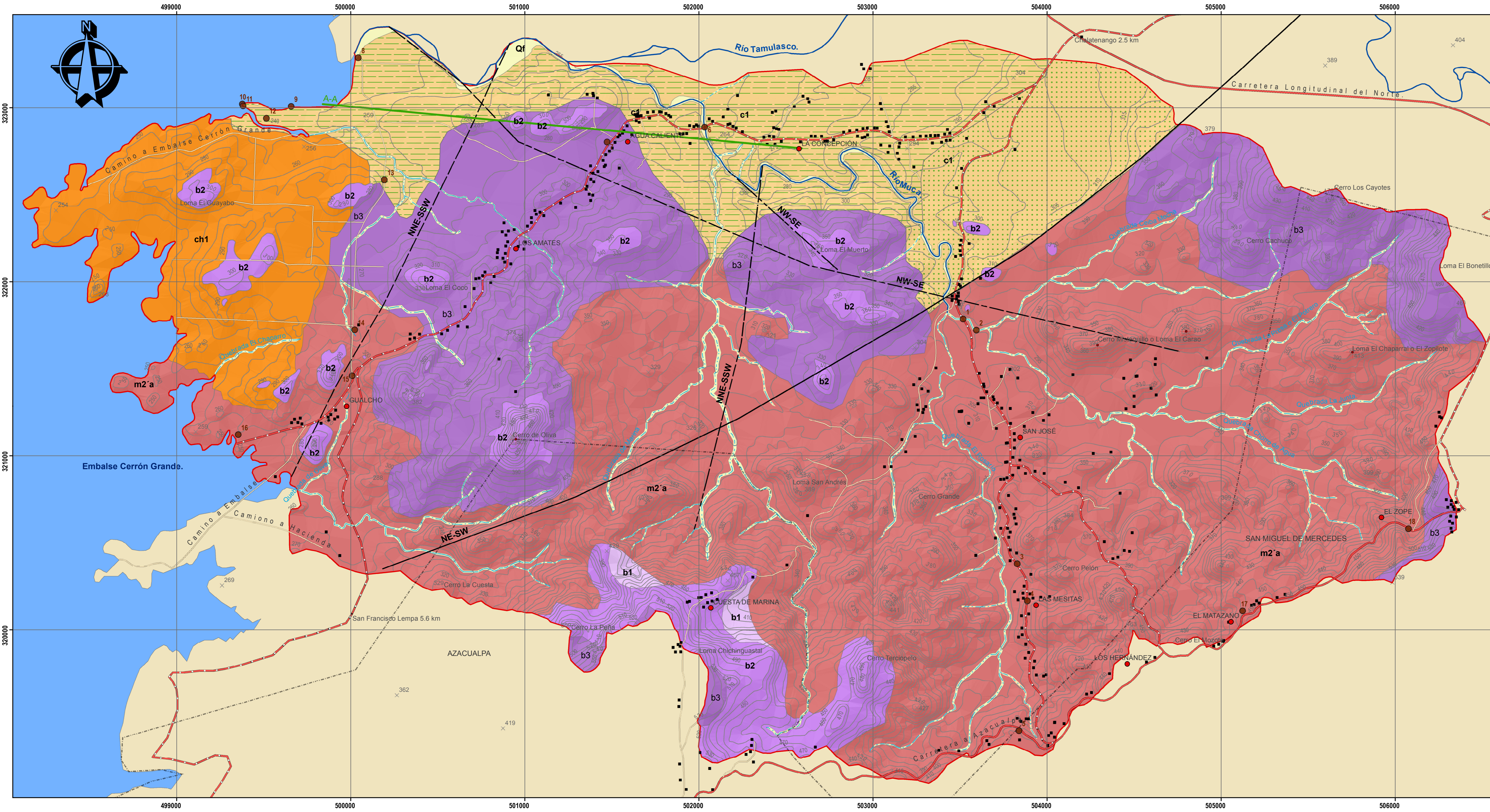


Laboratorio Acreditado por CONACYT bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para Aguas, Alimentos, Superficies y Medicamentos

ANEXO H.

MAPAS GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE LA
SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y QUEBRADAS AL OESTE,
LIMÍTROFES CON EL EMBALSE CERRÓN GRANDE.

ANEXO H.1. MAPA GEOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE. (ESCALA 1:10000).



LEYENDA GEOLÓGICA.

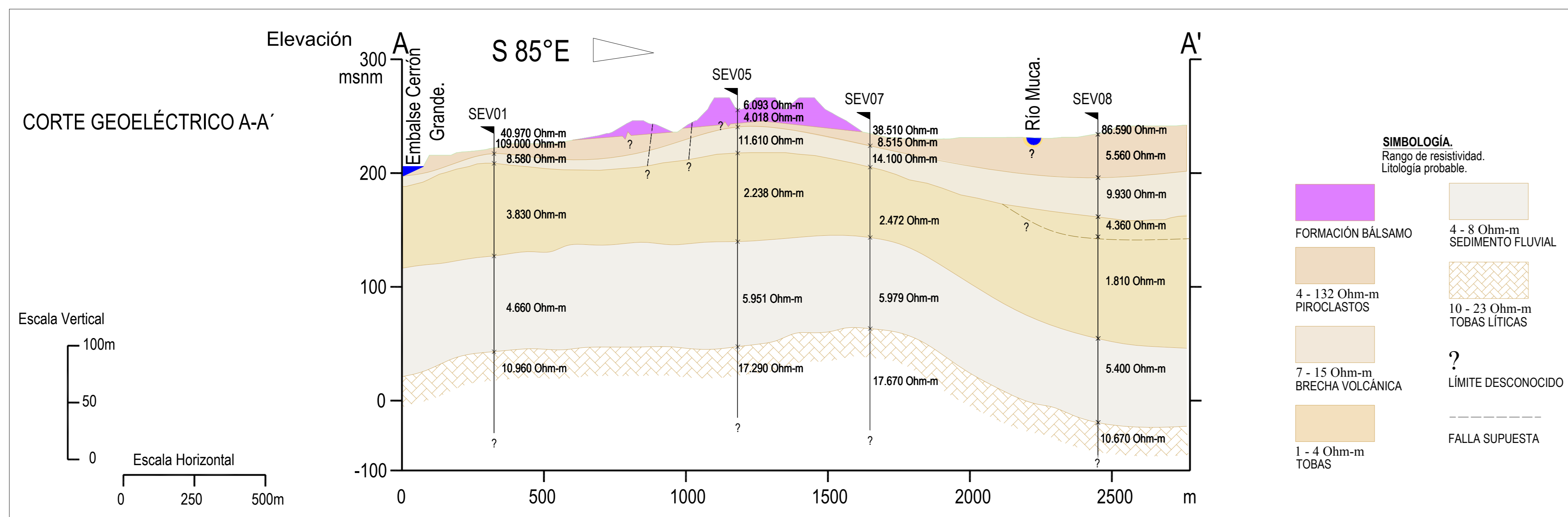
Qf	Depósitos sedimentarios del Cuaternario.
e1	Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas. Principalmente depósitos lacustres.
c1	Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas. Principalmente depósitos fluviales.
b3	Efusivas básicas-intermedias.
b2	Efusivas básicas-intermedias, piroclásticas, epiclastitas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos).
b1	Epiclastitas volcánicas y piroclásticas; localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas.
ch1	Piroclásticas ácidas, ignimbritas, epiclastitas volcánicas localmente efusivas ácidas intercaladas.
m2'a	Efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclásticas subordinadas (alteración regional por influencia hidrotermal).

✱ Estructura volcánica sin cráter.
— Corte Geoelectrico A-A
— Falla.
- - - Falla Inferida.

LEYENDA TOPOGRÁFICA.

- Viviendas
- × Elevación máxima.
- Caseríos
- Puntos de verificación geológica de campo. (1)
- Camino transitable en época seca.
- Carretera pavimentada.
- Carretera sin pavimentar transitable todo el año.
- Curvas de Nivel @ 10 m.
- Quebrada
- Río
- Límite municipal.
- Límite de zona de estudio.
- Embalse Cerrón Grande.

(1) Detalles de los puntos de verificación geológica de campo, en anexo C.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.**

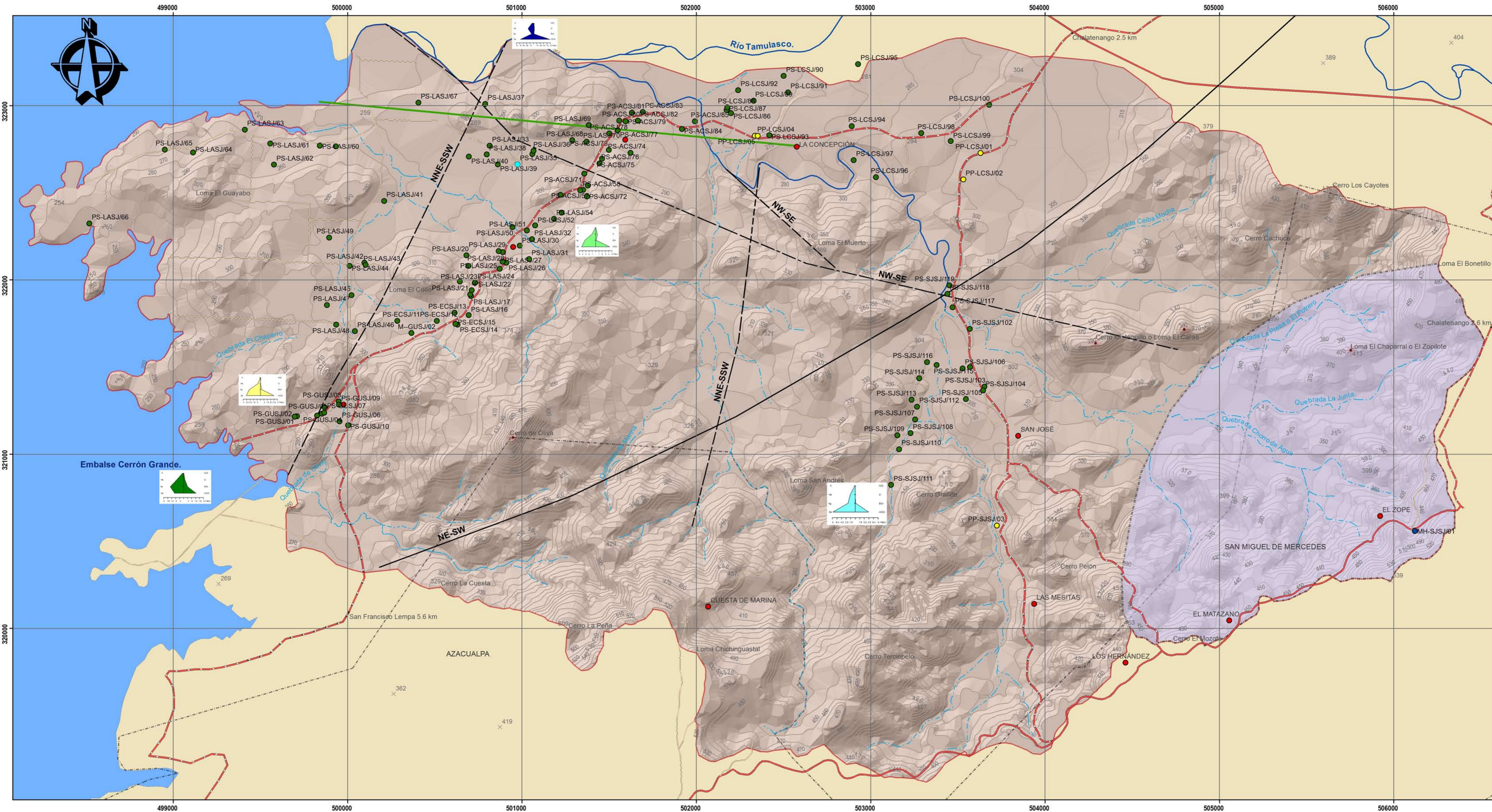
TRABAJO DE GRADUACIÓN:
"CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO, LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE".

CONTENIDO:
MAPA GEOLÓGICO Y CORTE GEOLÉCTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES, CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

ELABORADO POR: BR. LEÓN D., VÍCTOR A. BR. MONTOYA L., A. BEATRIZ. BR. RIVERA G., ADÁN E.	PÁGINA DE MAPAS: 1 / 2
REVISADO POR: ING. CAMPOS O., SUSAN E. ING. TICAY A., SILVIO A. LIC. MORÁN., LUDWIN E.	ESCALA: 1:10000 H ; 1:2500 V.
ESCALA GRÁFICA: 	FECHA: MAYO DE 2013.

FUENTES: CARTOGRAFÍA NACIONAL CUADRANTES: CHALATENANGO 2458 III SW (MARZO 2001), SAN BARTOLO 2358 II SE (JULIO 1986) Y SAN LUIS DEL CARMEN 2457 IV NW (FEBRERO 1992). ESCALA 1:25000. PRIMERA EDICIÓN. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT. DATUM NORTEAMERICANO DE 1927.
MAPA GEOLÓGICO NACIONAL CUADRANTES CHALATENANGO Y SONSONATE. ESCALA 1:100000
VERIFICACIÓN GEOOLÓGICA EN CAMPO DURANTE EL PERÍODO DE MARZO A MAYO DE 2012.

ANEXO H.2. MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES CON EMBALSE CERRÓN GRANDE. (ESCALA 1:10000).



LEYENDA HIDROGEOLÓGICA.

Unidad Acuíferos Locales Generados por Sistemas de Fallas. Esta unidad la constituyen principalmente rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico distinguiéndose flujos y coladas de lavas que provienen de procesos tectónico-volcánicos originados en la zona. Los materiales de esta unidad pueden presentar conductividades hidráulicas de mediana a bajas como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente), formando pequeños acuíferos locales. La manifestación de esta unidad se da por el afloramiento de mantos que posteriormente contribuyen a la generación del caudal base de los sistemas de escorrentía superficial de la zona.

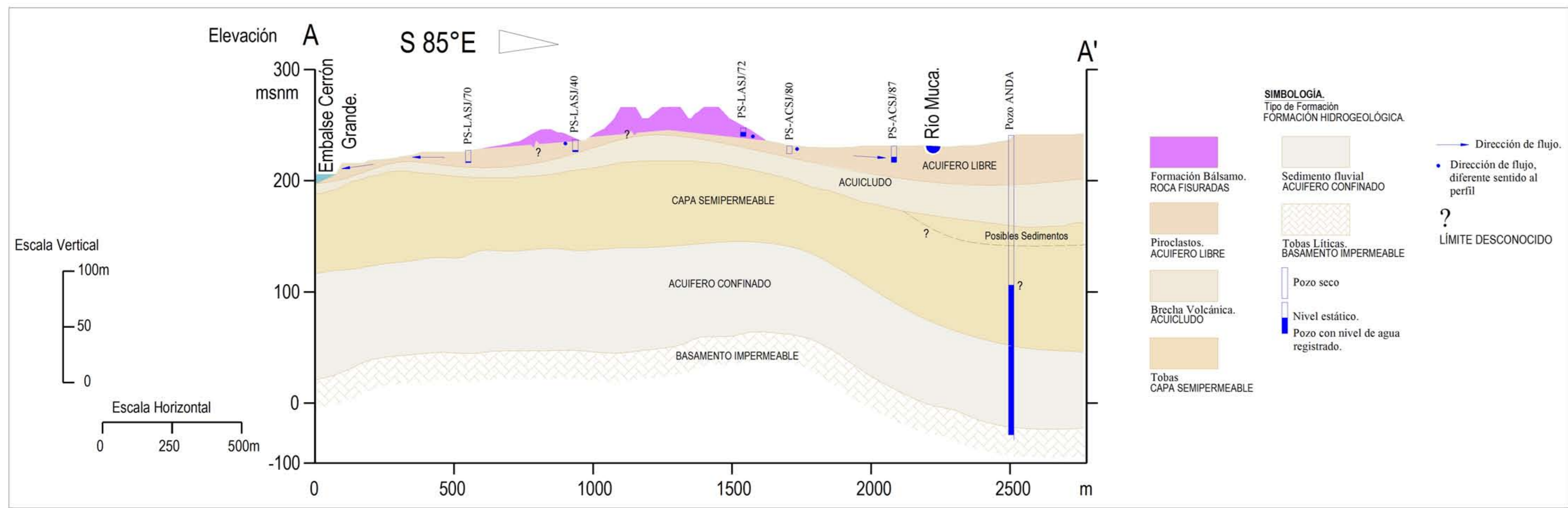
Unidad Acuíferos Locales de Extensión Limitada y Productividad Mediana a Baja. Esta unidad está constituida básicamente por sedimentos aluviales (arenas, gravas, etc.), que han sido transportados por los ríos, desde la parte alta de los cerros hasta la planicie. Los materiales de esta unidad presentan una conductividad hidráulica de mediana a baja, la que depende de la granulometría, del grado de limpieza (contenido de limo y arcilla) y del grado de compactación que presentan los materiales. El espesor de estos materiales puede superar los 15 m.

Manantial
Pozo Profundo
Pozo Superficiales
Estructura volcánica sin cráter.
Corte Geoelectrico A-A
Falla.
Falla Inferida.

Nota: Ver inventario de fuentes de agua, tabla resumen en capítulo V. Hidrogeología

LEYENDA TOPOGRÁFICA.

Caseríos
Elevación máxima.
Curvas de Nivel @ 10 m.
Río
Quebrada
Camino transitible en época seca.
Carretera pavimentada.
Carretera sin pavimentar transitible todo el año.
Limite municipal.
Embalse Cerrón Grande.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.

TRABAJO DE GRADUACIÓN:
"CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO, LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE".

CONTENIDO:
MAPA HIDROGEOLÓGICO Y ACUÍFEROS ASOCIADOS A CORTE GEOLÉCTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MUCA Y MICROCUENCAS AL OESTE LÍMITROFES, CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

ELABORADO POR: **BR. LEÓN D., VÍCTOR A.**
BR. MONTOYA L., A. BEATRIZ.
BR. RIVERA G., ADÁN E.

REVISADO POR: **ING. CAMPOS O., SUSAN E.**
ING. TICAY A., SILVIO A.
LIC. MORÁN, LUDWIN E.

PÁGINA DE MAPAS: **2 / 2**

ESCALA: **1:10000 H ; 1:2500 V.**

FECHA: **MAYO DE 2013.**

ESCALA GRÁFICA:

FUENTES: CARTOGRAFÍA NACIONAL CUADRANTES: CHALATENANGO 2458 III SW (MARZO 2001), SAN BARTOLO 2358 II SE (JULIO 1986) Y SAN LUIS DEL CARMEN 2457 IV NW (FEBRERO 1992), ESCALA 1:25000. PRIMERA EDICIÓN. PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT. DATUM NORTEAMERICANO DE 1927.
MAPA HIDROGEOLÓGICO NACIONAL (ANDA)
INVENTARIO DE POZOS MARZO A MAYO DE 2012.

ANEXO I.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.

(Únicamente en versión digital).



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Pedro Julio Muñoz"/>	<input type="text" value="29/03/2012"/>	<input type="text" value="10:30 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="1"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Gualcho"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°0.823'"/>	<input type="text" value="89°0.143'"/>	<input type="text" value="270.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1984*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de piedra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.07"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Promotora de salud, tomo muestra para análisis en 2011."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="8.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="6.20"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.55"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="4.4"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Félix Muñoz."/>	<input type="text" value="29/03/2012"/>	<input type="text" value="10:45 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="2"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Gualcho"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°0.831'"/>	<input type="text" value="89°0.168'"/>	<input type="text" value="290.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="2004*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.93"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES Este pozo no ha sido muestreado por la unidad de salud. Pozo seleccionado para muestreo en trabajo de graduación. *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="11.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="8.10"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.50"/>		
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="6.6"/>		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="(Desconocido)."/>	<input type="text" value="29/03/2012"/>	<input type="text" value="11:06 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="3"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Gualcho"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°0.830'"/>	<input type="text" value="89°0.175'"/>	<input type="text" value="315.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Infactible"/>

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>

Diámetro (m)	<input type="text" value="--"/>	Bomba: <input type="text" value="--"/>	OBSERVACIONES
--------------	---------------------------------	--	---------------

Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>	<i>Se visualizó el pozo, pero no se encontró ninguna persona en la vivienda, por lo cual no se pudo capturar mayor cantidad de información.</i>	
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>		

Altura de broquel (m):	<input type="text" value="--"/>	*Año aproximado
------------------------	---------------------------------	-----------------

Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
--------------------------	---------------------------------	--



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-GUSJ/05

Propietario: Mario (No se obtuvo el apellido). Fecha: 29/03/2012 Hora: -- Punto de Agua: Pozo N°: 5

DIRECCIÓN

Calle: A Embalse Cerrón Grande Caserío: Gualcho Cantón: San José Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 14°0.839' Oeste: 89°0.088' Elevación: 291.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Indeterminado Uso: -- N° de Abastecidos: -- Extracción de muestras: --

Año de construcción: -- Método de construcción: Excavado Revestimiento: --

Diámetro (m): -- Bomba: -- OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): -- No se encontró ninguna persona en la vivienda.

Profundidad del agua (m): --

Altura de broquel (m): -- *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): -- La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Díámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

Nivel de Agua(invierno):

*Año aproximado

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Familia de Oliva Salinas."/>	<input type="text" value="29/03/2012"/>	<input type="text" value="11:58 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="8"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Gualcho"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°0.870'"/>	<input type="text" value="89°0.107'"/>	<input type="text" value="338.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="Indeterminado"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Infactible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.84"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="8.30"/>	--	
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="8.05"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Humberto Guardado."/>	<input type="text" value="29/03/2012"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="9"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Gualcho"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°0.877'"/>	<input type="text" value="89°0.035'"/>	<input type="text" value="285.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="Infactible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1993.00"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m):	<input type="text" value="--"/>	Bomba: <input type="text" value="Manual"/>	OBSERVACIONES <i>El pozo esta totalmente sellado, la única forma de extraer agua es por medio de la bomba manual.</i>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.77"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

Nivel de Agua(invierno):

Se observó que por medio de conducción llega agua a piletas en las que beben agua animales, la persona que cuida informó que provenia de un manantial, que se encuentra a 1/2 km. pero no se nos permitió el acceso al

**Año aproximado*

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ECSJ/12

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Alberto Franco.	29/03/2012	1:52 p.m.	Pozo	13

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
Callejón Tamarindo	El Conacaste	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.092'	88°59.801'	303.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
Indeterminado	Ganadero		Factible

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
--	Excavado	Tubo de concreto

Diámetro (m)	0.76	Bomba: No posee
--------------	------	-----------------

Profundidad del pozo (m):	3.70
---------------------------	------

Profundidad del agua (m):	0.88
---------------------------	------

Altura de broquel (m):	0.35
------------------------	------

Nivel de Agua(invierno):	--
--------------------------	----

OBSERVACIONES
Vegetación densa en la zona, por lo que los datos del GPS podrían no ser confiables.

*Año aproximado

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ECSJ/13

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
(Desconocido)	29/03/2012	2:15 p.m.	Pozo	14

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	El Conacaste	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.128'	88°59.722'	324.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
Indeterminado	--		--

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
--	--	--

Diámetro (m)	--	Bomba: --	OBSERVACIONES
--------------	----	-----------	---------------

Profundidad del pozo (m):	--	Coordenadas corresponden a entrada de vivienda en la que los vecinos aseguran se encuentra un pozo, pero no se encontró ninguna persona en el momento de la visita.	
Profundidad del agua (m):	--		

Altura de broquel (m):	--	*Año aproximado
------------------------	----	-----------------

Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
--------------------------	----	--



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ECSJ/15

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Maria Concepción Olivo.

29/03/2012

2:20 p.m.

Pozo

16

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

El Conacaste

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.116'

88°59.656'

332.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

6

Infactible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

2000*

Excavado

--

Diámetro (m)

--

Bomba: --

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Información proporcionada por vecina encargada del pozo, no se nos permitió el acceso a éste por lo cuál no se pudo completar la información.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Juan Ramón Martínez."/>	<input type="text" value="30/03/2012"/>	<input type="text" value="10:30 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="18"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.146'"/>	<input type="text" value="88°59.621'"/>	<input type="text" value="334.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="2005.00"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.94"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="12.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="11.20"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/19

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: *PS-LASJ/20*

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Juana Henríquez

30/03/2012

11:08 a.m.

Pozo

21

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.299'

88°59.621'

311.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

5

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

*1900**

Excavado

--

Diámetro (m)

0.97

Bomba: *No posee*

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

13.10

Altura de broquel (m):

0.54

**Año aproximado*

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="30/03/2012"/>	<input type="text" value="11:15 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="22"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.332'"/>	<input type="text" value="88°59.628'"/>	<input type="text" value="300.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.97"/>	Bomba: <input type="text" value="Manual"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="5.43"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="3.80"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.47"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/22

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Roquel Wilmar Guardado

30/03/2012

11:34 a.m.

Pozo

23

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.210'

88°59.616'

318.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

18

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

2005.00

Excavado

--

Diámetro (m)

0.72

Bomba: Manual

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 10.00

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 6.90

Altura de broquel (m): 0.66

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): --

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/23

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Salvador Recinos	30/03/2012	11:43 a.m	Pozo	24

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Los Amates	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.223´	88°59.611´	334.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Doméstico	24	Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
1999*	Excavado	--	
Diámetro (m)	0.94	Bomba: No posee	OBSERVACIONES Sin observaciones. *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
Profundidad del pozo (m):	12.00		
Profundidad del agua (m):	11.57		
Altura de broquel (m):	0.30		
Nivel de Agua(invierno):	11.4		



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Lucila Recinos"/>	<input type="text" value="30/03/2012"/>	<input type="text" value="12:00 m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="25"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.246´"/>	<input type="text" value="88°59.601´"/>	<input type="text" value="310.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="42"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1981*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.80"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="9.50"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="7.67"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.30"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Mario Carrillo"/>	<input type="text" value="30/03/2012"/>	<input type="text" value="1:00 p.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="26"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.247'"/>	<input type="text" value="88°59.600'"/>	<input type="text" value="310.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="18"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="2002.00"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.97"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="11.01"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="8.78"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.77"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="6"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/26

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

30/03/2012

1:10 p.m.

Pozo

27

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.290'

88°59.522'

310.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Infactible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

--

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Posible ubicación ya que no se pudo observar.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/27

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/28

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

30/03/2012

1:30 p.m.

Pozo

29

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.327'

88°59.500'

312.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

--

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Es un terreno valdí con un pozo, no se pudo recolectar información.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/29

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

La Iglesia

30/03/2012

1:35 p.m.

Pozo

30

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.342'

88°59.512'

312.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

0.82

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

5.60

Es utilizado en la iglesia

Profundidad del agua (m):

3.77

Altura de broquel (m):

0.60

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/30

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

María Elena

30/03/2012

1.38 p.m.

Pozo

31

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.345'

88°59.525'

319.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

7

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

2000*

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.92

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

4.73

Altura de broquel (m):

0.54

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/31

Propietario: Nicolás Cartagena
Fecha: 30/03/2012
Hora: 1.58 p.m.
Punto de Agua: Pozo
N°: 32

DIRECCIÓN

Calle: A San Francisco Lempa
Caserío: Los Amates
Cantón: San José
Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 14°1.362'
Oeste: 88°59.458'
Elevación: 324.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: En uso
Uso: Doméstico
N° de Abastecidos: 3
Extracción de muestras: Factible

Año de construcción: 1989*
Método de construcción: Excavado
Revestimiento: --

Diámetro (m): 0.88
Bomba: No posee
OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 13.00
Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 7.90

Altura de broquel (m): 0.61
*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): --
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="María Dolores Galdámez"/>	<input type="text" value="30/03/2013"/>	<input type="text" value="2:00 p.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="33"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.320'"/>	<input type="text" value="88°59.428'"/>	<input type="text" value="328.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="18"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1990*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.84"/>	Bomba: <input type="text" value="Manual"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="5.90"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.37"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Escuela Caserío Los Amates"/>	<input type="text" value="30/03/2012"/>	<input type="text" value="2:30 p. m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="34"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.382'"/>	<input type="text" value="88°59.419'"/>	<input type="text" value="285.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="180"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="N/A"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.37"/>	Bomba: <input type="text" value="Simple"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.58"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/34

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Escuela Caserío Los Amates

30/03/2013

2:35 p. m.

Pozo

35

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14.°1.384

88°59.420'

285.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

--

0

Infactible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

--

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

El pozo está deshabilitado, no se usa.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/35

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Juan Salazar

04/04/2012

8:30 a.m.

Pozo

38

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

--

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.615'

88°59.465'

296.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1995*

Excavado

N/A

Diámetro (m)

0.95

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

15.00

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

8.95

Altura de broquel (m):

0.40

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Adilio Solórzano"/>	<input type="text" value="04/04/2012"/>	<input type="text" value="8:45 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="39"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Río Tamulasco"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.657'"/>	<input type="text" value="88°59.414'"/>	<input type="text" value="299.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de piedra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.90"/>	Bomba: <input type="text" value="Manual"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="14.30"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="13.50"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Jesús"/>	<input type="text" value="04/04/2012"/>	<input type="text" value="8:50 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="40"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.803'"/>	<input type="text" value="88°59.568'"/>	<input type="text" value="283.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.00"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="11.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="9.80"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.57"/>		
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>		

*Año aproximado
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Francisco Borja"/>	<input type="text" value="04/04/2012"/>	<input type="text" value="9:15 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="41"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.646´"/>	<input type="text" value="88°59.563´"/>	<input type="text"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Desconocido"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.80"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="7.45"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="5.35"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.65"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/39

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Juan Salazar

04/04/2012

10:00 a.m.

Pozo

42

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.615'

88°59.528'

282.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

0.80

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

5.75

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

5.42

Altura de broquel (m):

0.55

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/40

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
--	04/04/2012	10:15 a.m.	Pozo	43

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A Embalse Cerrón Grande	Los Amates	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.639'	88°59.620'	282.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
Indeterminado	Agrícola		Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
--	Excavado	Mampostería de ladrillo de obra	
Diámetro (m)	0.70	Bomba: Manual	OBSERVACIONES Sin observaciones.
Profundidad del pozo (m):	7.50		
Profundidad del agua (m):	5.20		
Altura de broquel (m):	0.65	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Felipe López"/>	<input type="text" value="04/04/2012"/>	<input type="text" value="10:20 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="44"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.501'"/>	<input type="text" value="88°59.890'"/>	<input type="text" value="247.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="Indeterminado"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1995*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.00"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="8.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="7.60"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.38"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/42

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Jeremías	05/04/2012	10.30 a.m.	Pozo	45

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A Embalse Cerrón Grande	Los Amates	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.309'	88°59.953'	290.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Agrícola		Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
--	Excavado	Tubo de concreto	
Diámetro (m)	0.78	Bomba: No posee	OBSERVACIONES
Profundidad del pozo (m):	7.00	Sin observaciones.	
Profundidad del agua (m):	4.20		
Altura de broquel (m):	0.65		
Nivel de Agua(invierno):	--	*Año aproximado	
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H			



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Jeremías"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="10:35 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="46"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Gualcho"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.302'"/>	<input type="text" value="88°59.949'"/>	<input type="text"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="No utilizado"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Tubo de concreto"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.78"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="7.50"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="4.50"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.65"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/44

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Gerardo

05/04/2012

11:40 a.m.

Pozo

47

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Gualcho

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.311'

89°0.070'

296.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Tubo de concreto

Diámetro (m)

0.75

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

5.20

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

3.20

Altura de broquel (m):

0.53

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/45

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Gonzalo Echeverría"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="11:50 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="49"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.096'"/>	<input type="text" value="88°59.983'"/>	<input type="text" value="366.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.85"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="3.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="2.10"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.53"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/47

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Marcelino

05/04/2012

12:00 m.

Pozo

50

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

--

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.177'

89°0.720'

296.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

1.40

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.50

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

6.45

Altura de broquel (m):

0.40

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

7.1

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/48

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

05/04/2012

--

Pozo

51

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

--

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.116'

89°0.430'

347.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Tubo de concreto

Diámetro (m)

0.77

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.40

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Jeremías Delgado"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="52"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.387'"/>	<input type="text" value="89°0.650'"/>	<input type="text" value="294.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="--"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.87"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="7.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="5.00"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/50

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Mercedes Flamenco	05/04/2012	--	Pozo	53

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
--	Los Amates	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.420'	88°59.481'	279.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Doméstico		Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
1990*	Excavado	Mampostería de ladrillo de obra	
Díámetro (m)	0.90	Bomba: No posee	OBSERVACIONES Está ubicado debajo de un árbol de mango cerca de la cancha Los Amates *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
Profundidad del pozo (m):	6.00		
Profundidad del agua (m):	5.40		
Altura de broquel (m):	0.50		
Nivel de Agua(invierno):	2.6		



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="José Tobías"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="54"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.409'"/>	<input type="text" value="88°59.435'"/>	<input type="text" value="299.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.00"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="8.15"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="7.46"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.56"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="María Cela Romero"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="55"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.425'"/>	<input type="text" value="88°59.409'"/>	<input type="text" value="284.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:	
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="Factible"/>	
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:		
<input type="text" value="1980*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>		
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.70"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES	
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Sin observaciones."/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="7.20"/>			
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.76"/>			
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>			

*Año aproximado

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Catalino de Jesús Borja"/>	<input type="text" value="05/04/2012"/>	<input type="text" value="3:00 p.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="57"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.445'"/>	<input type="text" value="88°59.349'"/>	<input type="text" value="297.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="--"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.70"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="6.90"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="3.60"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.60"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/55

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

05/04/2012

--

Pozo

58

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.52'

88°59.328'

312.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Diámetro (m)

--

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

El dueño del pozo no se encontraba, por lo que no se captó toda la información.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/56

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Sebastián de Jesús	05/04/2012	--	Pozo	59

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.549'	88°59.241'	

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Doméstico		Infactible

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
1992*	Excavado	--

Diámetro (m)	--	Bomba: Simple	OBSERVACIONES
--------------	----	---------------	---------------

Profundidad del pozo (m):	6.00	El pozo está sellado por lo consiguiente no es factible extraer muestra	
---------------------------	------	---	--

Profundidad del agua (m):	--
---------------------------	----

Altura de broquel (m):	--	*Año aproximado
------------------------	----	-----------------

Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
--------------------------	----	--



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/57

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):
Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/58

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/59

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

08/04/2012

9.47 a.m.

Pozo

62

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.671'

89°0.044'

274.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.45

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

8.20

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

6.90

Altura de broquel (m):

0.53

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="10:00 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="63"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.673´"/>	<input type="text" value="89°0.095´"/>	<input type="text" value="269.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.82"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="8.85"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="4.05"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.41"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/61

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

08/04/2012

10.10 a.m.

Pozo

64

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.680'

89°0.253'

260.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

1.25

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

8.60

No estaba el propietario.

Profundidad del agua (m):

7.20

Altura de broquel (m):

0.57

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/62

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

08/04/2012

10:20 a.m.

Pozo

65

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.614'

89°0.291'

279.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.97

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

10.60

No estaba el propietario.

Profundidad del agua (m):

8.40

Altura de broquel (m):

0.60

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="10:24 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="66"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.723'"/>	<input type="text" value="89°0.334'"/>	<input type="text" value="265.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Díámetro (m):	<input type="text" value="--"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Encuestado unicamente con el propietario."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="--"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="10:40 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="67"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.652´"/>	<input type="text" value="89°0.499´"/>	<input type="text" value="274.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:	
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>	
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:		
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>		
Diámetro (m)	<input type="text" value="--"/>	Bomba:	OBSERVACIONES	
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Manual"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Sin observaciones."/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="--"/>	*Año aproximado		
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H		



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="10:47 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="68"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.661'"/>	<input type="text" value="89°0.589'"/>	<input type="text" value="277.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Tubo de concreto"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.74"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="5.70"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="3.80"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.40"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/66

Propietario: Fecha: Hora Punto de Agua N°:
Desconocido 08/04/2012 11:12 a.m. Pozo 69

DIRECCIÓN

Calle: Caserío Cantón Municipio:
A Embalse Cerrón Grande Los Amates San José Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación
14°1.431' 89°0.829' 262.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso N° de Abastecidos: Extracción de muestras:
Indeterminado Agrícola 0 Factible

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:
-- Excavado Tubo de concreto

Diámetro (m) 0.76 Bomba: No posee OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 7.30 Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 6.70

Altura de broquel (m): 0.70 *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): -- La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="12:00 m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="70"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.807'"/>	<input type="text" value="88°59.781'"/>	<input type="text" value="282.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="Indeterminado"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.86"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <i>El dueño del pozo no se encontraba, por lo que no se captó toda la información.</i>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="10.80"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="10.50"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.45"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Desconocido"/>	<input type="text" value="08/04/2012"/>	<input type="text" value="12:50 a.m."/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="71"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A Embalse Cerrón Grande"/>	<input type="text" value="Los Amates"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.690'"/>	<input type="text" value="88°59.281'"/>	<input type="text" value="318.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="Indeterminado"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.80"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="El pozo no posee agua."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="3.40"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="--"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/69

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

08/04/2012

1:01 p.m.

Pozo

72

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.737'

88°59.238'

310.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.95

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

8.30

El dueño del pozo no se encontraba, por lo que no se captó toda la información.

Profundidad del agua (m):

3.70

Altura de broquel (m):

0.30

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LASJ/70

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

08/04/2012

1:07 p.m.

Pozo

73

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A Embalse Cerrón Grande

Los Amates

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.685'

88°59.245'

299.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

Agrícola

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.58

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

2.60

El pozo no posee agua.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.50

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/71

Propietario: Público sobre canaleta de la calle
Fecha: 08/04/2012
Hora: --
Punto de Agua: Pozo
N°: 74

DIRECCIÓN

Calle: A San Francisco Lempa
Caserío: Agua Caliente
Cantón: San José
Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 14°1.586'
Oeste: 88°59.252'
Elevación: 300.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: En uso
Uso: Doméstico
N° de Abastecidos: 12
Extracción de muestras: Factible

Año de construcción: --
Método de construcción: Excavado
Revestimiento: --

Díámetro (m): variable
Bomba: No posee
OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 2.80
Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 1.80

Altura de broquel (m): no tiene
*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): --
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/72

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Marcelino Monge	08/04/2012	2:01 p.m.	Pozo	75

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.515'	88°59.244'	301.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Doméstico	30	Factible

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
1995*	Excavado	Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)	1.30	Bomba: No posee	OBSERVACIONES En este pozo ya se tomaron muestras para análisis
--------------	------	-----------------	--

Profundidad del pozo (m):	3.00
---------------------------	------

Profundidad del agua (m):	1.10
---------------------------	------

Altura de broquel (m):	0.37
------------------------	------

Nivel de Agua(invierno):	Rebalsa
--------------------------	---------

*Año aproximado

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/73

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
María Marta Menjivar	08/04/2012	--	Pozo	76

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.66'	88°59.174'	302.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Doméstico	12	Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
1997*	Excavado	--	
Diámetro (m)	--	Bomba: Manual	OBSERVACIONES
Profundidad del pozo (m):	3.00	Protegido con con tapa de concreto.	
Profundidad del agua (m):	--		
Altura de broquel (m):	--	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/74

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Desconocido	08/04/2012	--	Pozo	77

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
--	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.651'	88°59.105'	287.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
En uso	Agrícola		Factible
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
--	Excavado	--	
Diámetro (m)	0.70	Bomba:	No posee
Profundidad del pozo (m):	4.60	OBSERVACIONES El pozo no posee agua. *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	
Profundidad del agua (m):	--		
Altura de broquel (m):	0.58		
Nivel de Agua(invierno):	3.6		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/75

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Rosa María Landa verde

08/04/2012

--

Pozo

78

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

--

Agua Caliente

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.632'

88°59.196'

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

10

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1997*

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

1.00

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

5.00

El pozo rebalza en invierno.

Profundidad del agua (m):

4.70

Altura de broquel (m):

0.60

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/76

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Desconocido	08/04/2012	2:41 p.m.	Pozo	79

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
--	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.618'	88°59.204'	305.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
Indeterminado	Agrícola		Factible

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
--	Excavado	--

Diámetro (m)	--	Bomba: --	OBSERVACIONES
--------------	----	-----------	---------------

Profundidad del pozo (m):	--	No se encontró ninguna persona en la propiedad.	
---------------------------	----	---	--

Profundidad del agua (m):	--
---------------------------	----

Altura de broquel (m):	--	*Año aproximado
------------------------	----	-----------------

Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
--------------------------	----	--



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/77

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Juan Francisco Romero Alas

14/04/2012

10:15am

Pozo

80

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Agua Caliente

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.721'

88°59.146'

299.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

Doméstico

7

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1986*

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.90

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.00

El pozo no posee agua. Es primer año que se seca.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.70

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

4.5

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/78

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Gilberto Hernández	14/04/2012	10:30am	Pozo	81

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.711'	88°59.173'	292.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
No utilizado	Doméstico	5	--
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
--	Excavado	--	
Diámetro (m)	--	Bomba: No posee	OBSERVACIONES No se encontró al propietario. *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
Profundidad del pozo (m):	--		
Profundidad del agua (m):	--		
Altura de broquel (m):	--		
Nivel de Agua(invierno):	--		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/79

Propietario: Cayetano Martínez Alas
Fecha: 14/04/2012
Hora: 10:36am
Punto de Agua: Pozo
N°: 82

DIRECCIÓN

Calle: A San Francisco Lempa
Caserío: Agua Caliente
Cantón: San José
Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 14°1.749'
Oeste: 88°59.121'
Elevación: 281.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: No utilizado
Uso: Doméstico
N° de Abastecidos: 4
Extracción de muestras: Factible

Año de construcción: 1988*
Método de construcción: Excavado
Revestimiento: Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m): 0.90
Bomba: No posee
OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 3.30
El pozo no posee agua. Es primer año que se seca.

Profundidad del agua (m): --

Altura de broquel (m): 0.80
*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): 2.2
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/80

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Juan Hernández Escobar

14/04/2012

10:40am

Pozo

83

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

Agua Caliente

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.751'

88°59.141'

260.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

Doméstico

8

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

2000*

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Díámetro (m)

0.85

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

4.00

El pozo no posee agua. Es primer año que se seca.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.50

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

3

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Antonio Erazo Menjivar"/>	<input type="text" value="14/04/2012"/>	<input type="text" value="11:00am"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="84"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Agua Caliente"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.776´"/>	<input type="text" value="88°59.101´"/>	<input type="text" value="285.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="No utilizado"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1980.00"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.95"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="5.50"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="5.10"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.60"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="2.4"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/82

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Desconocido	14/04/2012	11:15am	Pozo	85

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	Agua Caliente	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.751'	88°59.082'	278.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
No utilizado	Doméstico	5	--
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
--	Excavado	--	
Diámetro (m):	Bomba:	OBSERVACIONES	
--	--	Según vecinos del lugar el pozo está seco.	
Profundidad del pozo (m):	--		
Profundidad del agua (m):	--		
Altura de broquel (m):	--		
Nivel de Agua(invierno):	--	*Año aproximado	
		La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-ACSJ/84

Propietario: Luis Antonio Landa verde
Fecha: 14/04/2012
Hora: 11:40am
Punto de Agua: Pozo
N°: 87

DIRECCIÓN

Calle: A San Francisco Lempa
Caserío: Agua Caliente
Cantón: San José
Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 14°1.725'
Oeste: 88°58.941'
Elevación: 285.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: En uso
Uso: Doméstico
N° de Abastecidos: 5
Extracción de muestras: Factible

Año de construcción: 1996.00
Método de construcción: Excavado
Revestimiento: Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m): 0.80
Bomba: No posee
OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): 15.00
Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 10.40

Altura de broquel (m): 0.50
*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): 11
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Juan Ramón Alas"/>	<input type="text" value="14/04/2012"/>	<input type="text" value="11:55am"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="88"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="Agua Caliente"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.749'"/>	<input type="text" value="88°58.900'"/>	<input type="text" value="285.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Díámetro (m)	<input type="text" value="1.05"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="10.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="4.50"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="--"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: *PS-LCSJ/86*

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<i>Desconocido</i>	<i>14/04/2012</i>	<i>12:00am</i>	<i>Pozo</i>	<i>89</i>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<i>A San Francisco Lempa</i>	<i>La Concepción</i>	<i>San José</i>	<i>Chalatenango</i>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<i>14°1.774'</i>	<i>88°58.785'</i>	<i>289.00</i>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<i>No utilizado</i>	<i>Doméstico</i>	<i>5</i>	<i>Factible</i>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<i>289.00</i>	<i>Excavado</i>	<i>--</i>	
Diámetro (m):	Bomba:	OBSERVACIONES	
<i>--</i>	<i>--</i>	<i>Pendiente de visitar</i>	
Profundidad del pozo (m):			
<i>--</i>			
Profundidad del agua (m):			
<i>--</i>		<i>*Año aproximado</i>	
Altura de broquel (m):			
<i>--</i>			
Nivel de Agua(invierno):		<i>La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H</i>	
<i>--</i>			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LCSJ/87

Propietario:

Desconocido

Fecha:

14/04/2012

Hora:

12:15am

Punto de Agua:

Pozo

N°:

90

DIRECCIÓN

Calle:

A San Francisco Lempa

Caserío:

La Concepción

Cantón:

San José

Municipio:

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

14°1.784'

Oeste:

88°58.799'

Elevación:

285.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

No utilizado

Uso:

Doméstico

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

--

Año de construcción:

--

Método de construcción:

Excavado

Revestimiento:

--

Diámetro (m):

--

Bomba:

--

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Acceso de vista :Despues del puente Muca

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Consumen agua para beber extraída de pozo; El nivel del agua del pozo ya subió por lluvias

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Alfonso Hernández Ramírez"/>	<input type="text" value="15/04/2012"/>	<input type="text" value="9:46am"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="92"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="Rumbo hacia rio Tamulasco"/>	<input type="text" value="La Concepción"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.813'"/>	<input type="text" value="88°58.713'"/>	<input type="text" value="286.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="En uso"/>	<input type="text" value="Doméstico"/>	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="2007*"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Díámetro (m)	<input type="text" value="1.17"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Consumen agua para beber extraida del pozo."/>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="17.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="2.60"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.45"/>	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="16.7"/>	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: <input type="text" value="Jesús Solís"/>	Fecha: <input type="text" value="15/04/2012"/>	Hora: <input type="text" value="10:01am"/>	Punto de Agua: <input type="text" value="Pozo"/>	N°: <input type="text" value="93"/>
--	---	---	---	--

DIRECCIÓN

Calle: <input type="text" value="Rumbo hacia rio Tamulasco"/>	Caserío: <input type="text" value="La Concepción"/>	Cantón: <input type="text" value="San José"/>	Municipio: <input type="text" value="Chalatenango"/>
--	--	--	---

UBICACIÓN

Norte: <input type="text" value="14°1.890'"/>	Oeste: <input type="text" value="88°58.617'"/>	Elevación: <input type="text" value="288.00"/>
--	---	---

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: <input type="text" value="No utilizado"/>	Uso: <input type="text" value="Doméstico"/>	N° de Abastecidos: <input type="text" value=""/>	Extracción de muestras: <input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción: <input type="text" value="--"/>	Método de construcción: <input type="text" value="Excavado"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m): <input type="text" value="0.90"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/>	
Profundidad del pozo (m): <input type="text" value="3.90"/>			
Profundidad del agua (m): <input type="text" value="2.10"/>			
Altura de broquel (m): <input type="text" value="0.40"/>	<i>*Año aproximado</i>		
Nivel de Agua(invierno): <input type="text" value="--"/>	<i>La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H</i>		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Díámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): Cercano a agua estancada

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Dos casas despues de iglesia Concepcion ;No se encontro el dueño

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

**Año aproximado*

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LCSJ/94

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Rosa Elva Martínez	15/04/2012	11:42am	Pozo	97

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A San Francisco Lempa	La Concepción	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
14°1.734'	88°58.400'	300.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
No utilizado	Doméstico	5	--
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
1988*	Excavado	Mampostería de ladrillo de obra	
Diámetro (m)	1.00	Bomba: --	OBSERVACIONES No tiene agua , ubicado frente a cacerio Concepcion *Año aproximado La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
Profundidad del pozo (m):	8.60		
Profundidad del agua (m):	--		
Altura de broquel (m):	0.65		
Nivel de Agua(invierno):	--		



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Oscar Landa verde"/>	<input type="text" value="15/04/2012"/>	<input type="text" value="1:12pm"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="98"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="La Concepción"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.927'"/>	<input type="text" value="88°58.380'"/>	<input type="text"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="No utilizado"/>	<input type="text" value="Agrícola"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="--"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Mampostería de ladrillo de obra"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="1.40"/>	Bomba: <input type="text" value="--"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Hacienda la Concepcion"/> <i>*Año aproximado</i> <i>La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H</i>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="6.70"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="3.80"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.70"/>		
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="5.4"/>		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Díámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: **OBSERVACIONES**

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
<input type="text" value="Jesús Menjivar"/>	<input type="text" value="15/04/2012"/>	<input type="text" value="2:41pm"/>	<input type="text" value="Pozo"/>	<input type="text" value="102"/>

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
<input type="text" value="A San Francisco Lempa"/>	<input type="text" value="La Concepción"/>	<input type="text" value="San José"/>	<input type="text" value="Chalatenango"/>

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
<input type="text" value="14°1.687'"/>	<input type="text" value="88°58.085'"/>	<input type="text" value="325.00"/>

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
<input type="text" value="Indeterminado"/>	<input type="text" value="--"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Factible"/>
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
<input type="text" value="1990.00"/>	<input type="text" value="Excavado"/>	<input type="text" value="Repello de mortero"/>	
Diámetro (m)	<input type="text" value="0.84"/>	Bomba: <input type="text" value="No posee"/>	OBSERVACIONES <input type="text" value="Sin observaciones."/> <i>*Año aproximado</i> <i>La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H</i>
Profundidad del pozo (m):	<input type="text" value="11.00"/>		
Profundidad del agua (m):	<input type="text" value="8.20"/>		
Altura de broquel (m):	<input type="text" value="0.60"/>		
Nivel de Agua(invierno):	<input type="text" value="10.3"/>		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-LCSJ/100

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Carlos Solís

15/04/2012

2:54pm

Pozo

103

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

La Concepción

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.800'

88°57.962'

331.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

--

--

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.66

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.10

El pozo esta seco

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.58

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

7.1

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/102

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Miriam Guadalupe Abañes

01/05/2012

11:04am

Pozo

105

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503568.00

321718.00

204.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

--

--

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1970*

Excavado

Mampostería de piedra

Diámetro (m)

1.00

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

3.80

Gozan del servicio de agua potable

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.40

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

3.1

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/104

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

01/05/2012

11:25am

Pozo

107

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503644.00

321366.00

313.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

--

--

Diámetro (m)

--

Bomba: --

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Visitado y no encustado

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/106

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
Roberto Ibañes	01/05/2012	11:50am	Pozo	109

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
Calle Azacualpa	San José	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
503527.00	321492.00	320.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
No utilizado	--		--
Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:	
1995*	--	--	
Diámetro (m)	0.75	Bomba: --	OBSERVACIONES
Profundidad del pozo (m):	10.00		
Profundidad del agua (m):	7.45		
Altura de broquel (m):	0.45	*Año aproximado	
Nivel de Agua(invierno):	--	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/108

Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:
José Hernández	01/05/2012	12:45pm	Pozo	111

DIRECCIÓN

Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:
A cantón San José	San José	San José	Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:	Oeste:	Elevación
503228.00	321120.00	302.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:	Uso	N° de Abastecidos:	Extracción de muestras:
No utilizado	--		Factible

Año de construcción:	Método de construcción:	Revestimiento:
1974*	Excavado	Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)	0.90	Bomba: No posee	OBSERVACIONES
--------------	------	-----------------	---------------

Profundidad del pozo (m):	8.00	Gozan de agua potable; en el invierno sube 5.60m el nivel del agua	
---------------------------	------	--	--

Profundidad del agua (m):	--
---------------------------	----

Altura de broquel (m):	0.90	*Año aproximado
------------------------	------	-----------------

Nivel de Agua(invierno):	5.6	La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H
--------------------------	-----	--



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/112

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Raúl Solórzano

01/05/2012

1:39pm

Pozo

115

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503265.00

321272.00

311.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

15

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1999.00

Excavado

--

Diámetro (m)

0.90

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.00

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

5.60

Altura de broquel (m):

0.65

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

6.1

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/113

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Andrés Solórzano

01/05/2012

1:45pm

Pozo

116

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503234.00

221312.00

304.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

--

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

0.85

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

6.20

No tiene agua, no es utilizado

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

0.60

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

5.5

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Agua potable

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Díámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/116

Propietario: Blanca Elida Molina
Fecha: 01/05/2012
Hora: 2:12pm
Punto de Agua: Pozo
N°: 119

DIRECCIÓN

Calle: A cantón San José
Caserío: San José
Cantón: San José
Municipio: Chalatenango

UBICACIÓN

Norte: 503323.00
Oeste: 321528.00
Elevación: 312.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación: Indeterminado
Uso: Agrícola
N° de Abastecidos:
Extracción de muestras: Factible

Año de construcción: --
Método de construcción: Excavado
Revestimiento: Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m): 0.90
Bomba: No posee

Profundidad del pozo (m): 10.00
OBSERVACIONES: Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): 9.10

Altura de broquel (m): 0.70
*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): 8
La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/117

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Desconocido

01/05/2012

2:22pm

Pozo

120

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503470.00

321842.00

271.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Indeterminado

--

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

--

--

Diámetro (m)

--

Bomba: --

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/118

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Domingo Alfaro Romero

01/05/2012

2:30pm

Pozo

121

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503440.00

321920.00

307.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

No utilizado

Doméstico

12

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

1996.00

Excavado

Mampostería de ladrillo de obra

Diámetro (m)

1.20

Bomba: Manual

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

7.00

Gozan del servicio de agua potable

Profundidad del agua (m):

5.70

Altura de broquel (m):

0.70

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

4

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: PS-SJSJ/119

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Olivia Zamora

01/05/2012

2:38pm

Pozo

122

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

San José

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

503451.00

321968.00

308.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Doméstico

10

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Excavado

--

Díámetro (m)

0.90

Bomba: No posee

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

5.00

Gozan del servicio de agua potable

Profundidad del agua (m):

4.10

Altura de broquel (m):

0.60

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: *PP-LCSJ/01*

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

ADESCO Concepción

24/03/2012

--

Pozo

123

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

La Concepción

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.650'

88°57.990'

329.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Industrial

600

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Perforado

Tubo de Acero

Diámetro (m)

--

Bomba: *Electrica*

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

--

Contactar ADESCO porque se encuentra en caseta de protección

Profundidad del agua (m):

--

Altura de broquel (m):

--

**Año aproximado*

Nivel de Agua(invierno):

--

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: *PP-LCSJ/02*

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

Alcaldía Municipal Azacualpa

24/03/2012

--

Pozo

124

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A cantón San José

La Concepción

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.568'

88°58.045'

315.00

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Industrial

1336

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

--

Perforado

Tubo de Acero

Diámetro (m)

0.15

Bomba: *Electrica*

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): *90.00*

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): *--*

Altura de broquel (m): *--*

**Año aproximado*

Nivel de Agua(invierno): *--*

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario: Fecha: Hora: Punto de Agua: N°:

DIRECCIÓN

Calle: Caserío: Cantón: Municipio:

UBICACIÓN

Norte: Oeste: Elevación:

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación: Uso: N° de Abastecidos: Extracción de muestras:

Año de construcción: Método de construcción: Revestimiento:

Diámetro (m): Bomba: OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m): *Año aproximado

Nivel de Agua(invierno): La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO: *PP-LCSJ/04*

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

ANDA

24/03/2012

--

Pozo

126

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

A San Francisco Lempa

La Concepción

San José

Chalatenango

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

14°1.704'

88°58.709'

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

En uso

Industrial

10000

Factible

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

2011.00

Perforado

Tubo de Acero

Diámetro (m)

0.15

Bomba: *Electrica*

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m): *274.32*

Sin observaciones.

Profundidad del agua (m): *--*

Altura de broquel (m): *--*

**Año aproximado*

Nivel de Agua(invierno): *--*

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía

Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL
MUNICIPIO DE CHALATENANGO LÍMITROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

CÓDIGO:

Propietario:

Fecha:

Hora

Punto de Agua

N°:

DIRECCIÓN

Calle:

Caserío

Cantón

Municipio:

UBICACIÓN

Norte:

Oeste:

Elevación

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía



Fotografía 2

DATOS

Operación:

Uso

N° de Abastecidos:

Extracción de muestras:

Año de construcción:

Método de construcción:

Revestimiento:

Diámetro (m)

Bomba:

OBSERVACIONES

Profundidad del pozo (m):

Profundidad del agua (m):

Altura de broquel (m):

*Año aproximado

Nivel de Agua(invierno):

La ubicación de los pozos se muestra en el ANEXO H