

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



**ESTUDIO DE LA SALINIDAD EN LA CUENCA BAJA EL  
GUAYABO, EN LOS MUNICIPIOS DE TECOLUCA Y  
ZACATECOLUCA**

PRESENTADO POR:

**CÉSAR ALEXIS POLANCO RAMOS**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2016.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO :

**LICDO. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

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 POSTGRADO**

DIRECTORA DE ESCUELA :

**MSc. PATRICIA HAYDÉE ESTRADA DE LÓPEZ**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**MAESTRO EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS**

Título :

**ESTUDIO DE LA SALINIDAD EN LA CUENCA BAJA EL  
GUAYABO, EN LOS MUNICIPIOS DE TECOLUCA Y  
ZACATECOLUCA**

Presentado por :

**CÉSAR ALEXIS POLANCO RAMOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

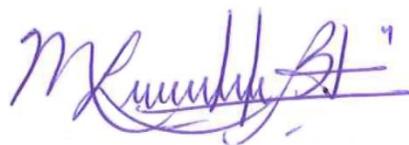
Docente Director :

**MSc. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN**

San Salvador, febrero de 2016.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'M. Lizeth Barrera de Calderón', with a stylized flourish at the end.

**MSc. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN**

## RESUMEN

En la planicie costera de la cuenca El Guayabo, se realizó la investigación hidrogeológica orientada a establecer el fenómeno de la intrusión marina. La cuenca El Guayabo se ubica en los municipios de Zacatecoluca y Tecoluca y forma parte de la Región hidrográfica Jiboa y dentro de la Zona Prioritaria Estero de Jaltepeque.

La zona está compuesta por la unidad de acuífero poroso de gran extensión, donde predominan capas de sedimentos fluviales identificados por los reportes recopilados de perforación de pozos que definen la litología estratigráfica y que junto a resultados de sondeos geofísicos recabados de otras fuentes y los realizados, permitieron conocer de mejor forma su estructura constituyente. Se presentan valores de Transmisibilidad del orden de los 400 a 700 m<sup>2</sup>/día, que permiten extracciones de hasta 880 galones por minuto.

El muestreo y análisis físico químico del agua subterránea refleja la incidencia de la intrusión marina y permitió definir su geometría mediante el análisis de la distribución del ion Cloruro, los Sólidos Disueltos, la conductividad eléctrica y valores de las relaciones iónicas. La influencia de la intrusión marina alcanza aproximadamente los cuatro mil metros tierra adentro.

También se observó en zonas tierra adentro, niveles de salinidad alta que se originan por otras causas, siendo las actividades antrópicas propias de la zona la probable causa de este deterioro que en la época de lluvias se observó incrementado.

Los resultados que se presentan son la línea base de la caracterización hidroquímica del agua en el acuífero costero y que servirá de línea de partida para su monitoreo y seguimiento, principalmente en las zonas con mayor grado de vulnerabilidad, con el fin de hacer la gestión más adecuada que procure la sostenibilidad de los servicios socio ambientales que el acuífero proporciona.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios verdadero.

A mi esposa Marina, por su apoyo y comprensión.

A mis compañeros de la Maestría por su amistad, solidaridad y apoyo.

A mi compañera de la Maestría Eva Corina Rodríguez y su familia.

A mi asesora Maestra e ingeniera Marcia Barrera de Calderón, por su guía oportuna.

A mi amigo Miguel Juárez por su apoyo experto en SIG.

A la ingeniera Laura Gil y licenciado Walter Rojas por su espontáneo apoyo.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales por la analítica de las muestras del agua de los pozos y a la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados por la información de los pozos profundos El Playón y Marranitos.

A las personas líderes de las comunidades que me dieron su valioso acompañamiento en la investigación de campo.

Sinceras Gracias.

## Tabla de contenido

RESUMEN .....	5
CAPÍTULO I: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Contexto.....	2
1.2 Definición del Problema .....	4
1.3 Preguntas de Investigación .....	4
1.4 Objetivo General del Estudio.....	6
1.5 Objetivos Específicos .....	7
1.6 Justificación .....	7
1.7 Beneficios Esperados .....	7
1.8 Delimitación de la investigación.....	8
1.9 Limitaciones de la investigación.....	9
1.10 Antecedentes .....	9
1.11 Morfología .....	10
1.11.1 Unidades Geomorfológicas .....	10
1.11.2 Planicie Costera .....	11
1.11.3 Cadena costera.....	11
1.12 Parámetros Climatológicos .....	12
1.13 Parámetros hidráulicos.....	15
1.14 Calidad del Agua Superficial .....	16
1.15 Geología.....	18
1.15.1 Formación Bálsamo.....	18
1.15.2 Formación Cuscatlán.....	18
1.15.3 Formación San Salvador .....	19
1.16 Geología de la planicie costera .....	20
1.16.1 Depósitos Terciarios.....	21
1.16.2 Depósitos Cuaternarios .....	21

1.17	Evolución de la línea costera. ....	23
1.18	Hidrogeología: .....	24
1.19	Zonas de Recarga y Descarga Hídrica: .....	25
1.20	Riesgo de Inundación: .....	28
2	CAPITULO II: FUNDAMENTACION TEÓRICA .....	29
2.1	Hidrogeología .....	29
2.2	Parámetros hidrológicos fundamentales: .....	30
2.3	Permeabilidad o conductividad hidráulica.....	31
2.4	Transmisividad.....	32
2.5	Coefficiente de almacenamiento .....	32
2.6	Sistemas de Flujo .....	33
2.7	Relaciones de agua superficial y subterránea .....	34
2.8	Infiltración .....	38
2.9	Conceptos de Geofísica aplicado a las aguas subterráneas.....	39
2.10	Sondeos eléctricos verticales .....	41
	2.10.1 Método dipolo-dipolo.....	42
	2.10.2 Método Wenner .....	43
	2.10.3 Método Schlumberger .....	44
2.11	Hidrogeoquímica .....	45
	2.11.1 Iones Fundamentales .....	46
	2.11.2 Composición física del agua.....	47
2.12	Composición química del agua subterránea .....	50
	2.12.1 Validación de resultados de pruebas químicas .....	51
	2.12.2 Iones Dominantes: .....	52
	2.12.3 Clasificación de las aguas.....	52
2.13	Acuíferos Costeros.....	53
2.14	Salinización de acuíferos .....	55
	2.14.1 Procesos de salinización .....	56
	2.14.2 Dinámica de las aguas salinas subterráneas .....	60
	2.14.3 Procesos naturales de salinización del agua subterránea.....	61

2.14.4	Procesos antropogénico de la salinización del agua subterránea .....	61
2.15	Fenómeno de la Intrusión Salina .....	62
2.16	Profundidad de la interfase .....	64
2.16.1	Fórmula de Ghyben-Herzberg .....	64
2.16.2	Fórmula de Hubbert.....	65
2.16.3	Fórmula de Luszczynski.....	67
2.16.4	Fórmula de Glover.....	69
2.16.5	Fórmula de Todd .....	70
2.17	Evolución geoquímica del agua en los acuíferos.....	71
2.18	Índices de la Intrusión Salina.....	73
2.18.1	Relación de aniones cloruros - Bicarbonatos .....	73
2.18.2	Relación Sulfatos Cloruros.....	74
2.18.3	Relación de cationes Magnesio Calcio.....	74
2.19	Efecto de las Mareas en la Intrusión Marina .....	74
2.20	Delimitación de la Cuna Salina .....	75
2.21	Vulnerabilidad de los acuíferos ante la intrusión salina .....	76
2.22	Sistema de monitoreo.....	78
3	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>82</b>
3.1	Enfoque Metodológico .....	82
3.1.1	Recolección y organización de información .....	82
3.1.2	Identificación de pozos.....	83
3.1.3	Medición en campo .....	83
3.1.4	Muestreo para análisis de laboratorio.....	84
3.1.5	Información técnica de pozos perforados.....	87
3.1.6	Aforos en los ríos de la zona de estudio .....	87
3.1.7	Prospección Geofísica .....	88
3.1.8	Infiltración básica .....	90
3.1.9	Procesamiento de datos .....	90
3.1.10	Validación de resultados de laboratorio .....	91
3.1.11	Análisis de la información.....	91

4	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
4.1	Geología de la cuenca baja El Guayabo .....	92
4.2	Litología.....	93
4.3	Hidrogeología del área de estudio.....	100
4.4	Modelo Conceptual del Acuífero de la Cuenca El Guayabo .....	106
4.5	Análisis hidrogeoquímico del agua subterránea somera.....	107
4.6	Análisis Hidrogeoquímico del Agua Subterránea Profunda.....	122
4.7	Relaciones Iónicas. ....	129
4.7.1	Relación de aniones cloruros - Bicarbonatos .....	129
4.8.2	Relación Sulfatos Cloruros.....	131
4.8.3	Relación de aniones Magnesio y Calcio .....	131
4.8	Efecto de las mareas en la intrusión salina .....	131
4.9	Delimitación de la Cuña Salina .....	133
4.10	Vulnerabilidad del Acuífero a la Intrusión Salina .....	135
4.11	Otros Factores en la Intrusión Marina. ....	137
4.12	Diseño del Sistema de Monitoreo .....	137
5	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	152
5.1	Conclusiones .....	152
5.2	Trabajo Futuro .....	154
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	157
	ANEXOS .....	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación de la cuenca El Guayabo. ....	3
Figura 1.2 Delimitación de la cuenca baja El Guayabo. ....	8
Figura 1.3 Variación Histórica del cauce del río Lempa a lo largo de su desembocadura. ..	12
Figura 1.4 Red de estaciones hidro meteorológicas de la zona. ....	13
Figura 1.5 Mapa de promedios multianuales de precipitación mensual. ....	15
Figura 1.6 Ubicación de los puntos de monitoreo de las aguas superficiales. ....	17
Figura 1.7 Mapa geológico de la cuenca El Guayabo. ....	20
Figura 1.8 Distribución de la geología superficial de la cuenca baja El Guayabo. ....	22
Figura 1.9 Cambios de la línea costera en la zona delta del río Lempa. ....	23
Figura 1.10 Mapa hidrogeológico de la zona del acuífero El Guayabo. ....	25
Figura 1.11 Mapa de distribución de la recarga hídrica en la cuenca El Guayabo. ....	27
Figura 1.12 Mapa de susceptibilidad a Inundaciones. ....	28
Figura 2.1. Tipos de acuíferos. ....	30
Figura 2.2. Esquema de dirección de flujo. ....	34
Figura 2.3. Esquemas de tipos de conexión hidráulica entre un río y un acuífero. ....	35
Figura 2.4. Esquema de medición del método de un punto. ....	36
Figura 2.5. Esquema de medición del método de dos puntos. ....	36
Figura 2.6. Esquema del cálculo de la velocidad promedio para cada sección. ....	37
Figura 2.7. Representación esquemática del cálculo del caudal en la sección transversal del río. ....	37
Figura 2.8. Esquema del método de cilindros concéntricos. ....	38
Figura 2.9. Arreglo Dipolo-Dipolo. ....	43
Figura 2.10. Arreglo Wenner. ....	43
Figura 2.11. Arreglo Schlumberger. ....	45
Figura 2.12. Ejemplo de construcción de diagrama Piper. ....	53
Figura 2.13. Esquemización del contacto agua dulce -agua salada en acuífero costero. ..	54
Figura 2.14. Equilibrio de agua dulce y el agua marina en una zona costera de acuerdo con los supuestos básicos de Ghyben-Herzberg (Pulido & Ballejos 2003). ....	64
Figura 2.15. Red de flujo en un acuífero costero sin consideración de la zona de mezcla de agua. (Custodio y Llamas, 1986). ....	66

Figura 2.16. Esquema para el cálculo de la Fórmula de Hubbert.....	67
Figura 2.17. Definición de los niveles de agua utilizadas por Lusczynski.....	68
Figura 2.18. Líneas de corriente hacia un pozo en acuífero. ....	72
Figura 2.19. Esquema de pozo anidado.....	80
Figura 3.1 Ubicación de los pozos someros que fueron muestreados para su análisis.....	85
Figura 3.2 Ubicación de pozos perforados y SEV's.....	89
Figura 4.1. Mapa Geológico de la planicie costera de la cuenca El Guayabo.....	92
Figura 4.2. Profundidad total y estratigrafía de los pozos perforados.....	95
Figura 4.3. Perfil Litológico Norte – Sur. ....	98
Figura 4.4. Perfil Litológico Este – Oeste. ....	99
Figura 4.5. Mapa de la distribución de 173 pozos analizados.....	102
Figura 4. 6. Isolíneas de los niveles piezométricos al final de las épocas de lluvias y seca, mediante los 173 pozos someros. ....	103
Figura 4.7. Características de Niveles Freáticos de acuífero somero.....	105
Figura 4.8. Distribución de los pozos que fueron muestreados.....	108
Figura 4.9. Diagrama Piper para el acuífero somero.....	112
Figura 4. 10 Mapa de diagramas Stiff al final de la época de lluvias.....	114
Figura 4. 11 Mapa de diagramas Stiff al final de la época seca. ....	115
Figura 4. 12 Contenido de ion Cl (mg/l) en acuífero somero.....	118
Figura 4. 13 a Iones sodio en mg/l época lluvias. ....	121
Figura 4. 14 a Contenido ion NO <sub>3</sub> época lluvias.....	121
Figura 4. 15a Contenido ion SO <sub>4</sub> época lluvias.....	121
Figura 4. 16 Ubicación de los pozos perforados con respecto a pozos excavados analizados. ....	123
Figura 4. 17 Parámetros físicos de pozos superficiales y profundos.....	124
Figura 4. 18 Parámetros de los pozos excavados 8 y 9 con el pozo perforado El Playón..	126
Figura 4.19. Parámetros del Pozos excavado 4 y pozo Albergue Tecoluca. ....	126
Figura 4. 20 Parámetros del pozo excavado.7 y pozo perforado Marranitos. ....	126
Figura 4. 21 Mapa de isoconductividad eléctrica. ....	128
Figura 4. 22 a Relación rCl <sup>-</sup> / rHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> época lluvias.....	130

Figura 4. 23 a Relación $r \text{SO}_4^{=}/ r \text{Cl}^-$ época lluvias .....	130
Figura 4. 24 a Relación $r\text{Mg}^{++}/ r\text{Ca}^{++}$ época lluvias. ....	130
Figura 4. 25 Gráfico de registro de mareas estación Puerto El Triunfo. ....	132
Figura 4. 26 Alcance de la cuña salina. ....	134
Figura 4. 27 Vulnerabilidad a la Intrusión Salina por el método SEA GINDEX.....	135
Figura 4. 28 Distancia de influencia de la intrusión salina en el acuífero y ubicación de la propuesta de pozo de monitoreo. ....	139
Figura 4. 29 Propuesta preliminar de pozo de monitoreo.....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Relaciones Operativas de la hipótesis. ....	6
Tabla 1.2. Parámetros climatológicos característicos de la región. ....	14
Tabla 1.3. Principales parámetros hidrológicos de la cuenca El Guayabo. ....	16
Tabla 1.4. Evaluación de la calidad del agua del río San Antonio y El Guayabo. ....	17
Tabla 2.1. Clasificación de acuíferos según presión hidrostática. ....	29
Tabla 2.2. Rango de valores de porosidad. ....	31
Tabla 2.3. Rango de conductividades hidráulicas. ....	32
Tabla 2. 4. Clasificación de acuíferos de acuerdo a valores del coeficiente de almacenamiento. ....	33
Tabla 2.5. Resistividad de minerales y roca. ....	40
Tabla 2. 6. Resistividades de las aguas según el medio en que se encuentre. ....	41
Tabla 2. 7. Datos de resistividad relacionada a la litología. ....	41
Tabla 2.8. Lista de iones mayoritarios en aguas subterráneas. ....	46
Tabla 2.9. Valores Típicos de pH. ....	49
Tabla 2. 10. Clasificación por Dureza. ....	49
Tabla 2. 11 Clasificación de la Salinidad del Agua. ....	50
Tabla 2.12. Principales compuestos químicos del agua subterránea continental. ....	50
Tabla 2.13. Error admisible de balance iónico en función de la conductividad. ....	51
Tabla 2. 14. Clasificación de la salinidad del agua. ....	55
Tabla 2.15. Categorías genéticos de aguas subterráneas salinas. ....	56
Tabla 2.16. Valores típicos de concentración de iones en aguas dulces y marinas. ....	63
Tabla 2.17. Parámetros para el cálculo de la vulnerabilidad a la intrusión marina. ....	78
Tabla 3.1. Ubicación de los pozos excavados que fueron monitoreados. ....	84
Tabla 3.2. Límites mínimos de detección y métodos de laboratorio empleado. ....	86
Tabla 3.3. Pozos perforados con reportes de perforación y aforo. ....	87
Tabla 3.4. Detalle de sitios donde se realizaron aforos. ....	88
Tabla 3.5. Detalle de sitios donde se realizaron SEV's. ....	88
Tabla 4. 1. Resumen de la información técnica de los pozos perforados. ....	96

Tabla 4. 2. Valores de transmisividad del acuífero en pozos perforados. ....	101
Tabla 4. 3. Coeficientes de Almacenamiento de los pozos perforados. ....	101
Tabla 4. 4. Resultado de los parámetros físicos analizados en laboratorio. ....	109
Tabla 4. 5. Parámetros recabados en campo. ....	110
Tabla 4. 6. Concentración de iones mayoritarios de muestras al final de la época de lluvias. .....	110
Tabla 4. 7. Concentración de iones mayoritarios de muestras en época seca. ....	111
Tabla 4.8. Comparativo de la caracterización de las aguas de los pozos. ....	111
Tabla 4. 9. Relaciones Iónicas Época de Lluvias y Época Seca. ....	129
Tabla 4. 10 Fluctuación del desplazamiento horizontal de la cuña salina por efecto de las mareas. ....	133
Tabla 4. 11 Parámetros para cálculo de vulnerabilidad a la intrusión marina modificado. ....	136
Tabla 4. 12 Especificaciones Técnicas de Equipos de Medición de Parámetros Hidrogeológicos. ....	149
Tabla 4. 13. Presupuesto de la perforación de pozo de monitoreo. ....	150
Tabla 4. 14. Presupuesto de equipo de medición de parámetros. ....	151

## NOMENCLATURA

ANDA Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

ASALDI Asociación Salvadoreña para el Desarrollo Integral

CARA Central American Water Resource Management Network

CE Conductividad eléctrica

CEL Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa

CEPIS Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

DBO5 Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días

DGOA Dirección General del Observatorio Ambiental del MARN.

DIGESTIC Dirección General de Estadística y Censos

FISDL Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local

FOMILENIO Fondo Reto del Milenio

FORGAES Proyecto de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador

H<sup>+</sup> Ión hidronio

ICA Índice de Calidad Ambiental

LN Latitud norte

LWG Longitud Oeste del Greenwich

M Molaridad, moles por kilogramo de agua

MARN Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

meq/l Miliequivalente por litro de muestra

mg/l Miligramos por litro

MINSAL Ministerio de Salud

MGA Misión Geológica Alemana

mm milímetros

mmol/l Milimoles por litro de muestra

MOP Ministerio de Obras Públicas

msnm Metros sobre el nivel del mar

N Normalidad

OD Oxígeno disuelto

ONG Organización No Gubernamental

OMS Organización Mundial de la Salud

OPS Organización Panamericana de la Salud

PAES Programa Ambiental de El Salvador (Finalizado)

pH Potencial de hidrógeno (logaritmo base 10 de la actividad de iones hidronio)

PNGIRH Plan Nacional de Gestión Integral de Recursos Hídricos realizado por el MARN

ppm Partes por millón

SNET Servicio Nacional de Estudios Territoriales, y ahora, Observatorio Ambiental

UES Universidad Nacional de El Salvador

UNES Unidad Ecológica Salvadoreña

$\mu\text{S/cm}$  Microsiemens por centímetro

## **CAPÍTULO I: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El presente estudio de la Salinidad del acuífero en la Zona Baja de la cuenca El Guayabo, pretende llegar a la comprensión del fenómeno y de esa forma tener mejores elementos para la gestión del recurso hídrico de la zona, con el fin de procurar su sostenibilidad y lograr un equilibrio entre la disponibilidad de agua y la demanda de una zona, que después de eventos históricos importantes de nuestro país, disminuyó su actividad económica y que ahora se perfila hacia un creciente desarrollo motivado por apoyos internacionales focalizados en la franja marino costera.

El trabajo investigativo desarrollado en el presente trabajo de tesis, cuenta con técnicas de campo de la hidrogeología física e hidrogeoquímica y la aplicación de métodos de análisis para la interpretación de resultados como Arc GIS y Surfer.

La información obtenida ha permitido elaborar una línea base de la composición de los principales componentes que le dan a las aguas subterráneas las características salinas, así como su dinámica a lo largo del ciclo hidrológico en el que se desarrolla la investigación, contribuyendo con información técnica que permita la elaboración de planes orientados al desarrollo sostenible de los recursos hidrogeológicos.

El documento está organizado en cinco capítulos a saber: Capítulo I contiene la descripción general del área de estudio, la definición del problema, objetivos, justificación y los antecedentes. El capítulo II contiene el marco teórico, integrado por conceptos y teorías que fundamentan las técnicas y métodos de la investigación. El capítulo III contiene la descripción de la metodología empleada y que se resume de la siguiente manera: recopilación de información bibliográfica, realización del trabajo de campo, procesamiento de la información, interpretación de resultados, elaboración del modelo conceptual y elaboración de instrumentos de monitoreo y control. El capítulo IV contiene la descripción de las diferentes variables física, correspondientes a las diferentes disciplinas necesarias para describir los procesos de salinización, así como la geología y su relación con la hidrología, meteorología e hidrogeoquímica, así también contiene la descripción del proceso de salinización y en general el modelo conceptual mejorado de la zona de estudio;

El capítulo V contiene el resumen técnico, las conclusiones de los diferentes aspectos y las recomendaciones y finalmente, la referencia bibliografía consultada y los anexos.

## **1.1 Contexto**

Nuestro país con una extensión territorial de 20,640 km<sup>2</sup> y una población de aproximadamente 6.5 millones de habitantes, ejerce una alta presión sobre los recursos naturales y especialmente sobre el recurso agua lo cual se ve reflejado en estudios que indican que el 90% de los 360 ríos de El Salvador están contaminados (PAES, 1998), y son muchas las regiones de nuestro país que tienen limitaciones en la disposición de agua, tanto en cantidad como calidad.

La falta de agua apta para el consumo humano afecta a grandes sectores de la población en especial a la infancia de nuestro país. Las condiciones deficientes de salud limitan el desarrollo y el alivio de la pobreza al punto que la Comisión de Naciones Unidas para los Derechos Económicos, Sociales y Culturales en 2000, incluyó en el derecho a la salud el factor agua apta para el consumo humano y saneamiento ambiental. La misma comisión en 2003 ha declarado que el derecho al agua “claramente entra en las categorías de garantías esenciales para asegurar un nivel de vida adecuado, particularmente porque es una de las fundamentales condiciones para la sobrevivencia” (OMS, 2003). También en el anteproyecto de La Ley de Agua que en este momento se encuentra en análisis de la Asamblea Legislativa, declara al agua potable y el saneamiento como derechos fundamentales del ser humano.

Específicamente la cuenca El Guayabo se ubica en la Región Hidrográfica “F” o del Río Jiboa – Estero de Jaltepeque, está constituida por la vertiente costera, desde el estero del Río Guayabo en el extremo oriental hasta las divisorias de aguas entre las cuencas de los Ríos Comalapa y Tihuapa en el extremo occidental. El límite norte es la divisoria entre las aguas que drenan al Lago de Ilopango y al Río Jiboa y las que drenan al Río Lempa. La Región está ubicada en la parte central de la franja sur del territorio de El Salvador en los departamentos de La Paz y San Vicente, comprendiendo también pequeñas zonas entre los departamentos de San Salvador y Cuscatlán como lo muestra la Figura 1.1.

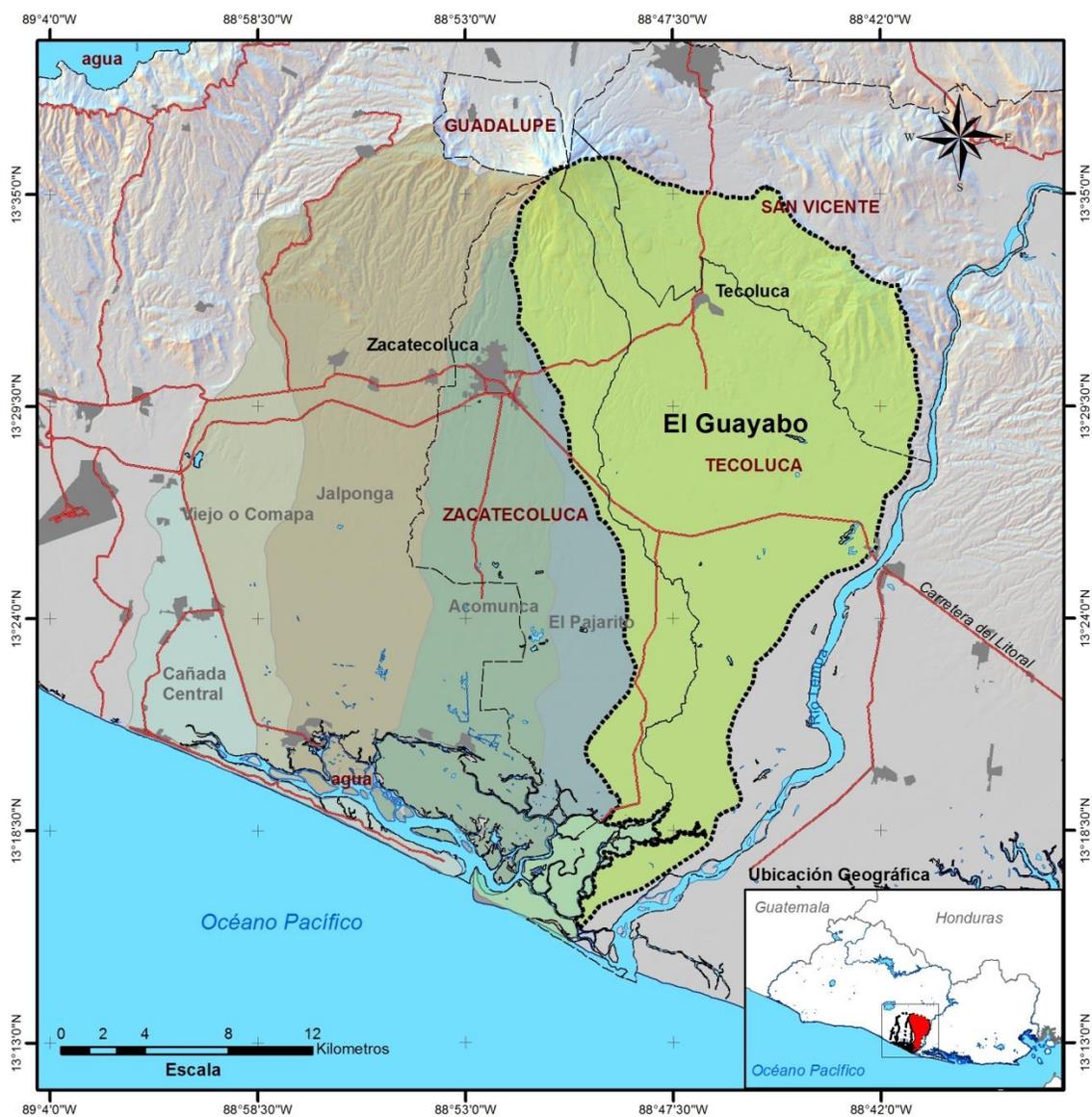


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la cuenca El Guayabo.

La cuenca El Guayabo con un área total de 382.90 km<sup>2</sup>, posee una amplia zona de planicie costera, con un alto potencial agropecuario y donde se desarrollan muchas comunidades que enfrentan diferentes problemáticas con el suministro adecuado de agua, siendo en algunas zonas, la salinidad de las aguas subterráneas uno de sus mayores inconvenientes de la cual no se cuenta con la información actualizada y suficiente para tomar las acciones encaminadas a un ordenamiento territorial que conlleve a la sostenibilidad del recurso hídrico de la zona.

## **1.2 Definición del Problema**

La creciente demanda de los recursos naturales por parte de crecientes asentamientos poblacionales en la zona de la planicie costera de la cuenca El Guayabo, genera la apremiante necesidad de dictar políticas que enmarquen dentro de una visión de sostenibilidad ambiental ante el desarrollo poblacional y de las diferentes actividades económicas en la zona, que luego de un letargo ocasionado por el conflicto armado de la década de los ochenta, la zona se perfila actualmente con un fuerte potencial de crecimiento de la actividad económica motivada por planes gubernamentales y el apoyo financiero internacional.

Diferentes comunidades de la zona ya enfrentan la problemática de la salinización de las aguas que extraen de sus pozos y la disminución de las áreas de cultivos por este fenómeno. En la zona sur también existen extensas zonas de bosque salado cuya conservación depende de la relación agua dulce – agua salada, por lo que la comprensión del fenómeno se vuelve de gran importancia en su protección y conservación.

Dado que no se cuenta con registros de estudios línea base de la caracterización hidrogeoquímica de la cuenca baja de El Guayabo, y específicamente en el tema de salinidad, que permitan realizar una adecuada gestión del recurso hídrico, el ESTUDIO DE LA SALINIDAD DEL ACUÍFERO EN LA CUENCA BAJA EL GUAYABO, EN LOS MUNICIPIOS DE TECOLUCA Y ZACATECOLUCA, permitirá solventar dicha carencia, además servirá de base para posteriores estudios que amplíen el fenómeno de la interacción entre las aguas dulces, aguas salinas y aguas marinas.

El producto de dicho estudio sería empleada como línea base de las condiciones hidrogeoquímicas y de calidad de agua en la cuenca baja El Guayabo, con el fin de planificar la gestión sostenible del recurso hídrico de la zona y poder desarrollar acciones de protección del sistema de acuíferos en esta cuenca.

## **1.3 Preguntas de Investigación**

Se plantean las siguientes preguntas generadoras que permitirán elaborar la metodología del trabajo de investigación:

- a) ¿Cuáles son las características de las formaciones geológicas del acuífero de la zona baja de la cuenca El Guayabo?

El conocimiento de esta información permitirá tener una idea preliminar de la presencia de estratos porosos, fracturados o impermeables, así como el conocimiento de la historia geológica y edad de los sustratos, permitirá inferir la presencia de acuíferos someros y profundos y su calidad. Será necesaria la recopilación de información relacionada al tema, como mapas geológicos, hidrogeológicos, uso de suelo, pedológicos, vegetación, entre otros, los cuales serán interrelacionados y junto con el reconocimiento de la zona servirá para verificar el modelo conceptual.

- b) *¿Cuáles son las características hidrogeoquímicas de la zona baja de la cuenca El Guayabo?*

La característica de salinidad del agua está determinada por la mayor o menor presencia de minerales en el agua y los rangos establecidos en la normativa de agua conforme al uso específico. Se emplean normas de calidad de agua para consumo humano y vida acuática, así como indicadores de tolerancia en las diferentes actividades agropecuarias e industriales, para evaluar la calidad del agua subterránea y superficial.

- c) *¿Cuál es la situación actual del fenómeno de salinidad del acuífero e intrusión salina en la cuenca baja El Guayabo?*

Una línea base de la situación actual del fenómeno de salinidad nos facilitará establecer el uso, calidad y cantidad del recurso hídrico dentro de límites geográficos para establecer una sectorización que permita establecer criterios de ordenamiento territorial. También permitirá hacer una actualización y mejoramiento del modelo conceptual del acuífero de la cuenca baja El Guayabo.

#### Hipótesis del Proyecto de Investigación

De las anteriores preguntas de investigación surge la siguiente hipótesis: *“La salinidad en el acuífero de la cuenca baja El Guayabo es el resultado de la interacción del agua subterránea con la matriz geológica”*.

La variable independiente será: Las muestras de agua tomadas en puntos seleccionados, y la variable dependiente será la caracterización hidrogeoquímica resultante.

En el enunciado de la hipótesis se identifican los siguientes elementos:

Unidad de Análisis: es el área objeto de la investigación, es decir, la zona baja de la cuenca El Guayabo, que se encuentra en la planicie costera y que está conformada por un acuífero poroso.

La variable de la hipótesis es: Salinidad del acuífero

El elemento lógico que define la correspondencia de la variable con la unidad de análisis es la composición química mineralógica del acuífero. Las relaciones operativas de la hipótesis se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Relaciones Operativas de la hipótesis.

Hipótesis	Variable	Indicadores	Técnica de Verificación	Fuentes de información
La salinidad en el acuífero de la cuenca baja El Guayabo es el resultado de la interacción del agua subterránea con la matriz geológica.	Salinidad del agua del acuífero	Parámetros físicos del agua del acuífero	Muestreo agua subterránea	Acuífero in situ
		Parámetros químicos del agua del acuífero	Muestreo agua subterránea	Acuífero in situ
		Litología del acuífero	Recopilación bibliográfica	Registros de ANDA, SNET, ONG´s
		Distribución espacial de la salinidad	Elaboración de mapas de isoconductividad	Resultados de análisis de laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4 Objetivo General del Estudio

Mejorar a escala específica de la cuenca El Guayabo el modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento del acuífero que se plasma en el Mapa Hidrogeológico de la ANDA – COSUDE de 2005 y establecer la caracterización hidrogeoquímica y la línea base de las condiciones de salinidad del agua subterránea de la planicie costera de la cuenca, empleando métodos geofísicos e hidrogeoquímicos.

## **1.5 Objetivos Específicos**

**Objetivo específico 1:** Mejorar el modelo conceptual de los acuíferos de la zona baja de la cuenca El Guayabo.

**Objetivo específico 2:** Describir los procesos de salinización en la cuenca baja El Guayabo, conforme al modelo conceptual mejorado del acuífero.

## **1.6 Justificación**

Las familias residentes en las comunidades que se ubican en la zona baja de la cuenca El Guayabo, ya experimentan un deterioro en la calidad de agua y específicamente en el tema salinidad, que no les permite el consumo del agua extraída de pozos excavados, siendo estos mismos pozos de los cuales se abastecían anteriormente.

En esta zona, el requerimiento de agua para diferentes actividades, principalmente agrícolas y consumo humano, ha ido en aumento luego de un decaimiento de las diversas actividades productivas en la época del conflicto armado de la década de los ochenta, pero en los últimos años el cultivo de caña de azúcar a mediana escala, esta dominando las tierras de la zona, y para lo cual se utiliza la modalidad de riego por aspersión proveniente de punteras y perforación de pozos, con lo que se ejerce una mayor presión a los mantos acuíferos.

Es de vital importancia el estudio y conocimiento del fenómeno de la salinización de las aguas subterráneas, que sirva de base para la elaboración de planes de gestión del recurso hídrico y de esa forma evitar un posible colapso medio ambiental de la zona.

## **1.7 Beneficios Esperados**

Establecer la línea base de la salinidad del acuífero de la zona baja de la cuenca El Guayabo y conocer las causas del fenómeno, permitirá a los gobiernos locales e instituciones que velan por el abastecimiento de agua potable, así como instituciones que se encargan de fomentar y dar asistencia en el uso agropecuario de las tierras y la conservación del medio ambiente, a elaborar planes de desarrollo que busquen la sustentabilidad y la conservación de los recursos hídricos del acuífero.

El monitoreo de la calidad del agua realizada por la presente investigación y específicamente los parámetros indicadores de la salinidad del agua subterránea, permitirá a que agentes de gobierno locales o nacionales establezcan un programa de monitoreo del comportamiento de la calidad del agua, y se elaboren planes de conservación del recurso hídrico. El monitoreo de la calidad del agua tiene un enfoque en las necesidades de consumo humano de los pobladores locales, en especial de los cantones y caseríos Agua Zarca, Barrio Nuevo, Marranitos, Las Isletas, El Pichiche y San José de La Montaña; así como de las actividades agropecuarias que en ellas se desarrollan.

### 1.8 Delimitación de la investigación

El área de estudio comprende la parte baja o planicie costera de la cuenca hidrográfica del río El Guayabo, en los municipios de Zacatecoluca y Tecoluca de los departamentos de La Paz y San Vicente respectivamente. Geográficamente la cuenca del río El Guayabo se encuentra en el área de la planicie costera, está delimitada así: al Norte por el sistema del volcán Chichontepec, al Este por la cuenca del río Lempa, al Sur por el Estero de Jaltepeque y el Océano Pacífico, y al oeste por la cuenca El Pajarito y Acomunca, también en la zona hidrográfica F, como se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Delimitación de la cuenca baja El Guayabo.

## **1.9 Limitaciones de la investigación**

Dentro de las principales limitaciones observadas para realizar la investigación pueden citarse las siguientes:

Algunos sitios del área de estudio no fueron accesibles durante la época de lluvias por las malas condiciones de los caminos los cuales no permitían su transitabilidad y pocas fueron las zonas que no se investigaron por razones de inseguridad, sin embargo cabe señalar que la mayor parte del tiempo la investigación de campo fue realizada con el acompañamiento de líderes comunales.

Debido a que únicamente se analiza un año hidrológico y dado que no existe una base de datos en relación a la naturaleza de la presente investigación, la variabilidad del análisis de resultados es limitada, siendo necesario futuras investigaciones para hacer correlaciones que definan de mejor forma el comportamiento del acuífero y su salinidad.

En la zona del estudio no existen pozos de monitoreo, por lo que los datos corresponden a muestreos a nivel superficial del acuífero en los pozos excavados y a un análisis de las aguas de mezcla en el proceso de bombeo en los pozos profundos, por lo que no se cuenta con datos a diferentes profundidades en el acuífero.

No existe una línea base de la condición de salinidad en la cuenca baja El Guayabo, siendo la presente investigación la base de datos que servirá para el monitoreo del fenómeno de intrusión salina.

## **1.10 Antecedentes**

En la zona de estudio no se conoce de estudios publicados relacionados con la delimitación de la cuña salina, únicamente se registran estudios relacionados con la hidrogeología de la zona, entre los que sobresalen los informes finales de la perforación de cuatro pozos que han sido muy útiles para conocer la estratigrafía a lo largo de estas perforaciones:

- a) Informe final de perforación de pozo #1 proyecto: “Introducción del servicio de agua potable y saneamiento básico a comunidades en el sector El Playón, cantón

Santa Cruz, Tecoluca, departamento de San Vicente”. elaborado por F.V. Constructores S.A. de C.V. para la ANDA, enero 2013.

- b) Informe final pozo #1 albergue km 81, Tecoluca, San Vicente”. elaborado por DAHO pozos para la CEL, año 2012.
- c) Informe final de perforación de pozo #1 contrato no. 78/2012 nombre del proyecto: “Introducción del sistema de agua potable y saneamiento básico en sector conocido como los Marranitos, cantón Isleta y cantón San José de La Montaña”. elaborado por F.V. Constructores S.A. de C.V. para la ANDA marzo 2013.
- d) Informe De Perforación del Pozo Compañía Azucarera Salvadoreña, S.A de C.V Hacienda Agua Santa. elaborado por SAGRISA Industrial en Abril 2012.

También se contó con dos documentos, uno relacionado a la temática de la intrusión salina en la bahía de Jiquilísco y un estudio hidrológico en el municipio de Zacatecoluca:

- E) Estudio de la intrusión de aguas salinas en la zona costera de la bahía de Jiquilísco, elaborado por la fundación PRISMA, año 2001.
- f) Estudio Hidrológico e Hidráulico para las Cuencas de los Ríos Acomunca, Sapuyo / Espino y San Antonio / Guayabo, Municipio de Zacatecoluca, preparado Por El Ing. Jonathan J. Alvarado en mayo de 2011.

## **1.11 Morfología**

### **1.11.1 Unidades Geomorfológicas**

Posteriormente al deshielo de la última glaciación, la costa salvadoreña tenía otra configuración de la que tiene en la actualidad. La playa se encontraba próxima a la carretera Litoral durante el Holoceno hace 11,500 años y como ejemplo, el río Lempa tenía su delta en San Nicolás Lempa (Lessmann, K. 1977). Desde esa fecha, la configuración natural del trayecto del río Lempa ha variado muy poco y los mayores cambios se han producido, sobre todo, en su desembocadura. Varios procesos interactuaron para que la línea de costa gradualmente se desplazara hacia el sur, tales como regresión del mar (disminución del nivel del mar) inducida por la elevación de la costa debido a los esfuerzos compresivos de la Placas de Cocos bajo la Placa del Caribe y/o debido a fallamientos. En la Planicie

Costera Central fueron encontrados sedimentos marinos con restos de conchas a 14 metros de profundidad en el pozo de agua en el Cantón Achiotal, San Pedro Masahuat (Hernández, W., 1984).

### **1.11.2 Planicie Costera**

La planicie costera comprende dos zonas ubicadas en el oeste y centro del país abarcando ambas un poco más del 12% del territorio nacional. Su petrografía y origen no presenta uniformidad. En la zona de estudio, en esta unidad, se distinguen tres franjas: la planicie a pie de monte, con relieve de moderado a bajo, ubicada al pie del macizo volcánico de San Vicente con topografía de ligeramente ondulada a ondulada con inclinación hacia el Sur; la planicie costera propiamente dicha, con morfología plana y drenaje restringido; y El Estero de Jaltepeque que ocupa el área costera entre el Río Lempa y la costa del municipio de Santiago Nonualco (Alvarado, J., 2011).

### **1.11.3 Cadena costera**

Al igual que las planicies costeras, abarca un poco más del 12% del territorio salvadoreño. Se le ha considerado como un bloque con una inclinación de 5° hacia el sur con terminación en el mar o debajo de la planicie costera. La cadena costera ha sufrido tres plegamientos consecutivos, ubicándose la zona de estudio en el segundo, correspondiente al formado por la franja que se extiende desde el valle del Jiboa a 400 msnm hasta el complejo volcánico de San Vicente, cubriéndose en parte por el cono del volcán (Alvarado, J., 2011).

El principal proceso geomorfológico en la zona lo constituye la formación de los depósitos en la franja costera, gobernado prioritariamente por la dinámica del río Lempa, ya que la zona de estudio se encuentra dentro de su delta, zona que comprende el área ubicada al sur del Puente de Oro (sobre carretera CA-2) formando un abanico fluvial desde la franja costera del municipio de San Luis La Herradura, hasta la Bahía de Jiquilisco, como se indica en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Variación Histórica del cauce del río Lempa a lo largo de su desembocadura.  
Fuente: H. Lessmann (1977).

### 1.12 Parámetros Climatológicos

La región hidrográfica “F” pertenece a la región climática de los trópicos semi húmedos. Por su elevación sobre el nivel del mar pueden establecerse para la región cuatro zonas climáticas según Koppen:

- ✓ La región costera o sabana tropical caliente con elevaciones comprendidas entre 0 y 800 msnm, con temperatura media mensual entre 26 y 28°C.
- ✓ Sabana tropical calurosa o tierra templada que va de 800 a 1200 msnm. En esta zona se encuentran temperaturas en la estación lluviosa de 24 a 22 °C.
- ✓ Clima tropical de las alturas en tierras templadas que va de 1200 a 1800 msnm en la falda de la montaña (Volcán de San Vicente y cerro Las Pavas); la temperatura oscila de 20 a 16°C.
- ✓ Clima tropical de las alturas en zona de tierra fría que comprende las elevaciones de 1800 a 2700 msnm. En esta zona las variaciones de temperatura son de 16 a 10°C. aunque esta se da en la época seca (noviembre – diciembre).

La zona de estudio se encuentra inmersa en la que se clasifica como zona climática de las Sabanas Tropicales Calientes, la cual corresponde a la llanura costera central ubicada entre

alturas que oscilan desde los 0 a los 800 msnm, las precipitaciones promedio oscilan entre los 1,400 y 1,800 mm y su temperatura entre los 22 y 27°C.

La red de estaciones hidro meteorológicas y los sitios de muestreo de los ríos de la zona se ilustra en la Figura 1.4, donde se indican la estación de hidrométrica de San Marcos Lempa y la estación meteorológica de Santa Cruz Porrillo, así como los sitios F-01- ANTON y F-01-Guaya donde se toman muestras de agua de los ríos San Antonio y El Guayabo respectivamente, que son parte de la principal red de ríos en la cuenca El Guayabo.

Los parámetros climatológicos característicos de la región se resumen en la Tabla 1.2.

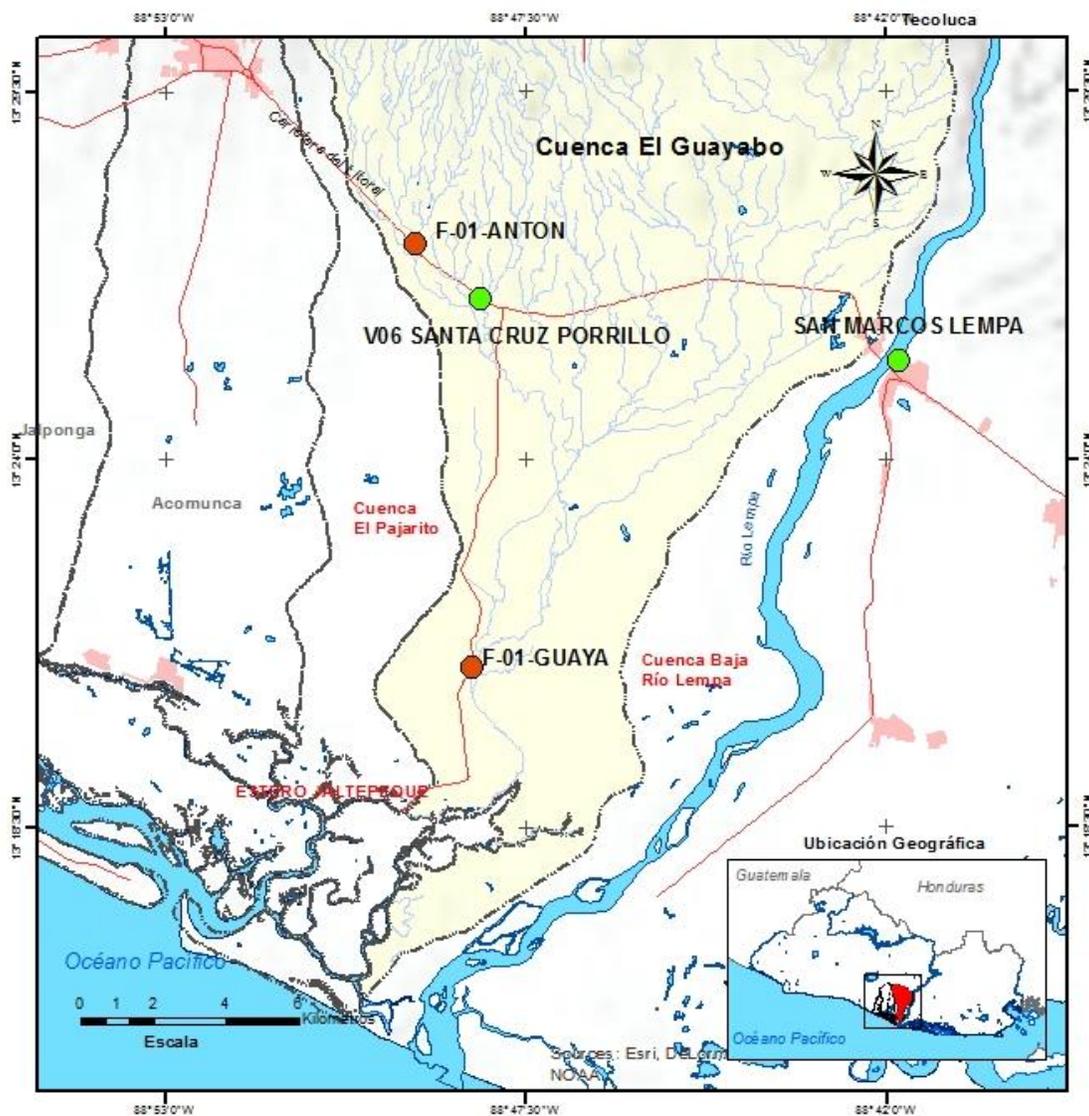


Figura 1.4 Red de estaciones hidro meteorológicas de la zona.

Tabla 1.2. Parámetros climatológicos característicos de la región.

Período	Estación Lluviosa	Estación Seca
Duración	Mayo - octubre	Noviembre - abril
Viento	Viento del sur-oeste desde el mar, con velocidades dominantes de 5.6 km/h y 76.3 km/h como media y máxima.	Alisios del norte con un rumbo dominante N.E. y velocidades de 6.5 km/h y 69.1 km/h como media y máxima.
Fenómenos especiales	Ocurrencia de temporales con lluvias, persistentes de 3 a 6 días; periodo máximos de sequía de 60 días.	Ocurrencia de nortes que soplan desde las montañas de Honduras.
Nubosidad	Grandes nubosidad de 7/10 unidades de la bóveda celeste.	4/10 unidades de la bóveda celeste nubosidad reducida.
Luz solar	El promedio mensual de 7.6 horas/día con valores extremos de 8.4 y 6.8 horas/día como máxima y mínima mensuales.	Promedio mensual de 9.4 horas/día como máxima y mínima mensuales.
Precipitación	Lluvia cenital con máximo en julio y septiembre y temporales en octubre y septiembre.	Mayoría de los días sin precipitaciones locales.
Temperatura	La temperatura máxima en mayo es de 42.4 y mínima durante la noche de 15.6 °C en octubre. Temperatura media mensual máxima de 35 y 21.6°C mínima.	Temperatura media mensual máxima de 36.2 y 19.2°C mínima.
Humedad relativa	Humedad media mensual de 80% y mínima de 27.2%	Humedad media mensual de 66.5% y mínima de 17.0%

Fuente: SNET, 2005.

En general, la estación lluviosa se observa desde fines de mayo hasta mediados de octubre; la transición lluviosa-seca se produce desde mediados de octubre hasta la primera mitad de noviembre; la estación seca ocurre desde mediados de noviembre hasta mediados de abril, y la transición seca-lluviosa suele ocurrir desde mediados de abril hasta fines de mayo. La distribución de las precipitaciones a lo largo del año tiene un marcado carácter estacional; ocurre un período de altas precipitaciones entre marzo y octubre, y otro de escasas o casi nulas durante el resto del año. En los seis meses del período lluvioso se precipita entre el 93 y el 97 por ciento del total anual.

Tomando la serie 1955-2009 para las estaciones de Santa Cruz Porrillo, Beneficio entre Ríos, Finca San Jacinto y San Marcos Lempa, se puede establecer para la zona de estudio una precipitación media anual que oscila entre los 1,604 a los 1,927 mm, las precipitaciones máximas ocurren en el mes de septiembre con valores que oscilan entre los 312 a los 428 mm. Los meses con menores precipitaciones corresponden a enero, febrero, marzo y diciembre en los que los promedios son casi cero, de acuerdo a registros mostrados en la Figura 1.5.

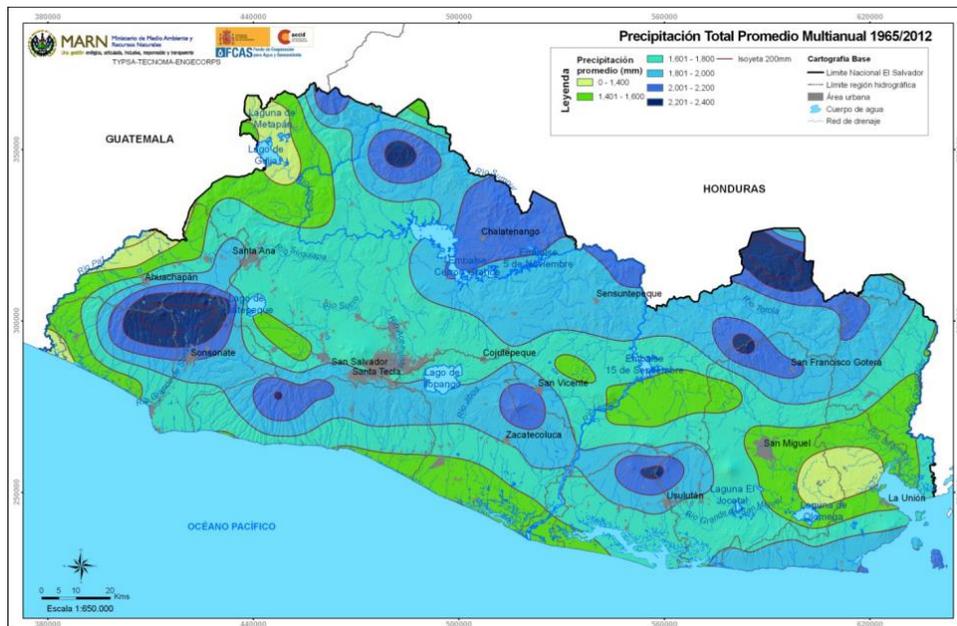


Figura 1.5 Mapa de promedios multianuales de precipitación mensual.  
Fuente: MARN PNGIRH 2013.

### 1.13 Parámetros hidráulicos

El río El Guayabo posee la mayor área de recogimiento hídrico de los ríos secundarios existentes en dicha margen, presentando una geomorfología que se caracteriza por una amplia ramificación de cauces rápidos y secundarios en las partes altas, y un cauce principal en la parte baja, de escasa pendiente y reducida conducción hidráulica. De acuerdo a sus características de cuenca, el río Guayabo posee un alto factor de forma y un bajo factor de alargamiento, lo cual la define como una cuenca con un cauce principal corto en relación al ancho de su área principal de recogimiento. Esta geomorfología le posibilita una alta capacidad de concentración fluvial, a través de los diversos cauces secundarios de elevadas pendientes y rápidos escurrimientos, que se ramifican extensamente en la parte media y alta, favoreciendo posteriormente la formación de grandes flujos que drenan conjuntamente al cauce principal de las partes bajas. Por las características hidrográficas de la parte baja del río Guayabo, posee una capacidad de conducción límite de  $32 \text{ m}^3/\text{s}$ , a partir de la cual se empezarían a presentar desbordamientos laterales. Este caudal, es equivalente a los caudales promedios mensuales esperados en los meses más lluviosos bajo los regímenes de precipitación promedios históricos. Sin embargo, es importante destacar que,

de acuerdo a la análisis de crecidas máximas diferenciadas a través de períodos de retorno para  $t=2, 5, 10, 25$  ó  $50$  años, con caudales picos para eventos extraordinarios de relativa corta duración (horas o minutos), pero que pueden alcanzar caudales arriba de los  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cauce del río Guayabo posee una escasa o nula capacidad de conducción de dichos caudales, originando desbordamientos y problemas severos de inundaciones en las épocas más lluviosas del año. En la planicie costera la pendiente de la cuenca es muy baja, teniendo zonas planas que provocan gradientes muy bajos (MARN, 2007). La Tabla 1.3 presenta resumen de los parámetros de la cuenca El Guayabo.

Tabla 1.3. Principales parámetros hidrológicos de la cuenca El Guayabo.

Cuenca	El Guayabo
Área $\text{Km}^2$	382.9
Factor de Forma	0.32
Coefficiente Compacidad	1.68
Índice Alargamiento	3.1
Índice Asimétrico	1.25
Elevación Media (Km)	0.22
Coefficiente Masividad	0.56
Pendiente %	4.5
Densidad Drenaje ( $\text{km}/\text{Km}^2$ )	0.86
Sinuosidad	7.904
Pendiente Cauce %	0.61

Fuente: (Basagoitia, 2007).

#### 1.14 Calidad del Agua Superficial

La región hidrográfica F Río Jiboa – Estero de Jaltepeque, incluye los ríos comprendidos entre el Río Jiboa y el Río El Guayabo, los cuales drenan desde la cadena montañosa central hacia la planicie costera; dicha región hidrográfica el MARN cuenta con 10 sitios de muestreo ubicados en los principales ríos de la cuenca siendo estos: San Antonio, El Guayabo, Jalponga y Jiboa. La Tabla 1.4 se muestra el detalle de la evaluación de la calidad del agua para el río San Antonio y El Guayabo que se ubican en la cuenca del presente estudio, y la Figura 1.6 muestra la ubicación de los puntos de monitoreo cuya evaluación de su calidad muestra que estos ríos presentan una conductividad eléctrica y contenidos de cloruros y sodio bajos, típicos de aguas dulces, reflejando que el agua marina no penetra río arriba.

Tabla 1. 4. Evaluación de la calidad del agua del río San Antonio y El Guayabo.

ID sitio muestreo / límite parámetro	pH campo	Oxígeno Disuelto	Color Aparente	Conduct eléctrica	Turbidez	Boro	Cloruros	Fenoles	Nitratos	TDS	Sulfatos	Zinc	Cobre	DBO5	Coliformes Fecales	RAS	Sodio	Caudal
Unidades	-	mg/l	Upt-Co	µS/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	%	%	m3/seg
Uso Riego	6.5 - 8.4	-	-	≤ 750	-	≤ 0.2	≤ 195	-	-	-	≤ 200	-	-	-	≤ 1000	≤ 10	≤ 60	-
Agua Cruda p / Potabilizar	6.5 - 9.2	≥ 4.0	≤ 150	-	≤ 250	-	≤ 250	≤ 3	≤ 45	≤ 600	-	≤ 5	≤ 1	≤ 4	≤ 1000	-	-	-
Actividades Recreativas	-	≥ 7	-	-	≤ 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 1000	-	-	-
F01 ANTON	8.15	4.20	38.00	231.85	3.44	ND	2	0.14	3.20	242.00	13.44	ND	ND	2	400	0.55	20.07	0.54
F01 GUAYA	7.96	4.08	116.00	352.00	9.16	ND	30.31	0.18	2.55	298.00	17.33	ND	ND	3	1400	1.31	37.29	0.74

Fuente: (Mena, 2013)

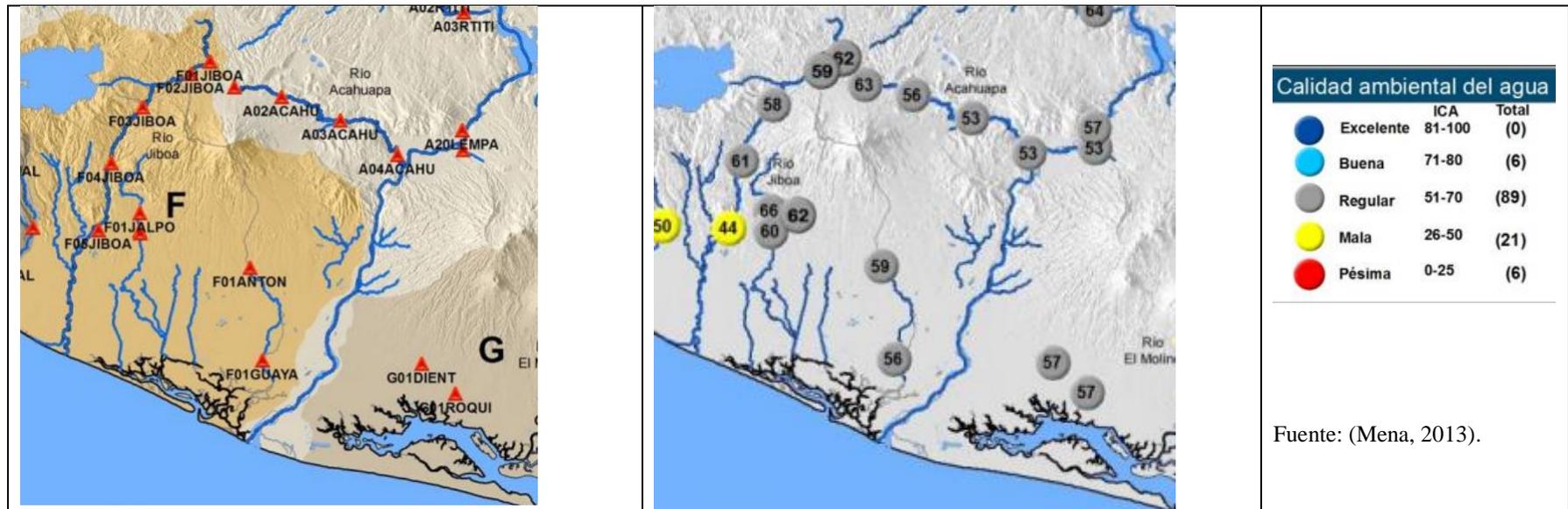


Figura 1.6 Ubicación de los puntos de monitoreo de las aguas superficiales.

## 1.15 Geología

Geológicamente hablando El Salvador es un país extremadamente joven. Una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica. Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel importante para la constitución geológica total de la República. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En otros lugares se conocen además rocas intrusivas que pertenecen a la época miocénica, es decir también son terciarias (MARN, 2015). En la cuenca baja El Guayabo, se identifica la unidad geomorfológica de Planicie Costera, con una topografía plana por su suave pendiente y que de acuerdo al Mapa Geológico Nacional, realizado por la Misión Geológica Alemana en 1978, la zona de estudio presenta las tres formaciones geológicas: Formación Bálsamo y la formación Cuscatlán que se encuentran en la zona norte de la cuenca, y la formación San Salvador que cubre la restante y mayor parte del área de estudio.

### 1.15.1 Formación Bálsamo

Dentro de este grupo se encuentran los miembros más antiguos presentes en la zona de estudio. Se le asigna una edad de Plioceno, según Dür (1960). Dicha formación se divide en tres miembros: b1, b2 y b3 (Baxter, 1984). De los cuales en el área de estudio se observan los miembros b1 y b3.

- ✓ **Miembro b1:** Este miembro es la base de la Formación Bálsamo. Según Wiesemann (1975) es una sección constituida por epiclástitas volcánicas, piroclástitas e ignimbritas, localmente efusivas básicas – intermedias intercaladas, con lapilli de pómez y limo rojo (Baxter, 1984).
- ✓ **Miembro b3:** Es el miembro superior de la Formación Bálsamo y según Wiesemann (1975) está constituido por rocas efusivas básicas – intermedias. Localmente con alteración hidrotermal, silicificación y limos rojos (Baxter, 1984).

### 1.15.2 Formación Cuscatlán

Wiesemann (1978) describe este miembro como una secuencia volcano – sedimentaria, que está constituida por tobas ácidas en la base, seguida por lavas ácidas – intermedias y andesitas – basaltos en la parte superior. Esta formación se ha

dividido en tres miembros c1, c2, y c3 (Baxter, 1984). En el área de estudio se presentan los miembros c1 y c3.

- ✓ **Miembro c1:** Es el miembro inferior de la Formación Cuscatlán y está constituido por unidades, tanto sedimentarias como volcánicas, como fluvio – lacustre (Baxter, 1984). Este miembro contiene tobas caracterizadas por la presencia de lapilli de pómez y fragmentos de lavas dacíticas vítreas y andesitas, inmersas en cenizas finas no estratificadas.
- ✓ **Miembro c3:** Wiesemann (1975) define a este miembro como una unidad constituida por rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica. Las coladas de lava constituyen la parte principal de esta unidad (Baxter, 1984).

### 1.15.3 Formación San Salvador

Definida por Wiesemann (1975) como una secuencia de piroclástitas ácidas y efusivas ácidas – básicas intercaladas. Su edad se ubica en el Pleistoceno superior o reciente. Dicha formación se divide en nueve miembros: s1, s2, s3´a, s3´b, s4, s5´a, s5´b, s5´c y Qf, siendo el último el único miembro que se considerará dentro de la zona de estudio.

- ✓ **Miembro Qf:** Son depósitos sedimentarios del cuaternario que están constituidos principalmente por secciones con intercalaciones de rocas piroclásticas, depósitos de estuarios, barras costeras, depósitos coluviales, conos de deyección y suelos anmoor (que contiene una gran cantidad de materia orgánica humificada mezclada con arcilla). Este tipo de suelo se ubica a lo largo de la línea de costa, sectores recién emergidos como es el caso de la zona de estudio (Baxter, 1984).
- ✓ **Miembro Qs:** suelo anmoor.
- ✓ **Miembro Qe:** Depósito de estuario con o sin manglar.

En resumen la zona de la planicie costera es de origen volcánico en parte depositado fluvialmente. Se encuentran principalmente gravas, arenas, y limos con intercalaciones de piroclastos. Los ríos que descienden de las regiones montañosas aportan el material suelto pómez, arenas, limos y arcillas que se depositan en estas planicies. La Figura 1.7 muestra el mapa geológico de la zona de estudio.

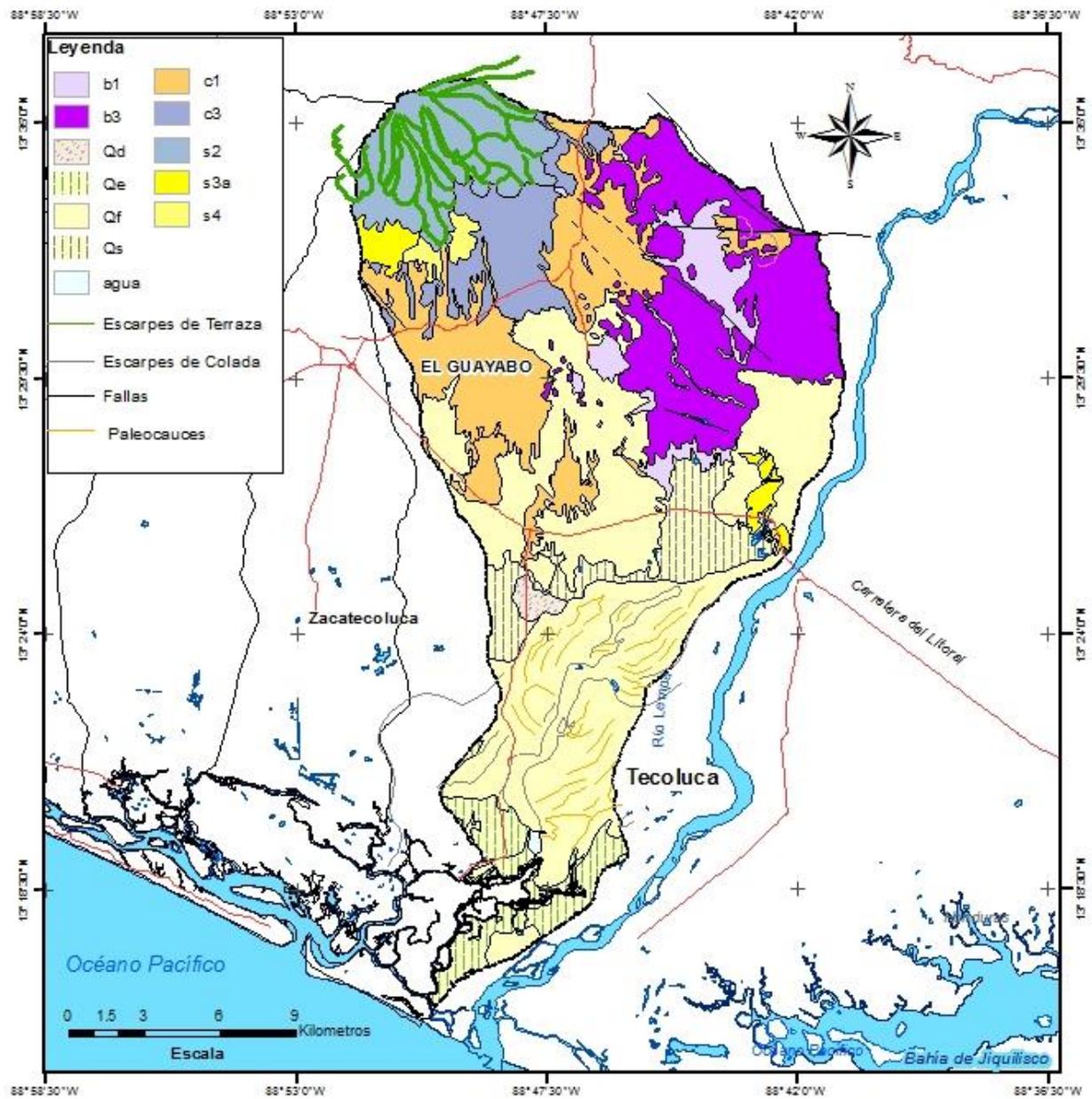


Figura 1.7 Mapa geológico de la cuenca El Guayabo.

### 1.16 Geología de la planicie costera

La planicie costera está constituida principalmente por depósitos fluviales que han sido arrastrados por el curso de los ríos de la zona y por el río Lempa primordialmente, y están constituidos como a continuación se describen.

### **1.16.1 Depósitos Terciarios**

Los materiales más antiguos que se encuentran en la Planicie Costera consisten en una gruesa secuencia de capas consolidadas que forman el basamento o Roca Madre, constituidos por aglomerados con intercalaciones de mantos de lava y de tobas líticas y aglomeráticas, provenientes de erupciones volcánicas. Estas capas o estratos son desconocidos en número y espesor.

### **1.16.2 Depósitos Cuaternarios**

Están sobrepuestos a los anteriores, en su mayoría son piroclásticas eyectados y sedimentos aluviales (de pie de monte) que provienen de los volcanes aledaños, son materiales que fueron transportados a las partes de la planicie por rápidas avenidas de los ríos y flujos intermitentes de escorrentía superficial que seguían a las lluvias torrenciales. La Figura 1.8 muestra la distribución de la geología superficial de la zona de estudio. Componen este tipo de rocas, estratos de piroclásticas heterogéneos de estructuras variables, que se encuentran interestratificados con capas de ceniza y lentes de polvo volcánico; a veces estas capas se han descompuesto en arcilla pegajosa, probablemente en dos fases. Después de una erupción, tuvo lugar un período de sosiego durante el cual la intemperización física actuó sobre los materiales superficiales expuestos. Erupciones posteriores sepultaron este horizonte de suelo y las aguas subterráneas continuaron la descomposición química, luego siguieron repetidas erupciones, intemperización, sepultación y descomposición.

Se observa predominantemente las formaciones geológicas identificadas como “Qf” correspondiente a depósitos sedimentarios del cuaternario, junto con la formación “Qs” correspondiente a suelo anmoor o formación de suelos humificados y arcillas; más al sur y acercándose a la bahía de Jaltepeque se localiza ampliamente la formación “Qe” que corresponde a la formación de depósitos sedimentarios de estuario.

En la parte central de la planicie costera se identifica una serie de fallamientos con orientación noroeste sureste que se extienden desde el Estero de Jaltepeque hasta aproximadamente la mitad de la planicie costera, junto con los vestigios de paleocauces de lo que formaba el antiguo delta del río Lempa.

Los materiales más antiguos que se encuentran en la planicie costera consisten en una gruesa secuencia de capas consolidadas que forman el basamento o Roca Madre, constituidos por aglomerados con intercalaciones de mantos de lava y de tobas líticas y aglomeráticas, provenientes de erupciones volcánicas. Los depósitos más recientes se superponen a los anteriores y en su mayoría son de origen volcánico en parte depositado fluvialmente. Se encuentran principalmente gravas, arenas, y limos con intercalaciones de piroclastos. Los ríos que descienden de las regiones montañosas aportan el material suelto pómez, arenas, limos y arcillas que se depositan en estas planicies. En vista de la importancia de la formación geológica del acuífero, en el Capítulo IV se muestra nuevamente en la Figura No.4.1 el Mapa Geológico de la planicie costera de la cuenca El Guayabo.

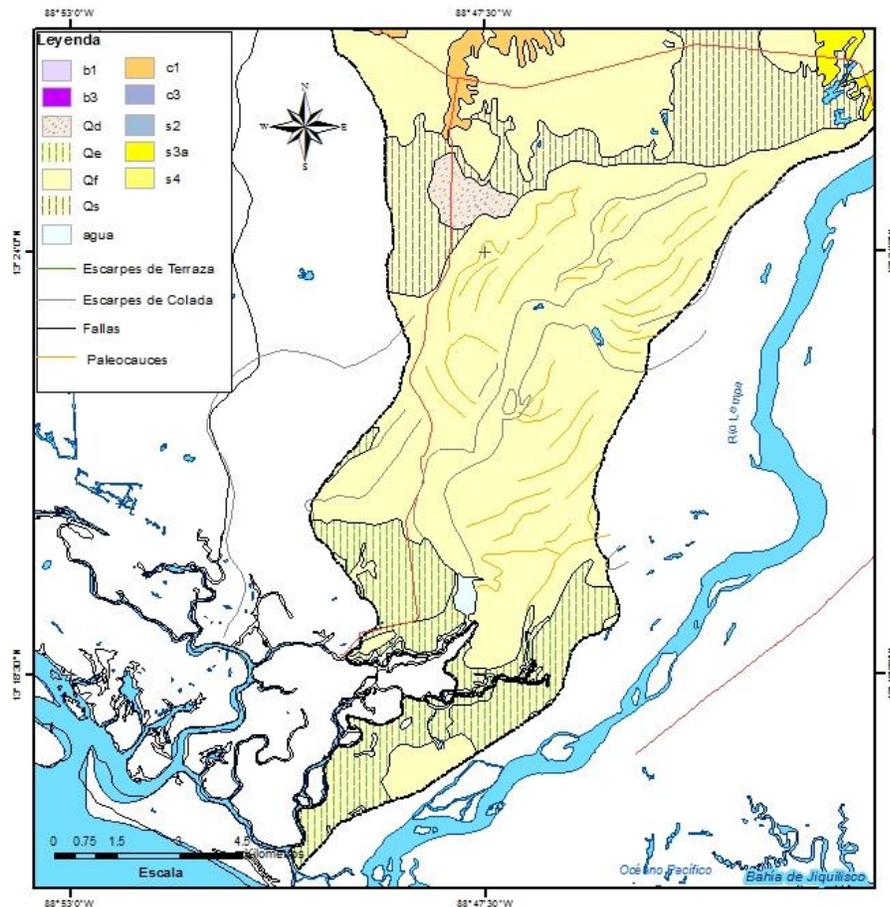


Figura 1.8 Distribución de la geología superficial de la cuenca baja El Guayabo.

### 1.17 Evolución de la línea costera.

Los cambios de la línea costera en la zona delta del río Lempa, donde se detalla que posteriormente al deshielo de la última glaciación, la costa salvadoreña tenía otra configuración de la que tiene en la actualidad. La playa se encontraba próxima a la carretera Litoral durante el Holoceno hace 11,500 años y como ejemplo, el río Lempa tenía su delta en San Nicolás Lempa (Lessmann, K. 1977). Desde esa fecha, la configuración natural del trayecto del río Lempa ha variado muy poco y los mayores cambios se han producido, sobre todo, en su desembocadura. La Figura 1.9. muestra la antigua línea de costa la cual se aproximaba al cantón San Nicolás Lempa.

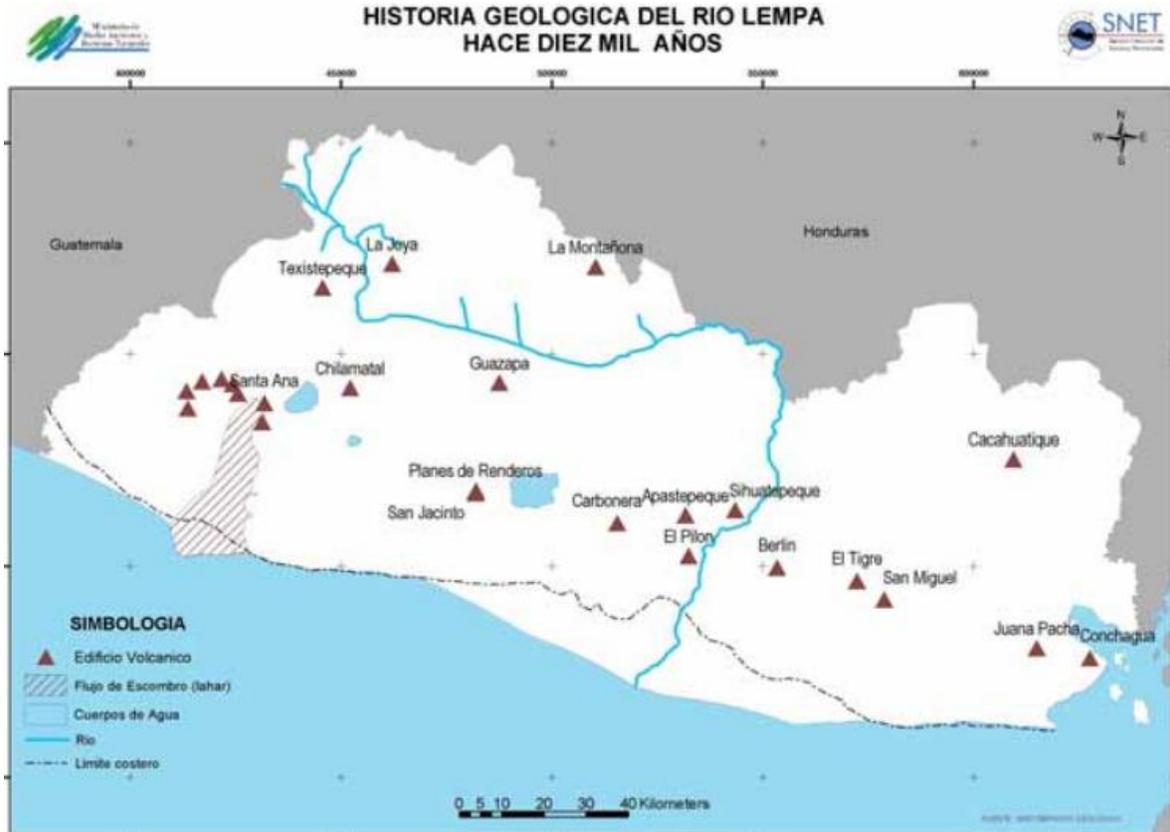


Figura 1.9 Cambios de la línea costera en la zona delta del río Lempa.  
Fuente: (Lessmann, H 1997).

Varios procesos interactuaron para que la línea de costa gradualmente se desplazara hacia el sur, tales como la regresión del mar (disminución del nivel del mar) inducida por la elevación

de la costa debido a los esfuerzos compresivos de la Placas de Cocos bajo la Placa del Caribe y/o debido a fallamientos. En la Planicie Costera Central fueron encontrados sedimentos marinos con restos de conchas a 14 metros de profundidad en el pozo de agua en el Cantón Achiotal, San Pedro Masahuat. En las islas Perico y Periquito situados en el Golfo de Fonseca, yacen restos de ostras situadas a unos 6 metros de altura sobre el nivel del mar y la actual generación de ostras se encuentra dónde chocan las olas del mar. Estos ejemplos son indicativos de la elevación de la costa y la retirada del mar (Hernández, W., 1984).

### **1.18 Hidrogeología:**

La desembocadura del río Lempa está dominada por depósitos sedimentarios cuaternarios, que se constituyen principalmente por depósitos aluviales con intercalaciones de rocas piroclásticas que conforman un acuífero aluvial costero de grandes dimensiones formados por el delta del río.

El acuífero se conforma de partículas sólidas de tamaño grueso, cantos de gravas y arenas y arenas finas con mezclas de arcilla y/o materiales cementante arcilloso o silíceo.

Los procesos de desgaste y erosión por agentes como viento, lluvia provocan una serie de partículas de diferentes granulometrías que se originan en la roca madre y son arrastradas hasta el lugar de sedimentación o de depósito.

La depositación de partículas puede variar desde grandes bloques en el curso alto del río hasta limos y arcillas en la desembocadura.

Además de los procesos mecánicos intervienen otros procesos como la desintegración química de la roca que provocan depósitos sedimentarios en los ambientes fluviales que originan una gran variabilidad tanto horizontal como vertical de los aluviones depositados por el río, provocando que existan valores altos de conductividad hidráulica en ambas direcciones. Esto se debe a la continua divagación lateral del río, y a sucesivos aportes de material sólido que se superponen a los ya existentes.

Los sedimentos forman estratos de agregado suelto, muy poroso, que permite el almacenamiento y transporte de agua en su interior. Otros aportes de materiales generan la superposición de unos encima de otros, es decir, intercalaciones de distinta granulometría, que

en la mayoría de los casos pueden contener sustancias que al precipitar, cementan o compactan al resto del material sólido constituido por arenas y/o gravas. (PRISMA, 2001).

Se cuenta con la información del mapa hidrogeológico de la ANDA el cual ha servido como insumo inicial, el cual se muestra en la Figura 1.10 donde se observa el área del acuífero poroso en la zona de la planicie costera.

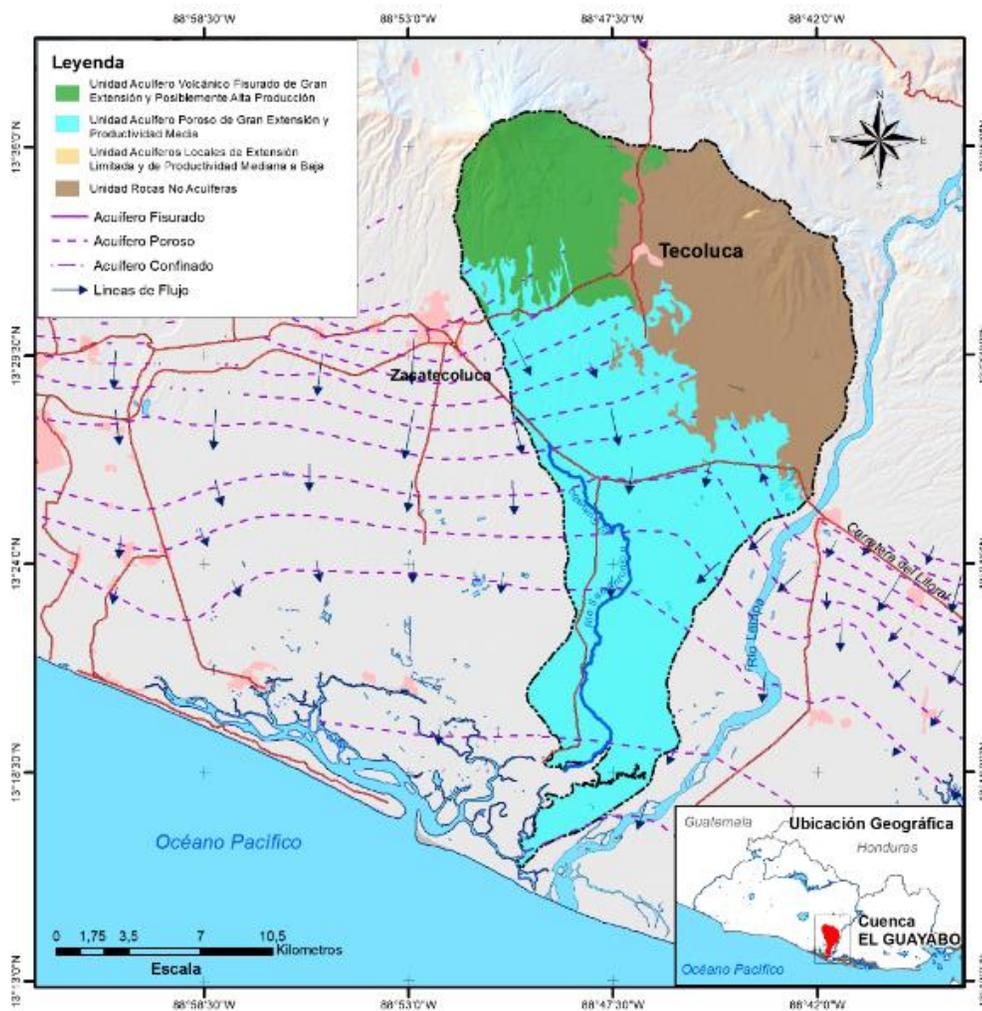


Figura 1.10 Mapa hidrogeológico de la zona del acuífero El Guayabo.

Fuente: Mapa Hidrogeológico ANDA- COSUDE.

### 1.19 Zonas de Recarga y Descarga Hídrica:

A partir del mapa de recarga hídrica FORGAES 2005, se observa que las áreas ocupadas por los esteros y litoral al sur de la cuenca con valores entre 200 y 350 mm/año, margen del río

Lempa al oriente con valores de recarga hídrica entre 300 y 400 mm/año, y la zona norte con valores de 250 a 300 mm/año, se tienen valores de tasas de recarga acuífera más bajos que en la banda central que dispone de suelos con mayor índice de infiltración y pendientes suaves que confieren tasas de recarga hídrica entre los 200 a 400 en la parte más norte y 400 a 600 mm/año en la parte central y al sur de la mencionada banda central. La Figura 1.11, muestra la distribución de los índices de recarga hídrica calculada mediante el método RAS (Junker, 2005), que es una herramienta científico, teórico para elaborar el mapa de la recarga de agua subterránea, que sirve para tomar decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, como también en el ordenamiento territorial.

El método calcula el agua que se infiltra en el subsuelo, basado en los principios de recarga del agua proveniente de la lluvia (Schosinky y Losilla 2000), el cual requiere de coeficientes para calcular la infiltración. Este coeficiente se multiplica por un coeficiente climático, para lo cual se realiza un balance climático (BC). La ecuación para determinar la recarga acuífera de una zona es:

$$R = BC * C$$

R = Recarga acuífera, BC = Balance climático, C = Coeficiente de infiltración

$$C = k_{fc} + k_p + k_v$$

$k_{fc}$  = Coeficiente del tipo de suelo,  $k_p$  = Coeficiente de pendiente,  $k_v$  = Coeficiente de uso del suelo

Se hace el cálculo del Balance Climático (BC) que permite obtener la información de la cantidad de agua que está disponible en la zona de investigación.

$$BC = P - E T \text{ real} \text{ Donde: } P = \text{Precipitación (mm)}, E T \text{ real} = \text{Evapotranspiración real (mm)}$$

Sobre la base de datos y mapas básicos fue elaborado el MAPA DE LA RECARGA DE AGUA SUBTERRANEA DE EL SALVADOR, con valores cuantitativos de dicha recarga asociado a polígonos referidos a códigos de colores que se corresponden a los diferentes rangos de recarga hídrica.

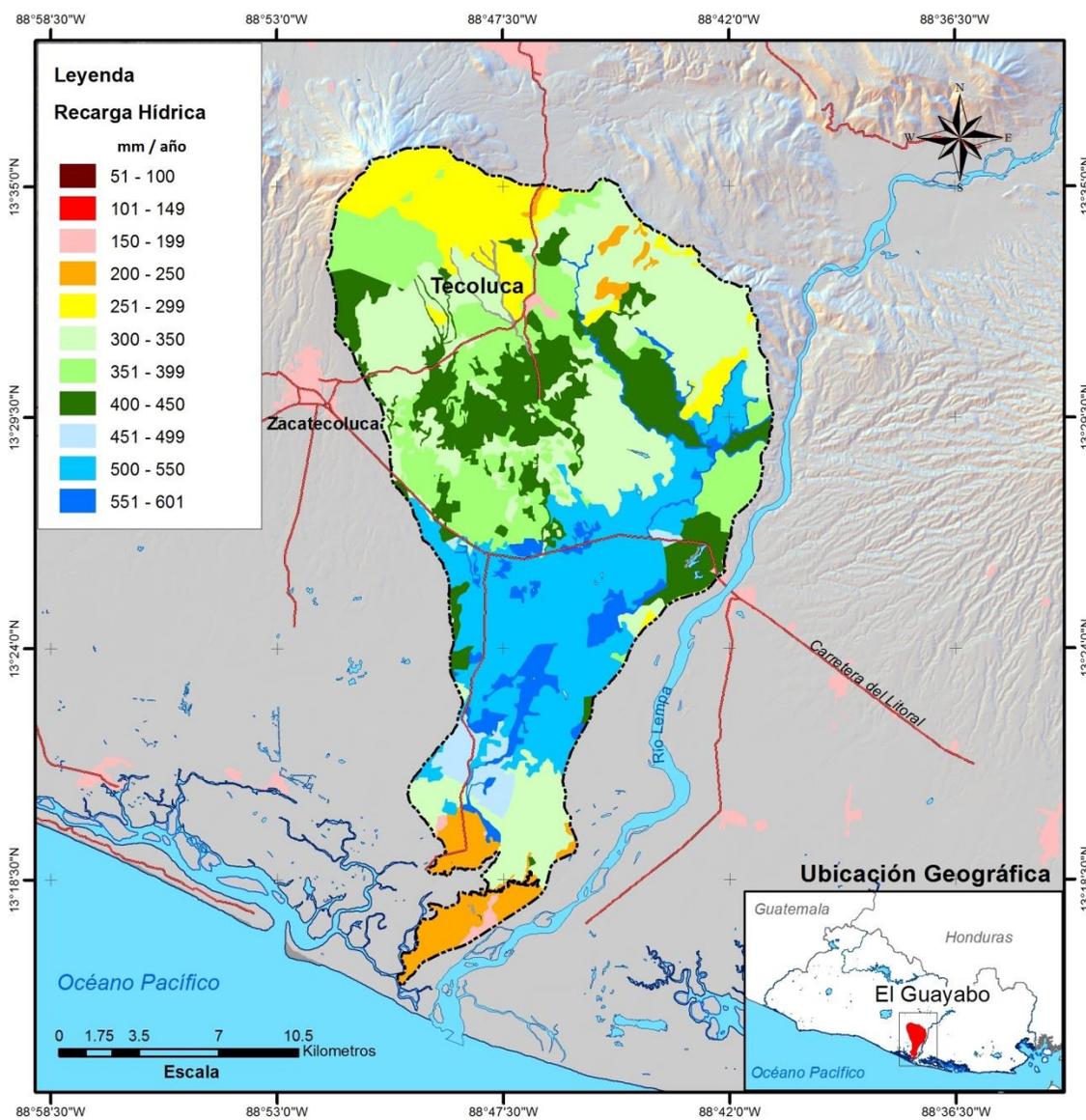


Figura 1.11 Mapa de distribución de la recarga hídrica en la cuenca El Guayabo.

Fuente: ANDA, 2005.

De acuerdo al mapa Hidrogeológico (ANDA, 2005) corroborado por las líneas de flujo presente en el acuífero, la descarga hidrogeológica del acuífero de la cuenca El Guayabo ocurre hacia el sur, al estero de Jaltepeque, así como por medio de la red de ríos que finalmente descargan en el mencionado estero.

## 1.20 Riesgo de Inundación:

El mapa de susceptibilidad de inundaciones que se muestra en la Figura 1.12, indica que casi la totalidad de la zona sur que comprende la planicie costera de la cuenca El Guayabo, donde se observa que la inundación cubre parte la carretera del litoral en el sector oriente y el cantón Barrio Nuevo al centro de la cuenca. Esto corresponde a tormentas con períodos de retorno mayores a 75 años, y se asocia a una probabilidad “Medio - bajo”. Una probabilidad “Alta” corresponde a tormentas entre 25 y 75 años, las que generan inundaciones que abarcan hasta los cantones El Pacún, Los Marranitos y Agua Zarca al sur de la carretera del Litoral. La probabilidad “Muy Alta” corresponde a inundaciones provocadas por tormentas ordinarias, con períodos de retorno entre 5 y 25 años.

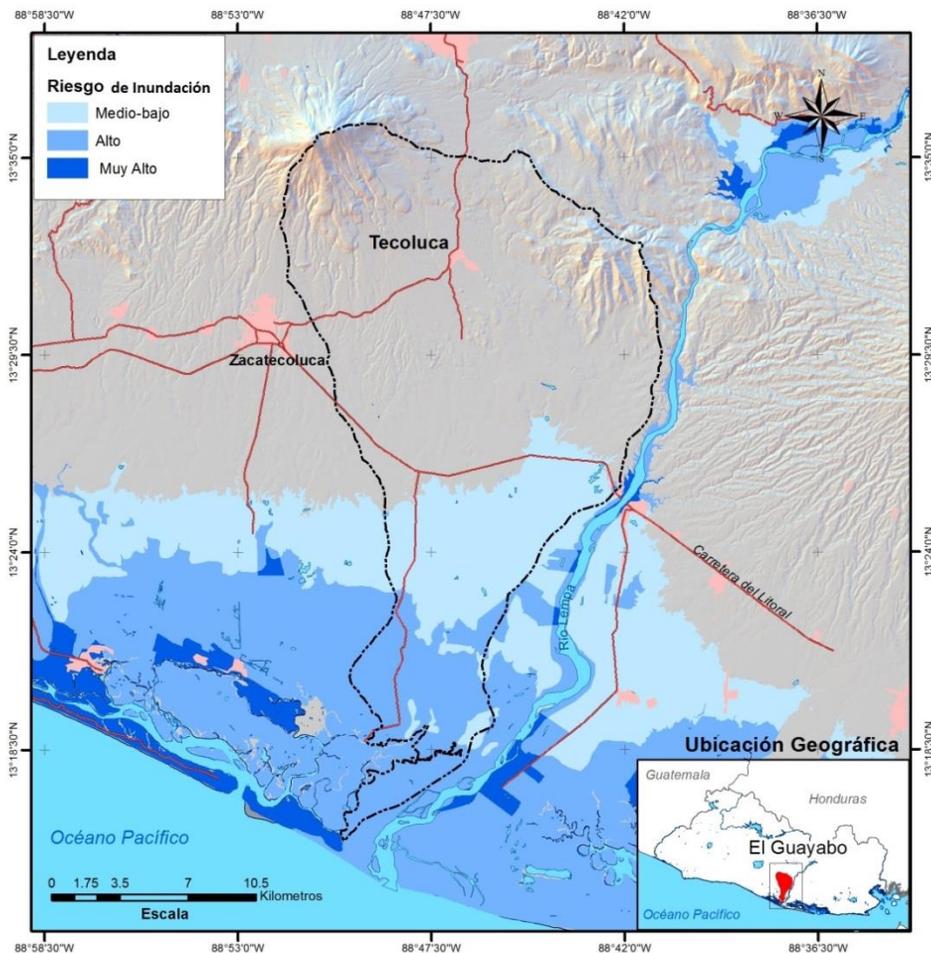


Figura 1.12 Mapa de susceptibilidad a Inundaciones.

Fuente: (MARN, <http://www.snet.gob.sv/>)

## 2 CAPITULO II: FUNDAMENTACION TEÓRICA

### 2.1 Hidrogeología

#### Conceptos Básicos

La hidrología subterránea es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento y circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre (Custodio, 2001). En la hidrogeología se estudian aquellos estratos o formaciones geológicas que permiten la circulación del agua por sus poros o grietas, permitiendo que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente factibles para solventar sus necesidades, dichas formaciones son conocidos como acuíferos (Custodio, 2001).

#### Clasificación de Acuíferos

La Tabla 2.1 muestra la clasificación de los acuíferos de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos (Custodio, 2001). En la Figura 2.1 se esquematiza los tipos de acuífero descritos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de acuíferos según presión hidrostática.

TIPO DE ACUIFERO	CONCEPTO
<b>ACUIFERO LIBRE</b>	Aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica. Al perforar pozos que los atraviesan total o parcialmente la superficie obtenida por los niveles del agua de cada pozo forma una superficie real (superficie freática).
<b>ACUIFERO CONFINADO</b>	El agua dentro de estos está sometida a una cierta presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente. Al perforar pozos se atraviesa el techo del mismo y se provoca un ascenso del nivel del agua, teniendo pozos surgentes o fluyentes si el nivel piezométrico se sitúa en una cota superior se la boca del pozo y simplemente artesiano o a presión si el nivel piezométrico queda por debajo de la superficie topográfica.
<b>ACUIFERO SEMICONFINADO</b>	Es un caso especial de los acuíferos confinados, cuando en la parte inferior y/o superior que los encierra no sea totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita una filtración vertical del agua, muy lenta, y que alimente al acuífero principal a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo.

Fuente: Custodio, 2001.

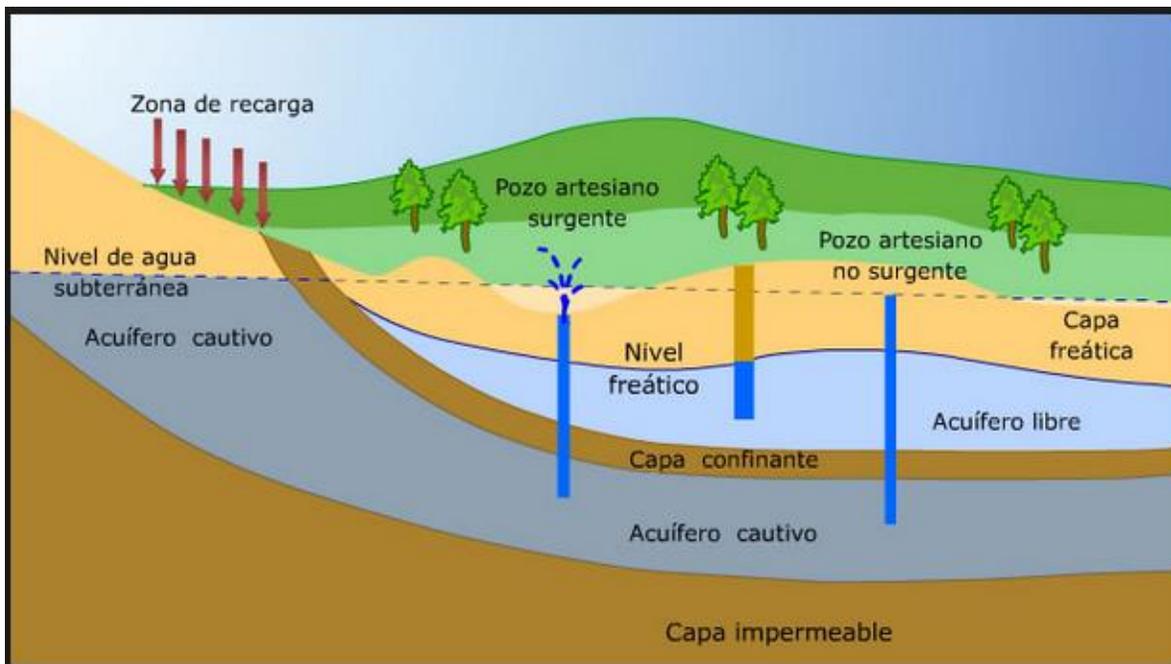


Figura 2.1. Tipos de acuíferos.  
Fuente: (SCHUSTER, 2015)

## 2.2 Parámetros hidrológicos fundamentales:

Los acuíferos son sistemas físicos que poseen un funcionamiento regulado por la recarga, extracciones y la descarga, por lo que posee parámetros que definen y en algunos predicen dicho funcionamiento y hasta logran dar respuesta del comportamiento del acuífero frente a determinadas acciones exteriores (Custodio, 2001).

### Porosidad

La porosidad de un material es el porcentaje del volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total. Cuya expresión está dada por la ecuación 1 (Fetter, 2001):

$$n = \frac{100 \times V_v}{V_t} = \frac{100(V_v + V_s)}{V_t} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Dónde:  $V_s$ : volumen de la parte sólida

$V_v$ : volumen de huecos o vacío

$V_t$ : volumen total

En la Tabla 2.2 presenta la clasificación de materiales de acuerdo a valores de porosidad (Freeze, 1979).

Tabla 2.2. Rango de valores de porosidad.

MATERIAL	n (%)	MATERIAL	n (%)
<b>Depósitos no consolidados:</b>		<b>Rocas:</b>	
Grava	25-40	Basalto fracturado	5-50
Arena	25-50	Caliza kárstica	5-50
Limo	35-50	Arenisca	5-30
Arcilla	40-70	Caliza, dolomita	0-20
		Esquisto	0-10
		Roca cristalina fracturada	0-10
		Roca cristalina densa	0-5

Fuente: (Freeze, 1979)

### 2.3 Permeabilidad o conductividad hidráulica

Basada en la Ley de Darcy, la conductividad hidráulica se define como la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico, la cual depende de las propiedades del medio y de las características del fluido, y se expresa de acuerdo a la ecuación 2.2 en dimensiones de velocidad [L/T] (Fetter, 2001).

$$K = \frac{-Q}{A \left( \frac{dh}{dl} \right)} = k \frac{\gamma}{\mu} = k \left( \frac{\rho g}{\mu} \right) \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Dónde:

Q: caudal

A: área efectiva

dh/dl: gradiente hidráulico

k: permeabilidad intrínseca

$\gamma$ : peso específico del fluido

$\rho$ : densidad del fluido

g: gravedad

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

Los factores que determinan la permeabilidad pueden ser extrínsecos e intrínsecos. Los extrínsecos son los que dependen del fluido y son fundamentalmente su viscosidad y su peso específico. Los factores intrínsecos son los propios del acuífero y dependen del tamaño de los poros, de donde proviene el concepto de permeabilidad específica, la cual está expresada bajo la ecuación 2.3 (Custodio, 2001).

Dónde:

$$k = C \cdot d^2 \quad (\text{ecuación 2.3}) \quad C: \text{factor de forma (constante de proporcionalidad)}$$

d: tamaño del grano

La Tabla 2.3 presenta rango de permeabilidades clasificadas de acuerdo al tipo de material geológico que le corresponde (Custodio, 2001).

Tabla 2.3. Rango de conductividades hidráulicas.

Permeabilidad o Conductividad hidráulica (m/día)	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	
<b>Tipo de terreno</b>	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas				
<b>Calificación</b>	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres				Impermeables			
<b>Capacidad de drenaje</b>	Drenan bien				Drenan mal				No drenan			

Fuente: (Custodio, 2001)

## 2.4 Transmisividad

El concepto de transmisividad fue introducido por Theis en 1935, y lo define como la cantidad de agua que puede ser transmitida horizontalmente a través de un ancho unitario por todo el espesor saturado del acuífero bajo un gradiente hidráulico unitario. Se enuncia con la ecuación 2.4 y sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud, expresándose en m<sup>2</sup>/día o cm<sup>2</sup>/seg (Custodio, 2001).

$$T = K \cdot b \quad (\text{ecuación 2.4})$$

Dónde: K: conductividad hidráulica  
b: espesor saturado del acuífero

## 2.5 Coeficiente de almacenamiento

Se define como el volumen de agua que una unidad permeable puede absorber o expulsar para una columna de área unitaria y de altura todo el espesor del acuífero por unidad de cambio en la

carga hidráulica. El coeficiente de almacenamiento, representado por S, no tiene dimensiones y se enuncia con la ecuación 2.5 (Fetter, 2001).

$$S = \frac{\text{volumen agua liberado}}{\text{volumen total que ha bajado la superficie piezométrica}} \quad (\text{ecuación 2.5})$$

Con el valor de este coeficiente se puede corroborar el tipo de acuífero a explotar mediante la Tabla 2.4 que indica los rangos de valores que corresponden a cada acuífero.

Tabla 2. 4. Clasificación de acuíferos de acuerdo a valores del coeficiente de almacenamiento.

TIPO DE ACUÍFERO	DE	A
<i>Acuífero Libre</i>	0.02	0.3
<i>Acuífero Confinado</i>	0.00001	0.001

Fuente: (Lemus, 2004)

## 2.6 Sistemas de Flujo

Determinación de niveles piezométricos: La única forma disponible para medir los niveles piezométricos en un acuífero es mediante una perforación que permita un acceso directo al mismo, es decir por pozos existentes en la zona. Para conocer el nivel piezométrico es necesario tener una cota de referencia respecto a un cierto punto fijo tal como el nivel del mar (Custodio, 2001).

Las medidas piezométricas instantáneas se realizan mediante la denominada sonda de nivel que se basan en la observación de la profundidad del agua mediante el cierre de un circuito eléctrico cuando un elemento detector establece contacto con el agua. Constan de electrodo, cable eléctrico y detector.

Al momento de realizar las mediciones se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Identificar el pozo, colocar un código de tipo de fuente y ubicación a través de GPS.
- Registrar datos de elevación del punto.
- Medir la altura del broquel y hacer referencia al momento de realizar la medición desde el nivel de terreno o del broquel.
- En pozos de bombeo: Tomar en cuenta si se considerará como nivel estático o nivel dinámico.

e) Construcción de mapas isofreáticos.

El fundamento del método es interpolar valores entre puntos cercanos y trazar líneas que unan puntos de igual piezometría. El sentido del flujo del agua es desde las líneas de mayor altura piezométrica hacia líneas de menor altura piezométrica, en la dirección de la máxima pendiente, es decir, perpendicularmente a las mismas. Generalmente se dibujan flechas que indican el sentido del flujo, tal como se muestra en la Figura 2.2.

Los mapas de curvas isofreáticas permiten:

- Definir profundidad de la piezométrica en el plano,
- Conocer el sentido del flujo,
- Diferenciar áreas de recarga y descarga,
- Diferenciar divisorias hidrogeológicas,
- Manifiestar relaciones río – acuífero.

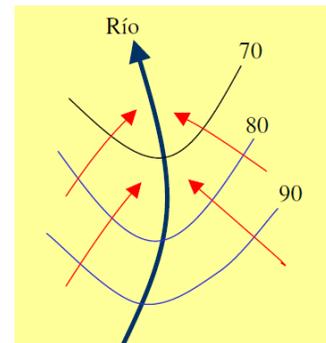
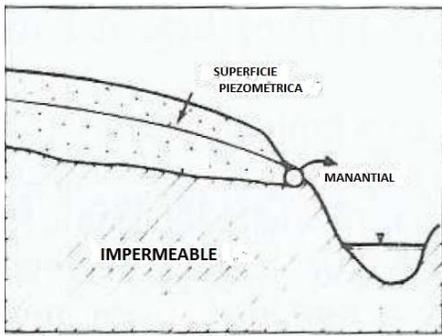


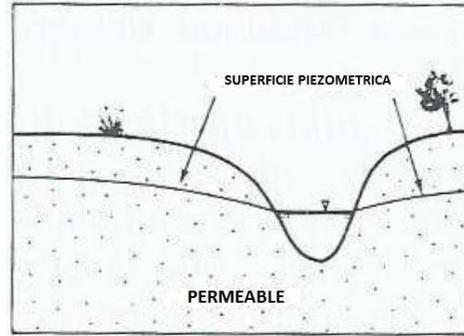
Figura 2.2. Esquema de dirección de flujo.

## 2.7 Relaciones de agua superficial y subterránea

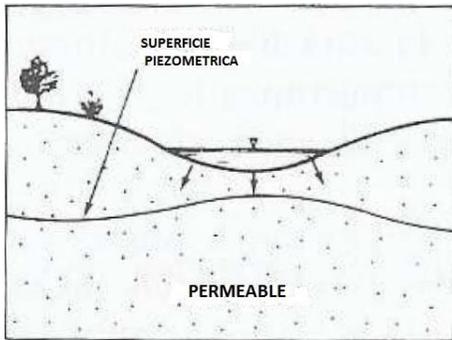
Para estudiar las aportaciones que el agua subterránea de un acuífero puede dar a un río, o viceversa, se debe conocer el tipo de conexión hidráulica que hay entre ellos, las cuales están determinadas por dos factores: a) la situación de las formaciones geológicas permeables en relación con el cauce del río y b) la situación relativa de los niveles del río y de los niveles piezométricos en la zona del acuífero contigua al río. En la Figura 2.3 se presentan casos que se observan.



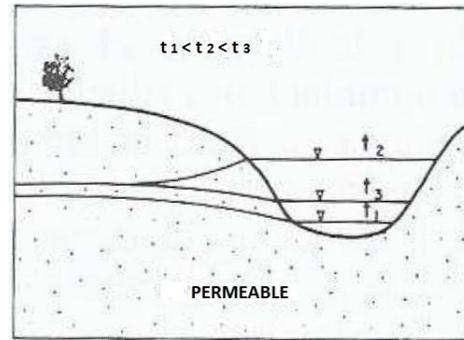
Sin conexión hidráulica



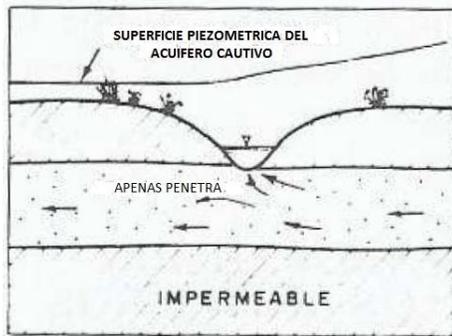
Río efluente



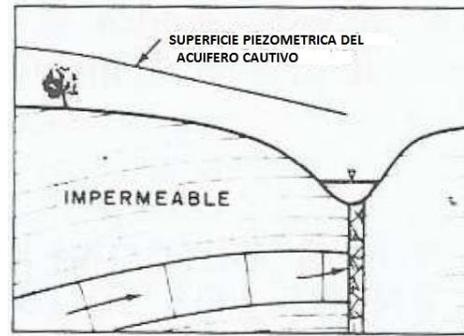
Río influente



De efluente a influente en una avenida



Río alimentado por un acuífero cautivo que está conectado con el río

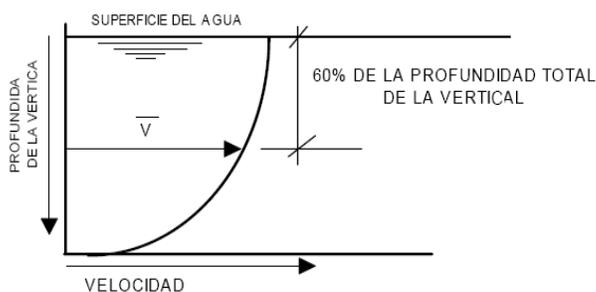


Río alimentado por un acuífero cautivo profundo a través de una zona fracturada

Figura 2.3. Esquemas de tipos de conexión hidráulica entre un río y un acuífero. (Custodio, 2001).

**Aforos con molinete:** El aforo con molinete se fundamenta en determinar la velocidad de las aguas en distintos puntos de la sección transversal de un río. La práctica se efectúa dividiendo la superficie del río en  $(n+1)$  partes, fijando  $n$  puntos, donde se realizarán las mediciones con el molinete a distintas profundidades. De esta manera, se logrará conocer la velocidad del río en esos  $n$  puntos (Custodio, 2001).

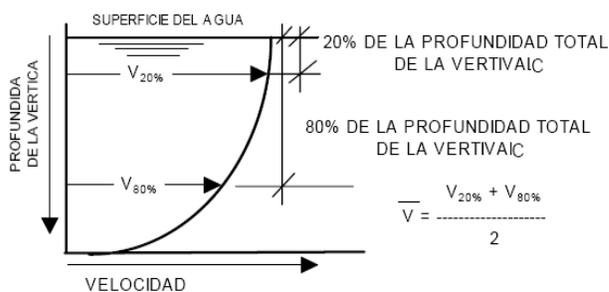
**Método de un punto.:** La velocidad se debe medir en cada vertical colocando el molinete a 0,6 de profundidad a partir de la superficie, como se muestra en la Figura 2.4. El valor observado se considera como la velocidad media en la vertical. Se usa para profundidades entre los 0.25 y 0.75 m (Santaengracia, 2010).



Si la profundidad es menor de 0.25 m se toma una medición que se considera superficial afectándola por un factor de corrección por viento de 0.85 (Santaengracia, 2010).

Figura 2.4. Esquema de medición del método de un punto.

**Método de dos puntos:** Las observaciones de velocidad se deben hacer en cada vertical, colocando el molinete a 0,2 y 0,8 de profundidad a partir de la superficie, como se muestra en la Figura 2.5. El promedio de los dos valores puede considerarse como la velocidad media en la vertical (Santaengracia, 2010).



El método de dos puntos se emplea cuando la distribución de velocidades es regular y la profundidad es superior a unos 0.75 m (Santaengracia, 2010).

Figura 2.5. Esquema de medición del método de dos puntos.

**Método de tres puntos:** La velocidad se mide colocando el molinete en cada vertical a 0,2, 0,6 y 0,8 de profundidad a partir de la superficie, como se muestra en la Figura 2.6. El promedio de los tres valores puede ser considerado como la velocidad media en la vertical. Se puede también ponderar la medición a 0,6 y la velocidad media se obtendrá con la ecuación:  $v = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$ . El método de tres puntos debe utilizarse para mediciones en canales cubiertos por vegetación acuática (Santaengracia, 2010).

Al obtener los datos de campo se procederá al cálculo de las velocidades promedio de las secciones del río.

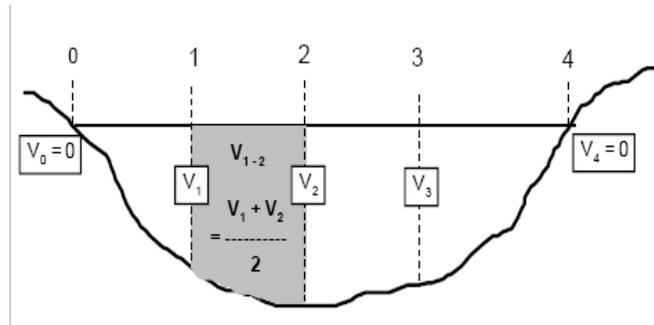


Figura 2.6. Esquema del cálculo de la velocidad promedio para cada sección.  
Fuente: (Santaengracia, 2010)

Finalmente, el cálculo del caudal se realizará a través del método de semi-sección, en el cual el caudal en cada segmento se calcula multiplicando  $v d$  en cada vertical por el ancho, que es la suma de la mitad de la distancia entre verticales adyacentes como se muestra en la ecuación 2.5 y Figura 2.7. Puede evaluarse el valor de  $d$  en los dos medios anchos próximos a las márgenes.

$$Q = \bar{v}_1 d_1 \left( \frac{b_2 + b_1}{2} \right) + \bar{v}_2 d_2 \left( \frac{b_3 + b_2}{2} \right) + \dots + \bar{v}_n d_n \left( \frac{b_n + b_{(n-1)}}{2} \right) \quad (\text{ecuación 2.7})$$

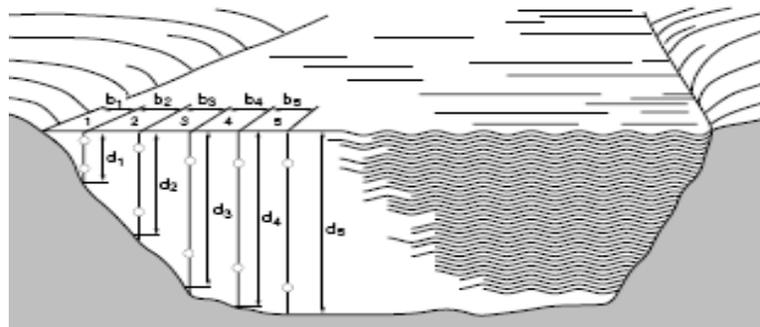


Figura 2.7. Representación esquemática del cálculo del caudal en la sección transversal del río.  
Fuente: (Santaengracia, 2010).

## 2.8 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de la superficie de la tierra, y queda retenida en él o alcanza el nivel del acuífero incrementando el volumen acumulado (Custodio, 2001).

Algunos de los métodos para la determinación de la infiltración con los infiltrómetros, los cuales se utilizan para medidas muy locales. Con bastantes reservas, los valores obtenidos pueden aplicarse a pequeñas cuencas homogéneas. Cuando la cuenca es mayor, y no homogénea en suelo o vegetación, deberá subdividirse en áreas que lo sean. Hay dos tipos de infiltrómetros: a) tipo inundador que son cilindros concéntricos y cilindros excavados en el suelo y b) tipo simulador de lluvia (Custodio, 2001).

**Método de cilindros concéntricos:** El método utiliza dos superficies cilíndricas abiertas por las dos bases y unidas entre sí para mantenerse concéntricas al hincarlas parcialmente en el terreno a una profundidad de unos 10 cm como se muestra en la Figura 2.8. Se añade una cantidad conocida de agua hasta que cubra no más de 10cm, una regla graduada situada en posición vertical en el área encerrada por el cilindro interno y, entre los dos cilindros, se mantiene ese mismo nivel de agua. La misión del cilindro exterior es, únicamente impedir la expansión lateral del agua infiltrada a través del área que limita el cilindro interior.

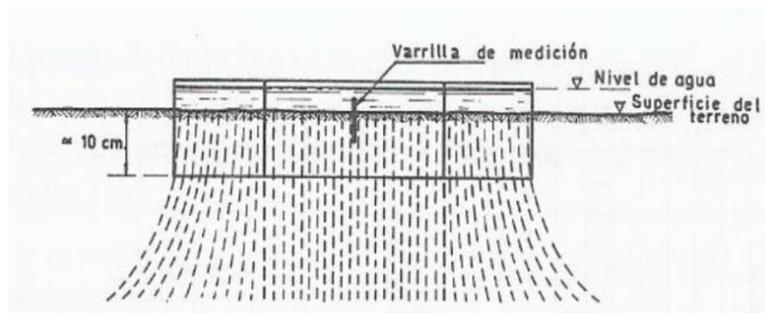


Figura 2.8. Esquema del método de cilindros concéntricos.  
Fuente: (Custodio, 2001)

Con la regla y un cronómetro, se medirá la variación de la altura del agua en el tiempo. Al principio, esta variación será mayor y luego tenderá a estabilizarse. El tiempo de estabilización dependerá del tipo de suelo en el cual se esté haciendo la prueba. Al cabo de cierto tiempo de

estar midiendo, se vuelve a llenar de agua el cilindro interno y se repite la operación. Midiendo los tiempos que tardan en infiltrarse estos volúmenes de agua, se deduce la capacidad de infiltración (Custodio, 2001).

## **2.9 Conceptos de Geofísica aplicado a las aguas subterráneas.**

La Geofísica aplicada a las aguas subterráneas sirve para dos objetivos:

- a) Determinación de la geometría del acuífero integral
- b) Selección de lugares favorables a la perforación

Para estudiar la geometría del acuífero se ejecutan mediciones de gran profundidad, a grandes distancias relativas una de otra y usualmente alineadas en perfiles transversales a una cuenca aluvial o sedimentaria regional. Con los resultados se puede construir secciones típicas de una cuenca, hasta la roca del basamento o ciertos casos, preparar planos de curvas de nivel de la roca o de espesores (isópacas) del relleno aluvial. Este tipo de estudios es fundamental para los cálculos hidrodinámicos generalizados del acuífero.

Las propiedades eléctricas de las rocas más importantes para la investigación de agua subterránea son tres:

- a) 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 y de la composición 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.
- b) Constante dieléctrica. El nombre proviene de los materiales dieléctricos, que son materiales aislantes o muy poco conductores por debajo de una cierta tensión eléctrica llamada tensión de rotura. El efecto de la constante dieléctrica se manifiesta en la capacidad total de un condensador eléctrico o capacitor.
- c) Resistividad. 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

( $\rho$ ), en unidades de ohmios por metro ( $\Omega.m$ ). 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. La Tabla 2.5 muestra valores típicos de resistividad por tipo de roca, la Tabla 2.6 muestra la resistividad de las aguas en diferentes condiciones y la Tabla 2.7 la resistividad de las rocas en diferentes condiciones, donde un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.

Una roca homogénea, independiente de su litología, responde eléctricamente como un material aislante (resistividades del orden de  $10^7$  [ $\Omega.m$ ]), excepto en el caso de metales (resistividades del orden de  $10^{-7}$  [ $\Omega.m$ ]),

Esta habilidad de las rocas de poder conducir corriente está directamente ligada a factores intrínsecos del material (porosidad, permeabilidad), y factores externos (sistemas hídricos de recarga, zonas de entrapamiento). Los factores, que determinan la resistividad eléctrica de una roca, son los siguientes:

- a) Conductividad de los granos minerales
- b) Porosidad
- c) Composición química del agua, que llena los espacios porosos de la roca, como su salinidad, % saturación (S), Temperatura y Presión.

Tabla 2.5. Resistividad de minerales y roca.

<b>Minerales</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega.m</math>)</b>
Rocas Ígneas y metamórficas inalteradas	Más de 1,000
Rocas Ígneas y metamórficas alteradas	100 a 1,000
Calizas y areniscas	100 a más de 1,000
Gravas	200 a más de 1,000
Arenas	100 a 1,000
Limos	10 a 100
Arcillas	1 a 10

Fuente: (Román, 2015)

Tabla 2. 6. Resistividades de las aguas según el medio en que se encuentre.

Tipo de Agua	Resistividad ( $\Omega.m$ )
Agua de Lagos y arroyos de alta montaña	$10^3$ a $3 \times 10^3$
Aguas dulces superficiales	10 a $10^3$
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas de lagos de montañas	0.1 a 1
Aguas marinas	0.03 a 10

Fuente: (Román, 2015)

Tabla 2. 7. Datos de resistividad relacionada a la litología.

Sedimento no consolidado con contenido de agua	Contenido de Arcilla %	Resistividad ( $\Omega.m$ )
Gravas	3	500 - 1000
Arena	5	50 - 100
Arena Limosa	10	10 - 100
Limo	15	50 - 100
Limo Arenoso	20	25 - 30
Arcilla Arenosa	30	15 - 25
Arcilla Limosa	45	10 - 15
Arcilla	65	5 - 10

Fuente: Tapias Himi, 2005.

## 2.10 Sondeos eléctricos verticales

Dentro de los Métodos de Prospección Geofísica en general, los Sondeos Eléctricos Verticales son una herramienta de gran importancia en la investigación o exploración de acuíferos subterráneos, que es nuestro caso; sin embargo también se extiende al estudio de posibles plumas de contaminación en un área determinada, exploración para la búsqueda objetos arqueológicos, exploración de yacimientos geotérmicos, etc.

Los Sondeos Eléctricos Verticales nos permiten suministrar una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo y se puede determinar aproximadamente la distribución vertical de su resistividad, por lo que la finalidad de esta metodología es la determinación de las

capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de la misma, esto mediante mediciones realizadas en el lugar de estudio.

En términos generales los SEV son una serie de determinaciones de resistividad aparente y que son efectuadas mediante un mismo dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de corriente. Ya propiamente en el levantamiento se puede observar un arreglo en el cual incluyen 4 pares de electrodos, dos son utilizados para energizar o inyectar corriente al subsuelo y los otros dos para medir la diferencia de potencial, al centro se ubica la unidad resistiva que nos sirve como el centro de control para la inyección de la corriente y recepción de los datos del levantamiento geofísico. El producto final o lo que se busca obtener de un levantamiento utilizando el método SEV es el valor de resistividad aparente del sitio de exploración en función de la profundidad; la razón por la cual se denomina resistividad aparente es porque al realizar o aplicar un levantamiento utilizando SEV, la resistividad del subsuelo no es homogénea debido a que en este se puede encontrar, no solo un tipo de material, sino varios, y esto dependerá de la geología y profundidad.

Matemáticamente podemos definir a la resistividad aparente como

$$\rho = (\Delta V / I) K \text{ (ecuación 2.8)}$$

Dónde:

$\Delta V$  = Diferencia de potencial obtenida de campo

I = Corriente aplicada al subsuelo

K = Coeficiente geométrico del dispositivo

La constante K depende del arreglo a utilizar, por lo que esta variable está asociada a la distancia entre los electrodos a utilizar en el levantamiento.

### **2.10.1 Método dipolo-dipolo**

El sondeo Dipolo – Dipolo es una variante más que ofrecen los métodos de resistividad geoelectrica, el cual consiste en emplear los mismos componentes mencionados anteriormente, como por ejemplo dos electrodos de corriente, dos electrodos de potencial y la unidad resistiva. Este tipo de arreglo consiste en ubicar los electrodos de corriente (A y B) separados de los

electrodos de potencial (M y N), por lo tanto la distancia entre A y B se mantiene constante al igual que entre M y N; la distancia que va aumentando la llamaremos “a” y es la que va separando de una manera gradual los electrodos de corriente de los electrodos de potencial como se muestra en la Figura 2.9.

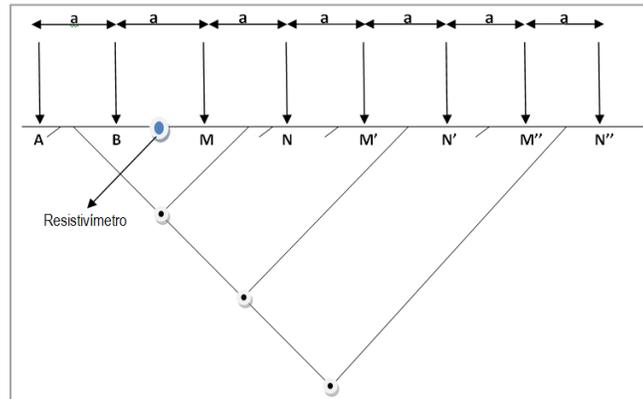


Figura 2.9. Arreglo Dipolo-Dipolo.

### 2.10.2 Método Wenner

El arreglo Wenner consiste en la misma aplicación y principios de los SEV, pero la variante en esta metodología es el tipo de separación que existe entre sus electrodos AB, BM y MN ya que ésta distancia varía por un factor al que denominaremos “a” manteniéndola constante durante toda la medición. La constante geométrica al utilizar el arreglo Wenner se calcula de la siguiente forma:  $K = 2\pi n$  (ecuación 2.9)

a = Separación entre los electrodos AB, BM y MN

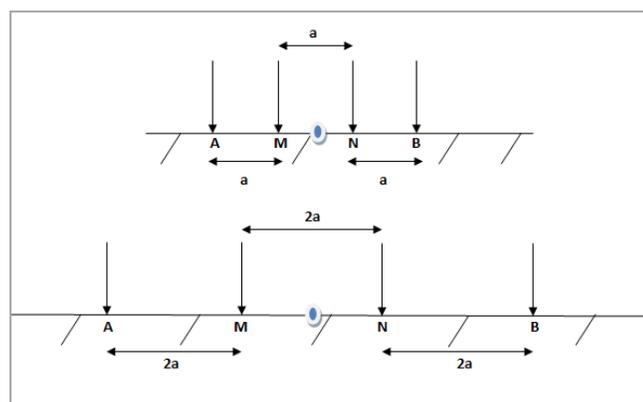


Figura 2.10. Arreglo Wenner.

En la Figura 2.10 podemos observar como la distancia “a” se va manteniendo constante entre los electrodos AM, MN y NB por cada medición.

Como en todo arreglo utilizando los SEV, siempre se tendrán que hacer uso de cuatro electrodos, dos de potencial y dos de corriente, dos pares de cables, agua con sal y la unidad resistiva para la inyección de la corriente y la recepción de los datos de resistividad aparente del sitio de exploración. Una desventaja que posee el método Wenner es que a la hora de realizar el levantamiento, todos los electrodos tienen que modificarse por cada medida, por lo que se necesitará un mayor tiempo desarrollar este método.

### **2.10.3 Método Schlumberger**

El método geofísico empleado para la obtención de la resistividad de los materiales del subsuelo es el eléctrico, en su modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), con arreglo Schlumberger, para lo cual se utilizan 4 electrodos de acero inoxidable, 2 electrodos de corriente A y B, que son los que transmiten la corriente eléctrica al terreno y el otro par son los electrodos denominados de potencial M y N, los cuales detectan la diferencia de potencial que surge al transmitirse la corriente eléctrica, y conectados al aparato, se procesan los datos presentando los valores de resistividad aparente, los cuales a su vez multiplicados por una constante de proporcionalidad de acuerdo al arreglo y espaciamiento utilizado, se grafican en papel doble logarítmico obteniendo una curva de resistividad en función de la profundidad de exploración.

Una vez obtenida esta gráfica, se procesaron en nuestro caso los datos en la computadora utilizando el programa denominado "DCINV", en el cual hace una serie de iteraciones para estimar el modelo de capas iniciales, el cual se ajusta a la curva establecida para llegar a un modelo de capas final, por el método de inversión.

Al obtener este modelo de capas para cada SEV, se realiza una correlación entre éstos para construir las secciones geoelectricas, mismas que nos darán un panorama general de la estratigrafía del subsuelo.

Este arreglo, indicado en la Figura 2.11, no es aplicable en terrenos con excesiva pendiente, ni en terrenos cercanos a torres o plantas de energía eléctrica, ya que los datos obtenidos pueden llegar a tener un gran margen de error sobre el área de estudio. La mayor ventaja que presenta este método es que al inyectar la corriente al subsuelo, se tiene mayor información de las

variaciones verticales de las capas subterráneas en cuanto a las resistividades aparentes que se puedan presentar.

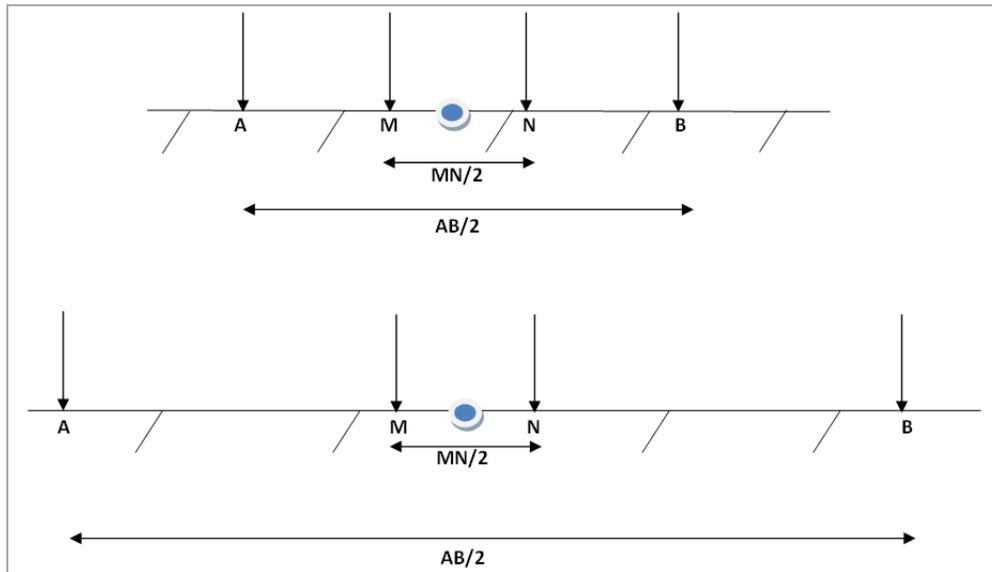


Figura 2.11. Arreglo Schlumberger.

En la Figura 2.11 podemos observar cómo se incrementa la distancia “AB/2” entre A y B (electrodos de corriente), ya que al tener mayor distancia para inyectar corriente nos podemos introducir más en las capas del subsuelo proporcionándonos así mayor información acerca de las características litológicas de la zona. Por otro lado se hace una comprobación de los datos que se van obteniendo, esto mediante un empalme que se realiza a cierta distancia de la medición. Este empalme consiste en aumentar la distancia entre MN/2, éste dato obtenido tiene que ser relativamente parecido al de la medición anterior en la que no se aplicó el empalme.

## 2.11 Hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica se encarga de estudiar el origen y la evolución de la composición del agua subterránea que se almacena y fluye por las unidades hidrogeológicas, es una herramienta que aporta valiosa información sobre el origen y los procesos físico – químicos que la afectan.

Durante la etapa de muestreo de aguas, se miden en campo los parámetros como: temperatura, potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y alcalinidad de bicarbonato por medio de una sonda multiparámetros, y en laboratorio, se miden las concentraciones de aniones y cationes mayoritarios.

### Características físicas

- a) Temperatura (influencia térmica).
- b) Conductividad eléctrica.
- c) Total de sólidos disueltos (TDS).

### Características químicas

- d) Potencial de Hidrogeno (pH) (condición ácida o básica).
- e) Alcalinidad (determina el contenido de carbonatos).
- f) Oxígeno Disuelto (OD) (condición óxica o anóxica).

## 2.11.1 Iones Fundamentales

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 casi la totalidad de los iones disueltos; estos son conocidos como iones fundamentales o iones mayoritarios. La Tabla 2.8 presenta los iones que están dentro de esta categoría.

Tabla 2.8. Lista de iones mayoritarios en aguas subterráneas.

ANIONES		CATIONES	
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	Sodio	Na <sup>+</sup>
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Calcio	Ca <sup>++</sup>
Bicarbonato	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Magnesio	Mg <sup>++</sup>

Fuente: (Custodio, 2001)

Es frecuente que los aniones nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y carbonato (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>) y el catión potasio (K<sup>+</sup>) se consideran dentro del grupo de los iones fundamentales aun cuando su proporción generalmente es pequeña (Custodio, 2001). Entre los gases deben considerarse como fundamentales el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y el oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>).

Entre las sustancias disueltas poco ionizadas o en estado coloidal son importantes los ácidos y aniones derivados de la sílice (SiO<sub>2</sub>). El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que los anteriores y se llaman iones menores a aquellos que se encuentran habitualmente formando menos del 1% del contenido iónico total y elementos traza a aquellos que aunque presentes están por lo general en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales.

Los iones menores más importantes son, además de los iones ya citados  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Fe}^{++}$ , el  $\text{F}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Sr}^{++}$ . Suelen estar concentrados entre 0.01 y 10 ppm. En concentraciones entre 0.0001 y 0.1 ppm, suelen estar los iones menores siguientes:

Aniones:  $\text{Br}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{BO}_3\text{H}_2^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{I}^-$ , etc.

Cationes:  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{+++}$ , etc.

### **2.11.2 Composición física del agua**

El agua subterránea presenta propiedades físicas entre las que se mencionan el color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, y estas propiedades pueden variar en el espacio y en el tiempo:

#### **✓ Temperatura.**

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto.

A efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutra" de temperatura constante por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. Por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradiente geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que en áreas continentales, se considera normal cuando es de  $3^\circ\text{C}/100\text{ m}$ . La distribución espacial de temperaturas en un acuífero depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga, etc. En cualquier caso, la temperatura de las aguas subterráneas es muy poco variable. Sin embargo, éste es un parámetro importante en lo que se refiere al control del quimismo de las aguas, en particular cuando entre áreas diferentes del acuífero existen notables diferencias de temperatura que pueden influir en la solubilidad de determinadas sustancias. Una de varias clasificaciones de las aguas, de acuerdo a su termalismo, es: aguas frías ( $<20^\circ\text{C}$ ), hipotermas ( $20\text{-}35^\circ\text{C}$ ), mesotermas ( $35\text{-}45^\circ\text{C}$ ) e hipertermas ( $> 45^\circ\text{C}$ ) (Armijo y San Martín, 1994).

#### **✓ Conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos.**

Como consecuencia de su contenido iónico. El agua se hace conductora de la electricidad y a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad (C) o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. La unidad de

medida de conductividad es el  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (microsiemens/cm) o  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  (micromho/cm), ambas equivalentes. La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad. Para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en  $1^\circ\text{C}$  se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad.

Relacionado con esto, está el total de sólidos disueltos (TSD) que mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles. Aunque residuo seco y total de sólidos disueltos suelen tomarse como sinónimos no son exactamente equivalentes debido a los procesos de deshidratación pérdida de  $\text{CO}_2$  etc., que se producen al calentar el agua, hasta  $110^\circ\text{C}$ , por lo general para determinar el residuo seco.

Diversos factores (tipo de ión, grado de disociación, movilidad iónica, etc.) determinan que no exista una relación estrecha entre conductividad y TSD. En todo caso, se han propuesto diferentes relaciones de proporcionalidad entre estos parámetros. Así  $\text{TSD} = \text{Conductividad} \times A$ , en el que  $A$  varía entre 0.54 y 0.96: Los TSD se expresan en  $\text{mg}/\text{l}$  y los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente, Valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en Salmueras pueden alcanzarse valores de 100,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### ✓ **Potencial de Hidrógeno o pH.**

Mide la acidez del agua. Es el logaritmo negativo base diez de la concentración de iones hidronio. Las moléculas de agua se disocian parcialmente según:

$\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$  reacción para la que se cumple que siendo  $K$  una constante que depende de la temperatura y 11 actividades o fracciones molares que realmente intervienen en la reacción. Ya que  $[\text{H}^+]$  y  $[\text{OH}^-]$  son muy pequeñas en relación con  $[\text{H}_2\text{O}]$  puede tomarse  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] = K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14}$  a 25 grados centígrados.

El pH aumenta con el aumento de temperatura hasta en un 8% por cada grado de temperatura. El pH de las aguas superficiales oscila entre 5.5. y 8.5, y el de las aguas subterráneas oscila entre 6.5 y 8.5, como se indicada en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Valores Típicos de pH.

Tipo de Agua, según pH	Valor de pH	Equivalencia en la naturaleza
Muy acida	pH 4 o menos	jugos gástricos (2,0); limón (2,3); vinagre (2,9); refrescos (3,0); vino (3,5); naranja (3,5); tomate (4,2)
Moderadamente ácida	pH 5 a 6	lluvia ácida (5,5)
Ligeramente ácida	pH 6 a 7	leche de vaca (6,4)
Neutra	pH 7	saliva en reposo (6,6); agua pura (7,0); saliva al comer (7,2); sangre humana (7,4)
Ligeramente alcalina	pH 7 a 8	huevos frescos (7,8); agua de mar (8,0); solución bicarbonato sódico (8,4)
Moderadamente alcalina	pH 8 a 9	Dentífrico (9,5)
Muy alcalina	pH 10 o más	leche de magnesia (10,5); amoníaco casero (11,5)

Fuente: “La escala de pH y fuerzas de los ácidos y bases” (J. Gutiérrez, 2003).

✓ **Dureza (D).**

Esta indica la cantidad de iones de calcio ( $\text{Ca}_2^+$ ) y magnesio ( $\text{Mg}_2^+$ ) presentes en el agua, los cuales precipitan al aumentar la temperatura. Para su cálculo, se emplea la metodología por cálculo de Calcio y Magnesio, que consiste en la suma de los Miliequivalente mol para concentraciones de los anteriores cationes (meqCa y meqMg) cuantificados en el laboratorio (C.A.J. Appelo, D. Postma, 2006), expresado como carbonato de calcio.

En la Tabla 2.10 se presenta a continuación dos formas de clasificación de acuerdo a la dureza, una por Custodio y Llamas 1976 y Pérez 1997.

Tabla 2. 10. Clasificación por Dureza de acuerdo a Custodio-Llamas y Perez.

Tipo de agua	mg/l como $\text{CaCO}_3$	Tipo de agua	mg/l como $\text{CaCO}_3$
Agua Blanda	0-60	Agua Blanda	<100
Agua moderadamente dura	61-120	Agua medianamente dura	100-200
Agua Dura	121-250	Agua Dura	200-300
Agua Muy dura	>250		

Fuente: Custodio y Llamas 1976; Pérez 1997.

Tabla 2. 11 Clasificación de la Salinidad del Agua.

Clasificación	TDS (mg/l)
Agua Dulce	0 - 1,000
Agua Salobre	1,000 - 10,000
Agua Salina	10,000 - 100,000
Salmuera	> 100,000

Fuente: Freeze and Cherry 1979

## 2.12 Composición química del agua subterránea

Los compuestos químicos típicamente presentes en aguas subterráneas que no presentan una actividad hidrotermal, son los que se presentan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Principales compuestos químicos del agua subterránea continental.

Compuesto	Característica	Aguas subterráneas	Origen Natural	Origen antropogénico
Ión cloruro (Cl <sup>-</sup> )	Sal muy soluble, no se oxida ni reduce en aguas naturales. Más de 300 ppm dan gusto salado al agua.	De 10 a 250 ppm en aguas continentales, y de 18,000 a 21,000 ppm en agua de mar.	Agua lluvia, Meteorización de evaporitas: silvitas, halitas, carnalita e Intercambio iónico	Efluentes provenientes de zonas urbanas
Ión sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	De moderado a muy solubles	De 2 a 150 ppm en aguas continentales y hasta 3,000 ppm en el agua de mar.	Meteorización de evaporitas: Anhidrita, yeso (rocas sulfatadas)	Fertilizantes, oxidación de sulfuros
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Forma soluciones tampón	0 a 350 ppm	Meteorización rocas bicarbonatadas: calizas, calcitas, magnesitas, dolomitas, materia orgánica	Descargas de aguas empleadas en fabricación de cementos, cal y conglomerados
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	Presente en concentraciones mucho menores que el ión bicarbonato.	Variado	Meteorización rocas bicarbonatadas	Descargas de aguas empleadas en fabricación de cementos, cal y conglomerados
Ión nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Muy soluble	0.1 a 15 ppm y hasta valores de 200 y 1000 ppm.	Meteorización de algunas rocas ígneas (salitre)	Arrastre fertilizantes por escorrentía, oxidación de orina y deforestación.
Sílice o silicio (SiO <sub>2</sub> )	Presente como H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> y una pequeña parte está ionizada (H <sub>3</sub> -SiO <sub>4</sub> ) a pH normales	1 a 40 ppm	Meteorización de silicatos	Residuos industriales

Compuesto	Característica	Aguas subterráneas	Origen Natural	Origen antropogénico
Ión sodio (Na <sup>+</sup> )	Muy alta solubilidad	1 a 150 ppm en aguas continentales, agua de mar 10,000 ppm.	Meteorización de feldespatos, halitas, yeso, silicatos, zeolitas y arcillas (intercambio iónico)	Efluentes provenientes de zonas urbanas
Ión potasio (K <sup>+</sup> )	Muy soluble	0.1 a 10 ppm y 400 ppm en agua de mar.	Meteorización de evaporitas, feldespato potásico y mica.	Fertilizantes
Ión calcio (Ca <sup>2+</sup> )	Soluble	2 a 200 ppm y cercano a 400 ppm en agua de mar.	Caliza, Dolomita, aluminosilicatos, cálcica, yeso, feldespatos entre otros.	Fertilizantes
Ión magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	Soluble	1 a 50 ppm y cerca de 1,200 ppm en agua de mar.	Dolomita, magnesita, olivino, mica y otros.	Fertilizantes
Nitrógeno total (N <sub>TOTAL</sub> )	Indicador de contaminación	<1 ppm	Materia orgánica	Fertilizantes

Fuente: Borón, A; Plata, B, 1999.

### 2.12.1 Validación de resultados de pruebas químicas

Es necesario determinar si las mediciones de aniones y cationes mayoritarios se encuentran balanceadas, y que se han considerado los principales iones presentes. Se debe evaluar el balance iónico del agua a través de la ecuación de electroneutralidad.

El balance es el cociente de la diferencia de cationes menos los aniones, entre la suma de ambos expresados en miliequivalentes (Fetter, 2001).

$$error(\%) = 100 \times \frac{\sum z \cdot m_c - \sum z \cdot m_a}{\sum z \cdot m_c + \sum z \cdot m_a} \quad (\text{ecuación 2.10})$$

Dónde: z = carga del ión

m<sub>c</sub>= molalidad del catión, y m<sub>a</sub>= molalidad del anión

El error de un análisis químico depende de la conductividad eléctrica (CE) medida en el campo, de acuerdo a la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Error admisible de balance iónico en función de la conductividad.

Conductividad (μS/cm)	Error admisible %
50	30
200	10
500	8
2000	4
>2000	4

Fuente: (Custodio, 2001)

### 2.12.2 Iones Dominantes:

Aniones y Sustancias Aniónicas: Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) y Carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ): El  $\text{CO}_2$ , disuelto en agua procede fundamentalmente de la zona edáfica (respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica) en la que alcanza presiones parciales del orden de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  bar. (0.0003 bar en la atmósfera exterior).

La disolución de calizas y dolomías potenciada por el aporte de  $\text{CO}_2$  y/o ácidos orgánicos o inorgánicos es otra de las fuentes principales de carbonatos y bicarbonatos. Aunque con velocidades de incorporación al agua mucho menores, la hidrólisis de silicatos es otro de los mecanismos que da lugar a la formación de estos iones.

En aguas con pH inferior a 8.3 -la mayoría de las aguas subterráneas naturales- la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato, En estas aguas la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  suele variar entre 50 y 400 mg/l aunque puede alcanzar valores de hasta 800 mg/l. Concentraciones de hasta 1 000 mg/l de  $\text{HCO}_3^-$  pueden encontrarse en aguas pobres en Ca y Mg o en las que se producen fenómenos de liberación de  $\text{CO}_2$  (P.e. reducción de sulfatos) en el acuífero.

### 2.12.3 Clasificación de las aguas

#### ✓ Diagrama Piper:

Es un diagrama triangular compuesto que se presenta en la Figura 2.12, que está constituido por dos triángulos equiláteros en los que se representa, respectivamente, la composición aniónica y catiónica del agua de que se trate, y un campo central romboidal en que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes. Es necesario reducir las concentraciones de los iones expresadas en miliequivalentes/litro a %, y sólo se pueden reunir en cada triángulo tres aniones y/o tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión. Como aniones se suelen representar:  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ , como cationes:  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

A cada composición aniónica o catiónica le corresponde un punto en cada triángulo. Para obtenerlo basta trazar por el punto que representa el porcentaje de cada ión, una

paralela al lado opuesto al vértice que representa el 100% de dicho ión. En la Figura 2.12, a manera de ejemplo, se representa el caso de una muestras de agua con 31% de  $\text{Ca}^{++}$ , 41% de Mg y 28% de  $\text{Na}^+$  (punto B), y 49%  $\text{Cl}^-$ , 9%  $\text{SO}_4^{=}$ , y 42% de  $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3$  (punto B). La intersección de dos paralelas a los extremos exteriores del campo romboidal por estos puntos B, determinan en el rombo, el punto B representativo de la composición iónica global del agua.

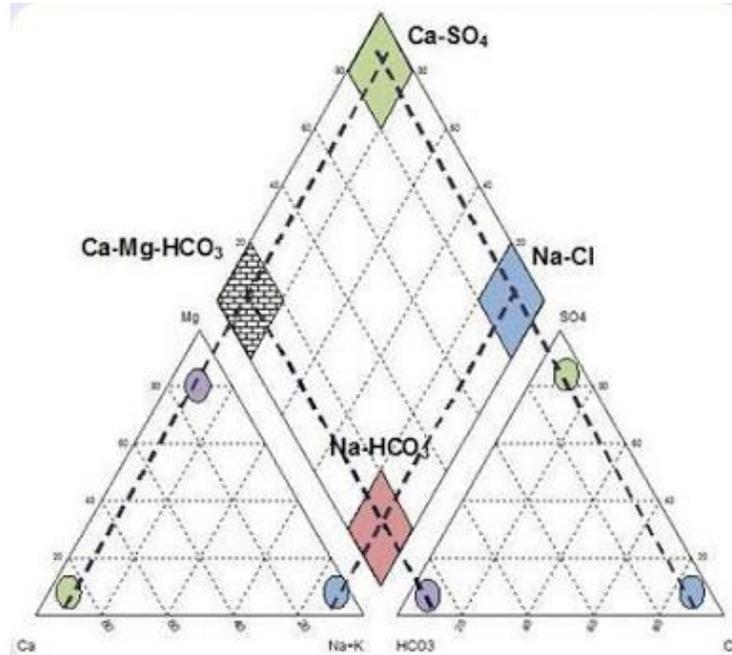


Figura 2.12. Ejemplo de construcción de diagrama Piper.

### 2.13 Acuíferos Costeros

Los acuíferos costeros se pueden definir como aquella formación geológica capaz de almacenar agua y transmitirla, es decir que puede moverse a través del mismo, pero con la característica particular de que está conectado hidráulicamente con el mar, y en la mayoría de casos algunos de sus límites puede estar a su vez relacionado hidráulicamente con otros acuíferos del interior. Cuando observamos los acuíferos costeros, podemos suponer que forma el último eslabón en el ciclo natural del agua, en su variante subterránea, puesto que recibe agua de otros acuíferos, de aguas superficiales o de lluvia directamente, para devolverla finalmente al mar, el contacto agua dulce y agua salada en régimen natural, tiene una superficie convexa hacia el mar, con el agua dulce por encima, al ser menos densa. (Véase Figura 2.13).

Considerando la naturaleza de estas formaciones puede hacerse una primera clasificación básica de acuíferos costeros en dos tipos principales: detríticos carbonatados. Hay otro tipo de acuíferos menos frecuente, constituido por plataformas volcánicas, consistentes en rocas efusivas porosas y permeables con una morfología sensiblemente llana.

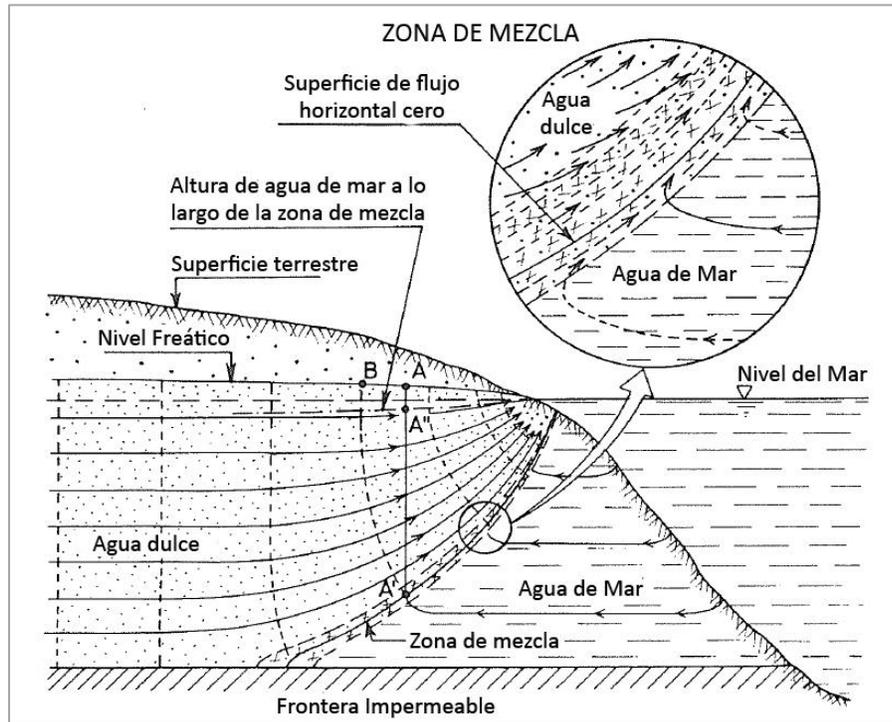


Figura 2.13. Esquematación del contacto agua dulce -agua salada en acuífero costero.  
Fuente: Saline Intrusion, Custodio 1985.

Entre los acuíferos detríticos costeros en su morfología, podemos encontrar lo siguiente: deltas, aluviales costeros, llanuras costeras y piedemontes costeros (Custodio, 1981). Todos ellos normalmente están formados principalmente por capas alternantes de gravas, arenas, limos y arcillas, con diferente geometría y continuidad espacial.

Un modelo hidrogeológico habitual en los deltas aluviales costeros consiste en la posibilidad de distinción de dos conjuntos acuíferos, uno superior libre y otro inferior confinado, separados por un paquete arcilloso de media o baja permeabilidad. El espesor de esta capa arcillosa normalmente disminuye hacia los bordes de la cuenca llegando a desaparecer, lo que origina el contacto entre ambas formaciones acuíferas.

Por su parte las llanuras detríticas costeras suelen dar lugar a acuíferos multicapa, libres y/o semiconfinados que yacen, bien sobre materiales de baja permeabilidad que aíslan hidráulicamente el conjunto superior, o bien sobre otras formaciones acuíferas más competentes (acuíferos carbonatados) de las que reciben un aporte de recursos. Éstas a menudo afloran hacia el interior a modo de orla montañosa que limita la llanura y pueden continuar por debajo de la formación detrítica hasta entrar en contacto directo con el mar. (Gómez-Gómez et al. 2003; Benavente y Calvache, 1981; Calvache y Pulido, 1996).

## 2.14 Salinización de acuíferos

### Antecedentes generales sobre salinización:

El contenido de sólidos disueltos en las aguas subterráneas varía mucho de un lugar a otro, tanto en términos de constituyentes específicos, como halita, anhidrita, carbonatos, yeso, sales de fluoruro, y sales de sulfato, y sobre el nivel de concentración.

La salinidad es un conveniente macro-parámetro para una primera caracterización general de la calidad del agua y se expresa generalmente como Sólidos Totales Disueltos (TDS), en unidades de miligramos de sólidos disueltos por litro de agua, pero el uso de otras medidas, como el contenido en cloruros (mg/l) o la conductividad eléctrica (CE, S / cm) es muy generalizada.

La clasificación presentada por Freeze y Cherry (1979) se basa en niveles de TDS y que se presenta en la Tabla 2.14:

Tabla 2. 14. Clasificación de la salinidad del agua.

Nombre de clase	Límites de la Clase (rango TDS mg/l o ppm)	Límites de la Clase (rango CE $\mu$ S/cm)
El agua dulce	0 – 1,000	0 – 700
El agua salobre	1,000 – 10,000	700 – 7,000
El agua salina	10,000 – 100,000	7,000 – 70,000
Salmuera	> 100,000	> 70,000

Fuente: (Freeze y Cherry, 1979)

Cuando los niveles de salinidad se expresan en términos del total de sólidos disueltos (TDS mg/l o ppm).

### 2.14.1 Procesos de salinización

Por su origen, las aguas subterráneas salinas pueden pertenecer a una de las categorías siguientes:

- A. Aguas subterráneas salinas de origen marino
- B. Aguas subterráneas salinas de origen terrestre (natural)
- C. Aguas subterráneas salinas de origen terrestre (antropogénicas)
- D. Aguas subterráneas salinas de origen mixto.

De acuerdo a la clasificación del agua salina por su origen que se presenta en la Tabla 2.15, se tiene:

Tabla 2.15. Categorías genéticas de aguas subterráneas salinas.

Clase principal de origen	categoría de origen genético de la salinización	mecanismo típico a la hora de origen
A) origen marino	A1. Formaciones sedimentarias de origen marino (congénita) de zonas costeras.	Zonas costeras
	A2. Intrusión por la transgresión marina de las zonas costeras.	Zonas costeras
	A3. Intrusión por las inundaciones incidental reciente del mar en la zona costera.	Zonas costeras
	A4. Agua de mar lateralmente intruida en zonas costeras.	Zonas costeras
	A5. Intrusión de agua de mar por rocío en zonas Costeras	Zonas costeras
	A6. Mezcla de A2 (transgresión marina) y A3 (inundación reciente incidental por mar)	Zonas costeras
	A7. A6. Mezcla de A1 (agua congénita), A2 (transgresión marina) y A3 (reciente inundaciones incidental por mar)	Zonas costeras
B) origen terrestre -natural	B1. Producida por evaporación(concentración)	Poca profundidad de la capa freática en zonas de climas áridos
	B2. Producida por disolución de sales del subsuelo	Las zonas de tectónica salina o halita regional o de otro tipo de formaciones solubles
	B3. Producida por membrana de sal de efecto de filtrado	En lo profundo de espesor sedimentario cubetas que contienen capas semipermeables
	B4. Agua emanada de la actividad ígnea	Regiones de actividad ígnea

Clase principal de origen	categoría de origen genético de la salinización	mecanismo típico a la hora de origen
	B5. Mezcla de B1 (evaporación) y B2 (disolución)	Poca profundidad de la capa freática en zonas áridas climas y acuíferos que contienen formaciones solubles.
C) Origen terrestre-antropogénico	C1. Entrada Producido por riego (de agua residual concentrada)	Las zonas áridas y semiáridas; poca profundidad.
	C2. Aguas subterráneas contaminadas por factores antropogénicas	En cualquier lugar en la tierra, en particular en las modernas sociedades de consumo
D) origen mixto	D) Agua subterránea salina producida por la mezcla un A-, B-y C-clase mineralizado las aguas subterráneas con agua fresca o con otro tipo de agua subterránea salina.	En cualquier lugar en la tierra; hidráulico gradientes de facilitar la mezcla procesos

Fuente: (van Weert, F. et al., 2009).

## A. Agua subterránea salina de origen marino

**A.1 Agua salina subterránea congénita:** Esto es típico de las formaciones sedimentarias de origen marino: agua de mar fue depositado junto con la matriz de la roca y todavía está presente en los intersticios, a menos que se haya eliminado después. Bajo condiciones de contorno naturales, la migración de agua salina congénita tiende a ser extremadamente lento.

**A.2 Agua subterránea salina procedente de transgresiones marinas:** A lo largo de la historia geológica, el nivel del mar tiende a cambiar con el tiempo. Por consiguiente, es común que las tierras bajas costeras se inunden por el mar durante períodos transgresión marina. Durante el período de transgresión, agua de mar fluye hacia abajo debido a las diferencias de densidad y pudo haber convertido originalmente frescos acuíferos costeros en los depósitos de aguas subterráneas salinas. Este proceso es relativamente rápido. Dentro de cientos de años, los acuíferos de cientos de metros de espesor pueden resultar salinos debido a este proceso.

**A.3 Agua subterránea salina procedente de inundación accidental del agua de mar:** Un mecanismo similar de salinización puede ocurrir en una base de tiempo mucho menor. Cuando los niveles del mar son excepcionalmente altos, por ejemplo durante un tsunami, o cuando los sistemas de defensa costeras fallan durante las mareas altas, las bajas llanuras costeras pueden llegar a ser regularmente inundadas por agua de mar,

aunque el período de inundación es mucho menor que en el caso de una transgresión marina, grandes extensiones de acuíferos costeros, sin embargo puede llegar a ser salinizadas debido a la infiltración de agua de mar estancada en la superficie de la tierra. El efecto es de partículas y en su mayoría se limitan a los primeros metros (poco profundas) en el dominio de estos acuíferos. Sumersión temporal de cabezales de pozos sin protección durante las inundaciones puede conducir a la introducción de agua salina a profundidades de grandes acuíferos a través de las rejillas de los pozos.

**A.4 Agua subterránea proveniente de agua de mar lateralmente intruida:** Esta génesis se produce en las zonas costeras debido a la interacción entre las aguas marinas hidráulicamente conectadas a acuíferos costeros. En un equilibrio dinámico, esto resulta en una superposición de una fina capa de agua dulce sobre una cuña de agua salada proveniente del mar (Bear et al., 1999). La intrusión marina lateral en zonas costeras puede ser potenciada por las masas de agua superficiales conectadas con el mar, tales como estuarios y ríos (aumentando en gran medida la longitud de línea de costa), permiten viajar hacia el interior el agua de mar a través de estos cuerpos. Cuando los recursos de aguas subterráneas poco profundas frescas se abstraen para uso humano y productivo, y cambios de uso del suelo disminuyen la reposición del agua subterránea poco profunda de la carga de agua dulce subterránea disminuye. Esto puede causar arriba conificación de agua subterránea más profunda a menudo más salina y un movimiento hacia el interior de la interfase de agua subterránea fresca y salina. También la disminución de la descarga de los estuarios o ríos debido a la extracción del agua aguas arriba, puede aumentar la intrusión de agua de mar. Esta intrusión antropogénico inducida puede ser un proceso relativamente rápido en función de los cambios de presiones hidráulicas y la transmisividad de los acuíferos costeros.

**A.5 Aguas subterráneas con el contenido mineral enriquecido por el efecto del rocío marino:** El aire bajo en las zonas costeras puede ser rico en partículas de sal, proveniente del mar. Estas partículas de sal serán absorbida por las lluvias y ser incorporados en el agua subterránea por la recarga, así contribuyendo a la salinización de las aguas subterráneas.

## **B. Agua subterránea salina de origen terrestre natural**

**B.1 Agua subterránea enriquecida en contenido mineral por evaporación cerca de la superficie de la tierra:** La salinidad del agua subterránea puede estar vinculada a las condiciones de poca profundidad del nivel freático, y se desarrolla cuando las condiciones climáticas favorecen la evaporación (o evapotranspiración a través de la vegetación freatofitas) mientras que el lavado de sales acumuladas está ausente o es despreciable (Yechieli y Wood, 2002). Tales condiciones prevalecen sobre los denominados salares o salinas, donde a menudo, una costra de sal se forma en el fondo del lago durante los períodos secos.

**B.2 Agua subterránea enriquecida con contenido mineral por disolución natural de minerales solubles:** Las aguas subterráneas pueden convertirse en salinas por la disolución de sales contenidas en formaciones donde se evaporaron aguas que contenían sales como halita y carbonatos, cuando fluyen a través de estratos subterráneos, incluidos acuíferos "ordinarios" (de las cuales sólo una fracción limitada consiste en materiales fácilmente solubles).

**B.3 Agua subterránea salina como resultado del efecto de membrana:** Las capas de arcilla o pizarra compactadas en basamentos sedimentarios se pueden convertir en eficaces filtros de membrana para las sales. El agua subterránea se filtra a través de dichas capas, pero los iones disueltos más grandes no pueden pasar, lo que conduce a altos niveles de salinidad del agua subterránea (incluso salmueras) cerca del lado de entrada de la membrana. Este proceso de fraccionamiento a menudo produce salmueras constituidas por calcio y cloruros (Hem, 1970). El proceso es llamado filtrado de sal, ultrafiltración o hiper-filtración.

**B.4 Agua subterránea salina de origen geotérmico:** También se encuentra aguas altamente mineralizadas como subproducto de la actividad ígnea. Aguas subterráneas a altas temperaturas y presión tienen una gran capacidad de disolución, y puede ser enriquecida por sales en sistemas hidrotermales que incluso podrían ser con aguas marinas.

## **C. Agua subterránea salina de origen terrestre - antropogénico**

**C.1 Las aguas subterráneas en el contenido mineral enriquecido por el riego:** El riego consiste en aumentar el agua necesaria para la óptima evapotranspiración de los cultivos. El vapor de agua producido por los cultivos durante este proceso es casi sin sólidos disueltos, por lo tanto mucho menos mineralizado que el agua para riego que se utilizó. El Riego en gran escala también puede provocar capas freáticas de poca profundidad y aumentar la evaporación dejando agua relativamente mineralizada en el suelo y desde allí percolarse y llegar al acuífero y contribuir a un aumento progresivo en la salinidad del agua subterránea.

**C.2 Aguas subterráneas con contenido mineral enriquecido por la contaminación antropogénico:** Contaminantes de origen antropogénico pueden entrar al sistema de agua subterránea y contribuir al aumento de la salinidad, por ejemplo la aplicación de sal en calles en épocas invernales, fertilizantes en campos agrícolas, efluentes domésticos, industriales y de ganadería, entre otros.

**C.3 Agua subterránea salina de origen mixto:** Esta categoría se refiere a las mezclas entre los diferentes tipos de agua salina como los descritos anteriormente, o al agua resultante de una o más de estas categorías mezclados con agua dulce subterránea. Zonas de transición entre las cuñas de aguas subterráneas salinas y los cuerpos de agua dulce subterránea, son un ejemplo típico.

En algunas regiones, los orígenes de salinidad de las aguas subterráneas aparecen simultáneamente, siendo el caso en zonas bajas costeras y zonas de los deltas, la salinidad del agua subterránea es a menudo causada por pasadas transgresiones marinas y recientes inundaciones accidentales. En algunos casos, también el agua subterránea de formaciones sedimentarias de origen marino se suma a la totalidad de la salinidad del agua subterránea.

#### **2.14.2 Dinámica de las aguas salinas subterráneas**

La distribución geográfica de las aguas subterráneas dulces, salobres y salinas es susceptible a cambiar en el tiempo y la mayoría se llevan a cabo en escala de tiempo geológico y otros, por su parte, pueden realizarse más rápidamente.

La formación de solución salina de las aguas subterráneas y la migración y / o mezcla de estas aguas subterráneas se ponen en movimiento por procesos naturales tales como los procesos geológicos, meteorológicos, cambio climático, los tsunamis, los terremotos, la consolidación de los sedimentos compresibles, así como también por factores antropogénicas, como el drenaje, riego, bombeo de agua subterránea, deposición de residuos o aguas residuales.

#### **2.14.3 Procesos naturales de salinización del agua subterránea**

- Deposición de sedimentos marinos: Durante este proceso geológico, agua de mar llena los huecos de los sedimentos (agua congénita). A menudo se mantiene atrapado dentro de la matriz sedimentaria por largo período, aunque el medio marino se haya retirado.
- Variaciones del nivel del mar: El aumento del nivel del mar puede provocar la inundación de las tierras costeras con agua marina, ya sea durante un largo período (transgresiones marinas) o corto período (tormentas, inundaciones, tsunamis). Además, tienden a aumentar la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros que son conectados hidráulicamente con el mar. La reducción de los niveles del mar, como las que prevalecen a escala mundial durante el Pleistoceno, crea las condiciones para la intensificación de lavado de agua subterránea salina costera y para un mayor desarrollo de los circuitos cársticos costeros.
- Los procesos meteorológicos y el ciclo hidrológico: En una escala mundial, la evaporación contribuye de manera constante a la formación de agua salobre y salina. La precipitación, por otra parte, tiende a tener un efecto opuesto y activa las partes del ciclo hidrológico que puede limpiar y refrescar los cuerpos de aguas subterráneas.
- Cambio climático: Este fenómeno tiene un impacto más directo mediante la modificación meteorológica y un impacto indirecto por el cambio en el nivel del mar y si este aumenta, se intensifica la intrusión salina y particularmente en las zonas de menos lluvias. Los niveles de salinidad de las aguas subterráneas puede aumentar también por el aumento de la mineralización de agua de recarga, por la intensificación de la evaporación.

#### **2.14.4 Procesos antropogénico de la salinización del agua subterránea**

- La protección del litoral, la recuperación de tierras y drenaje. Estas actividades humanas tienen un fuerte impacto en las condiciones hidrológicas locales y regionales. Por un lado, se

puede reducir la intrusión de agua de mar en los acuíferos. Sin embargo, si el desagüe o drenaje de tierras da como resultado que los niveles de agua subterránea se reduzcan, entonces esto puede cambiar el régimen de aguas subterráneas y la intrusión de agua de mar lateral se hace más intenso.

- Extracción de aguas subterráneas modifica presión hidrodinámica en el acuífero. Si el agua subterránea salina es parte del sistema de subsuelo, y esta tienden a ser movilizado por bombeo, resulta en la invasión de zonas relativamente frescas.

- El riego tiende a aumentar gradualmente los niveles de salinidad en el agua del suelo, sistemas de agua superficial y/o acuíferos. Esto es debido a que los cultivos transpiran agua casi pura, lo que significa que el riego deja un residuo de sustancias disueltas. Los efectos son más pronunciados en condiciones áridas.

### **2.15 Fenómeno de la Intrusión Salina**

La intrusión salina es un proceso natural que ocurre en las costas, donde el agua de mar penetra tierra adentro en los acuíferos costeros en proporción a la interrelación de varios factores. Estos factores incluyen la porosidad de las rocas y/o los suelos en la costa; el espesor de la capa de agua fresca en los acuíferos costeros; las mareas; y la extracción de agua fresca mediante pozos. En zonas donde las rocas en la costa son de origen volcánico de baja porosidad y pocas fracturas, o arcillas consolidadas impermeables, el agua del mar no penetra tierra adentro o lo hace en forma poco significativa. En costas donde los acuíferos son formados por rocas porosas como las calizas, o mezclas de arena y grava (aluvión), el agua de mar penetra tierra adentro en proporción al espesor de la capa de agua fresca cerca del mar. En acuíferos costaneros donde no se extrae agua subterránea en exceso a la que se infiltra o recarga a los acuíferos, la cuña de agua salobre se mantiene en un equilibrio controlado por las mareas y la porosidad de las rocas. La cuña de agua salina también penetra tierra adentro por el cauce de los ríos en valles costaneros cuando la pendiente del fondo del cauce es mínima y la boca del río está abierta al mar.

En el proceso de intrusión salina (sea natural o inducida) la cuña de agua salina penetra tierra adentro por debajo de la capa de agua fresca (dulce). Esta intrusión salina resulta en tres capas de agua en el acuífero, donde el manto freático es formado por una capa de agua fresca en

proporción al flujo hidráulico en la zona. En el fondo del acuífero se desplaza una capa de agua salina, con concentraciones de sólidos disueltos que excede 5,000 miligramos por litro (mg/L). Entre las capas de agua fresca y salina ocurre una zona de transición o difusión (interfase), pudiendo variar la salinidad verticalmente desde valores representativos de agua fresca hasta concentraciones de agua salina que se muestran en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Valores típicos de concentración de iones en aguas dulces y marinas.

Aniones	Agua Dulce	Agua de Mar
HCO <sub>3</sub> mg/l	50 - 400 mg/l con pH menor de 8.3	-
SO <sub>4</sub> mg/l	12.2	271
Cl <sup>-</sup> mg/l	Hasta 100	19,440
Ca <sup>++</sup> mg/l	10 a 250	410
Mg <sup>++</sup> mg/l	Menos de 40	1,300
Na <sup>+</sup> mg/l	Hasta 150	10,810
K <sup>+</sup> mg/l	Menos de 10	390
Bromo mg/l	-	65
Boro mg/l	-	4.6

Fuente Webber y Thurman (1991).

El avance del agua de mar tierra adentro en acuíferos donde esto ocurre obedece a las diferencias en densidad entre el agua fresca y el agua salina. El agua salina es más densa que la fresca, con una densidad de 1.025 gramos por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>) en comparación con 1.00 g/cm<sup>3</sup> para el agua fresca. Debido a su menor densidad, el agua fresca en los acuíferos costeros tiende a “flotar” sobre la capa de agua salina o salobre. La elevación del manto freático sobre el nivel del mar determina el espesor de la capa o lente de agua fresca en el acuífero. Esta relación es definida matemáticamente por el principio denominado “Ghyben-Herzberg”, por los científicos que lo determinaron.

## 2.16 Profundidad de la interfase

### 2.16.1 Fórmula de Ghyben-Herzberg<sup>1</sup>

El equilibrio hidrostático entre el agua dulce y el agua salada considerándolos cómodos fluidos inmiscibles es decir, sin mezcla, y separados por una interfaz fue estudiado en 1888 por *Badon Ghyben* y posteriormente en 1901 por *Herzberg*. El desarrollo de los postulados de *Ghyben-Herzberg* se basa en el equilibrio estático de dos columnas de agua de diferente densidad según se muestra en la Figura 2.14.

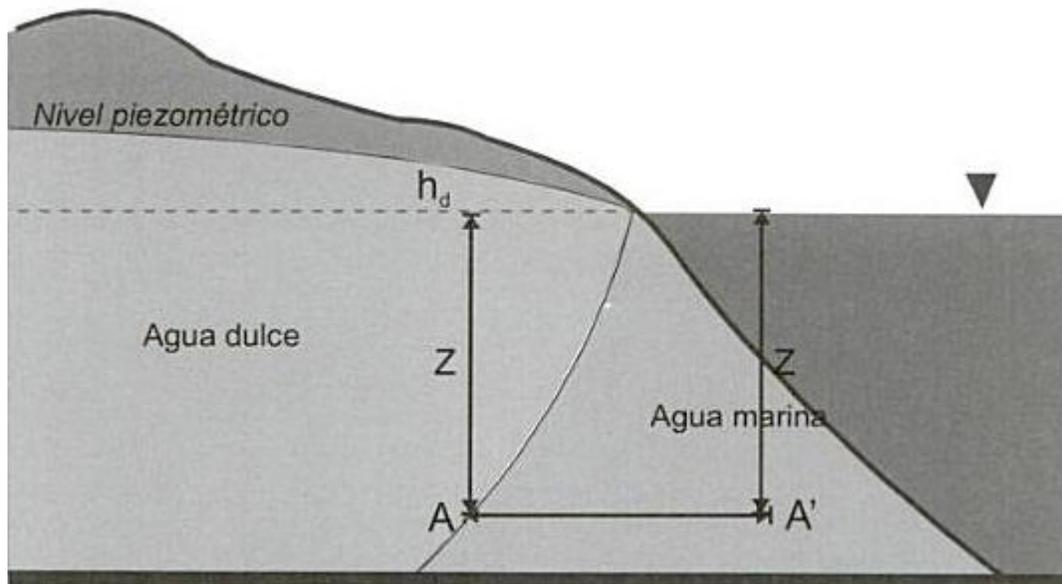


Figura 2.14. Equilibrio de agua dulce y el agua marina en una zona costera de acuerdo con los supuestos básicos de Ghyben-Herzberg (Pulido & Ballejos 2003).

El equilibrio se produce cuando  $\gamma_d(h + Z) = \gamma_s Z$  (ecuación 2.11),

Siendo:

$\gamma_d$ : Densidad del agua dulce (1,000 gr/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_s$ : Densidad del agua de mar (1,025 gr/cm<sup>3</sup>)

$h$ : Altura del nivel piezométrico sobre el nivel del mar

<sup>1</sup> Gestión y contaminación de Recursos Hídricos. Antonio Pulido Bosch, Ángela Ballejos Izquierdo. Universidad de Almería, 2003. ISBN 84-8240-662-0. Capítulo: Los acuíferos costeros y la intrusión marina. Principales aspectos hidroquímicos.

Z: profundidad de la interfaz respecto al nivel del mar

Por tanto:

$$Z = \frac{1}{0.025} hZ = 40h \quad (\text{ecuación 2.12})$$

Lo que la ecuación 2.12 indica es que por cada metro de aguadulce sobre el nivel del mar en un determinado punto, la interfase se sitúa a una profundidad de 40 m. Este valor evidentemente es aproximado y varía entre 50 y 33 para densidades del aguade mar comprendidas entre 1,020 y 1,030.

Es evidente que el tratamiento dado por Ghyben-Herzberg al problema es una idealización a continuación presentamos las simplificaciones tomadas:

- ✓ Existencia de un equilibrio hidrostático entre los fluidos
- ✓ La superficie de separación entre el agua dulce-salada es plana
- ✓ No existen gradientes verticales de carga
- ✓ No existen pérdidas de carga del agua de mar en su avance tierra adentro.

Si los dos fluidos en cuestión se encontrasen en equilibrio hidrostático no en estas condiciones, la interfase sería horizontal y por tanto el agua dulce se encontraría, en cualquier punto, flotando sobre la salada por simple diferencia de densidades.

### **2.16.2 Fórmula de Hubbert**

Hubbert considera el problema de la intrusión desde el punto de vista dinámico lo cual es una corrección al tratamiento dado por Ghyben-Herzberg. Estos suponen en su hipótesis un flujo horizontal pero sin embargo en las cercanías de la costa, debido al estrechamiento de la cuña de agua salada, se produce un notable incremento en la velocidad de ésta por lo que aparecen componentes verticales del flujo como puede observarse en la Figura 2.11. Por tanto, el incremento de la velocidad origina un aumento del gradiente en cota superior a la deducida para el flujo horizontal.

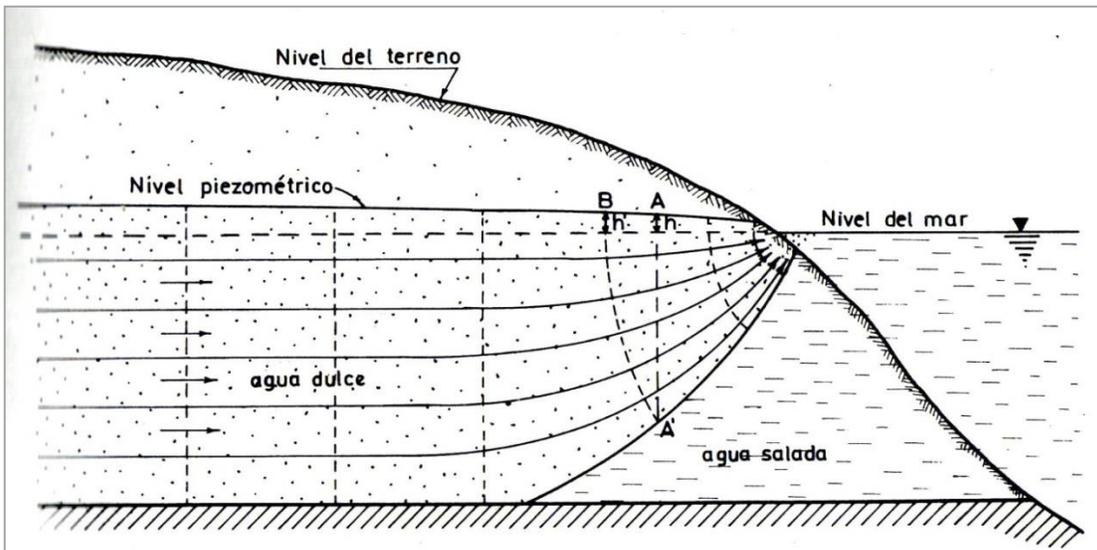


Figura 2.15. Red de flujo en un acuífero costero sin consideración de la zona de mezcla de agua. (Custodio y Llamas, 1986).

Si consideramos que tenemos dos piezómetros próximos (Véase Figura. 2.16), uno de ellos abierto en la zona de agua dulce inmediatamente por encima de la interfase, y el otro abierto en el área de agua salada por debajo de la interfase. Veremos que en el primero tiene un potencial mayor que el segundo. Con el primero lo que medimos es  $h_d$  (cota del agua dulce sobre el nivel del mar) y con el segundo  $h_s$  (cota del agua salada sobre el nivel del mar) que normalmente es negativo.

Si ahora aplicamos la ley de equilibrios tendremos la ecuación 2.13:

$$\gamma_d(h_d + Z) = \gamma_s(h_s + Z) \text{ (ecuación 2.13)}$$

Operando se obtiene la ecuación 2.14:

$$Z = \frac{\gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d} h_d - \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_d} h_s \text{ (ecuación 2.14)}$$

Siendo el primer término la ley de Ghyben-Herzberg y el segundo la corrección a realizar a causa del flujo de agua salada.

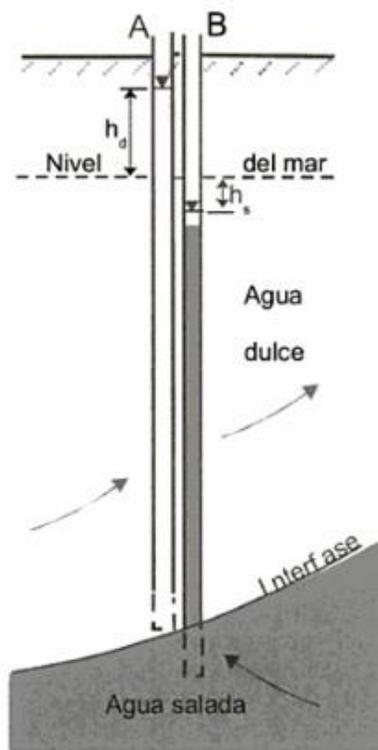


Figura 2.16. Esquema para el cálculo de la Fórmula de Hubbert.  
Fuente: (Pulido & Ballejos 2003).

En los sectores próximos a la costa existen grandes diferencias entre los valores de  $z$  (profundidad de la interfase) calculados mediante la fórmula de Ghyben-Herzberg con la de Hubbert, siendo mayores las profundidades de la interfase estimadas con esta última. Para las zonas más alejadas a la costa la ley de Ghyben-Herzberg da resultados satisfactorios.

### 2.16.3 Fórmula de Luszczynski

Tanto las fórmulas de Ghyben-Herzberg como la de Hubbert, consideran la zona de la interfase como de espesor despreciable a efectos prácticos, es decir, no existe zona de mezcla. Esta hipótesis no es cierta en la mayoría de los casos puesto que, los fenómenos de difusión y dispersión hidrodinámica están presentes creándose entonces una zona de mezcla. La teoría de Luszczynski considera tres tipos de niveles en un punto  $H_{if}$ ,  $H_{ip}$  y  $H_{in}$ .

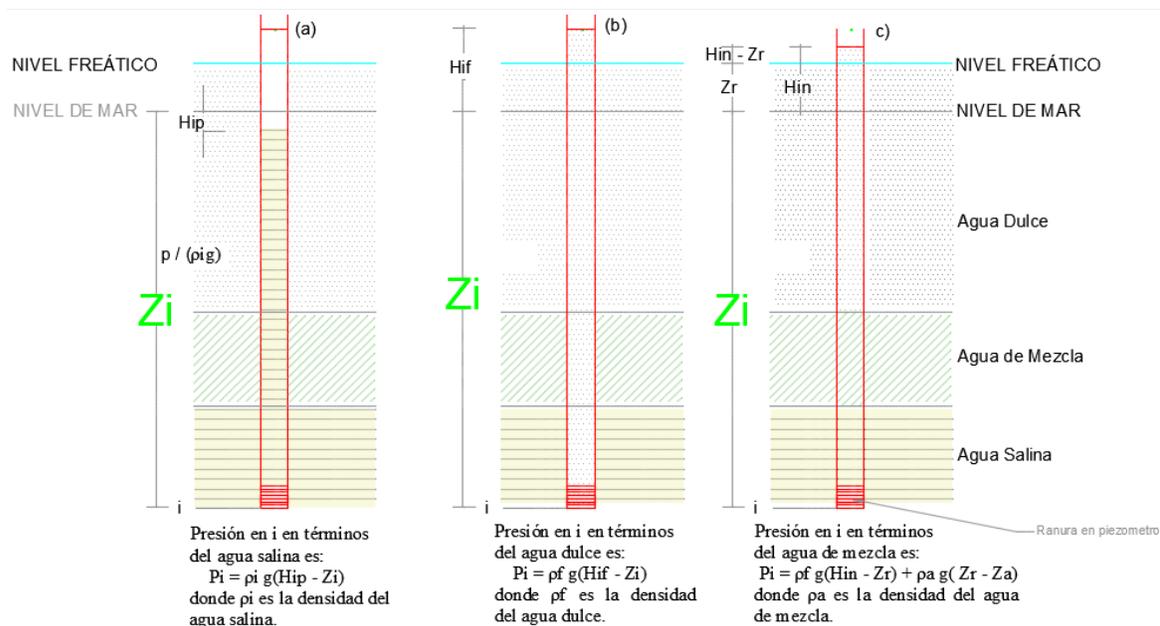


Figura 2.17. Definición de los niveles de agua utilizadas por Luszczynski.

Fuente: Dreyfus y Vaillieux, 1970

$H_{if}$ : Nivel de agua en un piezómetro ranurado en su parte inferior y relleno de agua dulce (nivel del agua dulce).

$H_{ip}$ : Nivel de agua en el mismo piezómetro pero relleno del agua existente a nivel de la ranura (nivel del agua puntual, es decir agua salina).

$H_{in}$ : Nivel del agua en el mismo piezómetro, relleno de agua con una repartición de la salinidad idéntica a la del terreno (nivel del agua ambiental o agua de mezcla).

Si  $P_i$  es la presión en un punto  $i$  de cota  $Z_i$ , se pueden escribir las siguientes relaciones:

$$P_i = \rho_i g (H_{ip} - Z_i) \quad (\text{ecuación 2.15})$$

$$P_i = \rho_f g (H_{if} - Z_i) \quad (\text{ecuación 2.16})$$

$$P_i = \rho_f g (H_{in} - Z_r) + \rho_a g (Z_r - Z_i) \quad (\text{ecuación 2.17})$$

Siendo:

$\rho_i$  = densidad del agua en el punto  $i$

$\rho_f$  = densidad del agua dulce

$\rho_a$  = densidad media del agua entre  $Z_r$  y  $Z_i$

$$\rho_a = \frac{1}{Z_r - Z_i} \int_{Z_i}^{Z_r} \rho(Z) dz \text{ (ecuación 2.18)}$$

$Z_r$  = cota de un punto cualquiera en la zona de agua dulce

De las ecuaciones 2.15 y 2.17 se puede tener la relación entre  $H_{1n}$  y  $H_{1p}$ :

$$\rho_f H_{1n} = \rho_i H_{1p} - Z_i(\rho_i - \rho_a) - Z_r(\rho_a - \rho_i) \quad \text{(ecuación 2.19)}$$

Ahora aplicamos la ecuación 2.19 a dos puntos, el 1 correspondiente a un punto en el agua dulce y el 2 a un punto en el agua salada; considerando además que  $Z_r$  es igual a  $Z_d$ , cota del contacto agua dulce-agua de transición. Tendremos:

$$\rho_1 H_{1n} = \rho_1 H_{1p} \text{ (ecuación 2.20)}$$

$$\rho_1 H_{2n} = \rho_2 H_{2p} - Z_2(\rho_2 - \rho_a) - Z_d(\rho_a - \rho_1) \text{ (ecuación 2.21)}$$

Si consideramos  $h = H_{1n} - H_{2n}$  (gradiente vertical entre los puntos 1 y 2) y restamos las dos expresiones anteriores obtenemos:

$$\rho_1 h = \rho_1 H_{1p} - \rho_2 H_{2p} + Z_2(\rho_2 - \rho_a) + Z_d(\rho_a - \rho_1) \text{ (ecuación 2.22)}$$

$$Z_d = \frac{1}{\rho_a - \rho_1} [\rho_2 H_{2p} - \rho_1 H_{1p} + \rho_1 h - Z_2(\rho_2 - \rho_a)] \quad \text{(ecuación 2.23)}$$

$$\rho_a = \frac{1}{Z_d - Z_2} \int_{Z_2}^{Z_d} \rho(Z) dz \quad \text{(ecuación 2.24)}$$

La resolución de estas dos ecuaciones se hace iterativamente.

#### **2.16.4 Fórmula de Glover**

La fórmula de Glover define la ecuación de la interfase con una mayor exactitud que las vistas anteriormente. Las condiciones supuestas para su elaboración son las siguientes (Custodio y Llamas, 1976):

- No hay zona de mezcla.
- El acuífero es cautivo y su techo coincide con el nivel del mar.
- El agua dulce sale al mar por una zona de anchura  $X_0$ .
- El mar no sufre oscilaciones y el agua salada es estática.
- El espesor del acuífero es lo suficientemente grande para que la cuña de agua salada no toque el muro de éste.

La ecuación de la interfase es:

$$Z^2 - \frac{2 q_0 x}{\beta k} - \frac{q_0^2}{\beta^2 k^2} = 0 \quad (\text{ecuación 2.25})$$

Siendo:

x = distancia a la costa

Z = profundidad de la interfase bajo el nivel del mar

q<sub>0</sub>=caudal de agua dulce por unidad de longitud de costa

K = permeabilidad

$$\beta = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} \quad (\text{ecuación 2.26})$$

La anchura de la franja de salida al mar es:

$$x_0 = \frac{q_0}{2 k \beta} \quad (\text{ecuación 2.27})$$

### 2.16.5 Fórmula de Todd

Mediante la fórmula de Todd se puede determinar la penetración de la cuña salina. Puede servir este cálculo para comprobar las anomalías observadas mediante los análisis químicos. Si por ejemplo, un punto presenta altos contenidos en cloruros, se puede chequear si es debido a un fenómeno de intrusión de agua de mar o bien es debido a la presencia de aguas congénitas.

Esta fórmula experimental relaciona:

Caudal unitario de agua dulce (q)

$$q = 1/2 \left( \frac{P_s - P_d}{P_d} \right) \frac{K e^2}{L} \quad (\text{ecuación 2.28})$$

Caudal según Darcy:

$$q = K e i \quad (\text{ecuación 2.29})$$

Siendo:

P<sub>s</sub>= peso específico del agua salada =1.025 gr/dm<sup>3</sup>

$P_d$  = peso específico del agua dulce = 1.000 gr/dm<sup>3</sup>

K = permeabilidad del acuífero

e = espesor del acuífero cautivo

L = distancia al mar

i = gradiente hidráulico

Operando resulta:

$$L = 0.0125 \frac{e}{i} \text{ (ecuación 2.30)}$$

Esta fórmula sólo es aplicable para valores menores de:

$$i \leq 0.5 \times 10^{-3}$$

$$e \leq 100 \text{ m.}$$

### **2.17 Evolución geoquímica del agua en los acuíferos.**

En general los acuíferos se caracterizan por tener una composición del agua en un determinado punto que no varía o que en todo caso varía muy poco con el tiempo; ello es consecuencia de la existencia de un estado cuasi estacionario de evolución química, de la lentitud del movimiento del agua y de la mezcla producida por dispersión y difusión en un gran volumen de agua.

Excepciones se dan en acuíferos próximos a las áreas de recarga donde se pueden apreciar las variaciones estacionales de calidad del agua de lluvia infiltrada o del ríos que recargan. Estas variaciones pueden producirse en pocos días o con varios años de retraso (Custodio 1966). En las zonas de intrusión marina se pueden tener cambios rápidos de composición si el pozo está próximo a la zona de interfase y esta fluctúa o si se sitúa sobre la propia cuña de agua salada como se ilustra en la Figura 2.18.

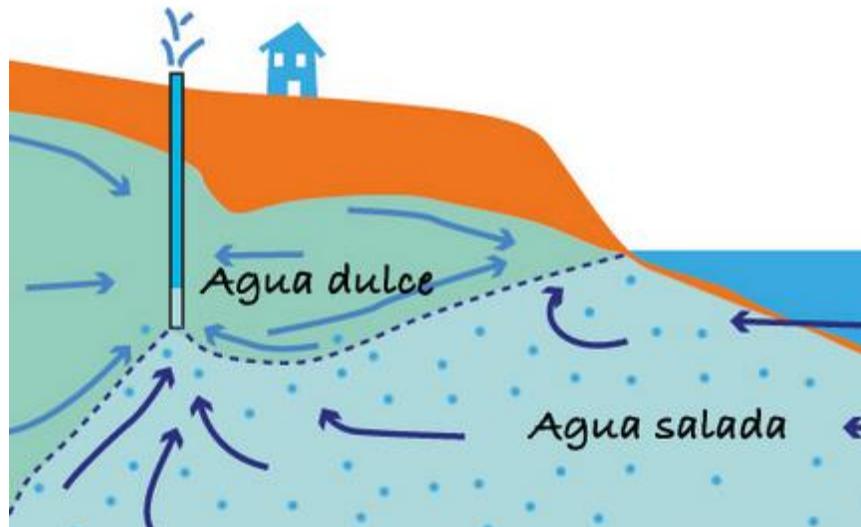


Figura 2.18. Líneas de corriente hacia un pozo en acuífero.

Fuente: <http://www.agendasostenible.com/sobreexplotacion-de-acuiferos>

De acuerdo a Custodio y Llamas, 2001, las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero se clasifican en:

- a) Aguas Vadasas o meteóricas o recientes, son las que poseen radioisótopos de vida no muy larga, como el tritio, son de origen atmosférico y poseen una composición isotópica similar a la del agua de lluvia.
- b) Aguas marinas, son las del mar que han invadido recientemente sedimentos costeros. En composición son similares al agua del mar, quizás con mayor dureza y composición isotópica similar.
- c) Aguas fósiles, son las aguas atrapadas en el terreno y que permanecen en él durante miles de años. No es preciso que sean estacionarias sino que 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. Se debe evitar confundirlas con las aguas meteóricas de elevada salinidad.
- d) Aguas congénitas, son las 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 aun porosa puede quedar parte del agua de imbibición en ella, que es el agua congénita.

- e) Aguas juveniles, metamórficas, magmáticas y volcánicas, Las aguas juveniles son la que proceden del interior de la tierra sin haber estado antes en superficie y su interés es limitado, las aguas metamórficas son las desprendidas de sedimentos en proceso de metamorfismo, suelen tener contenidos elevados de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y B, algo elevado en I y pueden ser menos cloruradas que el agua del mar.
- f) Aguas minerales, son de composición química muy variada, con elementos en disolución en cantidad grande que las aguas vadosas no poseen. Suelen estar asociadas con fenómenos volcánicos y orogénicos y muchas veces son termales, pero también son el resultado de circular el agua por terrenos que pueden aportar grandes cantidades de sales solubles.
- g) Aguas saladas y salmueras naturales, son las que por su larga permanencia en el terreno, con frecuencia de millones de años, han sufrido procesos modificadores que pueden haber alterado su facies original, como la ultrafiltración, proceso mediante el que un agua forzada a pasar a través de niveles arcillosos continuos, pueden dejar atrás gran parte de sus sales; el agua salada o salmuera así originada puede permanecer donde se formó o bien emigrar hacia otras formaciones a merced de la evolución geológica. También es posible asociar esas aguas saladas y salmuera a aguas infiltradas de mares interiores en proceso de desecación, o bien a la disolución de las rocas evaporitas que se encontraban entre los sedimentos. Es frecuente que correspondan a aguas profundas pero no siempre es así, en especial cuando existen niveles permeables profundos con circulación, en cuyo caso en estos niveles se produce un desplazamiento del agua original y un lavado, mientras los niveles menos permeables intermedios siguen reteniendo el agua original.

## **2.18 Índices de la Intrusión Salina**

### **2.18.1 Relación de aniones cloruros - Bicarbonatos**

La relación  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  es especialmente útil en la caracterización de la intrusión marina ya que en aguas continentales tiene normalmente un valor entre 0.1 y 5, y en el agua del mar varía

entre 20 y 50. Si el incremento de cloruros es debido a concentración de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruros que cuando se produce intrusión marina (Custodio y Llamas, 2001).

### **2.18.2 Relación Sulfatos Cloruros**

Los valores de la relación entre los sulfatos con respecto a lo cloruros tiende a disminuir con la presencia de aguas salinas, llegando a alcanzar un valor de  $1.7 \times 10^{-3}$  para las aguas marinas.

### **2.18.3 Relación de cationes Magnesio Calcio**

El agua de mar tiene una relación de los cationes magnesio y calcio alrededor de 5, el aumento en el índice de ésta relación en conjunto con el contenido de cloruros y de la relación Cloruro – bicarbonatos, constituye un buen indicio de contaminación por intrusión salina, dado que en aguas continentales este índice se presenta en rangos de entre 0.3 y 1.5 (Custodio y Llamas 2001), un valor mayor de 1.5 de esta relación constituye un índice para determinar la existencia del problema de intrusión salina.

## **2.19 Efecto de las Mareas en la Intrusión Marina**

Las fluctuaciones periódicas de la marea originan un movimiento de vaivén sobre la interfaz, originando una dispersión hidrodinámica del agua salada en el agua dulce. La influencia de las mareas decrece de forma exponencial con la distancia a la costa de acuerdo a la Ecuación 4.1 que expresa la amplitud del desplazamiento horizontal de la interfaz (Custodio Llamas, 2001), como:

$$a(x) = \frac{k h_o}{m} \sqrt{\frac{S t_o}{2\Pi T}} \cdot \exp(-x \sqrt{\Pi S / (t_o T)}) \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

k= Permeabilidad del medio.

m= Porosidad efectiva.

h<sub>o</sub>= Semiamplitud de oscilación de las marea.

t<sub>o</sub>= Período de la marea equivalente a 0.52 día.

S= Coeficiente de almacenamiento.

T= Transmisividad del acuífero

x= Distancia a la línea de costa.

La amplitud de oscilación de la marea se ilustra en la Figura 4.32 que indica la distancia entre el nivel de la marea alta y la marea baja.

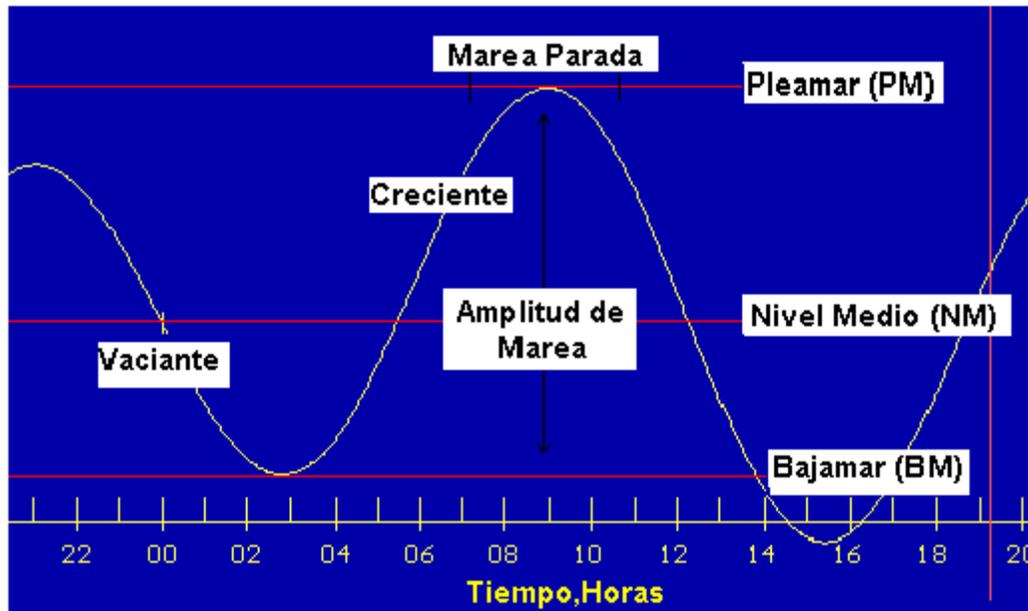


Figura 2. 19. Definición de término de Amplitud de marea.

## 2.20 Delimitación de la Cuna Salina

Mediante la fórmula de Todd se puede determinar la penetración de la cuña salina. Puede servir este cálculo para comprobar las anomalías observadas mediante los análisis químicos. Si por ejemplo, un punto presenta altos contenidos en cloruros, se puede chequear si es debido a un fenómeno de intrusión de agua de mar o bien es debido a la presencia de aguas congénitas.

Aplicando la ecuación 2.30,  $L = 0.0125 \frac{e}{i}$  para establecer el valor de L que representa el valor de la penetración de la cuña salina, siendo:

K = permeabilidad del acuífero

e = espesor del acuífero cautivo

L = distancia al mar o al agua del estero

i = gradiente hidráulico, y como se había anotado que esta fórmula sólo es aplicable para valores menores de:  $i \leq 0.5 \times 10^{-3}$  y  $e \leq 100$  m.

## 2.21 Vulnerabilidad de los acuíferos ante la intrusión salina

La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso en el cual se combina la valoración de muchas características del sistema acuífero para producir un mapa en el que se diferencian áreas de mayor y menor vulnerabilidad. Varios esquemas se han usado para evaluar y mapear la vulnerabilidad, los cuales se agrupan en tres tipos fundamentales: De índice y superposición, bastos en simulación computacional y los métodos estadísticos.

Los métodos de índice y superposición producen un índice, rango o clase de vulnerabilidad, se basan en la opinión de expertos, lo que les confiere una gran practicidad, pero a la vez un incierto grado de subjetividad. Los del segundo tipo, permite considerar complejidades físicas y químicas del sistema al centrarse en la evaluación del transporte a través de la zona no saturada, además permiten evaluar la incertidumbre; sin embargo son poco utilizados debido a que requieren niveles de información que casi nunca está disponible y los métodos estadísticos que son empleados fundamentalmente para evaluar el riesgo.

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad se utilizan modelos de asignación directa o modelos matemáticos sencillos en los que se suman o se multiplican los valores con los cuales se han calificado los diferentes parámetros que intervienen en la metodología por aplicar:

$$IV = \sum_{i=1}^n P_i \text{ (ecuación 2.31)}$$

Dónde:

IV es el índice de vulnerabilidad,  $P_i$  es el parámetro  $i$ , y “ $n$ ” son los parámetros a utilizar.

Puede asignarse pesos, de acuerdo con la importancia que revista cada parámetro

$$IV = \sum_{i=1}^n R_i P_i \text{ (ecuación 2.32)}$$

Siendo  $R_i$  el peso del parámetro  $i$ .

En la evolución de la vulnerabilidad se tienen en cuenta las características físicas e hidráulicas del sistema acuífero, se habla entonces de la vulnerabilidad intrínseca, o bien se puede considerar la incidencia de sustancias de origen antrópica, en cuyo caso se habla de vulnerabilidad específica. Los parámetros básicos para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca se refieren a los factores que determinan el tiempo de viaje del agua hasta el acuífero,

las condiciones de flujo en el medio subterráneo y la capacidad de atenuación del medio. Los métodos intrínsecos más difundidos para estimar la vulnerabilidad son EPPNA, DRASTIC, SINTACS, GOD, AVI, EK<sub>v</sub>, BGR y los métodos específicos más propagados son DRASTIC-PESTICID, GODS, IPN, IS, EPIK, VULFRAC, SEA Gindex y SEA-Dindex.

De acuerdo a Foster et al., 2002, se proponen cinco clases de vulnerabilidad:

- a) **Vulnerabilidad Extrema:** El acuífero es vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.
- b) **Vulnerabilidad Alta:** Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son frecuentemente absorbidos) en muchos escenarios de contaminación.
- c) **Vulnerabilidad Moderada:** Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
- d) **Vulnerabilidad Baja:** Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
- e) **Vulnerabilidad Despreciable:** Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

Para estimar la vulnerabilidad a la intrusión marina que es un fenómeno de migración sólo toman en cuenta la migración vertical de contaminantes (GOD y DRASTIC), por lo cual se emplean el SEA-GIndex y el SEA-Dindex, que están orientados a evaluar la intrusión salina lateral y no tienen en cuenta el movimiento vertical de contaminantes desde la superficie del terreno, por tanto, no incluyen las variables de suelo y zona no saturada (Bocanegra. E, 1994)

El método SEA-GIndex es una adaptación del método GOD incluyéndose dos nuevos parámetros, que juegan un papel importante en la posición de la interfaz agua dulce – agua salada:

- a) La distancia a la costa, la parte del acuífero más alejada de la costa es menos vulnerable a la contaminación por intrusión salina.
- b) La altura piezométrica; este factor es importante porque se convierte en una barrera natural contra el avance de la intrusión marina.

- c) El último factor y que se conserva del método GOD es la Litología; dependiendo de ella, el agua salada o salobre va a tener menor o mayor resistencia a contaminar el acuífero de agua dulce.

Para calcular la vulnerabilidad a la intrusión marina con el auxilio de la herramienta ArcGIS, utilizando el método SEA-GIndex, se debe contar con tres mapas: La distancia a la costa, la altura piezométrica y la Litología. Para realizar esta labor los insumos con los que se debe contar con el shape de línea de costa, la litología y nivel piezométrico, tal como se muestra en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Parámetros para el cálculo de la vulnerabilidad a la intrusión marina.

h > 10	10 > h > 5	5 > h > 2.5	2.5 > h > 1	h < 1	Nivel Piezométrico (m)									
0.3	0.6	0.9	0.8	1										
<table border="1"> <tr> <td>Loess</td> <td>Arenas eólicas</td> <td>Gravas y arenas</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Areniscas</td> <td>Calizas</td> </tr> <tr> <td>Rocas de baja permeabilidad</td> <td>Rocas Volcánicas</td> <td>Karst</td> </tr> </table>					Loess	Arenas eólicas	Gravas y arenas		Areniscas	Calizas	Rocas de baja permeabilidad	Rocas Volcánicas	Karst	Litología
Loess	Arenas eólicas	Gravas y arenas												
	Areniscas	Calizas												
Rocas de baja permeabilidad	Rocas Volcánicas	Karst												
0.3	0.6	0.9	0.8	1										
d > 10	10 > d > 6	6 > d > 3	3 > d > 1.5	d < 1.5	Distancia al mar (km)									
0.2	0.4	0.7	0.9	1										
V < 0.3	0.3 < V < 0.5	0.5 < V < 0.7	0.7 < V < 0.9	0.9 < V < 1	Vulnerabilidad Intrusión Salina									
Insignificante	Baja	Moderada	Alta	Extrema										

## 2.22 Sistema de monitoreo

Los acuíferos contienen el valioso recurso hídrico que normalmente está oculto bajo el suelo y es inaccesible a menos que se realicen perforaciones en el suelo y se alcance su nivel, y en contraste con el agua superficial, los cambios en su cantidad y calidad se realiza por medio de procesos muy lentos que ocurren debajo de la tierra.

Se precisa de redes de monitoreo para tomar muestras e interpretar los datos obtenidos de la respuesta de un acuífero y de sus tendencias de cantidad y calidad para lograr una gestión eficaz del agua subterránea y cumplir con la principal meta de gestión, que es dar seguimiento

y mitigar los impactos de la extracción del agua subterránea y el efecto de las actividades que se desarrollan en su entorno. Los pozos de monitoreo se deberán dedicar exclusivamente a la observación del acuífero, y su diseño debe ser orientado a detectar posibles cambios en el flujo, nivel y la calidad del agua subterránea y para lo cual se aplican una serie de criterios para lograr los objetivos que se persiguen:

✓ **Criterio 1: Comportamiento del Acuífero y su entorno.**

- **Coherencia con el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico.** Se debe considerar el funcionamiento del acuífero, identificando las zonas de recarga hídrica, dirección de los flujos en el acuífero, posibles barreras o bordes abiertos por donde se realicen transferencias laterales, zona de descarga y las relaciones con el recurso hídrico superficial.
- **Usos del suelo.** Se controlarán aquellas áreas susceptibles de resultar contaminadas debido a las actividades socioeconómicas que se desarrollan como desarrollo de importantes centros urbanos, industrias, explotaciones mineras o extensiones agrarias, entre otras posibilidades.

✓ **Criterio 2: Distribución espacial.** En términos generales se busca cierta homogeneidad espacial en la distribución de los puntos de monitoreo en una red, toda vez que sean relevantes desde el punto de vista hidrogeológico. Es adecuado realizar el diseño formando triangulaciones para poder construir modelos espaciales de los diferentes parámetros a ser analizados.

✓ **Criterio 3: Integrar en la red a pozos existentes que cuenten con información previa.** Es adecuado integrarse a puntos de control que ya cuenten con un histórico de información piezométrica, columna litológica, aforos y demás información, puesto que cuanto más largas sean las series de datos disponibles de cada punto de control, más fácil y eficiente resultará su análisis de tendencias que se produzcan y el planteamiento del correspondiente plan de actuaciones.

- ✓ **Criterio 4: Evitar interferencia con pozos de explotación.** Los puntos de monitoreo de la red de control piezométrico debe quedar fuera de los radios de influencia de captaciones próximas para tener registros veraces.
- ✓ **Criterio 5: Accesibilidad.** La ubicación de los puntos de monitoreo se diseñaran en zonas accesibles y sin restricciones para el personal que llevara los registros.
- ✓ **Criterio 6: Frecuencia de toma de registros.** En el diseño se debe considerar que la toma de registros se hará como mínimo al final de las épocas de lluvia y seca, y las hará personal cualificado que conozca los respectivos protocolos diseñados al respecto.
- ✓ **Criterio 7: Protección de la instalación.** Los pozos de monitoreo deben tener protección y seguridad en sus alrededores.

Para conocer la dinámica del comportamiento de los diferentes acuíferos se utilizan piezómetros multinivel o anidados como se muestra en la Figura 2.19.

Los sistemas de monitoreo se clasifican en:

**Sistemas Primarios o monitoreo de referencia**, que sirven para detectar cambios generales en el flujo del agua subterránea y sus tendencias de calidad, con objeto de aportar el conocimiento científico necesario para entender el recurso de agua subterránea, las tendencias resultantes de cambios den el uso del suelo y la variación climática y otros aspectos como recarga, flujo y contaminación difusa.

**Sistemas Secundarios o monitoreo de protección contra impactos potenciales en:** recursos estratégicos de agua, campos de pozos o manantiales utilizados para el abastecimiento humano y en ecosistemas que dependen del agua subterránea.

**Terciarios que sirven para evaluar y controlar el impacto de riesgos específicos** del agua subterránea para la contención de la contaminación con el fin de tener una alerta oportuna al impacto por efecto de: actividad agrícola intensiva, disposición de residuos industriales y municipales.

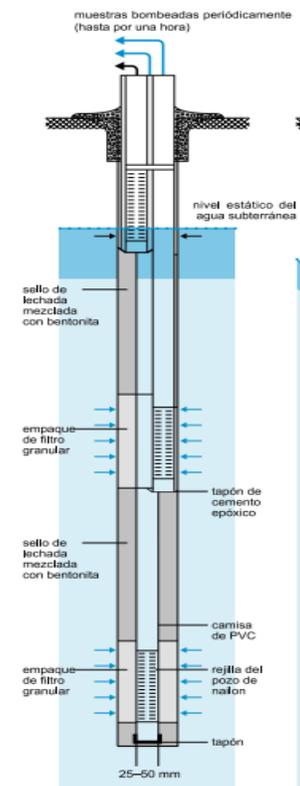


Figura 2.19. Esquema de pozo anidado.

Para el monitoreo de la intrusión salina con alcance a un acuífero se utilizaría un sistema secundario y lo más adecuado sería mediante pozos de monitoreo de piezómetros múltiples convenientemente ubicados en función a aspectos como:

- ✓ La vulnerabilidad del acuífero a la intrusión salina,
- ✓ Disposición de fuentes de extracción estratégica para el abastecimiento de agua potable o para la agricultura.

Un sistema para el monitoreo de la dinámica de la cuña salina debe incluir las siguientes actividades:

- a) Delimitación del área de monitoreo en función a la zona expuesta al efecto de la intrusión, que puede ser definida por sondeos de la calidad físico química y por la geometría del fenómeno de intrusión que puede calcularse en función a las características físicas del acuífero, como su conductividad hídrica, potencia del acuífero y gradiente hidráulico.
- b) Análisis de la estructura geológica, el sistema de flujo de aguas subterráneas de acuerdo a su modelo conceptual y la calidad de las aguas subterráneas.
- c) Diseño de la red de monitoreo que comprende los aspectos de distribución en el área objetivo y profundidad del acuífero.
- d) Designación e implementación de métodos de campo y procedimientos analíticos de laboratorio.
- e) Determinación de la frecuencia de muestreo y selección de variables a ser analizadas incluyendo muestras de campo como parte de los procesos de asegurar la calidad.
- f) Manejo de la base de datos, especialmente en lo relacionado con manipulación, procesamiento y evaluación de los datos.

### 3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describe la metodología desarrollada durante el proceso investigativo y cuyo punto de partida han sido de las preguntas de investigación que se plantearon originalmente:

- ✓ ¿Cuáles son las características de las formaciones geológicas del acuífero de la zona baja de la cuenca El Guayabo?
- ✓ ¿Cuáles son las características hidrogeoquímicas de la zona baja de la cuenca?
- ✓ ¿Cuál es la situación actual del fenómeno de salinidad del acuífero e intrusión salina en la cuenca baja?

Con respecto a las preguntas anteriores, la metodología de investigación se realiza en dos etapas, una recopilación de información bibliográfica y la otra es de campo, con las cuales luego del procesamiento de datos, se ordena la información para el respectivo análisis, el cual se incluye en el capítulo IV Resultados y Discusión.

#### 3.1 Enfoque Metodológico

##### 3.1.1 Recolección y organización de información

Esta etapa comprendió la recolección de información en forma de documentos, informes técnicos, publicaciones, material cartográfico, entre otros, con la orientación de temáticas específicas como:

- ✓ **Geología:** La información geológica que fue recopilada consistió en mapas geológicos procedentes de diferentes fuentes, así como la interpretación de las columnas litológicas de cuatro pozos perforados en el área de estudio.
- ✓ **Hidrogeología:** Se utilizó como punto de partida el mapa hidrogeológico de la ANDA que contiene la caracterización hidrogeológica del acuífero, isolíneas de las alturas piezométricas y líneas de flujo. También se ha contado con los informes de la perforación de cuatro pozos que han sido perforados y los correspondientes informes de aforo y análisis químicos de sus aguas.
- ✓ **Climatología:** Se recabaron datos de precipitaciones y evapotranspiración potencial de las estaciones cercanas a la zona de estudio, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

### 3.1.2 Identificación de pozos

Se identificaron los pozos en el sitio de estudio mediante visitas de campo, para lo cual se tomó su georeferencia, representación y codificación en plano. Se identificaron los pozos perforados, de los que se recaba la información proveniente de los propietarios de los mismos y los pozos excavados de los que se recabó la información básica in situ.

### 3.1.3 Medición en campo

Para la selección de los sitios de muestreo se consideraron los siguientes criterios:

- ✓ Ubicación: Se seleccionaron sitios de muestreo que abarcaran la zona de estudio y se realizó un monitoreo previo de la zona para definir los lugares más críticos. Existe una serie de sitios en el límite de la cuenca que colinda con la cuenca del río Lempa con el fin de identificar la relación entre ellas.
- ✓ Accesibilidad: Los sitios muestreados fueron accesibles en su mayoría por vehículo, con el objeto de no recorrer distancias largas con el equipo de medición en campo y las muestras recolectadas, no obstante se seleccionaron sitios que solo son accesibles por veredas, las cuales su recorrido es a pie.
- ✓ Poca contaminación antropogénico en pozos: Se hizo la selección de pozos en uso, que no presentaran contaminación por materia orgánica, ni descarga directa de aguas residuales en los contornos.
- ✓ Caudal en ríos: Se seleccionaron sitios que permitían un flujo constante de agua en la época seca y que tuvieran una sección bien definida.
- ✓ Se realizó el monitoreo de los sitios identificando su ubicación mediante Sistema de Posicionamiento Global.
- ✓ Monitoreo de parámetros físicos con sonda multiparámetro del agua de pozos excavados.

Con el objetivo de observar la dinámica en el tiempo de las principales características físicas del acuífero y establecer puntos representativos de muestreo para su análisis químico, se realizó el monitoreo de 173 pozos excavados. Se realizaron dos campañas de toma de datos, una al

final de la época seca que abarca los meses de marzo y abril de 2013, y la otra al final de la época lluviosa, que abarca los meses de octubre y noviembre de 2013. Los parámetros a monitorear fueron: nivel freático (m), pH, temperatura del agua (°C), conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y salinidad (%), Oxígeno disuelto (% y mg/L), TDS (mg/L). En la Tabla 3.1 se incluyen los sitios de pozos excavados que fueron muestreados para obtener sus características físicas y químicas mediante sondas multiparámetros.

En el Anexo No.1 se detallan los sitios de monitoreo de pozos excavados y sus coordenadas de ubicación.

#### 3.1.4 Muestreo para análisis de laboratorio

Durante el trabajo de campo se realizó 2 campañas de muestreo de aguas, una en época seca y otra en época lluviosa con el fin de caracterizar las aguas desde el punto de vista de iones mayoritarios. Se tomaron 8 muestras por campaña de pozos excavados, cuyas ubicaciones se indican en la Tabla 3.1, y se ilustran en la Figura 3.1.

Tabla 3.1. Ubicación de los pozos excavados que fueron monitoreados.

No.	PROPIETARIO	UBICACIÓN	N	W
1	Ignacio Palacios	La Pita, cantón Puerto Nuevo	13°16'59"	88°48'23"
2	José Mariano Aguilar	Santa Marta 2, cantón Las Anonas	13°21'20"	88°46'15"
3	Martín Durán	Cantón El Pacún	13°24'11.0"	88°44'21"
4	Lotificación Felipito	Lotificación Felipito	13°26'34"	88°43'01"
5	Escuela Pichiche	Caserío Pichiche	13°19'7.71"	88°48'26.90"
6	Vivienda	Cantón El Guayabo	13°21'22"	88°48'19"
7	Escuela Marranitos	Cantón Marranitos	13°21'57.59"	88°48'14.41"
8	José Simeón Cañas	Cantón Barrio Nuevo	13°25'53.2"	88°47'56.4"
9	Vivienda	Col Campo Verde, cton Santa Cruz Porrillo	13°27'27"	88°49'20"

Fuente: Elaboración propia.

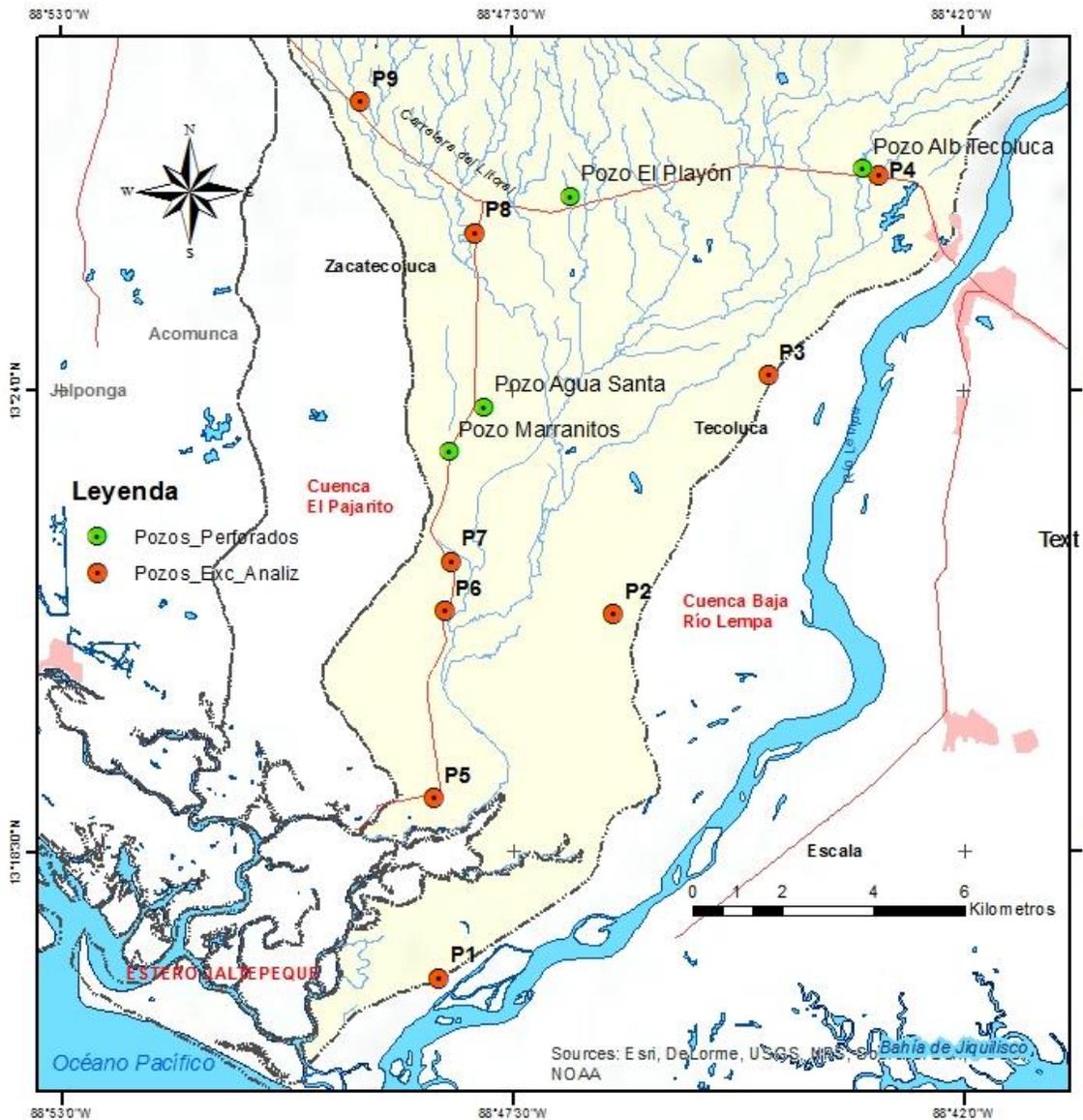


Figura 3.1 Ubicación de los pozos someros que fueron muestreados para su análisis.

### ✓ Procedimiento de Muestreo de Agua

PASO 1. Se seleccionaron frascos de recolección de muestras de agua nuevos y se verificó que no presentasen fisuras, suciedad, rotulación ajena, y se empleó un frasco de 1 litro para cationes y un segundo frasco de 1 litro para aniones.

PASO 2. Selección y ubicación de los sitios de muestreo, registrándose el nombre de los propietarios, las coordenadas geodésicas (grados-minutos-segundos) con equipo GPS, hora de toma de la muestra, temperatura del agua y nivel freático.

PASO 3. Los frascos fueron rotulados con marcador indeleble para ser identificados, registrados y remitidos al laboratorio junto a la hoja de remisión de muestras proporcionadas por el laboratorio.

PASO 4. Para la toma de muestra para análisis de aniones, cationes, cada frasco fue enjuagado 3 veces con agua del pozo a muestrear, se extrajo la muestra empleando las bombas manuales, eléctricas o cubetas propiedad del dueño del pozo.

PASO 5. Las muestras para análisis de cationes fueron conservadas con ácido nítrico concentrado, y luego refrigeradas; las muestras para aniones solamente fueron refrigeradas en hieleras. Los límites de detección de los análisis realizados por parte del laboratorio son los indicados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Límites mínimos de detección y métodos de laboratorio empleado.

PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITE DETECCIÓN	MÉTODO
pH	Unidades	-	SMEWW2340C
Conductividad Eléctrica	μS/cm	-	SMEWW2510B
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW2320B
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW2320B
Boro	mg/l B	0.02	HACH8015
Calcio	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW2320B
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cr B
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW2340C
Fluoruros	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500Fe B
Magnesio	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	mg/L Mn	-	SMEWW 3500Mn B
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	mg/L K	0.011	SMEWW 3500K C
Sílice	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW 4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	mg/L Na	0.017	SMEWW 3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	Electrométrico

PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITE DETECCIÓN	MÉTODO
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

### 3.1.5 Información técnica de pozos perforados

Se recabó la información técnica de 4 pozos perforados, de los cuales se tienen los informes de perforación, informes de aforo y resultados de análisis físico químico y bacteriológico de sus aguas. La ubicación de los pozos perforados se indica en la Tabla 3.3, y se ilustra en la figura 3.1.

Tabla 3.3. Pozos perforados con reportes de perforación y aforo.

No.	NOMBRE	UBICACIÓN
1	POZO EL PLAYON	Ubicación N: 13°26'18.73" W: 88°46'45.99", Elevación: 25 msnm, Carretera del Litoral, Km 64, Cantón Santa Cruz, Tecoluca, Departamento de San Vicente. Propiedad de la ANDA, Propósito: Proveer de agua potable a las comunidades del sector El Playón, Pozo finalizado en diciembre de 2012.
2	POZO ALBERGUE TECOLUCA	Ubicación N: 13°26'34.97", W: 88°43'00.90", Elevación: 20 msnm, Carretera del Litoral, Km 81, Cantón santa cruz, Tecoluca, departamento de San Vicente. Propiedad de la CEL, Propósito: Proveer de agua potable al Albergue Tecoluca, Pozo finalizado en noviembre de 2012.
3	POZO AGUA SANTA	Ubicación N: 13°23'47.00", W: 88°47'50.00", Elevación: 10 msnm, Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate, jurisdicción de Tecoluca, departamento de San Vicente, Propietario CASSA Pozo finalizado en abril de 2012.
4	POZO MARRANITOS	Ubicación: 13°23'15.77"N, 88°48'15.38"W, Elevación: 10 msnm, Cantón La Isleta y Comunidad Sta. Julia Zacatecoluca, departamento de La Paz, Propiedad de la ANDA, Propósito: Proveer agua potable a las comunidades Los Marranitos y San José de La Montana, Pozo finalizado en febrero de 2013.

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.6 Aforos en los ríos de la zona de estudio

Para tratar de entender la relación hidráulica de los ríos con el acuífero en la zona de estudio, se realizaron aforos distribuidos en los ríos más importantes de la zona, entre ellos los ríos, San Antonio, El Amate y El Guayabo, en los sitios detallados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Detalle de sitios donde se realizaron aforos.

No.	UBICACIÓN	N	W	Q época seca l/s	Q época lluviosa l/s
1	Río San Antonio	13°25'25"	88°47'55.8"	2.71	6.86
2	Río El Amate	13°24'30"	88°47'6.8"	1.28	6.39
3	Río El Guayabo	13°20'48.1"	88°48'21.4"	0.37	12.51

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.7 Prospección Geofísica

Se utilizó la metodología de sondeos eléctricos verticales (SEV), el cual consiste en la determinación de la resistividad aparente del subsuelo a partir de la introducción de una corriente eléctrica a éste, a través de un par de electrodos. Para la interpretación, se incluyeron los datos de 6 SEV realizados en la zona de estudio y se contó con la información de sondeos realizados por la ANDA con el apoyo de la Cooperación Japonesa. El dispositivo eléctrico utilizado fue el Schlumberger y la separación máxima de AB/2 fue de 500 m. El programa de cómputo utilizado para la inversión de los datos fue el QWSELN, el cual realiza la interpretación directa e inversa de los sondeos eléctricos verticales basada en un modelo tabular (inversión eléctrica en 1D). La ubicación de ellos se realizó considerando criterios como la distribución espacial de la información existente como mapas de isoconductividades realizadas, mostrando las zonas que requieren mayor interés, así como sitios donde las condiciones del terreno lo permitieron y como se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Detalle de sitios donde se realizaron SEV's.

No.	UBICACIÓN	N	W	Fecha	AB/2
1	Caserío El Pichiche	13°19'37.0"	88°48'26.0"	8/4/2013	500 m
3	CASSA	13°23'37.0"	88°48'06.0"	8/4/2013	500 m
4	El Pacún	13°24'00.0"	88°45'03.0"	8/4/2013	500 m
5	Agua Zarca	13°22'49.0"	88°46'14.7"	8/4/2013	500 m
6	Santa Marta 2	13°21'22.4"	88°46'23.9"	8/4/2013	500 m

Fuente: Elaboración propia

**Elaboración de perfiles de correlación geoelectrónica, estratigráfica e hidrogeológica:** Sobre la base de datos obtenidos a partir de los perfiles litológicos de pozos perforados existentes en la zona de estudio, la geología de superficie, y los datos de los SEV's tanto realizados durante el proceso de investigación como la información de SEV's realizados por la ANDA y diferentes programas de cooperación , se estableció un modelo geoelectrónico que permite representar en un perfil la correlación estratigráfica e hidrogeológica con las rangos de resistividad obtenidos. El estudio ha analizado el perfil litológico que inicia en el pozo de 152 metros de profundidad perforado por la ANDA a la altura del kilómetro 64 de la carretera del Litoral, cantón Santa Cruz de la jurisdicción de Tecoluca, y con rumbo sur, a 5,000 metros de distancia en la Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate, jurisdicción de Tecoluca, donde se ubica el pozo de 82.30 metros de profundidad, perforado por la Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. La Figura 4.1 muestra la ubicación de los pozos perforados con información de perfiles litológicos, y la ubicación de los puntos de los Sondeos Eléctricos Verticales.

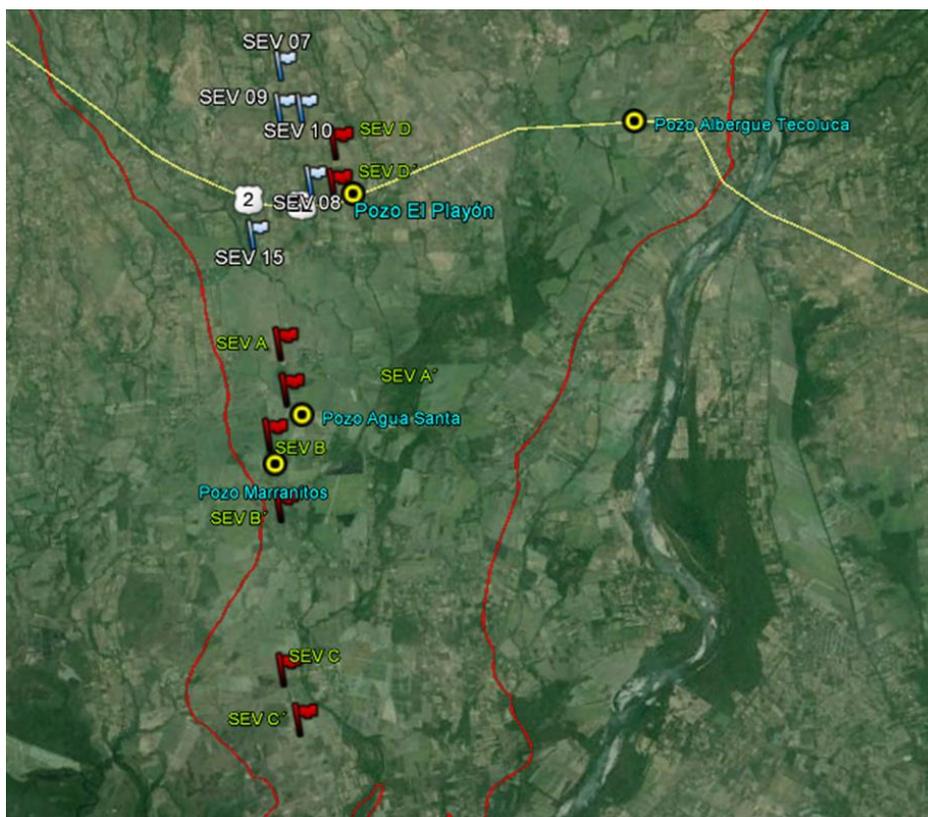


Figura 3.2 Ubicación de pozos perforados y SEV's.

### 3.1.8 Infiltración básica

Se estimó la tasa de infiltración de zonas representativas del suelo en el área de estudio mediante el Permeámetro in situ Guelph, el cual funciona según el principio de la botella de Mariotte. El Permeámetro de Guelph (Reynolds et al. 1985) consta básicamente de dos tubos, uno que actúa como depósito de agua y otro de menores dimensiones que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener la carga hidráulica constante (tubo Mariotte).

Cuando el permeámetro se encuentra instalado, el nivel del agua dentro de los tubos comienza a descender producto de la infiltración del agua en el suelo, lo que permite determinar la tasa o velocidad de infiltración gracias a que el equipo cuenta con una escala en centímetros para medir el nivel de agua dentro del reservorio. La tasa de infiltración normalmente varía en el tiempo, debido a las características del flujo en un suelo no saturado (se van llenando gradualmente los poros con agua). De manera que la cantidad de medidas de la tasa que habrá que realizar dependerá de cuán rápido se alcance un régimen permanente. Se considerará que el régimen permanente será alcanzado cuando existan al menos 3 o 4 lecturas sucesivas iguales. En la zona de estudio se realizaron, tanto en la época seca como en la lluviosa, el análisis de infiltración en siete puntos de la cuenca.

### 3.1.9 Procesamiento de datos

Se validaron los datos recolectados y se procesan para el modelaje con las siguientes herramientas:

- ✓ **Diagrammes:** Permitió el análisis, cálculos, modelado y diseño gráfico base de datos de parámetros físicos y químicos, para determinar el tipo de agua, la suma de aniones, la suma de cationes, el equilibrio iónico, el TDS, la dureza, la alcalinidad, los niveles de iones comunes, también, se empleó para la generación de diagramas de Piper y Stiff.
- ✓ **ArcGIS 10:** Sistema integrado de creación, administración, integración y análisis de datos geográficos. Con él se elaboraron los diferentes mapas de la hidrogeoquímica y de propiedades físicas del agua subterránea que diera indicios del fenómeno de la

cuña salina. También con el empleo de ArcGIS y con la metodología SEA Gindex se definió la vulnerabilidad a la intrusión salina.

- ✓ **Surfer 10:** Software especializado para la elaboración de mapas de isolíneas a partir de la información de los pozos georeferenciados.
- ✓ **AutoCAD:** Programa de dibujo digital con el cual se elaboraron los perfiles litológicos correlacionando la información de la estratificación litológica de los informes de perforación de pozos y los sondeos geofísicos por medio de Sondeos eléctricos verticales.

#### 3.1.10 **Validación de resultados de laboratorio**

Previo a determinar la calidad del agua se verificó la consistencia de los análisis realizados en laboratorio, mediante el balance iónico o de electro neutralidad y la verificación de la relación entre algunos iones, que indican que la muestra de agua ha sido analizada correctamente.

#### 3.1.11 **Análisis de la información**

Con el procesamiento de datos se procedió al ordenamiento de la información que sirvió de base para el análisis y discusión con lo cual se ha llegado a los resultados planteados en el próximo capítulo.

## 4 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Geología de la cuenca baja El Guayabo

Previo al análisis de resultados es necesario realizar una revisión al Mapa Geológico de El Salvador, que se muestra en la Figura 4.1, de la zona baja constituida por la planicie costera de la cuenca El Guayabo y que ha sido descrito anteriormente.

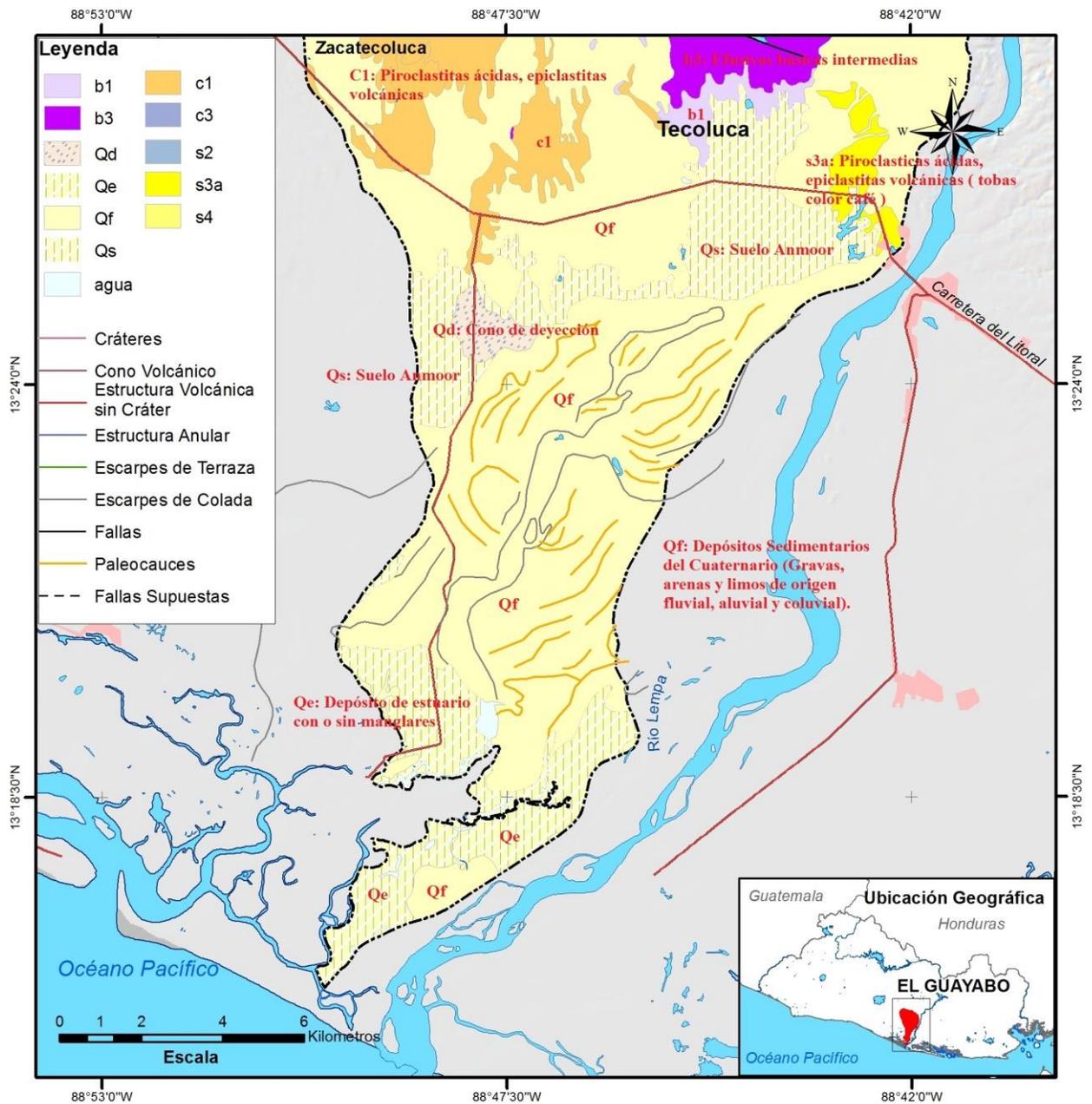


Figura 4.1. Mapa Geológico de la planicie costera de la cuenca El Guayabo.

## 4.2 Litología

Para la caracterización litológica de la cuenca baja El Guayabo se ha contado con los informes de perforación de 4 pozos y los datos de 11 Sondeos Eléctricos Verticales con los cuales se han creado dos ejes, uno longitudinal en sentido de norte - sur, y en el sentido del flujo del agua subterránea, desde la parte alta al norte de la planicie costera hasta la parte baja al sur, colindante con la zona de la bahía de Jaltepeque; el otro eje es transversal al flujo de las aguas subterráneas con dirección este – oeste, en la parte alta de la planicie costera, que se integra a la información de la geología estructural del Mapa Geológico Nacional.

El acuífero costero de la cuenca El Guayabo corresponde a la desembocadura del río Lempa y río El Guayabo, compuesto de depósitos sedimentarios cuaternarios que se puede clasificar como **Acuífero poroso en piroclastos, sedimentos aluviales fluviales y tobas.**

En la parte alta al norte de la planicie costera, en la zona del pozo El Playón, la estratigrafía se compone de:

1. Un estrato superficial de sedimento aluvial de aproximadamente 10 metros de espesor de material arenoso con suelo orgánico, coloración amarillo, por oxidación.
2. Un estrato de toba lítica de baja permeabilidad, de aproximadamente 40 metros de espesor con una estructura cementada semicompacta y textura clástica que se prolonga en dirección sur aflorando en superficie en forma intermitente hasta alcanzar a los 5 kilómetros en dirección sur la zona del pozo Agua Santa. Su permeabilidad es de media a alta y con contenidos de sedimentos de arenas basálticas.
3. Bajo el estrato de la toba lítica, en la zona del pozo El Playón existe un estrato de aproximadamente 50 metros de espesor de arcilla y material sedimentario de arena basáltica (arcilla arenosa) con intercalaciones de toba lítica que confieren una baja permeabilidad al estrato y que se prolonga hasta el pozo Agua Santa donde se observa con un espesor de 24 metros, bajo aproximadamente 20 metros de piroclastos y sedimentos aluviales de alta permeabilidad.
4. Estrato de nueve metros de espesor de sedimento aluvial de color policromático con estructura suelta y textura clástica de arena y grava fina con minerales de plagioclasa, con un mínimo porcentaje de arcilla, se considera que este estrato tiene una

permeabilidad media de estructura semicompacta y de característica elástica consistente en una arcilla gruesa, en la parte media una capa de 3 metros de arena andesítica.

La estratigrafía litológica que revela las muestras recolectadas en la perforación del pozo Marranitos, revela:

1. Superficialmente a una profundidad de tres metros una capa de cenizas volcánicas.
2. Un estrato de tres metros de profundidad de arena fina en matriz arcillosa moderadamente plástica color café. y en la parte media existe una intercalación con una capa de toba lítica. Conductividad y permeabilidad baja o nula.
3. Estrato de 18 metros de espesor de sedimento aluvial color gris con estructura suelta y textura clástica, que consiste en arena fina en la parte inferior con un 10% de arcilla, con permeabilidad media alta. La muestra de perforación presenta características de épocas recientes.
4. Estrato de 43 metros de espesor color café con estructura semicompacta y textura plástica consistente de una arcilla con intercalaciones de arena fina y fragmentos de piedras finas con una permeabilidad baja. Su textura es arcillosa con características plásticas.
5. Estrato de toba lítica de 6 metros de espesor, color gris con estructura suelta y textura clástica producto de sedimento aluvial.
6. Sedimento Aluvial de 25 metros de espesor color gris a café con estructura semicompacta y textura clástica consistente de una arena fina con 25% a 30% de incrustaciones de arcilla, su permeabilidad es media baja. La muestra de perforación presenta características mixtas predominando la arena fina.

Al noreste la perforación del pozo del Albergue del municipio de Tecoluca revela:

1. En superficie una capa de tres metros de espesor de toba lítica.
2. Estrato de sedimento aluvial eluvial de 36 metros de espesor con permeabilidad de moderada a alta.
3. Estrato de toba aglomerada de 6 metros de espesor de moderada permeabilidad.
4. Estrato de 9 metros de espesor de piroclastos de caída que confieren alta permeabilidad.
5. Estrato de doce metros de espesor de toba aglomerada con intercalación de estrato de arcillas arenosas.

6. Estrato de 13 metros de espesor de piroclastos de caída, seguido de estrato de 12 metros de sedimento aluvial, ambos presentan alta permeabilidad.

7. La base del pozo es un estrato de arcillas de baja permeabilidad.

La Figura 4.2 muestra los perfiles litológicos de los pozos perforados y la Tabla 4.1 resume la información técnica de los informes de perforación.

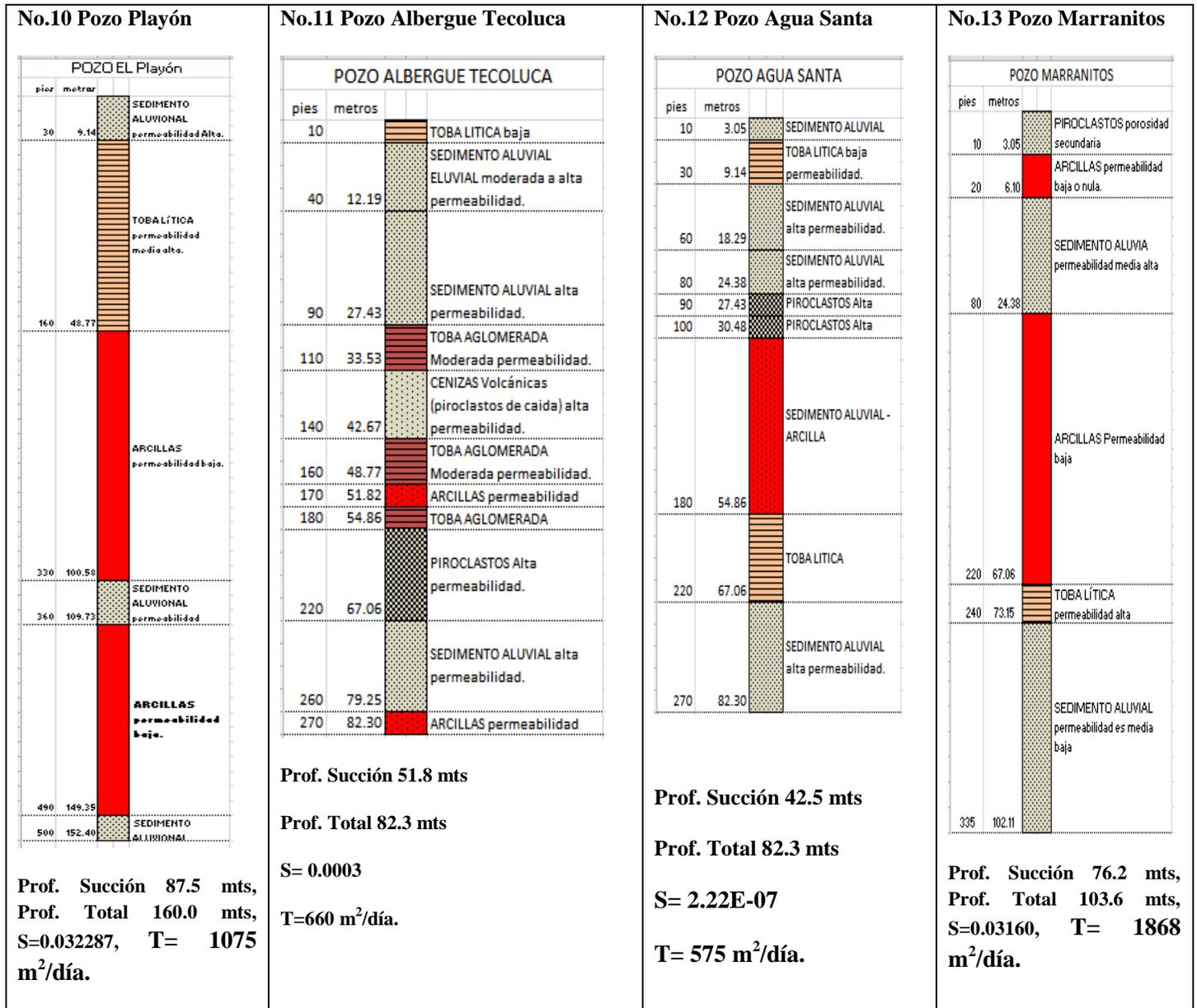


Figura 4.2. Profundidad total y estratigrafía de los pozos perforados.

El desarrollo de los pozos y los resultados de las pruebas de bombeo revelan las características principales del acuífero los cuales son resumidos en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Resumen de la información técnica de los pozos perforados.

No. Pozo / Nombre	Información Técnica de perforación
10 / Pozo Playón	Caudal Máximo Explotable 850 GPM, Prof. Cámara de Succión 287 pies, Prof. Nivel Dinámico 22.7 pies, Diámetro de revestimiento 12", nivel estático 38 pies, elevación 25 msnm., Transmisividad (gpd/pie)/(m <sup>2</sup> /d) T= 86,592/1,075 (Jacob) y 59,544/739 (Logan), Coef Almacenamiento S=0.032287, potencia rejilla= 45.80 metros.
11/ Pozo Albergue Tecoluca	Caudal Máximo Explotable 300GPM, Prof. Cámara de Succión 170 pies Prof. Nivel Dinámico 41.5 pies, Diámetro revestimiento 8", nivel estático 17 pies, elevación 40 msnm, Transmisividad (gpd/pie)/(m <sup>2</sup> /d) T= 53,177/660 (Jacob) y 32,254/400 (Logan), Coef Almac S= 0.0003, potencia rejilla= 47.17 metros.
12 / Pozo Agua Santa	Caudal Máximo Explotable 880 GPM, Prof. Cámara de Succión 140 pies Prof. Nivel Dinámico 60 pies, Diámetro revestimiento 12", nivel estático 6 pies, elevación 9 msnm, Transmisividad (gpd/pie)/(m <sup>2</sup> /d) T= 46,344/575 (Jacob), Coef Almacenamiento S= 2.22E-07, potencia rejilla= 42.67 metros.
13 / Pozo Marranitos	Caudal Máximo Explotable 850 GPM, Prof. Cámara de Succión 260 pies Prof. Nivel Dinámico 22.7 pies, Diámetro revestimiento 12", nivel estático 7.75 pies, elevación 9 msnm, Transmisividad (gpd/pie)/(m <sup>2</sup> /d) T= 148,020/1,838 (Jacob) y 58,278/724 (Logan), S=0.03160, potencia rejilla= 42.24 metros.

Fuente: Elaboración propia de los informes de perforación de pozos.

Sobre la base de la información presentada de la estratigrafía litológica de los pozos perforados, y los resultados de los sondeos eléctricos verticales se han elaborado dos perfiles litológicos, uno es longitudinal en el sentido del flujo del agua subterránea es decir de norte a sur desde el punto del SEV 07<sup>2</sup>, pasando por el pozo El Playón, luego al pozo Agua Santa, pozo Marranitos, SEV 01 El Pichiche (realizado dentro del presente estudio) y finalmente hasta llegar a la bahía de Jaltepeque.

<sup>2</sup>SEV realizado por misión japonesa para la ANDA, denominado SEV07 en cantón Santa Cruz Porrillo "El Paraíso" coordenadas 88°47'21.96", 13°27'42.51".

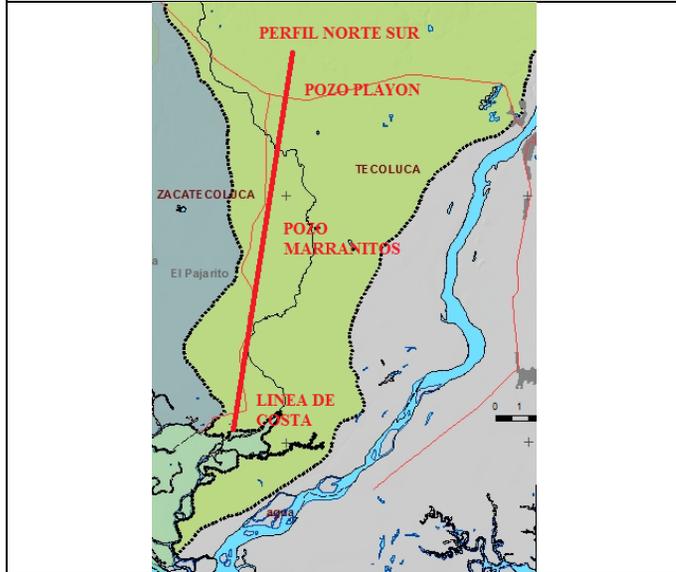
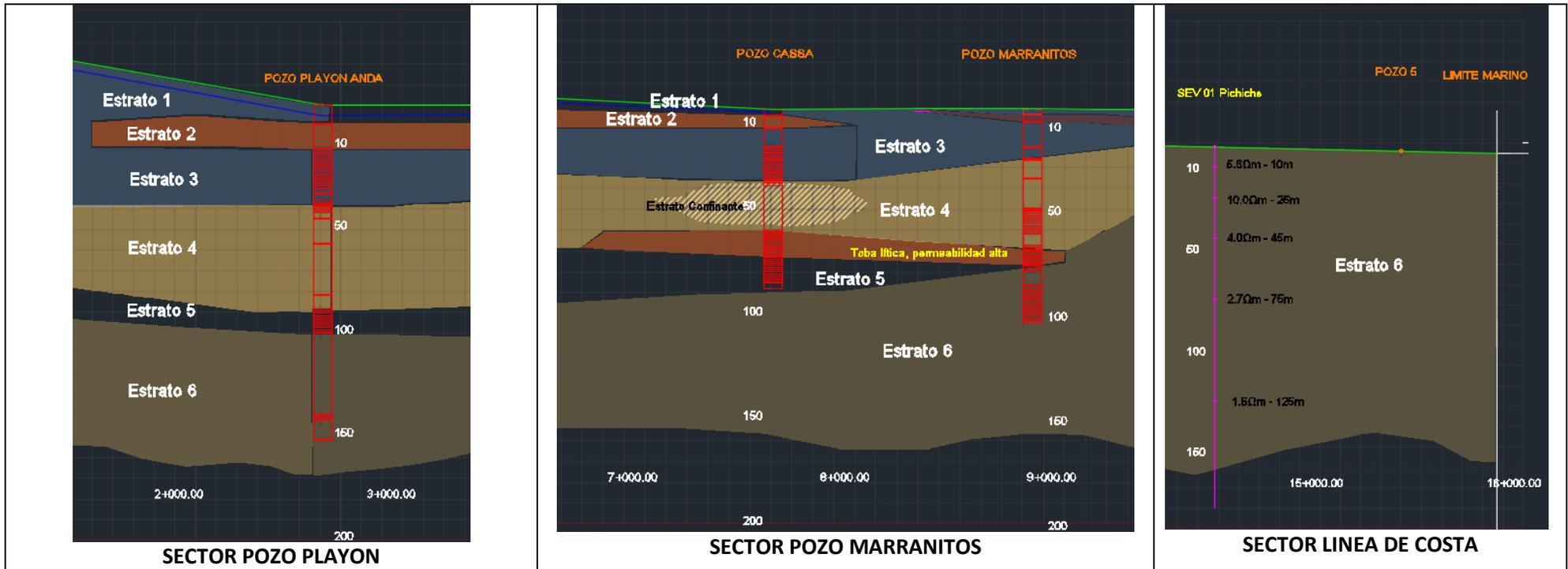
El segundo en dirección perpendicular al sentido del flujo del agua subterránea partiendo del SEV13, pasando por el pozo El Playón, para llegar al pozo del albergue de Tecoluca, en dirección este – oeste. En la elaboración de los perfiles se han tenido las siguientes consideraciones:

- Resistividades menores a 10 ohm-m, Se asocia con material aluvial fluvial con material arcilloso en contenidos del 25 a 30% de media a baja permeabilidad.
- Resistividades que varían de 10 a 60 ohm-m se asocian con material aluvial fluvial de arena fina y limos con presencia de un aproximado de 10 a 25% de material arcilloso, de permeabilidad media.
- Resistividades mayores a 60 ohm-m, se asocia con sedimentos fluviales de canto rodado, grava y arena con 10% arcilla y combinación de capas de piroclastos compuestos por cenizas, piedras, bloques y bombas de pómez con diversos tamaños. La permeabilidad es alta.

En general, se observa que en la planicie costera, se tiene una capa de material reciente que se asocia a la litología superficial la cual varía entre sedimentos de arena, ceniza, material orgánico con afloramientos de arcillas y tobas consolidadas. En la parte sur más cercano a la zona de la bahía se observan sedimentos fluviales y arcillas, que en el mapa geológico se indica como depósitos de estuario.

En las Figuras 4.3 y 4.4 se muestran los perfiles elaborados:

Figura 4.3. Perfil Litológico Norte – Sur.



**Acuífero poroso en piroclastos, sedimentos y tobas:**

**Estrato 1:** Piroclastos y sedimentos fluviales

**Estrato 2:** Tobas (cenizas con arena gruesa y fina)

**Estrato 3:** Sedimentos fluviales, canto rodado, grava y arena con 10% arcilla seguido de capa de piroclastos: cenizas, piedras, bloques y bombas de pómez con diversos tamaños.

**Estrato 4:** Sedimentos Aluviales: arcilla plástica con arena muy fina y limo, permeabilidad media. Textura granular con 10 a 30% arcilla. En el sector de pozo CASSA existe estrato confinante.

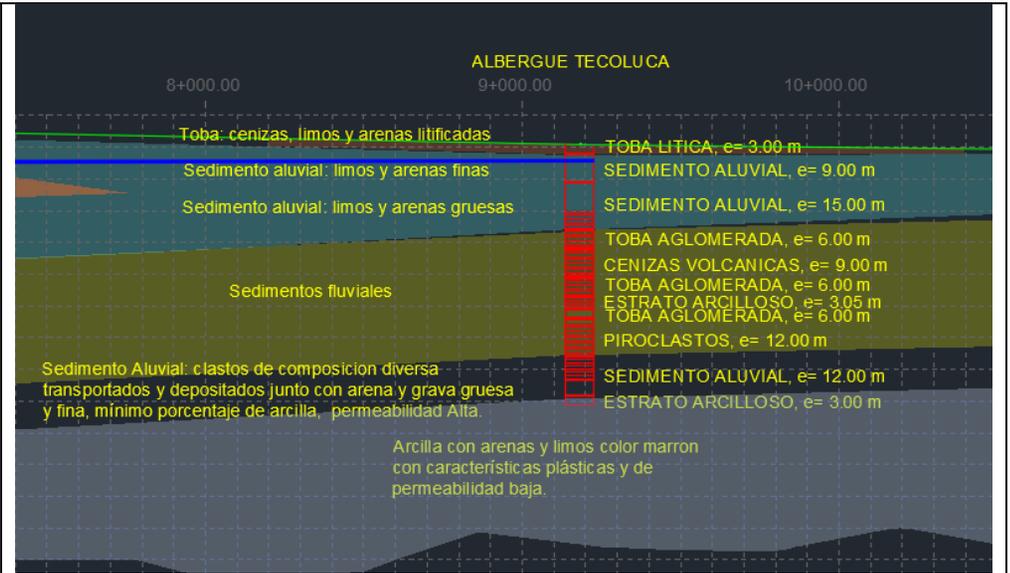
**Estrato 5:** Sedimento Aluvial: Canto rodado, gravas y arenas (andesita, pómez, basalto, Permeabilidad alta.

**Estrato 6:** Sedimentos fluviales. Estructura semicomcompacta y de característica elástica con 25 a 30% de Arcilla.

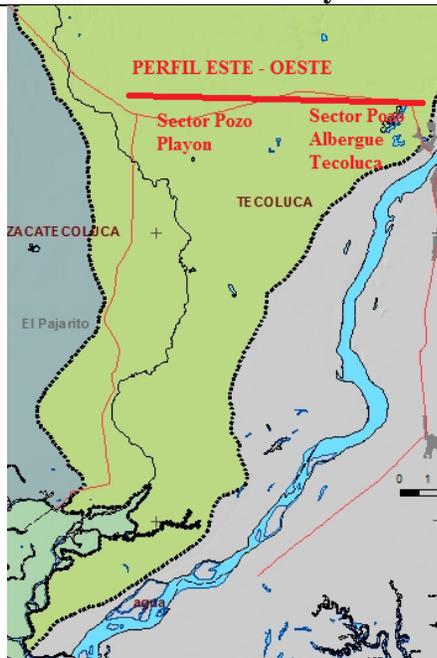
Figura 4.4. Perfil Litológico Este – Oeste.



**Sector Pozo El Playón**



**Sector Pozo Albergue Tecoluca**



**Acuífero poroso en piroclastos, sedimentos y tobas.**

### **4.3 Hidrogeología del área de estudio**

El análisis de la litología de la cuenca El Guayabo en la zona de la planicie costera permite identificar de forma general, sistemas acuíferos interconectados por medio de estratos semi permeables a impermeables.

La unidad hidrogeológica está representada por un acuífero de sedimentos aluviales con intercalaciones de estratos arenosos en matrices arcillosas, estratos de tobas poco consolidados y escasas capas de piroclastos y cenizas volcánicas que aportan heterogeneidad en sus propiedades hidráulicas.

En la zona de estudio se recabó información de una aproximado de 175 pozos excavados de poca profundidad y se estima que pudiera existir una totalidad de aproximadamente 350 pozos excavados, así como un número no definido de punteras para la extracción de agua con la finalidad de riego, principalmente para el cultivo de caña de azúcar y para el suministro de agua potable se identificaron 4 pozos perforados, dos de los cuales pertenecen a la ANDA.

En el análisis de los resultados se ha tomado en cuenta los informes de perforación de pozos principalmente en cuanto a las ubicaciones de las rejillas, informes litológicos y los parámetros hidrogeológicos obtenidos a partir de las pruebas de bombeo.

#### **Acuífero poroso en piroclastos, sedimentos y tobas**

Esta unidad acuífera se distribuye en toda la zona de estudio y esta unidad presenta condiciones de heterogeneidad en sus propiedades hidráulicas. El grado de consolidación de los piroclastos y su composición granulométrica, así como de las tobas líticas pueden aportar permeabilidades medias y los estratos arenosos embebidos en matrices arcillosas pueden aportar permeabilidades de bajas a muy bajas.

#### **Parámetros hidrogeológicos**

Los parámetros hidrogeológicos de algunos de los pozos profundos presentan cierta similitud, los cuales se analizan.

En la Tabla 4.2 se presentan los valores de transmisividad de los pozos perforados que fueron calculados y presentados en los informes de perforación y aforo de los respectivos pozos.

Tabla 4. 2. Valores de transmisividad del acuífero en pozos perforados.

Pozo	Transmisividad T (Jacob) (gpd/pie) / (m <sup>2</sup> /d)	Transmisividad T (Logan) (gpd/pie) / (m <sup>2</sup> /d)
No.10 Pozo El Playón	86,592 / 1075	59,544 / 739
No.11 Pozo Albergue Tecoluca	53,177 / 660	32,254 / 400
No. 12 Pozo Agua Santa	46,344 / 575	-
No. 13 Pozo Marranitos	148,020 / 1838	58,278 / 724

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos de informes de perforación.

La variación de la transmisividad en el acuífero se ve influenciado por la geología de los estratos atravesados en la perforación, por lo tanto representa las características combinadas del sistema de agua subterránea y su ocurrencia en los distintos estratos geológicos, los informes de perforación indican que los primeros estratos de sedimentos aluviales, tobas líticas de baja compactación y las capas de piroclastos presentan características de permeabilidad relativamente similares variando de media a media alta y algunos con muy alta permeabilidad, lo que permitiría agruparlos en un estrato de alta permeabilidad.

Los valores del coeficiente de almacenamiento de los pozos perforados en la cuenca El Guayabo es el mostrado en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Coeficientes de Almacenamiento de los pozos perforados.

Pozo	Coficiente de Almacenamiento S	Clasificación
No.10 Pozo El Playón	0.032287	Acuífero libre
No.11 Pozo Albergue Tecoluca	0.0003	Acuífero semiconfinado
No. 12 Pozo Agua Santa	2.22E-07	Acuífero confinado
No. 13 Pozo Marranitos	0.03160	Acuífero libre

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la condición de confinamiento, según los datos de los pozos perforados, estos presentan heterogeneidad por lo que se puede decir que dicha condición varía a lo largo del acuífero y depende de los estratos suprayacentes, sin que se pueda establecer una correlación directa.

Con la información de los niveles piezométrico recabados de las campañas en época seca y de lluvias de los 173 pozos someros tipo excavados, cuya distribución se muestra en la Figura 4.5, se ha elaborado el mapa de curvas piezométricas en el área de estudio y que se muestra en las Figuras 4.6a y 4.6b, donde se observa que los flujos del agua subterránea son de Norte a Sur, con magnitudes de velocidad mayores en la parte norte y con tendencias a estacionaria en las zonas más planas en la parte sur de la planicie costera más próxima a la bahía. La descarga del agua subterránea se realiza hacia el estero de Jaltepeque.

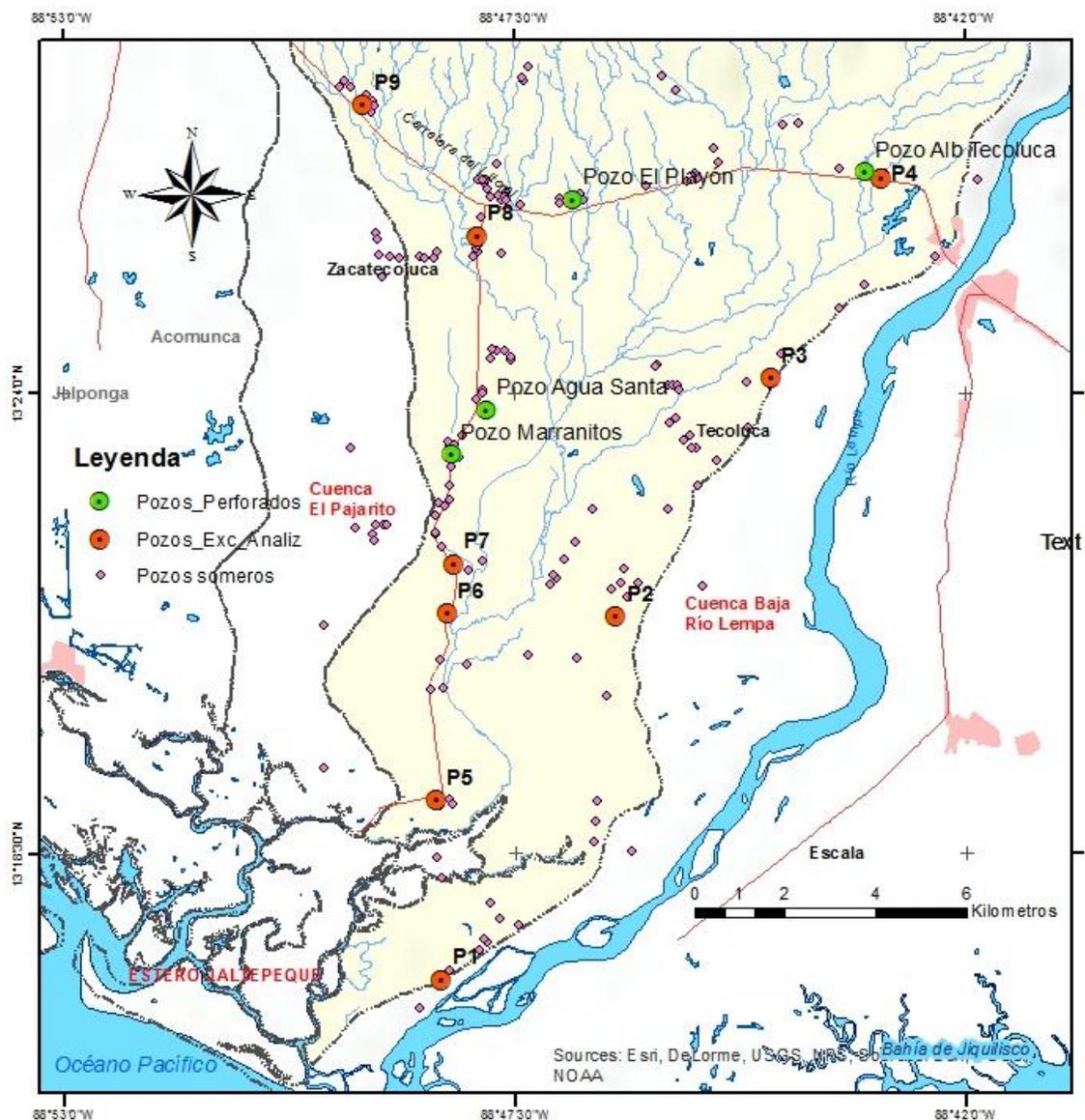


Figura 4.5. Mapa de la distribución de 173 pozos analizados.

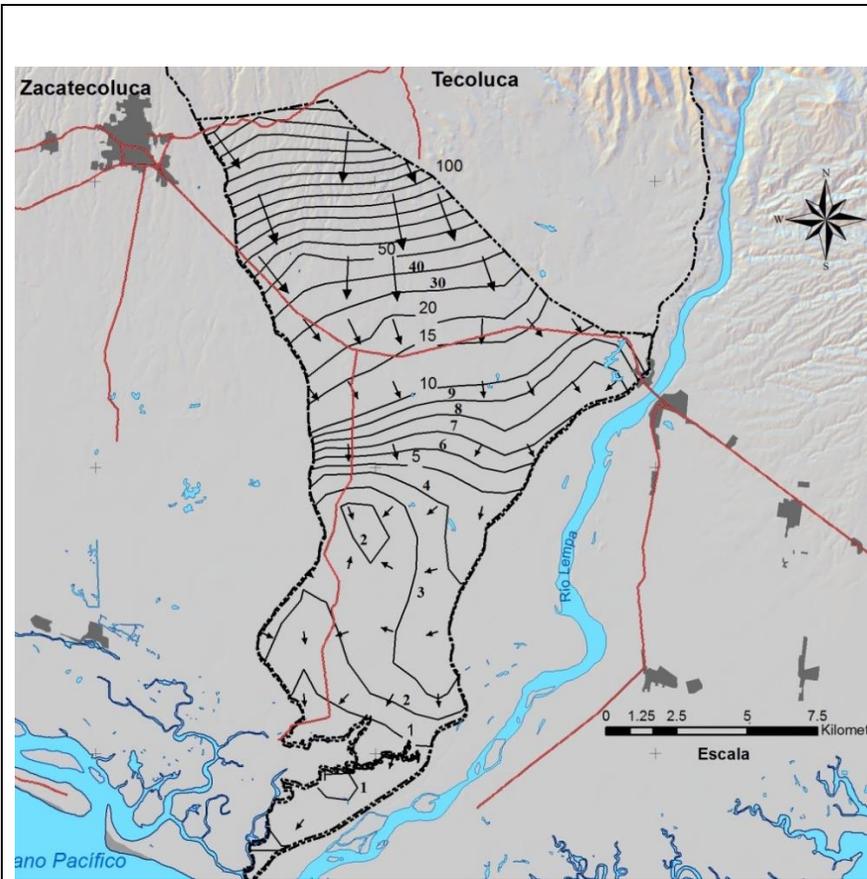


Figura 4.6a. Isofreáticas de pozos someros al final época de lluvias.

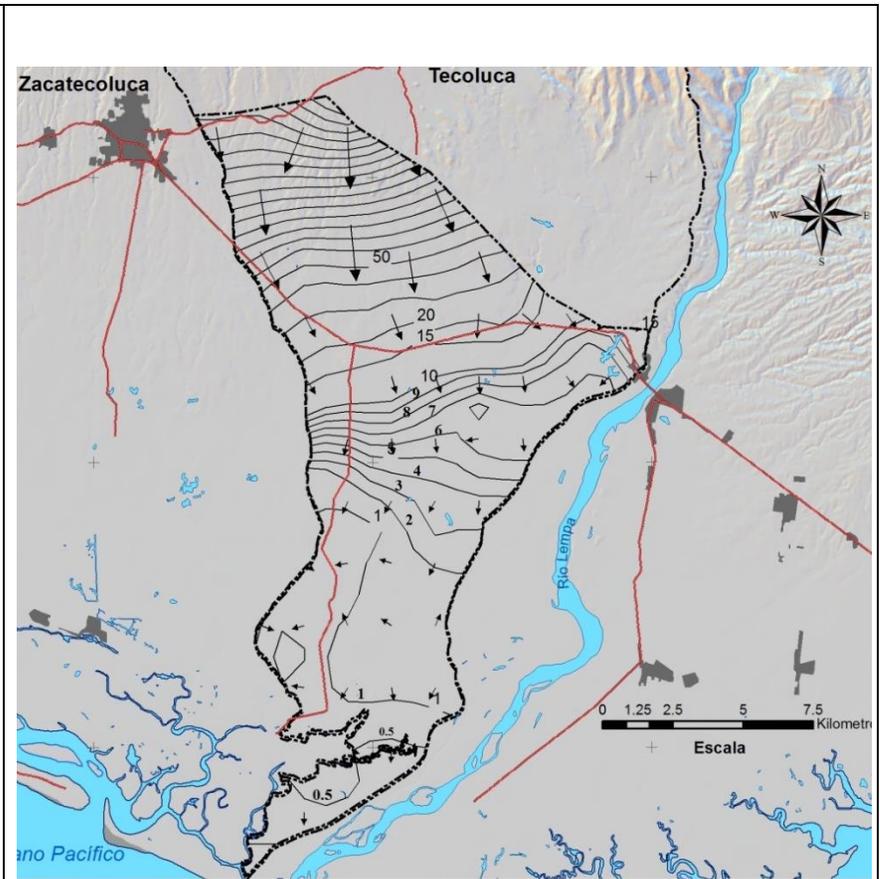


Figura 4.6b. Isofreáticas de pozos someros al final época seca.

Figura 4. 6. Isolíneas de los niveles piezométricos al final de las épocas de lluvias y seca, mediante los 173 pozos someros.

El comportamiento de los niveles piezométricos en el acuífero deja evidencia de que el sistema es influenciado por la estacionalidad, es decir, en términos generales se observa un desplazamiento hacia el sur (hacia el mar) de todas las curvas equipotenciales de la época de lluvias con respecto a las curvas de la época seca, lo que significa que los niveles de agua de los pozos han ascendido como reflejo de la recarga al acuífero. En la Figura 4.7a se muestra las isolíneas del diferencial entre el nivel piezométrico correspondientes a la época de lluvias con respecto a la época seca, donde se observa que en la planicie costera los rangos varían de cero a dos metros de profundidad y existe una zona al norte de la carretera del litoral donde la diferencia de las profundidades alcanzó los cinco metros, que es indicada con los colores rojos.

La Figura 4.7b muestra las isolíneas de profundidad del nivel freático en la época seca donde se observan profundidades del nivel freático con respecto al suelo de 2 a 5 metros y en la zona norte se observan profundidades de 20 metros.

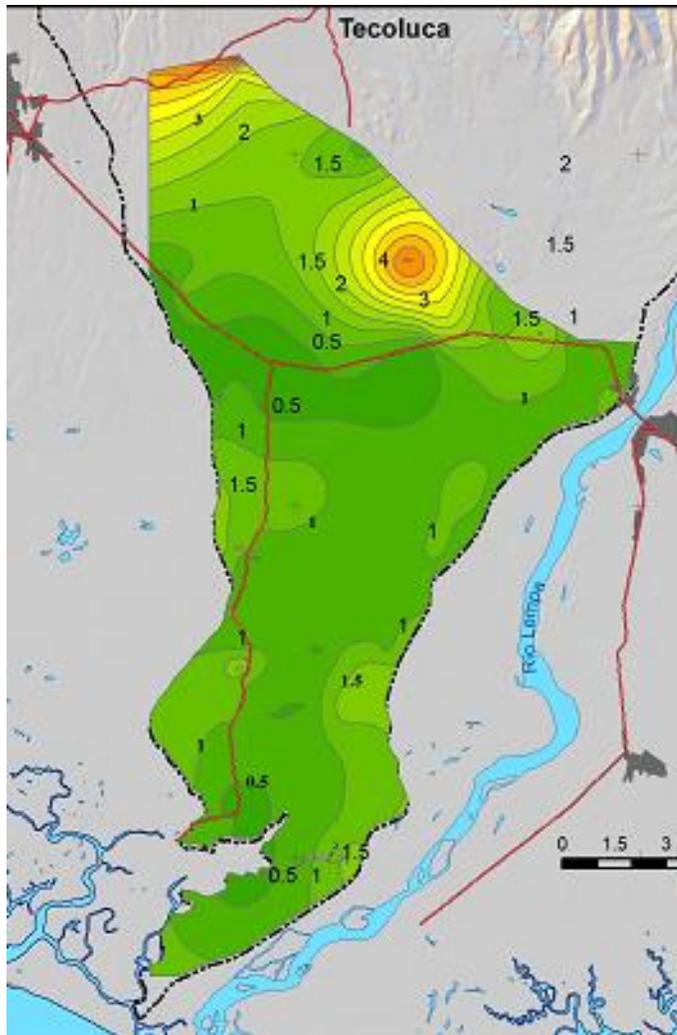


Figura 4.7a Isolíneas diferencial de nivel.

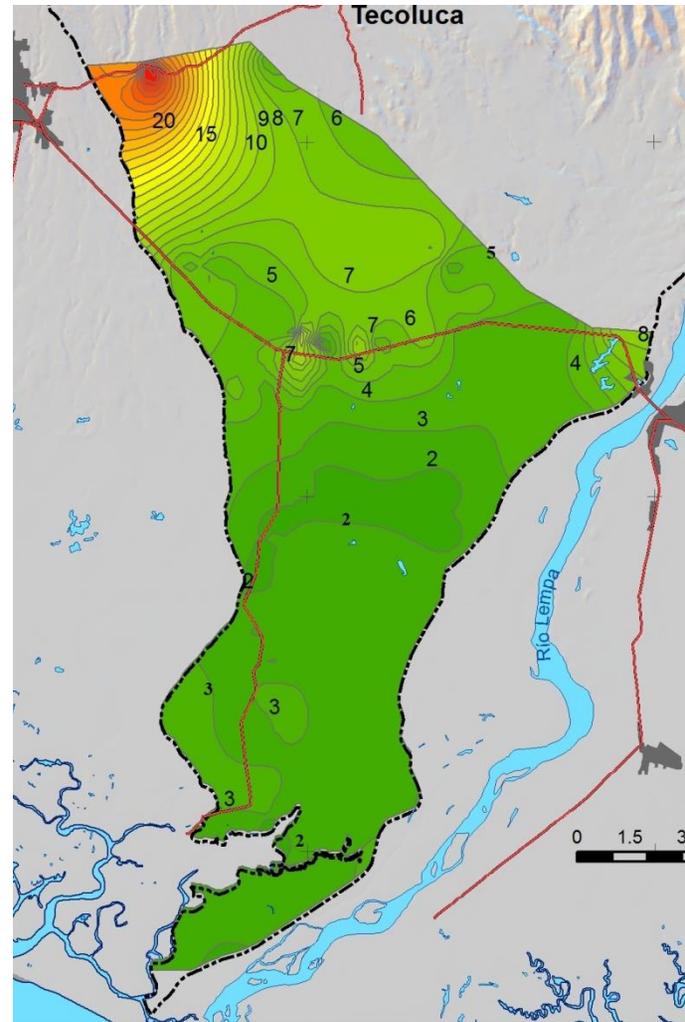


Figura 4.7b Isoprofundidad nivel freático época seca.

Figura 4.7. Características de Niveles Freáticos de acuífero somero.

#### 4.4 Modelo Conceptual del Acuífero de la Cuenca El Guayabo

Es importante indicar que el comportamiento que a continuación se describe es de acuerdo a los mapas piezométricos del acuífero somero, el cual tiene una relación variable con el acuífero profundo el cual depende de las condiciones de confinamiento que le confieren la variabilidad de condiciones de los estratos.

El acuífero de la cuenca El Guayabo, en su parte norte, posee un límite cerrado puesto que se trata de una divisoria de aguas en la cima del volcán de San Vicente o Chichontepec, en la unidad acuífera de rocas volcánicas fisuradas; al noreste tiene límites cerrados al flujo subterráneo por estar en contacto directo con la unidad de rocas no acuíferas (ANDA COSUDE, 2008) en la zona de los cantones El Carao, San Fernando, Santa Bárbara y El Socorro de la jurisdicción de Tecoluca.

En el costado oriente el acuífero de la cuenca El Guayabo, que colinda con la cuenca baja del río Lempa, posee un límite abierto donde se observa un flujo del agua subterránea paralelo a lo largo del río Lempa, no distinguiéndose influencia de éste hacia el acuífero a partir de las líneas de flujo del acuífero somero.

Al poniente el acuífero de la cuenca El Guayabo posee un límite abierto al acuífero de la cuenca vecina El Pajarito de la jurisdicción de Zacatecoluca, donde por la dirección y sentido de las líneas de flujo en las épocas de lluvia y seca de las Figuras 4.6a y 4.6b se observa un posible aporte desde éste acuífero hacia el acuífero de la cuenca El Guayabo.

El límite de la cuenca al costado sur, coincidente con la costa pacífica en el estero de Jaltepeque donde el acuífero es abierto al flujo subterráneo y donde se realiza principalmente la descarga del acuífero.

Las cotas piezométricas máximas registradas se encuentran cercanas a los 170 msnm en el sector de la comunidad El Milagro del cantón San Francisco Angulo de la jurisdicción de Tecoluca donde se localizaron los pozos excavados más al norte en la presente investigación, mientras que las mínimas corresponden al nivel del mar en las vecindades del estero de Jaltepeque, que poseen un gradiente hidráulico medio del orden de  $8.0E-03$  y con las características hidrogeológicas que se indican a continuación:

Transmisividad máxima de 1,838 m<sup>2</sup>/día en el pozo Marranitos y mínima de 575 m<sup>2</sup>/día en el pozo Agua Santa. El Coeficiente de Almacenamiento máximo de 3.23E-03 en el pozo de El Playón y mínima de 2.22E-07 en el pozo de Agua Santa.

Estos datos proveniente de los informes de perforación de los cuatro pozos perforados y los perfiles de su estratigrafía correlacionada con la información de los sondeos geofísicos que se muestran en los perfiles de las figuras 4.4 y 4.5 a lo largo de dos ejes, uno longitudinal al sentido del flujo del agua subterránea en dirección norte sur y 16 kilómetros de longitud, y otro en dirección transversal al sentido del flujo del agua subterránea en la parte norte de la planicie costera, con dirección este oeste y con una longitud de 9.5 km, ha permitido ampliar el conocimiento del acuífero de la planicie costera que se puede resumir de la siguiente forma: El acuífero está constituido de piroclastos y sedimentos fluviales con intercalaciones de sedimentos fluviales con altos contenidos de arcillas y tramos de tobas consolidadas compuestas por cenizas y arenas fluviales que se asocian con la litología superficial. Debajo de esta primera capa, con espesores de 50 metros existe una capa de sedimentos aluviales con contenidos variables de arcillas que pueden provocar confinamiento en algunos sectores como el del pozo Agua Santa y en otras zonas con presencia de lentes de tobas de permeabilidades altas para luego continuar con una capa de entre 10 a 30 metros de espesor con materiales aluviales de canto rodado, gravas y arenas con buena permeabilidad, para luego presentarse una capa de profundidad desconocida de material sedimentario aluvial con contenidos mayores de arcilla que pueden variar de entre 20 a 30% hasta presentar arcillas arenosas de baja permeabilidad.

#### **4.5 Análisis hidrogeoquímico del agua subterránea somera.**

Se realizó dos campañas de toma de muestras de agua en nueve pozos excavados en la zona de estudio, llevadas a cabo el 16 de abril de 2013, correspondientes al final de la época seca y el 09 de octubre de 2013, correspondiente al final de la época lluviosa, permiten evaluar en terreno la situación de los recursos subterráneos en relación al posible fenómeno de la intrusión salina, además de establecer los requerimientos básicos que deben satisfacer para implementar con éxito el programa de monitoreo en la zona. La distribución de los pozos a los que se realizó el muestreo se ilustra en la Figura 4.8.

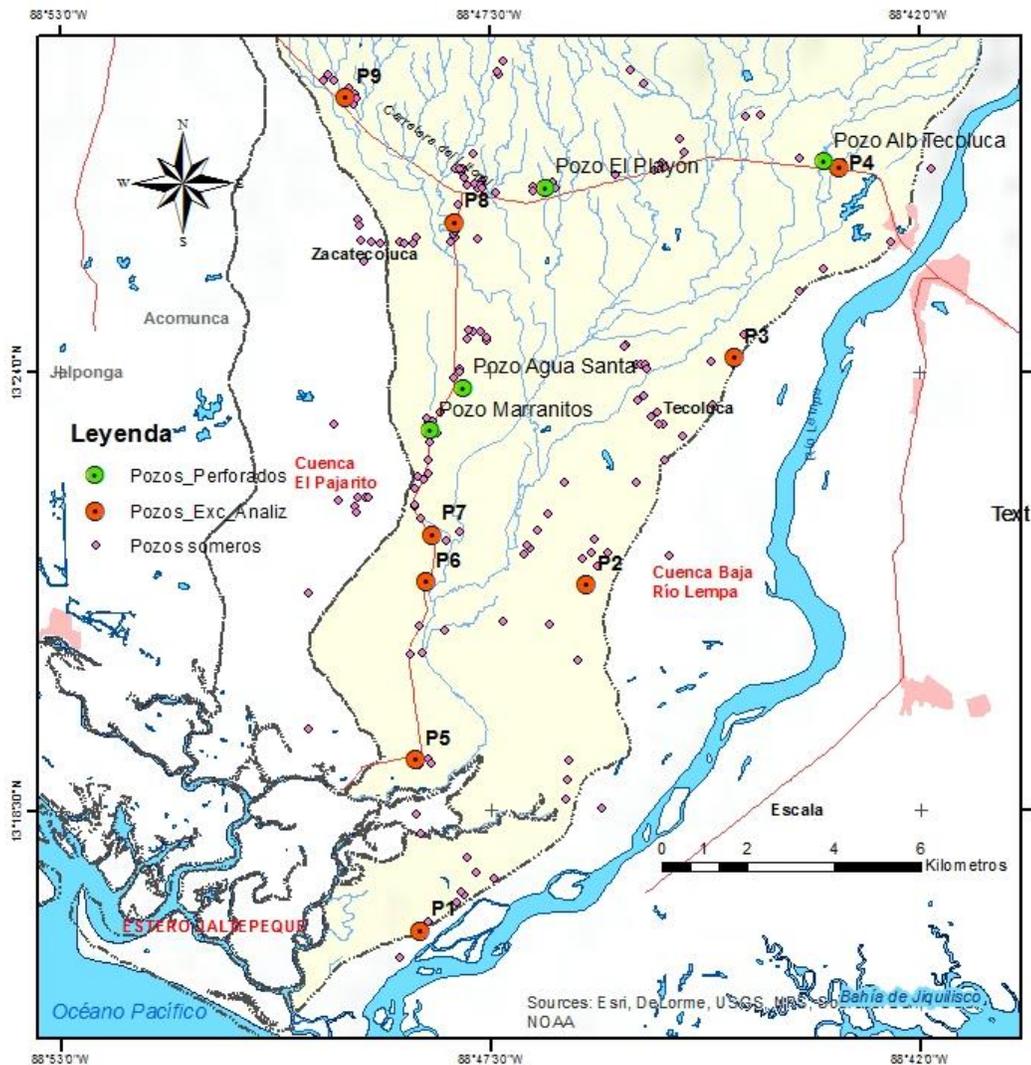


Figura 4.8. Distribución de los pozos que fueron muestreados.

El análisis de laboratorio consistió en determinar las concentraciones de los iones mayoritarios y otros elementos de interés: bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), fluoruros, nitrógeno amoniacal, boro, fosfatos, manganeso total, hierro total, sílice, arsénico, dureza total, alcalinidad total, sólidos totales disueltos, y las propiedades físicas como temperatura, conductividad eléctrica, TDS, salinidad y pH se tomaron en campo. En la Tabla 4.4 se muestra los resultados de los parámetros de los análisis realizados en laboratorio y en la Tabla 4.4 los resultados recabados in situ.

Tabla 4. 4. Resultado de los parámetros físicos analizados en laboratorio.

Parámetro	época	Pozo 1	POZO 2	POZO 3	POZO 4	POZO 5	POZO 6	POZO 7	POZO 8	POZO 9	Pozo Playón	Pozo Tecoluca	Agua Santa	Marranitos	Unidad
PH	Seca	6.84	6.69	6.14	7.20	8.00	7.65	7.93	7.20	6.10	7.32	7.00		7.76	Unidades
	Lluvia	6.40	6.69	5.92	5.90	6.94	6.13	6.01	6.08	6.78					
Conductividad Eléctrica	Seca	777.50	314.50	285.65	265.00	20,675.00	427.50		588.50	230.45		285.00			µS/cm
	Lluvia														
Alcalinidad Total	Seca	339.43	201.15	182.24	154.11	672.00	222.66	248.42	111.09	124.33	130.00	116.00		180.00	mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Lluvia	383.37	482.48	166.47	156.93	621.50	200.94	171.54	180.88	104.75					
Bicarbonatos	Seca	339.43	201.15	182.24	154.11	672.00	222.66	248.42	111.09	124.33		116.00			mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Lluvia	383.37	482.48	166.47	156.93	621.50	200.94	171.54	180.88	104.75					
Boro	Seca	S													mg/l B
	Lluvia	0.08	0.02	0.02	0.02	0.44	0.02	0.02	0.24	0.01	0.025			0.025	
Calcio	Seca	28.75	22.99	30.12	28.19	624.19	35.27	89.30	64.55	31.32	29.84	24.80		7.84	mg/L Ca
	Lluvia	27.96	35.77	24.46	31.07	401.12	29.40	38.40	78.63	14.58					
Carbonatos	Seca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00			mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Lluvia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Cloruros	Seca	89.97	6.43	3.95	3.95	3,837.15	17.30	91.94	78.10	10.88		13.30			mg/L Cl <sup>-</sup>
	Lluvia	136.32	66.18	1.98	1.98	4,741.43	5.93	11.85	81.00	11.85					
Dureza Total	Seca	117.20	111.60	125.00	125.20	5,784.69	128.26	355.89	290.65	114.40	85.00	102.90		30.00	mg/L CaCO <sub>3</sub>
	Lluvia	141.24	156.95	93.89	111.00	3,202.51	120.75	142.43	297.99	70.22					
Fluoruros	Seca	1.33	0.86	0.50	0.26	0.72	0.35	0.30	0.45	0.29	0.05	0.70		0.05	mg/L F
	Lluvia	1.56	1.45	0.51	0.30	0.95	0.46	0.25	0.33	0.14					
Fosfatos	Seca	12.50	4.78	1.80	0.94	0.36	4.30	0.85	0.16	0.38					mg/L PO <sub>4</sub>
	Lluvia	4.07	2.90	2.49	0.83	2.72	3.48	2.39	1.48	0.29					
Hierro Total	Seca	0.39	0.59	0.13	0.01	2.38	1.45	0.01	0.06	0.00	0.03			0.03	mg/L Fe
	Lluvia	0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	1.15	0.01	0.01	0.78					
Magnesio	Seca	11.03	13.16	12.09	13.31	1,026.33	9.76	32.28	31.44	8.79	2.50	10.00		2.50	mg/L Mg
	Lluvia	17.34	16.43	7.97	8.12	534.50	11.50	11.30	24.69	8.21					
Manganeso Total	Seca	0.20	1.35	0.20	0.12	2.63	0.52	0.03	0.04	0.13	0.005			0.005	mg/L Mn
	Lluvia	0.17	0.13	0.10	0.08	1.01	0.79	0.12	0.08	0.08					
Nitratos	Seca	19.55	1.60	0.75	0.40	13.20	2.40	29.40	20.85	0.60	0.30	1.80		0.10	mg/L NO <sub>3</sub>
	Lluvia	0.04	4.70	0.04	0.04	48.61	0.04	3.53	53.04	3.31					
Nitrógeno Amoniacal	Seca	0.55	1.40	0.28	0.28	14.50	0.50	0.21	0.26	0.21					mg/L NH <sub>4</sub>
	Lluvia	0.52	0.41	0.16	0.28	4.03	0.60	0.33	0.63	0.46					
Potasio	Seca	11.00	6.03	7.45	6.15	127.30	23.10	43.80	5.15	3.60					mg/L K
	Lluvia	10.85	2.48	4.38	2.05	163.00	17.53	4.60	30.83	1.85					
Sílice	Seca	91.85	94.84	111.63	107.28	60.87	107.16	99.57	107.03	101.81		65.40			mg/L SiO <sub>2</sub>
	Lluvia	80.95	104.87	106.60	104.38	68.69	100.56	105.31	92.79	85.21					
Sodio	Seca	108.90	36.95	23.85	23.00	445.00	33.95	47.85	24.90	20.10					mg/L Na
	Lluvia	581.00	536.00	26.50	22.95	4,235.00	35.55	34.45	51.40	29.15					
TDS	Seca	381.00	154.00	140.00	130.00	10,130.50	209.50	501.50	288.50	113.00	40.00	143.00		180.00	mg/L
	Lluvia	553.50	526.50	138.50	137.50	7,843.50	200.00	196.00	447.50	119.00					
Sulfatos	Seca	9.31	1.14	9.63	15.55	476.02	28.24	62.25	37.77	9.61	0.30	7.30		0.00	mg/L SO <sub>4</sub>
	Lluvia	45.70	63.42	13.83	17.57	773.82	15.94	30.13	84.80	20.11					
Arsénico	Seca														mg/L As
	Lluvia	0.01	0.10	0.01	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. 5. Parámetros recabados en campo.

Parámetros Campo	EPOCA	POZO 1	POZO 2	POZO 3	POZO 4	POZO 5	POZO 6	POZO 7	POZO 8	POZO 9	Playón	Tecoluca	Marranitos
Hora	Seca	9:50	10:30	11:00	11:15	12:10	12:50	13:25	14:20	2:40			
	Lluvias	10:00	10:25	10:45	11:16	11:50	12:16	12:40	13:50	1:50			
Temperatura °C	Seca	29.40	29.00	30.60	30.90	29.70	31.10	30.40	30.00	27.60	27.10		25.50
	Lluvias	28.30	29.70	29.30	29.30	28.40	30.00	29.30	29.90	29.90			
PH	Seca	7.50	7.50	7.00	7.20	7.30	7.00	7.30	6.70	7.00			7.76
	Lluvias	8.18	8.68	8.23	8.07	7.86	8.14	8.11	9.36	9.36			
TDS mg/L	Seca	420.00	168.00	150.00	144.00		222.00	537.00	306.00	124.00	40.00	143	180
	Lluvias	690.00	637.00	168.00	170.00	13410	250.00	233.00	142.00	142.00			
Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Seca	854.00	341.00	306.00	288.00	22000	449.00	1092.00	630.00	247.00		285	
	Lluvias	984.00	910.00	242.00	245.00	19230	359.00	339.00	749.00	197.30			

Fuente: Elaboración Propia, los espacios en blanco corresponden a parámetros no recabados.

En la Tabla 4.6, se expresa la concentración de los iones mayoritarios correspondientes a la época de lluvias, en unidades de Miliequivalente por litro (meq/l), donde se observa que las muestras de agua de los pozos 1, 2 y 5, poseen concentraciones superiores a los observados en las muestras de los demás pozos.

Tabla 4. 6. Concentración de iones mayoritarios de muestras al final de la época de lluvias.

iones meq/l	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	CL <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Pozo 1	1.40	1.43	25.27	3.84	6.29	0.95
Pozo 2	1.79	1.36	23.32	1.87	7.91	0.06
Pozo 3	1.22	0.66	1.15	0.06	2.73	0.29
Pozo 4	1.55	0.67	1.00	0.06	2.57	0.37
Pozo 5	20.06	44.15	184.22	133.71	10.19	16.10
Pozo 6	1.47	0.95	1.55	0.17	3.30	0.33
Pozo 7	1.92	0.93	1.50	0.33	2.81	0.63
Pozo 8	3.93	2.04	2.24	2.28	2.97	1.76
Pozo 9	0.73	0.68	1.27	0.33	1.72	0.42

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4.7, se expresa la concentración de los iones mayoritarios correspondientes a la época seca, en unidades de Miliequivalente por litro (meq/l), donde se observa que la muestra de agua del pozo 5, posee concentraciones superiores a los observados en el resto de pozos.

Tabla 4. 7. Concentración de iones mayoritarios de muestras en época seca.

iones meq/l	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	CL <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
Pozo 1	1.44	0.91	4.74	2.54	5.57	0.19
Pozo 2	1.15	1.09	1.61	0.18	3.30	0.02
Pozo 3	1.51	1.00	1.04	0.11	2.99	0.20
Pozo 4	1.41	1.10	1.00	0.11	2.53	0.32
Pozo 5	31.21	84.77	19.36	108.21	11.02	9.90
Pozo 6	1.76	0.81	1.48	0.49	3.65	0.59
Pozo 7	4.47	2.67	2.08	2.59	4.07	1.29
Pozo 8	3.23	2.60	1.08	2.20	1.82	0.79
Pozo 9	1.57	0.73	0.87	0.31	2.04	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Se hace la caracterización de la calidad del agua subterránea de los pozos mediante diagramas de Piper correspondientes a las dos épocas, donde en la Figura 4.9a se resumen los resultados de la época de lluvias y en la Figura 4.9b los resultados de la época seca. Del análisis de los resultados de los diagramas de Piper, en la Tabla 4.8, se observa que el agua existente es mayoritariamente del tipo bicarbonatada cálcica magnésica, con variaciones de tipología en las aguas de los pozos más cercanos al estero de Jaltepeque donde las aguas de los pozos se tornan bicarbonatadas sódicas y cloruradas sódicas, observándose en el pozo 8, tierra más adentro, del tipo clorurada cálcica y magnésica.

Tabla 4.8. Comparativo de la caracterización de las aguas de los pozos.

Pozo No.	Caracterización del agua época Lluvias	Pozo No.	Caracterización del agua época seca
1 y 2	Bicarbonatada Sódica y Potásica.	1	Bicarbonatada Sódica y potásica.
3, 4, 6, 7 y 9	Bicarbonatada Cálcica y Magnésica.	2, 3, 4, 6, 7 y 9	Bicarbonatada Cálcica y Magnésica.
5	Clorurada Sódica y Potásica.	5	Clorurada Cálcica Magnésica.
8	Clorurada Cálcica y Magnésica.	8	Clorurada Sulfatada Cálcica y Magnésica.

Fuente: Elaboración Propia

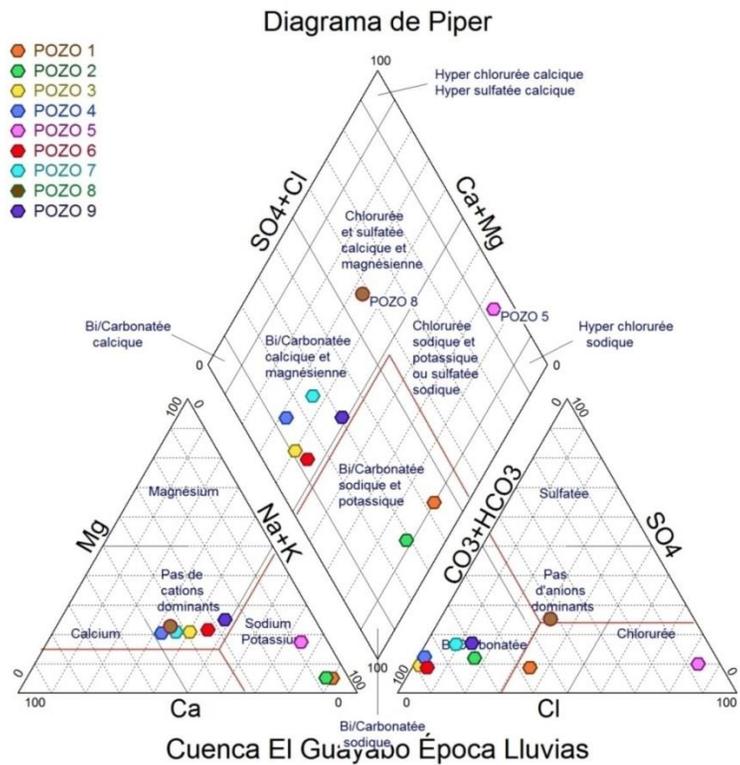


Figura 4.9 a Diagrama Piper final época de lluvias

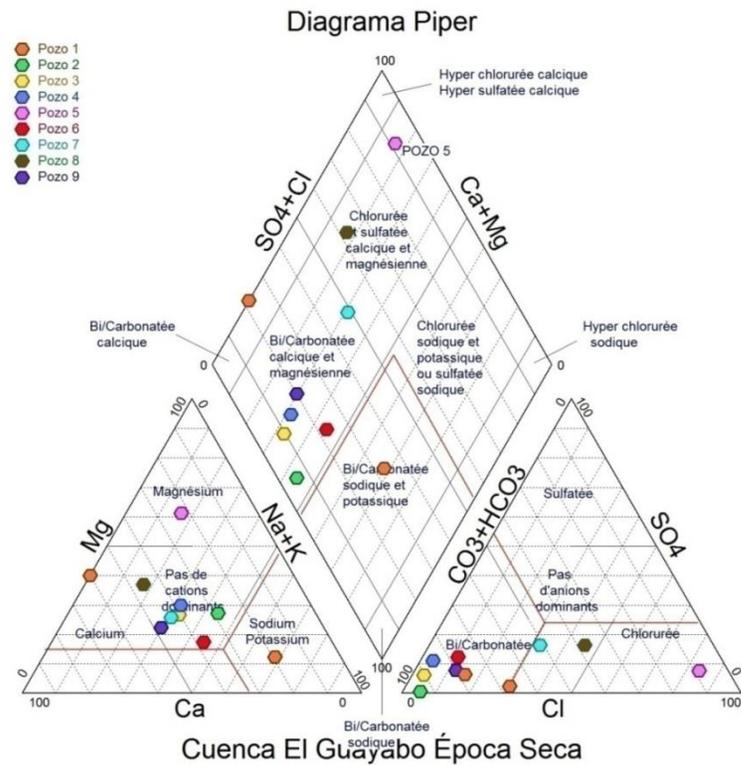


Figura 4.9b Diagrama Piper final época seca

Figura 4.9. Diagrama Piper para el acuífero somero.

La caracterización de las aguas en la época seca se observa que predominantemente las aguas son bicarbonatadas cálcicas y magnésicas y los pozos más cercanos al estero son bicarbonatadas sódicas (pozo 1) y clorurada cálcica y magnésica (pozo 5).

Consistentemente el pozo 5, que es muy cercano al estero de Jaltepeque se presenta como clorurada sódica y potásica, así como Clorurada Cálcica Magnésica en la época lluviosa y seca respectivamente, y el pozo 1, también cercano al estero y con cercanía al río Lempa se mantiene como bicarbonatada sódica y potásica en ambas épocas, reflejando una posible influencia de las aguas del río Lempa que evitan una mayor influencia de la intrusión salina.

En la medida que se avanza hacia la zona del estero de Jaltepeque, tanto en el sector del cantón La Pita del municipio de Tecoluca, como al caserío El Pichiche de la jurisdicción de Zacatecoluca, las muestras adquieren un mayor contenido en las concentraciones de los elementos analizados, a excepción del ion bicarbonato que se mantiene relativamente constante en toda la zona y además se observa una mayor predominancia del ion  $\text{Cl}^-$  seguido del aumento de Na, que se ve intensificado de manera notable al acercarse a la línea de costa como se aprecia de forma mucho más marcada en el pozo 5.

Otro elemento de análisis que permite una mayor comprensión en la forma en que se distribuyen y caracterizan las aguas según su ubicación, es mediante los diagramas de Stiff ubicados sobre el mapa de la zona de estudio. En las Figuras 4.10 y 4.11, se puede apreciar la composición del agua subterránea en las épocas seca y de lluvias respectivamente, donde sobresale lo siguiente:

Al final de la época de lluvias, alto contenido de cloruros y sodio en los pozos 1, 2 y 5 cercanos a la línea de costa de la bahía, pero más sobresaliente en el pozo 5 que se ubica en cantón San José de La Montana.

Al final de la época de lluvias, alto contenido de magnesio y sulfatos en el pozo 5, aunque en menor medida que los correspondientes valores de cloruros y sodio.

El pozo 5 tiene los cambios de mayor magnitud en el contenido de los iones sodio, que aumentan considerablemente durante la época de lluvias.

Un aumento significativo de los iones de sodio en los pozos 1, 2 y 5 en los pozos cercanos a la línea costera.

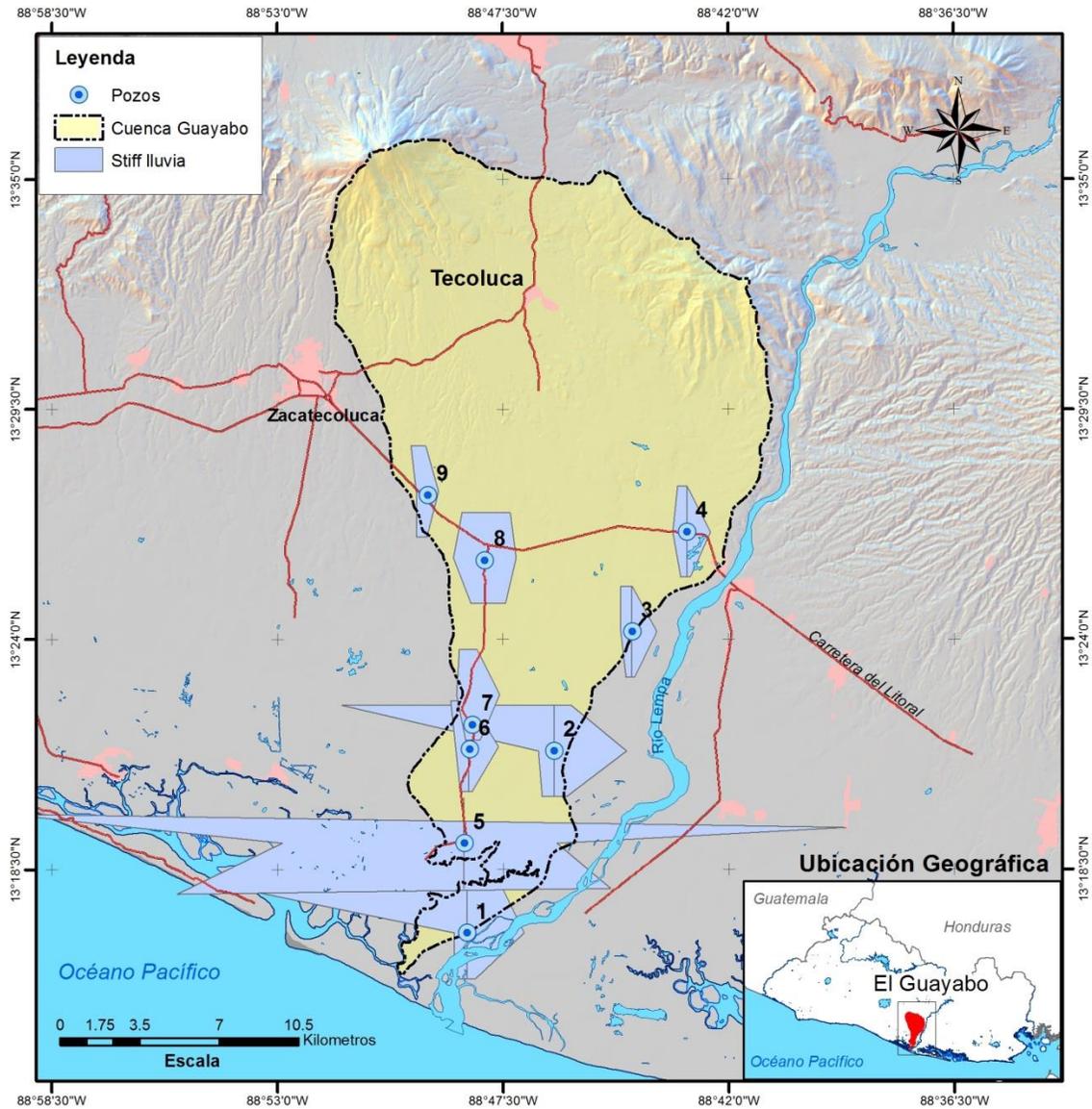


Figura 4. 10 Mapa de diagramas Stiff al final de la época de lluvias.

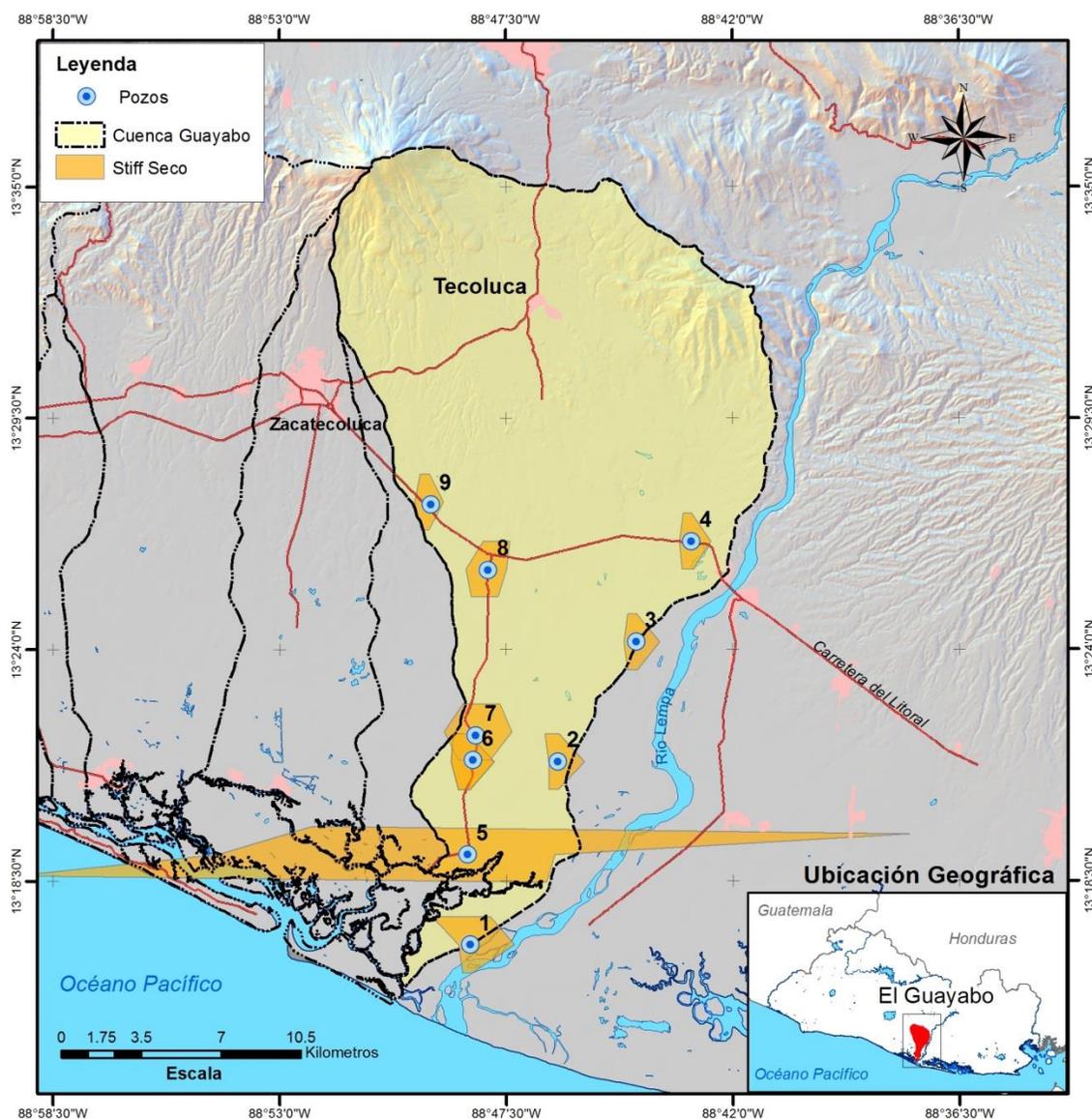


Figura 4. 11 Mapa de diagramas Stiff al final de la época seca.

Las aguas con mayores concentraciones de iones disueltos se aprecian en la zona sur de la cuenca en los pozos 1, 2 y 5, así como se experimentan cambios más drásticos en las épocas de lluvias y seca, causados probablemente por la influencia de su cercanía con el agua salina del estero de Jaltepeque. El pozo 1 no registra valores tan altos como los del pozo 5, probablemente debido a su proximidad con las aguas dulces del río Lempa, que de acuerdo a las líneas de flujo del agua subterránea, tanto en época de lluvias como época

seca, parece indicar que existe un aporte de aguas del río hacia el acuífero, lo cual no impacta en el pozo 5, por lo que los resultados revelan mayor concentración de sus iones.

De acuerdo a la clasificación en función al contenido de cloruros, el pozo 5, presenta valores arriba de los 2,000 mg/l por lo que se puede clasificar como Clorurada o Salina. Los contenidos de Cloruro en el agua lluvia oscila entre 0 - 20 mg/l, las aguas subterráneas continentales pueden oscilar entre los 10 - 250 mg/l, el agua salobre puede alcanzar 2,000 mg/l y las aguas marinas puede llegar a 21,000 mg/l (Custodio y Llamas, 2001).

Por otra parte, de acuerdo a la clasificación de las aguas por su Dureza (Custodio y Llamas, 2001), las aguas de los pozos 5, 7 y 8 son Muy Duras, con valores de 5,784.69; 355.89 y 290.65 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  respectivamente, siendo el pozo 5, el que presenta los mayores valores y la mayoría están en el rango de 61 a 120 mg/l, incluidos los pozos profundos de El Playón y Albergue de Tecoluca, los cuales se clasifican como “Algo Duras”, y los pozos 7, 8 superan el límite de los 250 mg/l estando ubicados tierra adentro y el pozo 5, cercano a la línea del estero alcanza valores cercanos a los 3,200 y 5,700 mg/l en las épocas lluviosa y seca respectivamente, por lo que se clasifican como aguas “Muy Duras”. El pozo profundo del caserío Marranitos se clasifica como agua blanda con un valor de dureza total de 30 mg/l.

Se observa que la salinidad del agua del pozo 5 los TDS en época seca 10,130.50 mg/l y en época de lluvias 7,843.50 mg/l y que de acuerdo a la clasificación (Freeze&Cherry, 1979), se ubica como Salobre en ambas épocas, y de acuerdo a esta clasificación el agua de los demás pozos presentan condiciones de dulce.

La Figura 4.12a y 4.12b muestra las isolíneas de contenido de iones cloruros en las épocas de lluvias y seca, donde se observa que en la zona del municipio de Zacatecoluca, la mayor concentración se ubica en la zona del pozo 5 en comunidad El Pichiche, alcanzando valores de 4,741.43 y 3,837.15 mg/l en las épocas de lluvias y seca respectivamente, los cuales se van disminuyendo en la medida que se alejan en la dirección el norte, hasta llegar a valores de 11.85 y 10.88 mg/l en las épocas de lluvias y seca en el pozo 9 en el cantón La Lucha.

En la zona del municipio de Tecoluca la mayor concentración se observa en el pozo 1 en la comunidad La Pita, donde alcanza valores de 136.32 y 89.97 mg/l en las épocas de lluvias y

seca y disminuyen en la medida que se alejan en dirección norte hasta alcanzar valores de 1.98 y 3.95 mg/l en el pozo 4 en el caserío Santa Bárbara del cantón San Nicolás Lempa.

Se observa una tendencia al aumento de la concentración de cloruros en la época de lluvias con respecto a la época seca, pero su configuración de distribución espacial se conserva.

Es importante señalar que el pozos 5 originalmente fue utilizado para el abastecimiento de las familias de la comunidad, pero después de un tiempo ya no se utiliza porque sus aguas se tornaron a una condición de salobre.

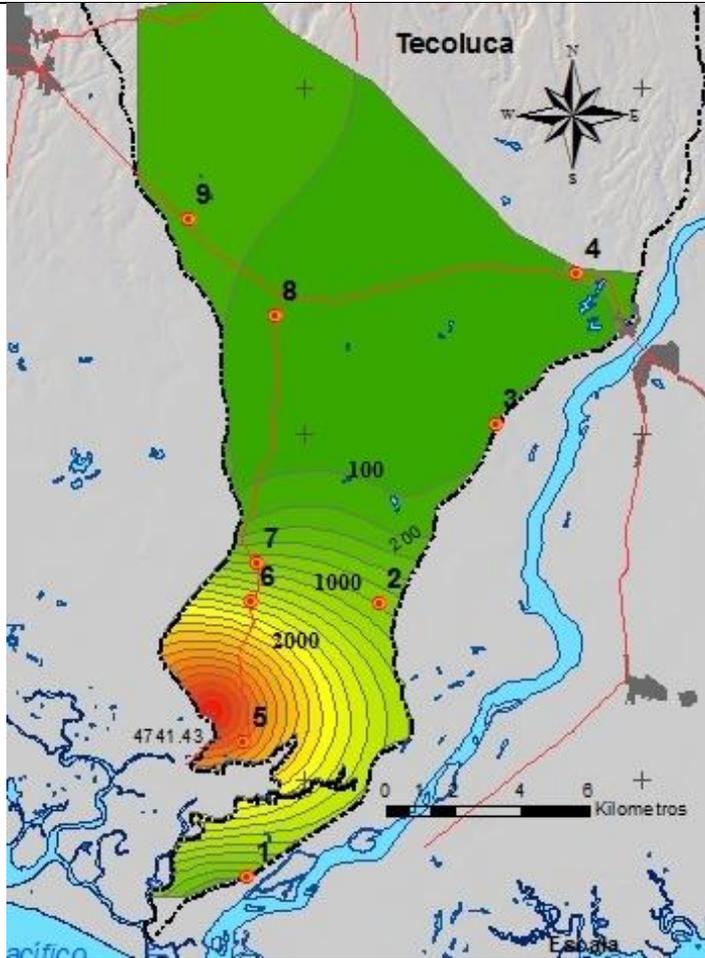


Figura 4.12a. Contenido de ion Cl (mg/l) final época lluvias

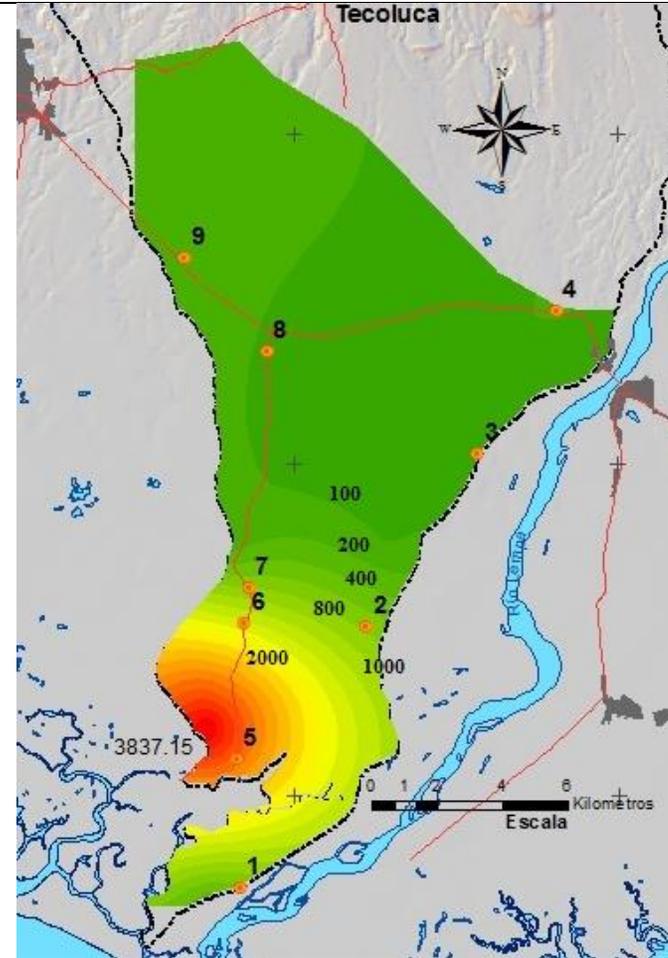


Figura 4.12b. Contenido de ion Cl (mg/l) final época seca

Figura 4. 12 Contenido de ion Cl (mg/l) en acuífero somero.

La Figura 4.13a y 4.13b muestra las isolíneas de contenido de iones sodio en las épocas de lluvias y seca, donde se observa que en la zona del municipio de Zacatecoluca, la mayor concentración se ubica en la zona del pozo 5 en comunidad El Pichiche, alcanzando valores de 4,235 y 445 mg/l en las épocas de lluvias y seca respectivamente, los cuales se van disminuyendo en la medida que se alejan en la dirección el norte, hasta llegar a valores de 29.15 y 20.10 mg/l en las épocas de lluvias y seca en el pozo 9 en el cantón La Lucha.

En la zona del municipio de Tecoluca la mayor concentración se observa en el pozo 1 en la comunidad La Pita, donde alcanza valores de 581.00 y 108.90 mg/l en las épocas de lluvias y seca y disminuyen en la medida que se alejan en dirección norte hasta alcanzar valores de 22.95 y 23.00 mg/l en el pozo 4 en el caserío Santa Bárbara del cantón San Nicolás Lempa.

Se observa una tendencia al aumento de la concentración de cloruros en la época de lluvias con respecto a la época seca, siendo mucho más marcada en la zona próxima al estero de Jaltepeque. La configuración de distribución espacial se conserva en ambas épocas.

La Figura 4.14a y 4.14b muestran las isolíneas de contenidos de iones nitrato en las épocas de lluvias y seca, donde se observa que en la zona del municipio de Zacatecoluca, la mayor concentración se ubica en la zona del pozo 5 en comunidad El Pichiche, alcanzando valores de 48.61 y 13.20 mg/l en las épocas de lluvias y seca respectivamente, los cuales se van disminuyendo en la medida que se alejan en la dirección el norte hasta llegar a valores de 0.04 y 2.40 mg pero luego vuelven a elevarse hasta llegar a valores de 53.04 y 20.85 mg/l en las épocas de lluvias y seca en el pozo 8 en el cantón Barrio Nuevo.

En la zona del municipio de Tecoluca la mayor concentración se observa en la época seca en el pozo 1 en la comunidad La Pita, donde alcanza valores de 0.04 y 19.55 mg/l en las épocas de lluvias y seca y disminuyen en la medida que se alejan en dirección norte hasta alcanzar valores de 0.04 y 0.40 mg/l en el pozo 4 en el caserío Santa Bárbara del cantón San Nicolás Lempa.

Se observa un desplazamiento de las concentraciones de nitrato hacia la zona del caserío Marranitos del cantón Agua Zarca en la época seca con respecto a la época lluviosa. En esta zona se observa fuerte actividad agropecuaria, especialmente cría de ganado vacuno y cultivo de caña de azúcar que podría explicar las mayores concentraciones en esta zona y su

movilidad en las diferentes épocas del año, principalmente las ocasionadas por la infiltración de minerales en la época de lluvias.

La Figura 4.15a y 4.15b muestra las isolíneas de contenido de iones sulfato en las épocas de lluvias y seca, donde se observa que en la zona del municipio de Zacatecoluca, la mayor concentración se ubica en la zona del pozo 5 en comunidad El Pichiche, alcanzando valores de 773.82 y 476.02 mg/l en las épocas de lluvias y seca respectivamente, los cuales se van disminuyendo en la medida que se alejan en la dirección el norte, hasta llegar a valores de 20.11 y 9.61 mg/l en las épocas de lluvias y seca en el pozo 9 en el cantón La Lucha.

En la zona del municipio de Tecoluca la mayor concentración se observa en el pozo 1 en la comunidad La Pita, donde alcanza valores de 45.70 y 9.31 mg/l en las épocas de lluvias y seca y disminuyen en la medida que se alejan en dirección norte hasta alcanzar valores de 17.57 y 15.55 mg/l en el pozo 4 en el caserío Santa Bárbara del cantón San Nicolás Lempa.

Se observa una tendencia al aumento de la concentración de sulfatos en la época de lluvias con respecto a la época seca, siendo mucho más marcada en la zona próxima a la bahía. La configuración de distribución espacial se conserva en ambas épocas.

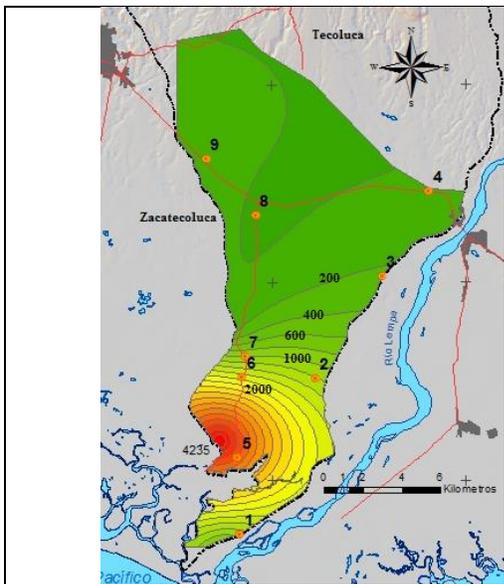


Figura 4. 13 a Iones sodio en mg/l época lluvias.

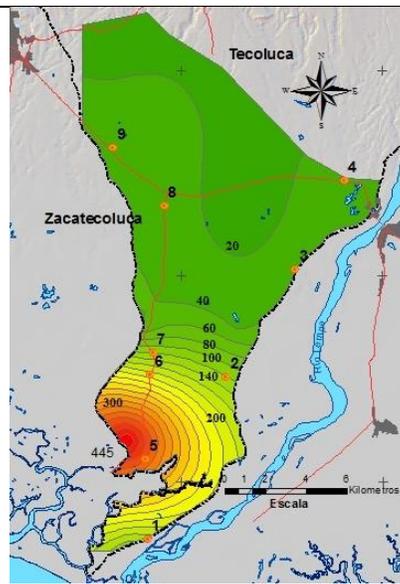


Figura 4.13 b Iones sodio mg/l repoca seca.

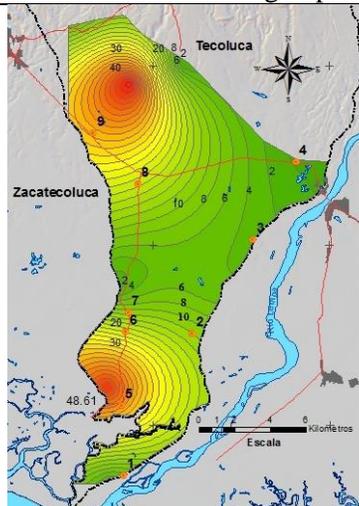


Figura 4. 14 a Contenido ion NO<sub>3</sub> época lluvias.

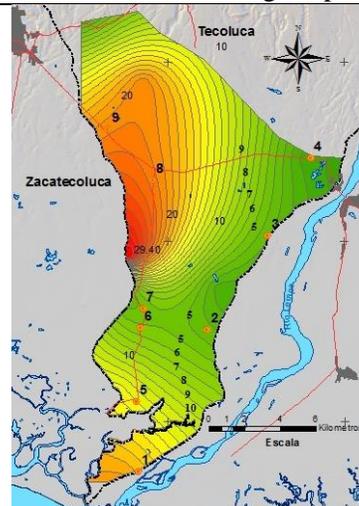


Figura 4.14 b Contenido de ion NO<sub>3</sub> época seca.

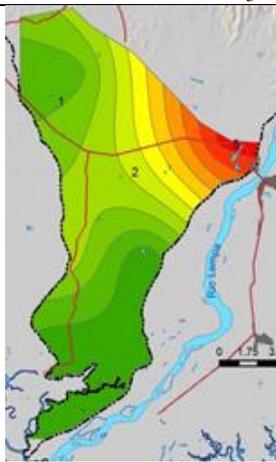


Figura 4. 15a Contenido ion SO<sub>4</sub> época lluvias.

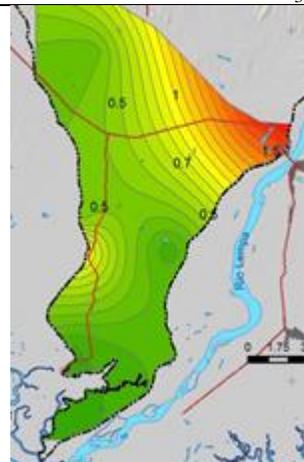


Figura 4.15 b Contenido de ion SO<sub>4</sub> época seca.

#### **4.6 Análisis Hidrogeoquímico del Agua Subterránea Profunda.**

Se ha caracterizado anteriormente, las aguas de los pozos excavados a los cuales se les realizaron los muestreos y análisis de iones mayoritarios, pero en el caso de los pozos profundos no se ha podido realizar su caracterización hidrogeoquímica debido a que dichos pozos no cuentan con los análisis completos de iones mayoritarios, por lo que se hace una correlación de los parámetros disponibles de los pozos perforados con respecto a los excavados que se encuentran más próximo a ellos, con la finalidad de tener una aproximación de la relación existente entre aguas profundas y las superficiales.

Los pozos perforados de los cuales se tiene información son los cuatro pozos que se identifican en la Figura 4.16 y cuya información técnica se resumió en la Tabla 4.1 de ésta misma sección.

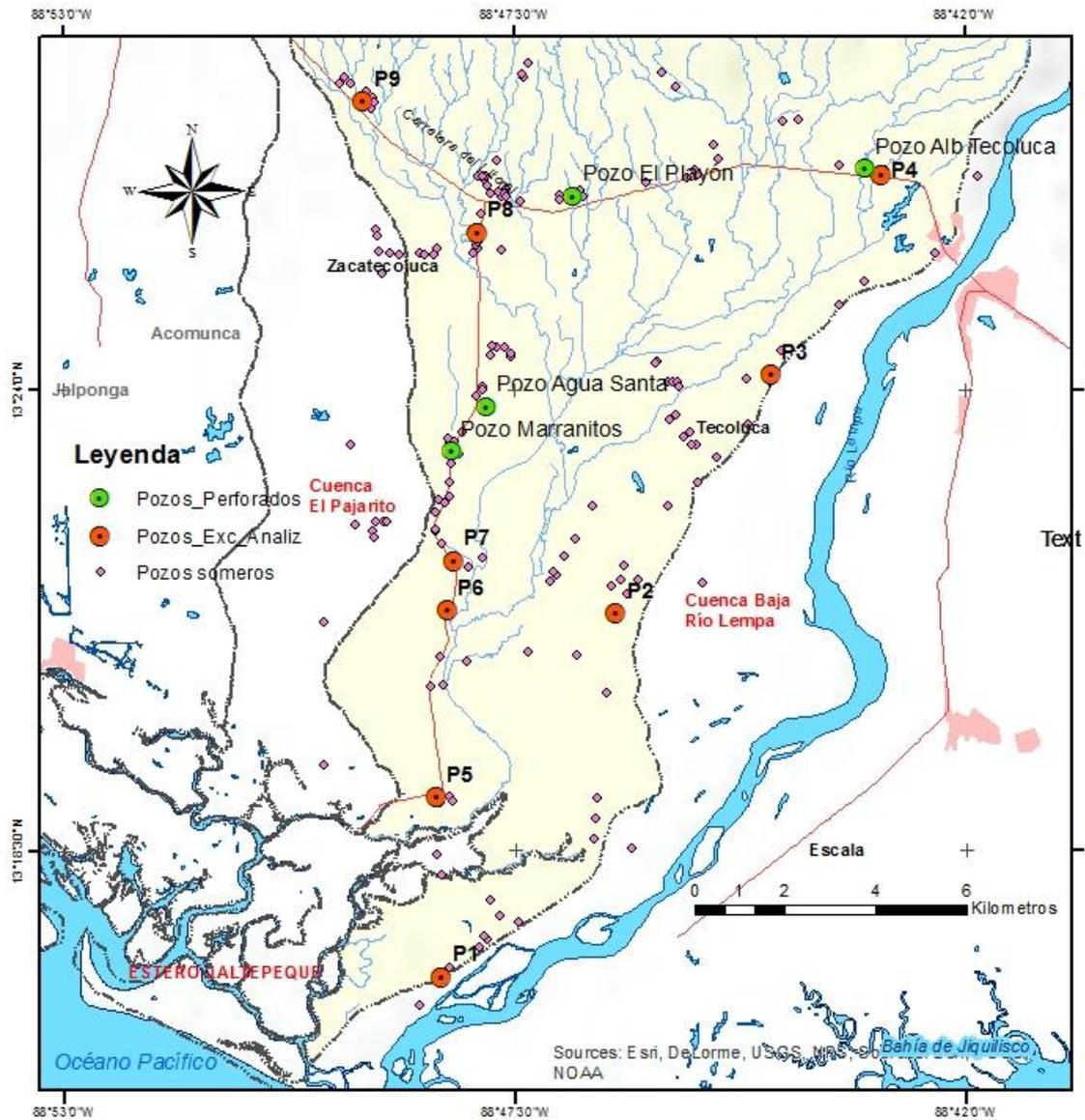


Figura 4. 16 Ubicación de los pozos perforados con respecto a pozos excavados analizados.

La Figura 4.17 resume en graficas de barra la información de algunos de los parámetros físico disponibles de muestras de los pozos profundos y que se correlacionan con respecto a los resultados de los análisis de los pozos excavados que fueron muestreados.

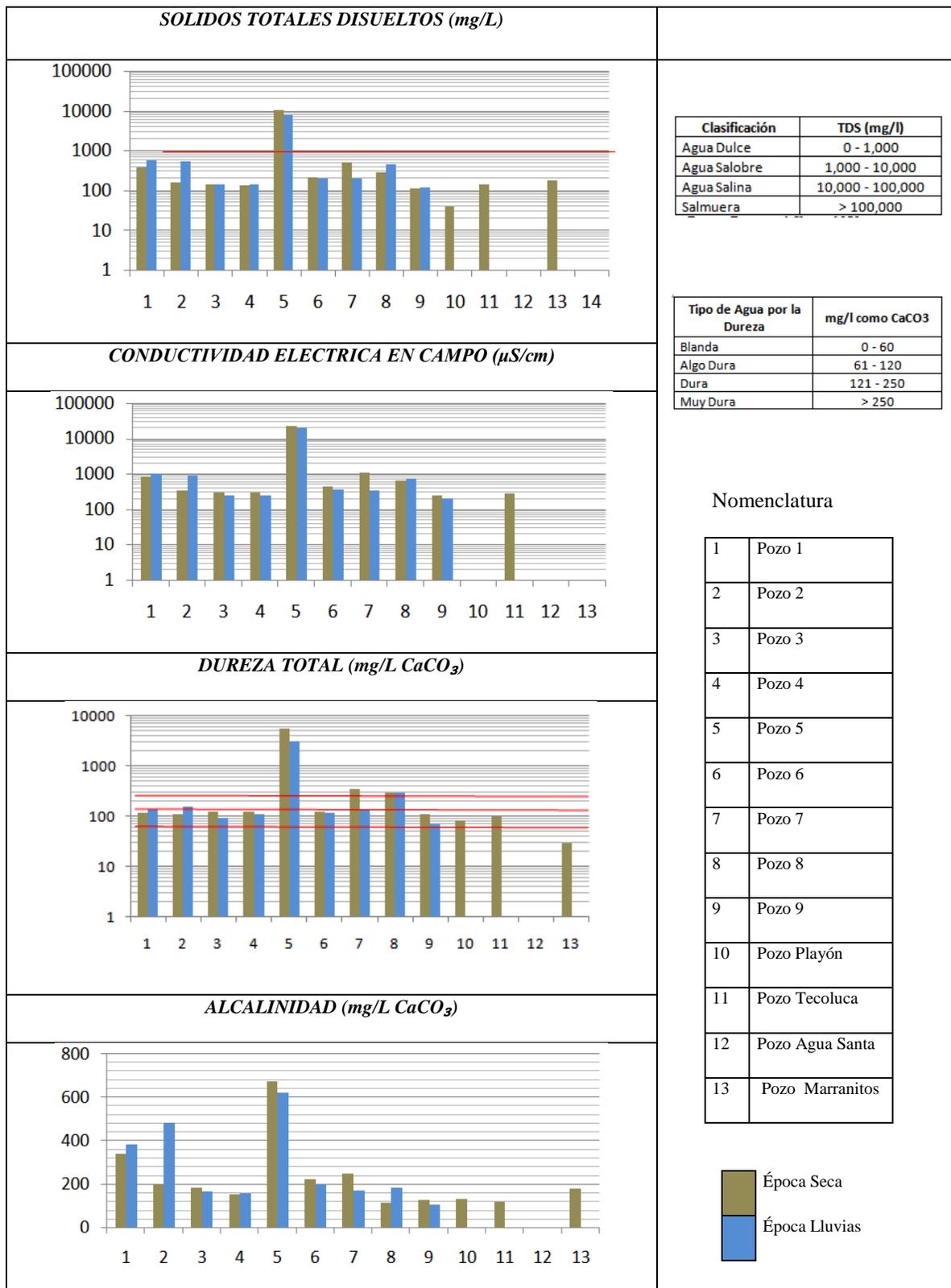


Figura 4. 17 Parámetros físicos de pozos superficiales y profundos.

El análisis comparativo de la información anterior entre los pozos superficiales como profundos poseen valores que a continuación se indican:

- a) Sólidos Totales Disueltos, donde los pozos superficiales con excepción del pozo 5, tienen valor promedio de 240 mg/l, y los pozos profundos un promedio de 121 mg/l,
- b) Conductividad Eléctrica, el único pozo profundo con dato de CE es el pozo del Albergue de Tecoluca cuyo valor es de 285  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el pozo excavado más cercano tiene una valor de 288  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,
- c) Dureza Total, con un promedio de 171 mg/l de los pozos superficiales y un promedio de 73 mg/l., y
- d) Alcalinidad Total con un promedio de 198 mg/l para el promedio de los pozos superficiales y 142 mg/l para el promedio de los pozos perforados.

Se puede observar en las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20 la comparación de parámetros químicos de los pozos excavados con los de los pozos profundos más cercanos (en mg/l), los cuales guardan una relación de semejanza, y en su mayoría con leves disminuciones que no sobrepasan un orden de magnitud en las concentraciones de los pozos profundos, principalmente en los casos de F, Fe, Mn y Mg, siendo únicamente el nitrato que tiene diferencias de más de un orden de magnitud, lo que se puede explicar por la mayor sensibilidad a la contaminación antrópica de los pozos superficiales.

Del análisis anterior se puede concluir que aunque existe condiciones de heterogeneidad en las condiciones de confinamiento del acuífero, que van desde libre a semiconfinado y confinado, las aguas del acuífero tanto superficial como profunda presentan características similares en cuanto a los parámetros comparados.

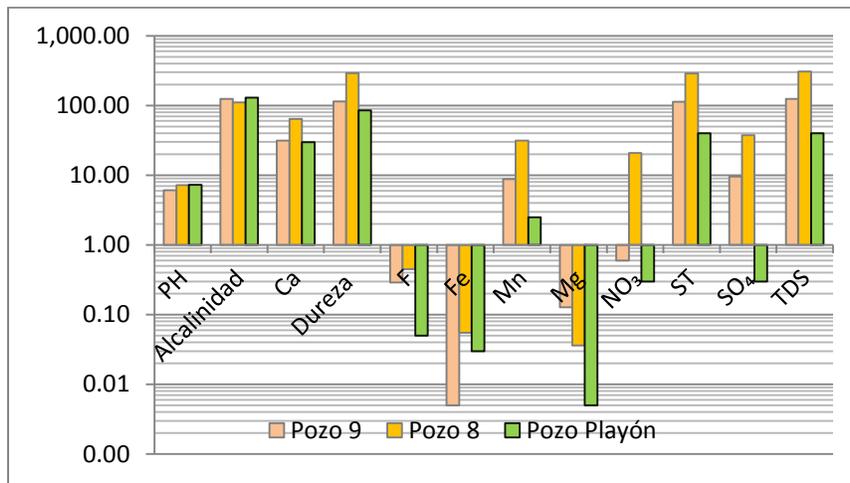


Figura 4. 18 Parámetros de los pozos excavados 8 y 9 con el pozo perforado El Playón.

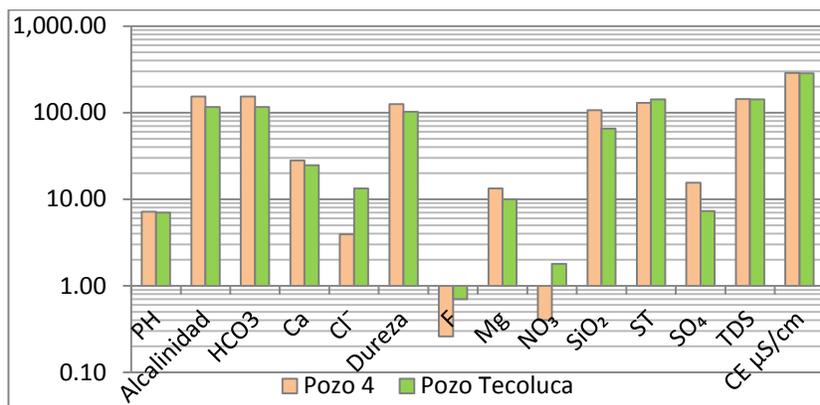


Figura 4.19. Parámetros del Pozos excavado 4 y pozo Albergue Tecoluca.

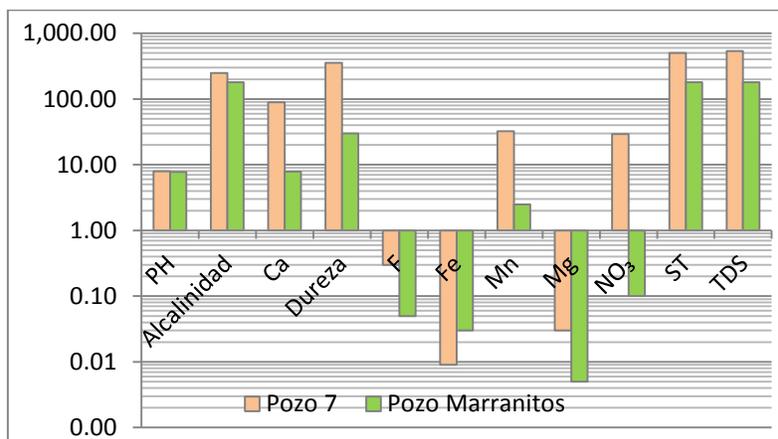


Figura 4. 20 Parámetros del pozo excavado.7 y pozo perforado Marranitos.

### **Contenido de Sales Disueltas y la Conductividad Eléctrica de pozos superficiales**

El contenido de sales disueltas guarda una relación directamente con los valores de Conductividad Eléctrica, observándose que los mayores valores alcanzan 19,230 y 22,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la época de lluvias y seca respectivamente en un pozo del caserío El Pichiche y valores de 984 y 854  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época de lluvias y seca respectivamente.

La conductividad eléctrica del agua de la bahía de Jaltepeque medida en zona del caserío El Pichiche al final de la época seca es de 27,128  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

De los datos anteriores es notoria la diferencia de valores en la conductividad eléctrica de las aguas de los pozos excavados en la zona del caserío El Pichiche con respecto al de los pozos en el caserío La Pita reflejando una menor incidencia de la salinidad en el agua de los pozos en este último caserío y al resto de caseríos que se ubican contiguos a la cuenca baja del río Lempa lo cual podría ser explicado por la relación que la parte oriental del acuífero de la cuenca El Guayabo mantiene con el río Lempa, que de acuerdo al Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH-MARN, 2014), el río Lempa en su cuenca baja, infiltra aguas al acuífero, pudiendo ser este aporte la causa por la que las aguas de los pozos ubicados en su vecindad mantienen niveles de salinidad bajos.

El mapa de las líneas de isoconductividad se presenta en la Figura 4.21a correspondiente a la época de lluvias y en la Figura 4.21b de la época seca, e identifican las zonas de mayor influencia del contenido de sales disueltas.

En el eje a lo largo de la calle que conduce desde el cantón Barrio Nuevo hasta la comunidad El Pichiche de la jurisdicción de Zacatecoluca, las curvas de isoconductividad eléctrica muestran que el contenido de sales se concentran en la zona de la comunidad El Pichiche del cantón San José de La Montaña alcanzando valores de 22,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los cuales se reducen rápidamente hasta alcanzar los 1,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 3,000 metros al norte, alejándose de la zona del estero, donde disminuye a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y nuevamente alcanza los 1,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para luego mantener ese valor a largo de 3,600 metros para volver a disminuir hasta alcanzar la carretera del litoral en el cantón Barrio Nuevo.

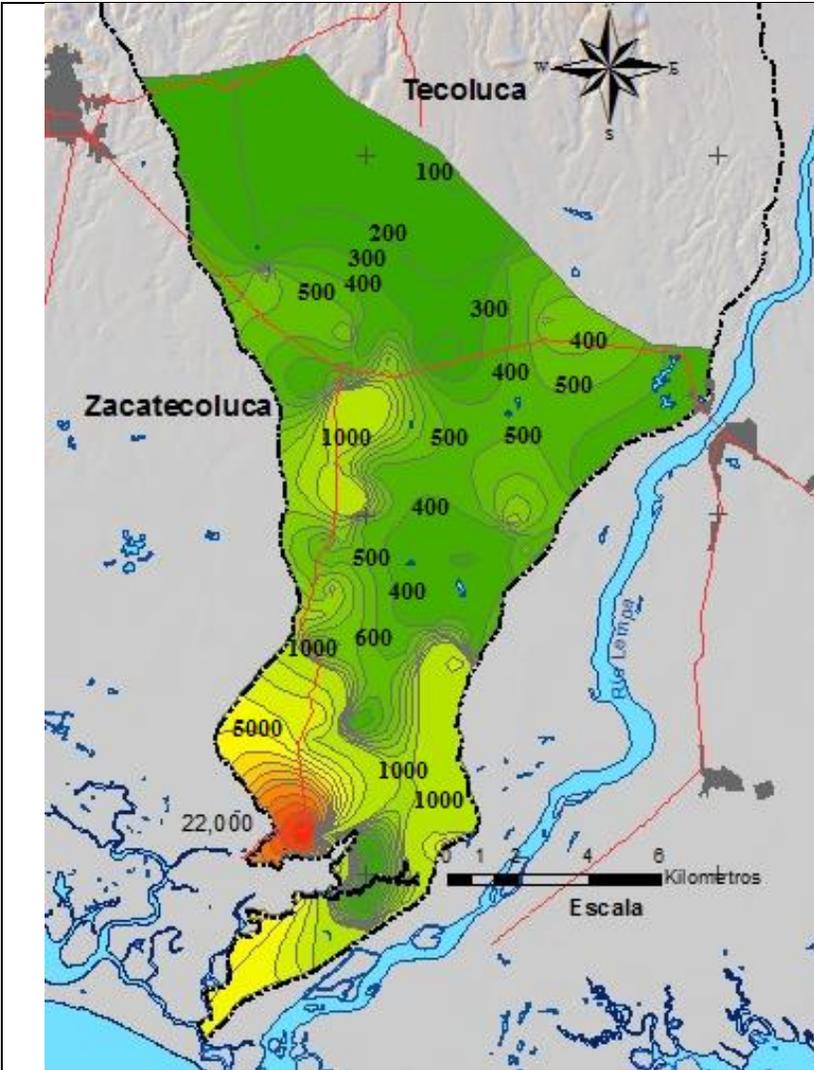


Figura 4.21a Mapa de Isoconductividad eléctrica época lluvias

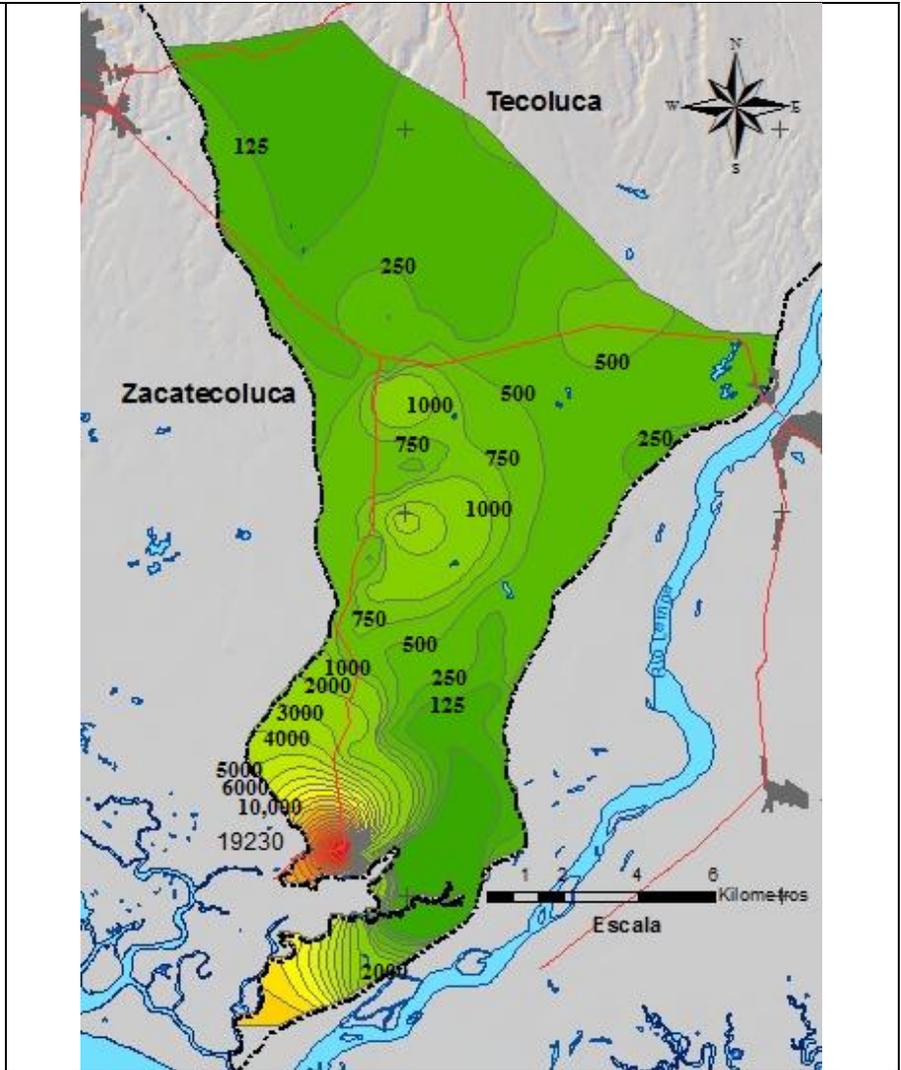


Figura 4.21b Mapa de Isoconductividad eléctrica época seca

Figura 4. 21 Mapa de isoconductividad eléctrica.

La distribución espacial de la conductividad eléctrica se analizará junto con la distribución espacial de los resultados de las relaciones iónicas que a continuación se presentan y serán entre otros parámetros los que sirvan para la delimitación de la cuña salina.

#### 4.7 Relaciones Iónicas.

La dinámica que se presenta en la composición química de algunas de las muestras según su ubicación espacial responde a la interacción normal al estar en contacto ambas fases, agua dulce y agua salina. El intercambio iónico principal que se produce en la interfase, corresponde a una ganancia de alcalinos y pérdida de alcalinotérreos para el agua dulce. Dicho intercambio se explica mediante la utilización de las relaciones indicadas en la Tabla 4.9 donde se resumen las principales relaciones iónicas que sirven para analizar la interacción de agua dulce – agua salada.

Tabla 4. 9. Relaciones Iónicas Época de Lluvias y Época Seca.

Muestra	CL <sup>-</sup> /HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /Cl <sup>-</sup>		Mg <sup>++</sup> /Ca <sup>++</sup>	
	Época Lluvias	Época seca	Época Lluvias	Época seca	Época Lluvias	Época seca
Pozo 1	0.61	0.46	0.25	0.08	1.02	0.63
Pozo 2	0.24	0.05	0.03	0.13	0.76	0.95
Pozo 3	0.02	0.04	5.15	1.8	0.54	0.66
Pozo 4	0.02	0.04	6.55	2.9	0.43	0.78
Pozo 5	13.12	9.82	0.12	0.09	2.2	2.72
Pozo 6	0.05	0.13	1.98	1.2	0.65	0.46
Pozo 7	0.12	0.64	1.88	0.5	0.49	0.6
Pozo 8	0.77	1.21	0.77	0.36	0.52	0.8
Pozo 9	0.19	0.15	1.25	0.65	0.93	0.46

Nota: Relaciones iónicas calculadas con los valores transformados en meq/l

##### 4.7.1 Relación de aniones cloruros - Bicarbonatos

La distribución de esta relación de iones identifica la zona del pozo 5 en el caserío Pichiche del cantón San José de La Montaña, donde se manifiesta un índice de 13.12 y 9.82 en la época de lluvias y época seca respectivamente, muy superior al resto de valores de las relaciones de las otras muestras y que supera el rango de entre 0.1 a 5 que son los valores típicos de aguas continentales. Las Figuras 4.22a y 4.22b representan la distribución espacial de las relaciones iónicas cloruro y bicarbonato.

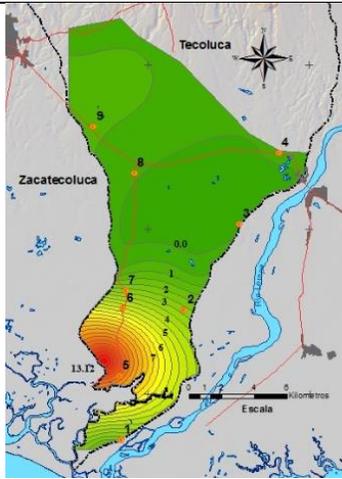


Figura 4. 22 a Relación  $rCl^- / rHCO_3^-$  época lluvias

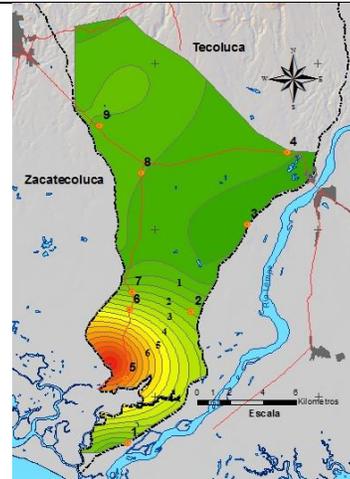


Figura 4.22 b Relación  $rCl^- / rHCO_3^-$  época seca

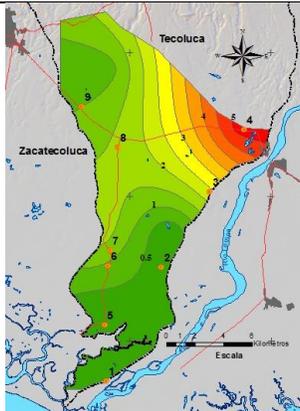


Figura 4. 23 a Relación  $rSO_4=r / rCl^-$  época lluvias

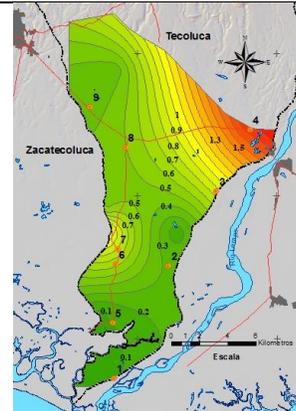


Figura 4.23 b Relación  $rSO_4=r / rCl^-$  época seca

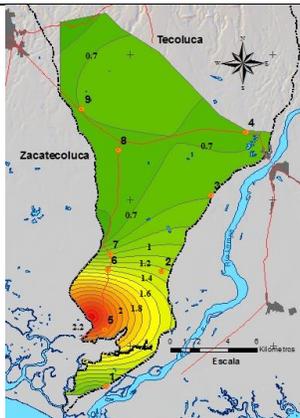


Figura 4. 24 a Relación  $rMg^{++} / rCa^{++}$  época lluvias.

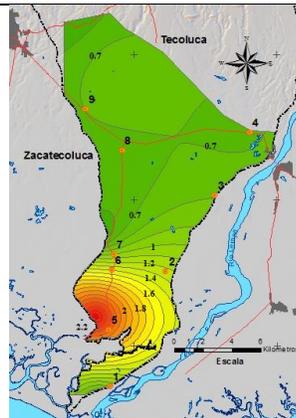


Figura 4.24 Relación  $rMg^{++} / rCa^{++}$  época seca

#### **4.8.2 Relación Sulfatos Cloruros**

Los valores más bajos que se relacionan con la intrusión marina corresponden a las muestras de los pozos ubicados en las proximidades del estero de Jaltepeque, con valores de 0.12 y 0.09, para el pozo 5 en las épocas de lluvia y seca respectivamente. Las Figuras 4.23a y 4.23b representan la distribución espacial de las relaciones iónicas Sulfatos y Cloruros.

#### **4.8.3 Relación de aniones Magnesio y Calcio**

Valores mayores a 1.5 de esta relación constituyen un indicador de la existencia del problema de intrusión salina que se observa en las muestras del pozo 5 en el cantón San José de La Montaña, donde los valores de 2.20 y 2.72 al final de las épocas de lluvias y seca respectivamente lo demuestran. Las Figuras 4.24a y 4.24b representan la distribución espacial de las relaciones iónicas Magnesio y Calcio.

Correlacionando la información de la conductividad eléctrica, contenido de sales y los índices de las relaciones iónicas, se concluye que existe una clara influencia de la intrusión marina en la zona del pozo 5 en el cantón San José de La Montaña.

Aunque se observa un aumento en los valores de la concentración de sodio y cloruros en la época de lluvias en los pozos cercanos al estero de Jaltepeque y colindando con el río Lempa, pero esto no tiene relación con la intrusión marina, puesto que las relaciones iónicas de estos no lo reflejan, siendo su causa más probable a la percolación de las lluvias arrastrando a los iones depositados en el suelo por las actividades de agrícolas y el efecto de rocío provocado por la brisa marina que circula de sur a norte en la zona cercana al mar.

Situación similar sucede con los altos contenidos de sales en la zona de los cantones Marranitos y Barrio Nuevo donde los contenidos de nitratos aumentan significativamente al final de la época de lluvias, debido a la percolación de los contenidos de la urea y materia fecal del ganado y por los vertidos industriales de lácteos que hay en la zona.

#### **4.8 Efecto de las mareas en la intrusión salina**

Desarrollando la ecuación 4.1 para la zona de costa del acuífero El Guayabo se cuenta con los siguientes datos, los cuales han sido tomados del informe de perforación del pozo de la

ANDA ubicado en el cantón Marranitos, que representa de mejor forma al acuífero en la proximidad de la costa:

$k$ = Permeabilidad del medio es 7.40 m/día, valor que resulta de la transmisibilidad de Logan en un espesor de acuífero de 97.84 metros según el informe de perforación del pozo.

$m$ = Porosidad efectiva de 0.3

$h_o$ = Semiamplitud de oscilación de las marea, equivalente a aproximadamente 1.25 metros según datos del registro de marea de la estación El Triunfo de la Figura 4.25, que por su ubicación representa con mayor aproximación el comportamiento en el estero de Jaltepeque.

$t_o$ = Período de la marea equivalente a 0.52 día.

$S$ = Coeficiente de almacenamiento con valor de 0.03160

$T$ = Transmisividad del acuífero, equivalente a 724 m<sup>2</sup>/día (Logan).

$x$ = Distancia a la línea de costa.

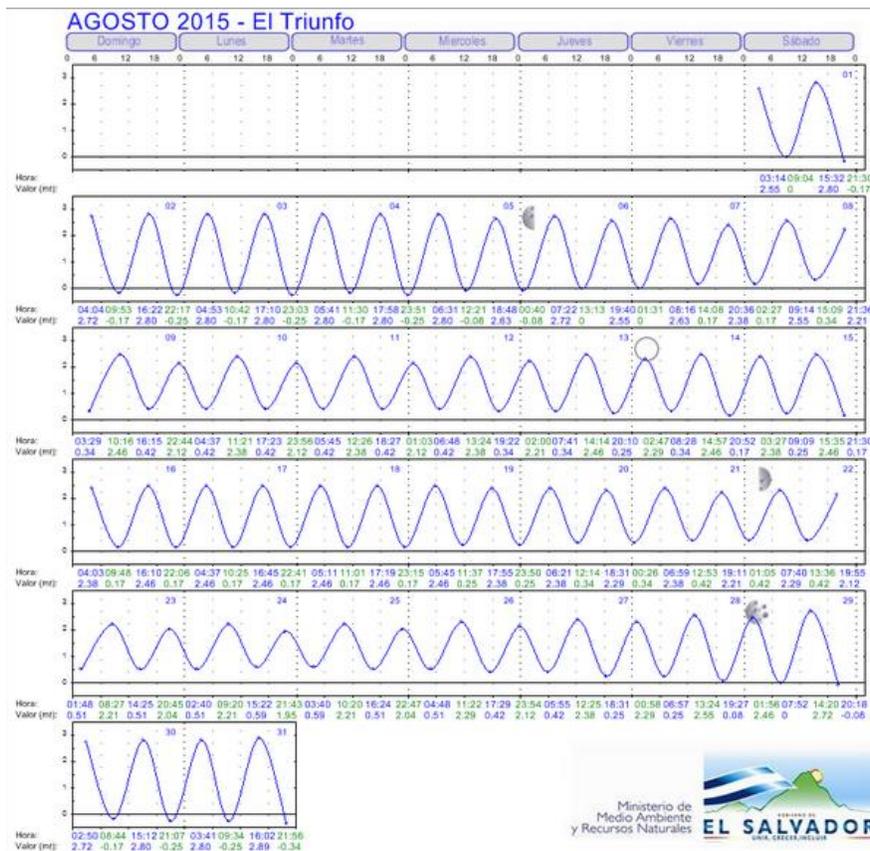


Figura 4. 25 Gráfico de registro de mareas estación Puerto El Triunfo.

Por lo que:

$$a(x) = 0.0586 \exp(-0.016 x) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Dando valores a la ecuación 4.2, resulta la Tabla 4.10, siendo “x” la distancia desde la línea de costa hacia tierra adentro y “a” el desplazamiento horizontal de la interfase debida a la fluctuación de mareas.

Tabla 4. 10 Fluctuación del desplazamiento horizontal de la cuña salina por efecto de las mareas.

x (mts)	a (mts)
0	0.06
10	0.05
25	0.04
50	0.03
100	0.01
250	0
500	0

Fuente: Elaboración propia

Lo que refleja que las fluctuaciones del nivel de las mareas tiene una incidencia de un centímetro de desplazamiento horizontal a distancias de aproximadamente 100 metros de la línea de costa, lo cual es insignificante para el análisis de la intrusión salina en el acuífero.

#### 4.9 Delimitación de la Cuña Salina

Mediante la fórmula de Todd se puede determinar la penetración de la cuña salina mediante la ecuación 2.30 de la sección 2.6 Salinización de acuíferos:

$L = 0.0125 \frac{e}{i}$  para establecer el valor de L que representa el valor de la penetración de la cuña salina, siendo:

e = espesor del acuífero cautivo, L = distancia al mar o al agua del estero, i = gradiente hidráulico. Como se había anotado que esta fórmula sólo es aplicable para valores menores de  $i \leq 0.5 \times 10^{-3}$  y  $e \leq 100$  m.

Gradiente al final de la época de lluvias:  $i = (3-1) / 6556$ ,  $i = 0.0003$

Gradiente al final de la época seca:  $i = (1-0) / 4343$ ,  $i = 0.0002$

El valor de “e” es el espesor de acuífero de 97.84 metros según el informe de perforación del pozo ubicado en cantón Marranitos, que es el más cercano al punto de análisis.

$L = 0.0125 \frac{e}{i}$ , En la zona el gradiente hidráulico varía de 0.001 a 0.0002 entre las épocas de lluvias y seca respectivamente, por lo que la variación en el efecto del avance de la cuña salina es de:  $L = 0.0125 \times (97.84 / 0.0003)$  para el período al final de la época de lluvias.  $L = 4,077$  y  $6,115$  metros al final de las épocas de lluvia y seca respectivamente que son representadas en la Figura 4.26.

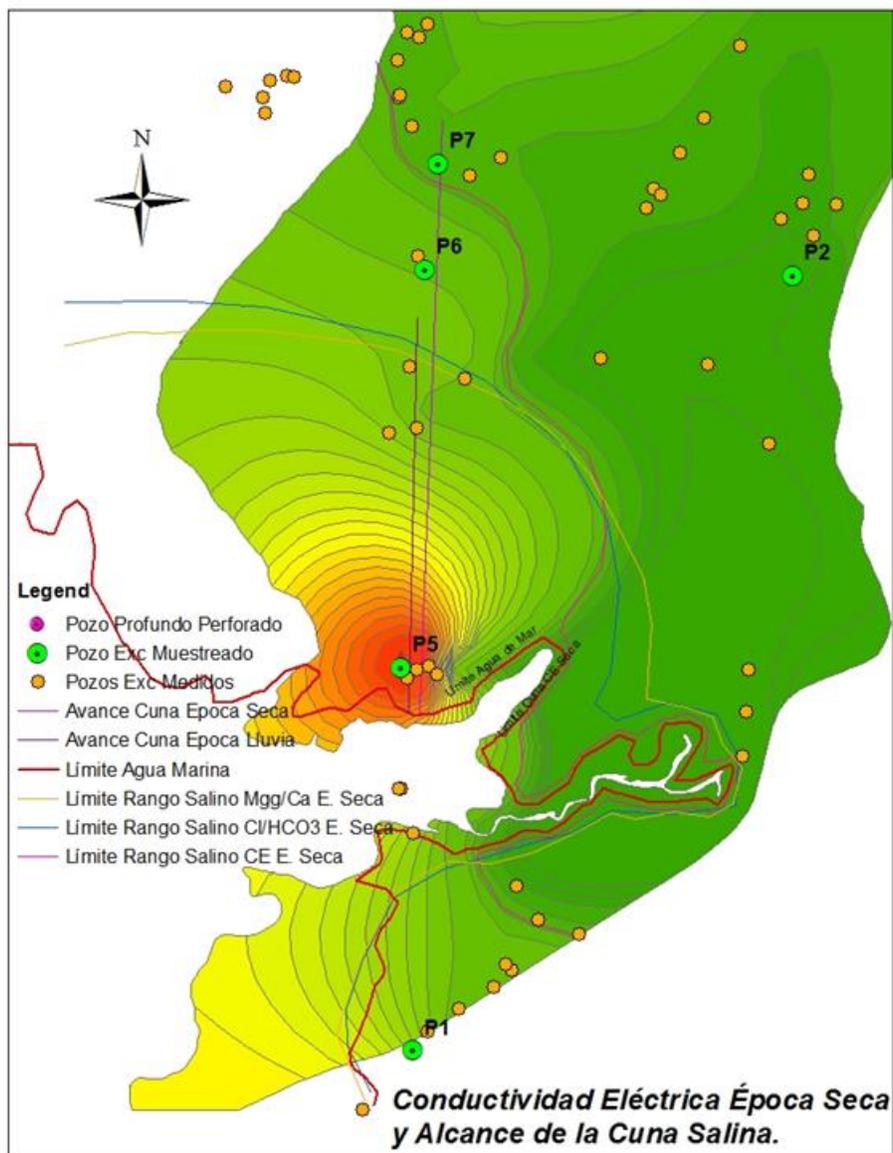


Figura 4. 26 Alcance de la cuña salina.

#### 4.10 Vulnerabilidad del Acuífero a la Intrusión Salina

Se hace el cálculo de la vulnerabilidad para la época seca, la cual se considera la condición más desfavorable por presentar niveles piezométricos menores a los presentados en la época de lluvias. Para el cálculo de la vulnerabilidad a la intrusión marina se ha utilizado el método SEA-GIndex y la herramienta de ArcGis, para lo cual se prepararon los siguientes mapas: El mapa de isolíneas de distancia con respecto a la línea de costa definida, el mapa de isolíneas de los niveles piezométricos en la época seca, calculadas a partir de los datos de los 173 pozos, y el mapa de la Litología: Estratigrafía de acuerdo a la predominancia en potencia de estratos de alta y baja permeabilidad.

Finalmente se incluyen los resultados del algebra de mapas en GIS que indica la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado por la intrusión salina, como se ilustra en la Figura 4.27.

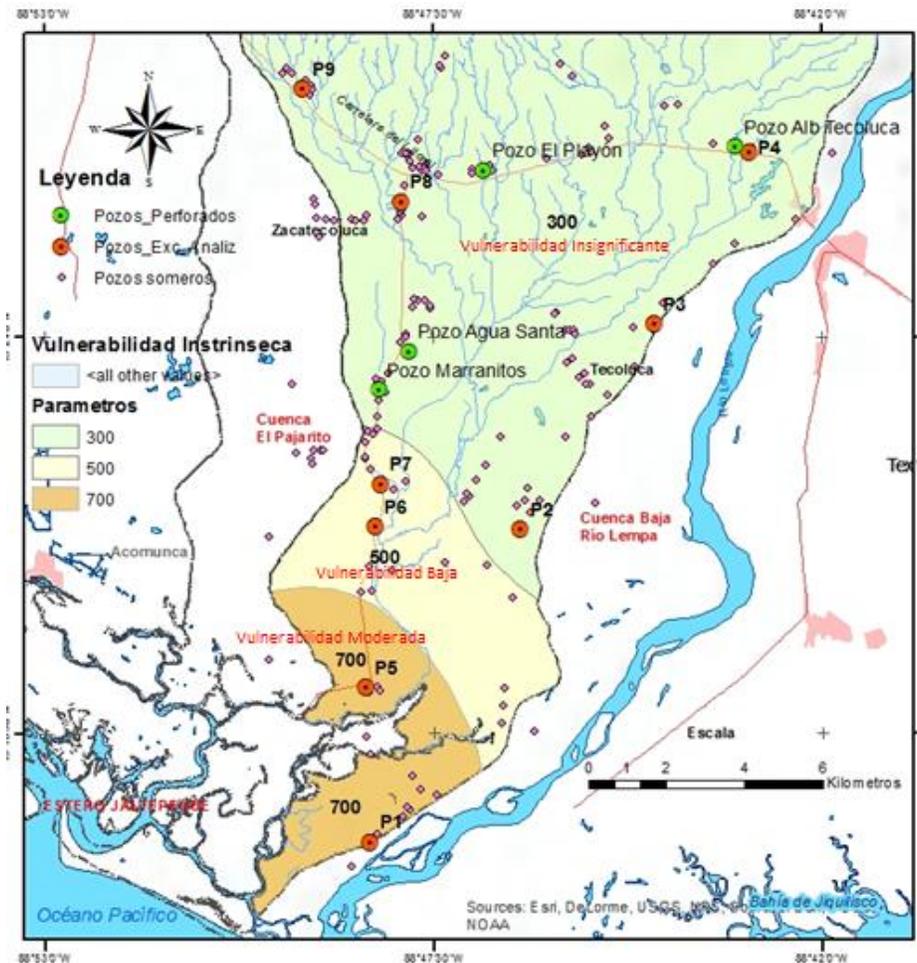


Figura 4. 27 Vulnerabilidad a la Intrusión Salina por el método SEA GINDEX.

Para el cálculo de la vulnerabilidad a la intrusión salina, se asignan los diferentes valores que establece la metodología la cual considera que en el proceso de reclasificación con Spatial Analyst solo se pueden introducir números enteros, debemos multiplicar cada una de las ponderaciones por 10, como se muestra en Tabla 4.11.

Tabla 4. 11 Parámetros para cálculo de vulnerabilidad a la intrusión marina modificado.

h > 10	10 > h > 5	5 > h > 2.5	2.5 > h > 1	h < 1	Nivel Piezométrico (m)
3	6	8	9	10	
					x
Loess		Arenas eólicas		Gravas y arenas	Litología
Rocas de baja permeabilidad		Areniscas		Calizas	
		Rocas Volcánicas		Karst	
3	6	8	9	10	
					x
d > 10	10 > d > 6	6 > d > 3	3 > d > 1.5	d < 1.5	Distancia al mar (km)
2	4	7	9	10	
					=
V < 0.3	0.3 < V < 0.5	0.5 < V < 0.7	0.7 < V < 0.9	0.9 < V < 1	Vulnerabilidad Intrusión Salina
Insignificante	Baja	Moderada	Alta	Extrema	

Fuente: <http://www.aguaysig.com/2011/04/vulnerabilidad-la-intrusion-marina-de.html>

Resultando el mapa de vulnerabilidad a la intrusión salina con tres grados de vulnerabilidad que se incluye en la Figura 4.27:

- “Vulnerabilidad Moderada” es la franja de color naranja en contacto con los límites trazados de línea de costa y en contacto con las aguas del estero de Jaltepeque, que se extiende 2,800 metros tierra adentro, donde se presenta influencia de la intrusión salina y que es susceptible de aumentar su influencia en posibles situaciones de disminución de la carga hidráulica.
- “Vulnerabilidad Baja” en la franja de color amarillo con distancias entre los 2,800 a 7,500 metros sobre la calle que conduce al caserío El Pichiche desde el cantón Barrio Nuevo.
- Vulnerabilidad Insignificante, es la zona donde la intrusión salina tiene posibilidad nula de influenciar al acuífero continental.

#### **4.11 Otros Factores en la Intrusión Marina.**

Sobre la base de datos del monitoreo de la calidad del agua subterránea que la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) del MARN, realizó en los meses de abril y octubre de 2015, revela un cambio significativo en la calidad del agua del pozo No.1, ubicado en el caserío La Pita del cantón Puerto Nuevo, jurisdicción de Tecoluca, donde se observa que entre los meses de abril a octubre de 2015, la caracterización del agua pasa de Bicarbonatada Sódica a Clorurada Sódica, habiendo ocurrido a inicios del mes de mayo del mismo año, el fenómeno de mar de fondo. Por otra parte los propietarios del pozo, que utilizaban su agua para los quehaceres domésticos y para la higiene personal, expresaron que después de dicho fenómeno, el agua del pozo se había puesto salobre.

De acuerdo a los resultados de la presente investigación revelaron que tanto a finales de la época seca, como de la época de lluvias de 2013, el agua de dicho pozo se caracterizó como Bicarbonatada sódica, conservando dicha características en el muestreo de octubre de 2015. Comportamiento similar se observa con los valores de la conductividad eléctrica que para abril de 2015, presenta valores cercanos a los 1,200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en abril y octubre de 2013, presentó valores de 854 y 984  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo valores similares, que contrastan con los 6,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el mes de octubre de 2015, posterior al fenómeno ya citado.

#### **4.12 Diseño del Sistema de Monitoreo**

Para el desarrollo de una red de monitoreo se deben considerar los siguientes aspectos en la fase de diseño:

- ✓ **La red debe adaptarse a objetivos previamente definidos:** En la planicie costera del acuífero de la cuenca El Guayabo la salinidad del agua representa una de las principales preocupaciones de los habitantes, tanto los que utilizan el agua para el consumo humano como para los usos agrícolas muy extendidos en la zona, por lo que el monitoreo de su comportamiento servirá para una gestión adecuada que trate de buscar su sostenibilidad.
- ✓ **Debe entenderse el sistema del flujo de agua subterránea:** Los mapas hidrogeológicos elaborados bajo convenio por la ANDA y Universidades bajo el auspicio de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), proporcionan un contexto general del agua subterránea a nivel nacional y además el

presente estudio afina a nivel de la cuenca baja El Guayabo el conocimiento del comportamiento del acuífero de forma que se ha llevado a una mejor escala la comprensión del modelo conceptual del acuífero.

- ✓ **Los sitios de muestreo y los parámetros por monitorear son seleccionados de acuerdo con los objetivos:** Con el conocimiento de la geometría y dinámica del fenómeno de la intrusión salina en la cuenca baja El Guayabo y las condiciones hidrogeoquímicas del acuífero, se ha concluido que existe un punto clave para el monitoreo de la intrusión salina, así como el parámetro básico para el control de la dinámica del fenómeno de intrusión salina, los cuales permiten desarrollar el diseño de la red de monitoreo con un único pozo en la zona del cantón Marranitos.

Como se ha calculado mediante la fórmula de Todd la penetración de la cuña salina resultando en 4,077 y 6,115 metros al final de las épocas de lluvia y seca respectivamente y combinado con el mapa de vulnerabilidad y la distribución de pozos estratégicos para la distribución de agua potable hacia la población de la zona baja del acuífero, se hace la distribución espacial de un (1) pozo de monitoreo y para lo cual se ha identificado un punto a lo largo de un eje desde la línea de costa establecida en la zona del cantón San José de La Montaña y el pozo profundo del cantón Marranitos propiedad de la ANDA, donde se recomienda la ubicación del pozo entre los 4,077 y 6,115 metros medidos desde la línea de costa establecida y con una profundidad de 100 metros, entubado con dos (2) tuberías de PVC SDR17 de 3 pulgadas de diámetro que funcionen como piezómetros anidados por medio de los cuales se pueda monitorear la intrusión salina en 2 niveles, que de acuerdo al perfil litológico elaborado en el presente estudio, contiene a dos acuíferos separados por estratos de baja permeabilidad y donde se medirían los parámetros físicos de nivel piezométrico del agua subterránea y la conductividad eléctrica para evaluar su contenido de sales. También será posible el monitoreo de la calidad del agua mediante la toma de muestras utilizando bailers de 2 pulgadas de diámetro o menor. En la Figura 4.28 se muestra el punto sugerido para la perforación del pozo de monitoreo y la ubicación del pozo propiedad de la ANDA en el cantón Marranitos que sirve para el abastecimiento de

agua potable en los caseríos ubicados en el municipio de Tecoluca en la zona baja de la cuenca El Guayabo.

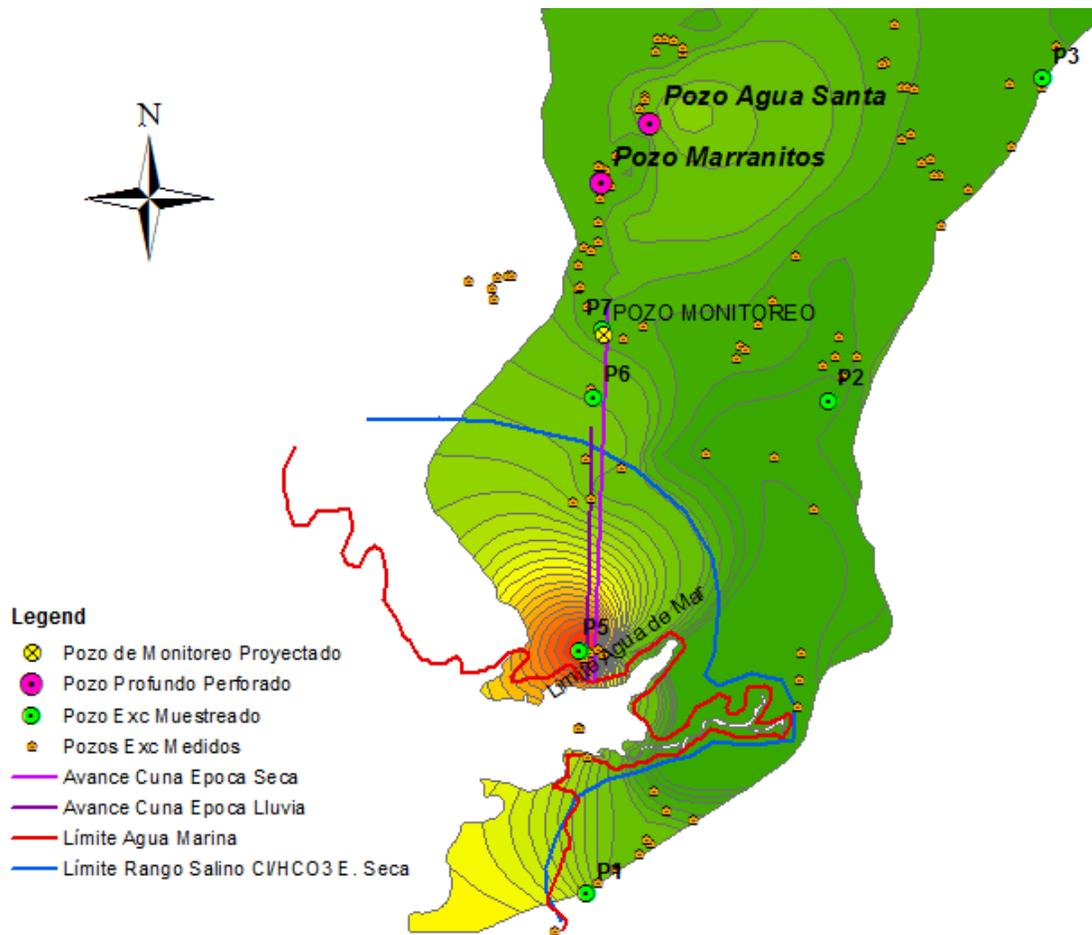
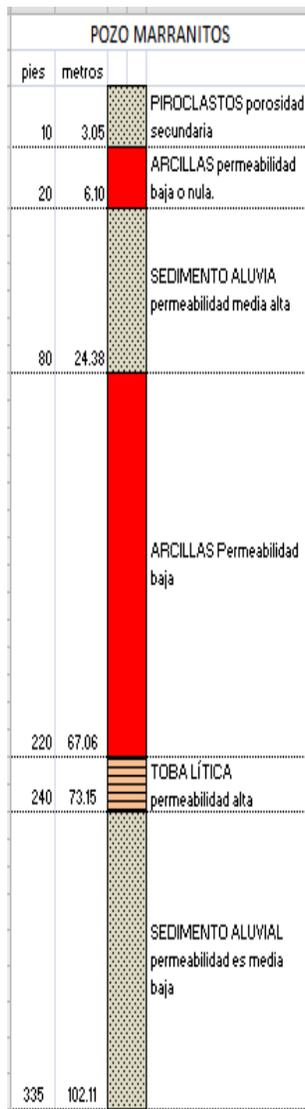


Figura 4. 28 Distancia de influencia de la intrusión salina en el acuífero y ubicación de la propuesta de pozo de monitoreo.

El diseño considera la colocación de tramos de rejillas en los estratos más permeables que estarían distribuidas preliminarmente de acuerdo al patrón litológico que presenta el pozo perforado por la ANDA en el cantón Marranitos, y que serían confirmados con la estratigrafía litológica del pozo de monitoreo una vez perforado. La propuesta se ilustra en la Figura 4.29.



Perfil litológico de pozo en cantón Marranitos.

### Diseño preliminar de la distribución de la rejilla y ubicación de los piezómetros anidados:

La ubicación preliminar de los tramos con rejilla y empaque de filtro granular para la toma de muestras para el análisis de laboratorio y para la medición de parámetros en campo sería:

de 14.50 a 16.50 metros y

de 86.50 a 88.50 metros.

La tubería será de PVC 250 psi de 3" de diámetro y al fondo de la tubería de cada piezómetro se colocará tapón para sellarlo así como se colocará bentonita y material cementante entre los dos acuíferos.

La perforación de los pozos deberán ceñirse a la NORMA TECNICA PARA LA PERFORACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS y más específicamente para pozos de monitoreo de la norma ASTM 1994 D5092-90 "Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers"

Figura 4. 29 Propuesta preliminar de pozo de monitoreo.

Los parámetros a ser monitoreados por cada uno de los niveles del pozo son:

- ✓ Niveles piezométricos
- ✓ Conductividad eléctrica,
- ✓ Temperatura, pH
- ✓ Cloruro y bicarbonato para establecer la relación iónica  $rCl/rHCO_3$ .

## **Especificaciones técnicas para la perforación del pozo de monitoreo en el cantón Marranitos.**

Se recomienda la perforación de un pozo de diez pulgadas de diámetro y la colocación de dos piezómetros de tres pulgadas de diámetro para controlar las condiciones a dos niveles en el acuífero y para lo cual se deberán seguir las siguientes especificaciones técnicas.

- a) **MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION:** Para que la movilización se califique como completa deberán haberse iniciado las operaciones en el sitio a plena capacidad, haciendo constar que se han trasladado todos los equipos al sitio de la obra y que se ha hecho el montaje completo del plantel de construcción. De igual forma para la desmovilización, deberán haberse concluido los trabajos de construcción del pozo, y las condiciones del sitio deben estar de igual forma o mejores a la que se encontraban a su llegada.
- b) **ACCESO Y PLATAFORMA:** Se deberá realizar la construcción del acceso al sitio y plataforma de perforación.
- c) **PERFORACIÓN:** El pozo deberá ser perforados en toda su longitud en diez (10) pulgadas de diámetro nominal, hasta alcanzar la profundidad establecida de 100 metros. Se puede emplear maquinaria rotativa directa o sistema de percusión.
  - ✓ **Sistema Rotativo.** Con maquina rotativa se usarán lodos bentoníticos de peso específico o densidad adecuada, su medición es importante porque determina la presión hidrostática del fluido de lodos a una profundidad determinada, su medida se efectúa mediante la **BALANZA DE LODOS** pudiéndose emplear unidades grm/cc, también los lodos bentoníticos serán de viscosidad adecuada, del orden de 36 seg/API; y es la propiedad de transformación del estado líquido al estado gelatinoso con el reposo, y convertirse nuevamente en estado líquido por simple agitación, esta variación de viscosidad se medirá en el **EMBUDO DE MARSH** en unidades seg/API.

Podrá emplearse también maquina rotativa con sistema neumático, con martillo de fondo y barrena de tungsteno, con operación de un compresor de

buena calidad para la inyección de una emulsión de jabón o detergente industrial, agua y aire. Para la extracción del material detrítico cortado quedando libre de recortes el agujero en proceso de perforación.

- ✓ Sistema Percusión. Con máquina de sistema percusión se podrá usar tubería de ademe provisional de un diámetro que permita colocar en forma telescópica la tubería de revestimiento de diámetro ya especificado.

d) MUESTREO: Durante la perforación se efectuará un muestreo exacto y detallado, que permita determinar características geológicas e hidrogeológicas de los materiales encontrados en la perforación, además que será uno de los insumos para que se determine la litología de las capas atravesadas.

Siendo muy importante que el muestreo sea en forma continua o ligados por intervalos bien definidos, utilizando la misma unidad de medida y que las profundidades sean referidas al nivel del suelo.

- ✓ El intervalo de muestreo será de 1.00 metro, pero podrá reducirse cuando no se observen cambios frecuentes de las capas atravesadas, sin efectuar variación en el intervalo establecido.
- ✓ Las muestras recuperadas serán de un (1) kilogramo por lo menos, de la cual se hará dos partes: una se pondrá en doble bolsa plástica, después de ser lavada cuidadosamente, y la otra sin lavar en otra doble bolsa plástica transparente, debiendo ser almacenadas en lugar seguro y protegido de la intemperie. Las bolsas a ser suministradas deberán tener bien claro el nombre y número del pozo, el intervalo de la profundidad de perforación correspondiente a cada muestra y la fecha de recolección, el Supervisor aprobará la manera que se utilice para la recopilación de muestras.

e) VELOCIDAD DE PENETRACIÓN. Mediante la velocidad de penetración se determinan las distintas durezas y grados de compactación de las formaciones geológicas atravesadas; estableciéndose una velocidad de penetración en metros/hora. Durante la perforación, se deberá controlar el tiempo que se emplee para perforar cada dos pies, si se efectúa con máquina rotativa, o cada cinco (5) pies

si se efectúa con máquina de percusión o de acuerdo con las instrucciones expresas del Supervisor. Los datos observados se representarán gráficamente al lado izquierdo de la presentación del registro eléctrico.

f) **REGISTRO ELÉCTRICO**

Alcanzada la profundidad programada en la perforación, se correrá el registro eléctrico, mediante el empleo de un aparato portátil, automático o mecánico, operado por personal calificado. Determinándose la mejor situación, naturaleza, cantidad y calidad del agua de los mantos acuíferos atravesados, por la respectiva interpretación de las curvas de potencial espontáneo y la resistividad eléctrica.

g) **PERFIL LITOLÓGICO**

Con las muestras recuperadas a cada 1.00 metro de profundidad de las capas geológicas atravesadas, se deberá reconstruir la columna litológica respectiva, determinado la porosidad, permeabilidad y espesor de los estratos acuíferos más importantes, y debiendo ser elaborados por un geólogo calificado y estos perfiles deberán ser parte del informe final del pozo.

La columna Litológica deberá contener el intervalo de profundidad a que corresponda cada muestra de material o descripción de cada muestra de acuerdo a la clasificación establecida por las normas internacionales de Geología, mencionándose primero, el nombre del material que se encuentra visiblemente en mayor porcentaje.

En la descripción de la columna litológica, también se anota la forma del grano predominante en el material de la muestra, así mismo su superficie, si es fresca, reciente o alterada y antigua. Se expresa el color predominante de la muestra. También debe indicarse la clasificación de la muestra en relación al carácter genético del material original. La representación gráfica de la columna litológica debe hacerse en el mismo papel en el que se haga el registro eléctrico del pozo.

h) **ENTUBAMIENTO DEL POZO**

Se colocará las dos (2) tuberías de revestimiento que formaran los piezómetros anidados, donde una de ellas deberá bajar hasta el fondo libremente, sin ninguna

obstrucción. Se colocarán en dicha tubería centralizadores de fabricación local o importados, el primero a 2.00 metros antes del fondo. En los pozos de la zona costera se deberán tomar las medidas adecuadas en estratos arenosos durante el proceso de perforación y entubado.

#### ✓ REJILLA O TUBERIA FILTRANTE

La rejilla deberá entrar holgadamente en la perforación y deberá girar libremente cuando este suspendida. Queda expresamente prohibido hacerlo a golpes.

La rejilla debe cumplir lo siguiente:

- Diámetro: Las dos tuberías de las rejillas de los piezómetros anidados tendrán un diámetro nominal de 3 pulgadas.
- Material: La rejilla será de cloruro de polyvinilo (PVC, 250 PSI, en tramos de 6 metros).
- Tipo: El tipo de rejilla será troquelada a máquina.
- Abertura: El ancho de la ranura podrá ser hasta de cien milésimas de pulgadas; o una abertura mínima de 6% (área abierta).
- Juntas: Las juntas entre los tramos de rejilla y entre rejilla y tubería ciega será de PVC, cementada y reforzada por lo menos con tres pernos de ¼ pulg. mínimo, por el largo adecuado al espesor, separados 120° en un plano transversal al eje.
- Longitud de rejilla: La longitud y ubicación de la rejilla será definida a partir de los resultados de la columna litológica del pozo y el registro eléctrico.

#### ✓ TUBERIA CIEGA DE REVESTIMIENTO

Se deberá instalar la tubería de los dos piezómetros de acuerdo a los resultados litológicos y de permeabilidad de los estratos.

La tubería de revestimiento deberá girar libremente, cuando esté suspendida, quedando terminantemente prohibido hincarla a golpes. La tubería deberá reunir las siguientes condiciones:

- Diámetro: dos (2) tubos de 3 pulgadas de diámetro formando piezómetros múltiples.
- Material: cloruro de polivinilo (PVC, 250 PSI, en tramos de 6 metros).
- Juntas: Cumplirá con lo especificado para la rejilla.

i) FILTRO ARTIFICIAL

- ✓ Se rellenará el espacio anular, entre el agujero perforado y las paredes exteriores de la tubería de revestimiento desde el fondo hasta 20 pies arriba del nivel superior de la rejilla, con material de sedimentos aluvionales o fluviales, grava lavada y clasificada; como ESTABILIZADOR DE FORMACIÓN, los tamaños serán de 1/8 pulgada a 1/4 de pulgada. A partir de los 20 pies arriba del nivel superior de la rejilla hasta la superficie del terreno será rellenado con material no selecto.
- ✓ Antes de la colocación del filtro artificial se deberá limpiar el espacio anular con circulación de agua limpia, luego se agregará lentamente la grava también con circulación de agua para que esta tome suposición definitiva frente a la sección de rejilla y el resto del espacio anular.

J) DESARROLLO Y LIMPIEZA DEL POZO

Se deberá eliminar el sedimento de arenas finas, arcillas, lodos de perforación y materiales obturantes de las capas acuíferas alrededor de la rejilla. Dicha remoción del material fino permitirá la abertura de los poros e intersticios a través de los cuales el agua penetra al interior del pozo.

- ✓ Métodos convencionales. Se deberá seleccionar el método adecuado y su correcta aplicación con base en las condiciones del pozo y la disponibilidad del equipo. Los métodos más empleados son: Aire comprimido, Retrolavado o Pistoneo.
- ✓ En caso de efectuarse la perforación por el método rotativo, el desarrollo indicado deberá complementarse con la aplicación de DISPERSOR DE

ARCILLA, de marca reconocida, liquido o en polvo, de acuerdo a especificaciones de disolución del fabricante del dispersor.

- ✓ El pozo debe considerarse libre de arena en el caso que el contenido de arena no exceda 2 ppm/peso en cada uno de los pasos. Cada uno de los pasos de la explotación deberá durar por lo menos una hora.
- ✓ Para evacuar residuos de fluidos con bentonita desde los estratos productivos del subsuelo, deben usarse polifosfatos u otro dispersante de lodo con propiedades biodegradables, que no sea contaminante ni tóxico para la humanidad.
- ✓ El proceso de limpieza podrá ser efectuado, tanto por pistoneo o por inyección de aire comprimido (método “Airlift”). El equipo que se utilice para este propósito deberá ser capaz de descargar hasta un 100% de la capacidad requerida del pozo o mayor según las necesidades.

A medida que el desarrollo continúe, se añadirá periódicamente grava y agua en el espacio anular, si fuere requerido; esta operación deberá ser continua hasta que el pozo esté convenientemente desarrollado a satisfacción del Supervisor.

Se dará por terminado el desarrollo del pozo, si al terminar la última etapa el agua no se encuentre con grado de turbidez.

#### k) PRUEBA DE VERTICALIDAD Y ALINEAMIENTO

- ✓ Suministro para la prueba: La rejilla y la tubería de revestimiento deberán quedar centradas en el agujero de la perforación del pozo. La prueba de verticalidad y alineamiento deberá ser hecha después de completar la construcción del pozo y antes de su aceptación por parte del Supervisor.
- ✓ Descripción de la Prueba: La prueba de verticalidad y alineamiento será efectuada desde la superficie del terreno hasta la zona correspondiente a la cámara de bombeo. El alineamiento de la tubería del pozo, deberá permitir el paso libre de un cilindro de 6 metros de largo y el diámetro será de 0.5 pulgadas menor que el diámetro interior de la tubería de revestimiento equivalente a los

dos piezómetros anidados a colocar en el pozo, de acuerdo a la especificaciones respectivas a la American Water Works Association (AWWA), o por cualquier otro método aprobado por la buena práctica específica de ingeniería. Durante la prueba, el cilindro podrá variar de la verticalidad, dos tercios (2/3) del diámetro interior al punto medio o centro geométrico de las tuberías de revestimiento del pozo por cada cien pies de profundidad. Si el pozo no llena los requisitos establecidos por esta prueba, será rechazado y se deberán efectuar las correcciones necesarias.

l) PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE.

Una vez limpiado y desarrollado el Pozo, se deberá realizar la prueba de bombeo, para lo cual deberá contar con todos los equipos necesarios y en condiciones de funcionamiento.

Se deberá realizar varios aforos durante los trabajos de limpieza y desarrollo del Pozo, para determinar el caudal aproximado de la prueba de bombeo y cálculo de los parámetros del acuífero.

La prueba de bombeo a ser ejecutada será a caudal constante y nivel variable, con un periodo de bombeo continuo de 27 horas. Al concluir la prueba de bombeo se deberá tomar el tiempo y el nivel de recuperación del Pozo, hasta alcanzar el nivel mínimo del 90% (noventa por ciento) del abatimiento.

Se deberá evacuar las aguas del bombeo de tal manera que éstas y los sedimentos producidos durante las diversas operaciones sean dispuestos de modo que no produzcan inconvenientes a las propiedades cercanas.

M) INSTALACIÓN DE PIEZÓMETROS ANIDADOS DE DOS NIVELES

Se hará la instalación de dos (2) tuberías PVC de 3" de diámetro, con tapón de fondo y a diferentes profundidades que serán determinadas por el diseño del pozo, con el fin de poder monitorear diferentes niveles del acuífero. Se hará sello con material bentonítico y cementante entre los estratos para aislar las aguas de los diferentes estratos.

#### N) ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO BACTERIOLÓGICO

Se hará la toma de muestra y el análisis físico químico y bacteriológico de muestras de agua del nivel de mayor profundidad del pozo y corresponderá al “Análisis Normal” según la NSO 13.07.01:08. Adicionalmente se hará el análisis de los iones mayoritarios (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, Na, Ca, Mg; K) con el fin de realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua del acuífero en cada uno de los dos niveles.

#### O) INFORME FINAL DEL POZO

Se deberá hacer un informe final del pozo que deberá contener un resumen histórico de la construcción incluyendo: georeferencia, plano de ubicación, nivel estático, perfil litológico, Registros eléctricos, velocidad de perforación, viscosidad de lodos y plano de así se construyó además de Fotografías del proceso de construcción.

#### P) CAJA DE LÁMINA DE HIERRO Y CERCADO DEL ÁREA DEL POZO.

Se construirá una caja de lámina de hierro con estructura de ángulos de hierro y las obras de cercado con malla ciclón alrededor del pozo así como el acceso al mismo que permita el resguardo de los equipos de monitoreo instalados en los pozos de observación. El cercado tendrá las dimensiones de 2.0 m de ancho por 1.80 m de altura por cada lado, con estructura de tubo galvanizado tipo mediano de 2” de diámetro en cada esquina del cuadrado y en las diagonales tubo galvanizado tipo mediano de 1 ½” de diámetro; en cada esquina con bases de concreto de 0.20 x 0.20 m x 0.30 m de profundidad para empotrar el tubo de 2” pulgadas.

Se recomienda la instalación de equipos de medición automático dentro de los dos acuíferos en el pozo de monitoreo, con el fin de llevar registros sistematizados y con frecuencias de medición diaria y colecta de datos en forma mensual, con el fin de tener un mejor seguimiento al comportamiento de los niveles piezométricos y de las variaciones de la conductividad eléctrica que den idea del fenómeno de la intrusión salina. Existe en el mercado equipos de Diver o Data Logger que permiten hacer la lectura de nivel Potenciométrico, Conductividad Eléctrica y Temperatura que transmiten la información directamente hasta una distancia de 500 metros hacia un colector que debe portar el técnico

encargado de la toma de datos. Se incluye en la Tabla 4.12 las especificaciones técnicas generales de posibles equipos para ser instalados en el pozo de monitoreo.

Tabla 4. 12 Especificaciones Técnicas de Equipos de Medición de Parámetros Hidrogeológicos.

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:</b>	<b>DETALLE DE LAS ESPECIFICACIONES</b>
Dimensiones diver:	Ø 15-40 mm x 125 – 250 mm
Memoria:	30,000 mediciones
<b>ESTRUCTURA:</b>	
<b>PIEZAS HUMEDAS</b>	
Carcaza	Cerámica
Carcaza del sensor de conductividad	Cerámica
Sensor de conductividad	Electrodos de platino en transportador de cerámica
Anillo “O” ring.	Caucho
Sensor de presión	Cerámica
Vida útil de la batería	En el orden de los 8 años con frecuencia de medición de 3 minutos o mayor.
Frecuencia de mediciones	En el orden de 1 segundo a 99 horas.
Masa	Desde 80 a 200 Gramos
<b>CONDUCTIVIDAD:</b>	
Rango ajustable al usuario	De cero a 120mS/cm.
Precisión (precisión típica)	+/- 1% de lectura
Resolución	+/- 0.1% de lectura
<b>DE TEMPERATURA:</b>	
Rango	De 0 °C a 80 °C
Precisión	+/- 0.1 °C.
Resolución	0.01 °C.
<b>DE PRESIÓN:</b>	
<u>De acuerdo a la situación particular de cada pozo, los rangos son:</u>	
Rango:	10 mH <sub>2</sub> O                      50 mH <sub>2</sub> O                      100 mH <sub>2</sub> O
Precisión típica :	+/-0.5 cmH <sub>2</sub> O                      +/-2.5 cmH <sub>2</sub> O                      +/-5.0cmH <sub>2</sub> O
Resolución:	0.2 cm H <sub>2</sub> O                      1.0 cm H <sub>2</sub> O                      2.0 cm H <sub>2</sub> O
<b>SOFTWARE:</b>	
1. Para ambiente Windows en el procesamiento y presentación de la información.	
2. Para ambiente de dispositivos Móviles para visualización y descarga de información.	

El presupuesto aproximado de la implementación del pozo de monitoreo se incluye en la tabla 4.13.

Tabla 4. 13. Presupuesto de la perforación de pozo de monitoreo.

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Movilización, montaje, desmontaje y desmovilización.	S.G.	1	1,200	\$1,200.00
2	Perforación.				
2.1	Perforación en 10 pulgadas de diámetro (Material semi duro).	m	100	85	\$8,500.00
3	Perfil Litológico.	c/u	1	350	\$350.00
4	Registro eléctrico.	c/u	1	450	\$450.00
5	Entubamiento.				
5.1	Suministro y colocación de tubería de revestimiento $\phi 3"$ PVC lisa SDR 17 (incluye 2 piezómetros).	m	100	12.5	\$1,250.00
5.2	Suministro y colocación de tubería de revestimiento PVC $\phi 3"$ SDR 17 tipo rejilla incluyendo tapón (incluye 2 piezómetros).	m	50	15	\$750.00
6	Filtro y estabilizador de formación.				
6.2	Suministro e instalación de Grava bien graduada, subredondeada, superficie lisa, lavada y clasificada en tamaño de 1/8 a 1/4 de tamaño como estabilizador de formación del fondo hasta 20 pies arriba del nivel superior de la rejilla.	m <sup>3</sup>	3.2	300	\$960.00
6.3	Suministro e instalación de Material no selecto para completar el llenado del espacio anular hasta la superficie.	m <sup>3</sup>	0.75	250	\$187.50
7	Prueba de Verticalidad y alineamiento.	m	100	8	\$800.00
8	Desarrollo de pozo: métodos convencionales, incluyendo dispersos de arcilla (10 horas mínimo).	S.G.	1	400	\$400.00
9	Prueba de Bombeo de 27 horas (para cada acuífero del pozo de monitoreo).	SG	2	1,900	\$3,800.00
10	Finalización del pozo: Sello sanitario, loseta de concreto simple de 0.50 por 0.50 m de lado por 0.20 m de alto. Con una tubería de ademe de 0.30 m de altura de tubería galvanizada o de acero negro al carbón de 3 pulgadas de diámetro como protección superficial del tubo de PVC	S.G.	1	450	\$450.00
	Análisis físico Químico y bacteriológico de muestra de agua.	S.G.	2	450	\$900.00
11	Informe Final del pozo con litología.	c/u	1	500	\$500.00
12	Caja metálica con tapadera y candado y cercado de terreno de pozo.	S.G.	1	750	\$750.00
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>\$21,247.50</b>
	IVA (13%)				<b>\$2,762.18</b>
	<b>TOTAL</b>				<b>\$24,009.68</b>

Fuente: Elaboración propia. (Nota: No incluye el costo de la propiedad donde se hará la perforación del pozo).

La Tabla 4.14 incluye los costos del suministro e instalación de los equipos para la medición automática de los parámetros de interés.

Tabla 4. 14. Presupuesto de equipo de medición de parámetros.

No.	Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	Total
1	<b>Suministro e instalación de equipos, pruebas transmisión, instalación software.</b>				<b>\$18,903.50</b>
1.1	Diver CTD para la lectura de Nivel piezométricos, conductividad eléctrica y temperatura para profundidad de 100 metros y 50 metros. Dimensiones: Diámetro de 18-22 mm x 100 - 200 mm largo., Memoria de 48,000 mediciones, carcasa de cerámica, sensor de CE de electrodos de platino, sensor de presión de cerámica. Rango de lectura de CE de 10 $\mu$ S/cm a 120 mS/cm, Temperatura de 0 a 80 grados Celsius, Presión hasta de columna de agua sobre el diver de 100 m	2	u	\$4,500.00	\$9,000.00
1.2	Cable para sostener y transmitir datos desde el CDT hasta transmisor inalámbrico + Transmisor	2	u	\$2,120.50	\$4,241.00
1.3	Diver Gate (m) Unidad Móvil de Transmisión de Datos inalámbrica	2	u	\$2,432.00	\$4,864.00
1.4	Lector colector de información inalámbrico - USB	1	u	\$798.50	\$798.50
1.5	Software para el procesamiento de la información	1	u	\$0.00	\$0.00
2	<b>Capacitación en proceso de instalación, actividades de mantenimiento y empleo de software.</b>	1	u	\$1,643.50	<b>\$1,643.50</b>
Total Sistema de medición					\$20,547.00

## 5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 5.1 Conclusiones

El acuífero de la cuenca El Guayabo en su parte norte posee un límites cerrados por tratarse de la divisoria de aguas en el volcán de San Vicente y por el contacto directo con la unidad de rocas no acuíferas al noreste; su límite oriente que colinda con la cuenca baja del río Lempa, posee un límite abierto donde se observa un flujo del agua subterránea paralelo a lo largo del río Lempa y al poniente tiene un límite abierto al acuífero de la cuenca vecina El Pajarito de la jurisdicción de Zacatecoluca. El flujo subterráneo regional se dirige hacia la costa, con dirección principalmente norte sur, aunque con interferencias causadas por la estrecha relación existente entre la superficie piezométrica y los cursos fluviales y estero.

El acuífero está dominado por depósitos sedimentarios cuaternarios, que se constituyen principalmente por depósitos aluviales y fluviales de arenas de gruesas a finas, mezcladas con limos, intercalaciones de piroclastos con contenidos de arcilla que varían del 10% al 30% y espesores considerables hasta los 50 metros que confieren variadas condiciones entre acuífero libre a diferentes grados de confinamiento. También se presentan capas de tobas de alta permeabilidad en espesores que varían entre los 10 y 12 metros, así como estratos con contenidos variados de arcilla que confieren de baja a media permeabilidad. Se encuentran una capa de sedimento aluvial formado por canto rodado, gravas, arenas y pómez de buena permeabilidad en espesor de 10 a 30 metros.

En la zona hacia la desembocadura del río El Guayabo se deducen estratos de considerable espesor formado por limos y arcillas donde estos sedimentos forman estratos de agregado suelto, que permite el almacenamiento y transporte de agua en su interior, lo que ha permitido la explotación del acuífero en forma extensiva para fines de riego agrícola, abastecimiento humano mediante pozos someros excavados y más recientemente mediante pozos perforados. En algunas zonas el agua del acuífero somero no se aprovecha para el consumo humano por el gusto salobre que esta presenta.

La caracterización hidrogeoquímica de las aguas del acuífero superficial revela que en la zona del cantón San José de La Montaña (pozo 5) y del cantón Barrio Nuevo (pozo

8), las aguas del acuífero se mantienen con una caracterización predominante entre clorurada sódica y clorurada cálcica respectivamente. Las aguas del resto de los pozos conservan la condición de Bicarbonatadas, siendo los pozos 1 y 2 cercanos al estero de Jaltepeque que tienen la condición de Bicarbonatada sódica – potásica.

Debido a la falta de información completa para poder realizar la caracterización de las aguas del acuífero de mayor profundidad, se ha realizado un análisis comparativo de la composición química entre las aguas de pozos superficiales y los parámetros disponibles de los análisis de las muestras de agua de los pozos profundos, donde se observa que a pesar de la heterogeneidad en las condiciones de confinamiento del acuífero, que van desde libre en su mayor parte, a semiconfinado en la zona del pozo del Albergue en la jurisdicción de Tecoluca y confinado puntualmente en la zona del pozo “Agua Santa”, al norte del cantón Marranitos. En cuanto a la calidad, las aguas del acuífero tanto superficial como profunda presentan una composición química similar en relación a la concentración de los parámetros disponibles para su comparación, pero sin poder afirmar que presentan caracterización hidrogeoquímica similar.

La planicie costera de la cuenca El Guayabo presenta clara influencia de la intrusión salina en las inmediaciones de la línea costera en la zona de la comunidad El Pichiche del cantón San José de La Montaña, observándose que la concentración del ion Cloruro, Sólidos Totales Disueltos, conductividad eléctrica y los valores de las relaciones iónicas indican la influencia del agua marina en dicha parte del acuífero.

El detalle de los indicadores de intrusión marina en la zona del cantón San José de La Montaña son:

- ✓ Cloruros arriba de los 500 mg/l llegando a valores de 3,837.15 y 4,741.43 mg/l en las épocas seca y de lluvias respectivamente.
- ✓ TDS arriba de los 1,000 mg/l llegando a valores de 10,130.50 y 7,843.50 mg/l en las épocas seca y de lluvias respectivamente.
- ✓ Relación iónica  $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$  supera el umbral de 5, llegando a valores de 9.82 y 13.12 en las épocas seca y de lluvias respectivamente.
- ✓ Relación iónica  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  con valores menores a 0.2, llegando a 0.09 y 0.12 en las épocas seca y de lluvias respectivamente.

- ✓ Relación iónica  $rMg^{++}/rCa^{++}$  supera el umbral de 1.5, llegando a 2.72 y 2.20 en las épocas seca y de lluvias respectivamente.

Los pozos 1 y 2, ubicados en la zona del caserío La Pita al extremo sur, junto al estero de Jaltepeque, a pesar de presentar valores altos de conductividad eléctrica y aumentos significativos de época seca a época de lluvias de algunos parámetros como sodio y cloruros, las relaciones iónicas no indican efecto de la intrusión marina, pero cabe señalar que por la proximidad hacia la línea de costa son susceptibles de ser afectados por la intrusión marina.

Los pozos 7 y 8, cercanos a la zona del cantón Barrio Nuevo, presentan concentración de iones mayoritarios relativamente bajos, no obstante los valores de la conductividad eléctrica en el acuífero somero en una amplia zona de este cantón, alcanzan los 1,000  $\mu S/cm$ . Las relaciones iónicas correspondientes a estos pozos no indican afectación por intrusión marina, no obstante se verificaron valores altos de conductividad eléctrica, provocados, principalmente por los contenidos relativamente altos de nitratos, que podrían ser la causa de estos valores. La posible causa es:

- Fuerte actividad agropecuaria, con cultivos de caña de azúcar y alta densidad de ganado que es encorralado durante la noche en patios de las viviendas, observándose insalubridad de origen fecal provocada por el ganado.
- Procesamiento tanto industrial como artesanal de lácteos que provoca vertidos de desechos sin control de calidad.

Las fluctuaciones del nivel de las mareas tienen baja incidencia en el desplazamiento de la cuña salina, por lo que su influencia no es significativa al nivel de escala del presente estudio. Caso contrario ocurre con otros fenómenos de mareas excepcionales, como el fenómeno de Mar de Fondo registrado durante el mes de mayo de 2015, que provocó evidente afectación a pozos cercanos a la línea de costa.

## **5.2 Trabajo Futuro**

El acuífero de la cuenca baja El Guayabo de gran extensión y alta capacidad de almacenamiento, con un alto potencial socio económico y de gran importancia medio

ambiental por los ecosistemas que dependen del flujo de descarga de las aguas dulces al estero de Jaltepeque, precisa de una gestión integral de sus recursos hídricos y se debe prestar mucha atención a posibles cambios en indicadores de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. Las principales actividades, obras o estudios a realizar en la cuenca El Guayabo son:

- ✓ Es indispensable implementar una red de control de las aguas subterráneas tanto en cantidad y calidad para el monitoreo del fenómeno de la intrusión salina, deterioro en la calidad del agua y disponibilidad cuantitativa, que por ahora se limita en el caso de la cuña salina a una franja de aproximadamente 6,115 metros desde la línea de costa hacia tierra adentro, que en un corto plazo pudiera verse afectado por eventos como:
  - Aumento de la demanda del recurso hídrico subterráneo principalmente agropecuario impulsados por la implementación de programas de desarrollo de la zona costero marina.
  - La presencia de fenómenos extremos ocasionados por la variabilidad climática, como cambio en el patrón de lluvias que disminuya la recarga hídrica, mar de fondo que provoque el aumento en el nivel del mar, u otros, que provoquen el avance de la cuña salina.
  - Incremento de la degradación forestal de las zonas de recarga hídrica en la parte norte del volcán de San Vicente y en la planicie costera que provoquen disminución en dicha recarga.
  
- ✓ Elaborar el balance hídrico de la cuenca el cual debería ser constantemente actualizado en función del mejor conocimiento proveniente del proceso de monitoreo cuantitativo del acuífero y del inventario de demandas del recurso hídrico.
- ✓ Levantar inventarios de presiones contaminantes del Acuífero, tanto puntuales como difusos.
- ✓ Caracterizar la composición hidrogeoquímica del agua profunda del acuífero.

- ✓ Implementar medidas de conservación en las principales zonas de recarga hídrica, en función a sus características y actividades que se desarrollan en ellas.

Lo anteriormente referido también debería ser aplicado para el resto de cuencas que drenan hacia el complejo de la bahía de Jaltepeque, las cuales son: Cañada Central, Viejo o Comapa, Jalponga, El Pajarito y lado poniente de la cuenca baja del río Lempa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDA-COSUDE. (2008). Mapa Hidrogeológico de El Salvador.
- Anónimo. (n.d.). Lección 12. Piezometría. Retrieved Febrero 11, 2013, from <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH12.pdf>
- Basagoitia, J. C. (2007). Evaluación de los impactos hidrológicos e hidráulicos. MARN. San Salvador: MARN.
- Baxter, S. (1984). LEXICO ESTRATIGRAFICO DE EL SALVADOR. San Salvador: Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa (CEL).
- Custodio, E. &. (2001). HIDROLOGIA SUBTERRANEA (TOMO II). España: Ediciones Omega
- Fetter, C. (2001). APPLIED HYDROGEOLOGY. New Jersey: Prentice Hall.
- Freeze, A. &. (1979). GROUNDWATER. New Jersey: Prentice Hall.
- Gil, L. B. (2007). EVALUACION HIDROGEOLOGICA Y VULNERABILIDAD INTRINSECA DEL SISTEMA ACUIFERO DEL MUNICIPIO DE NEJAPA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Junker, M. (2005). Método RAS para determinar la recarga de agua subterránea. San Salvador: UE, Proyecto FORGAES.
- Lemus, M. N. (2004). ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA MICRO-REGION BAJO LEMPA, J./ZACATECOLUCA, DEPARTAMENTO DE LA PAZ. San Salvador: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).
- MARN. (2015, junio 29). <http://www.snet.gob.sv/>. Retrieved junio 29, 2015, from <http://www.snet.gob.sv/>: <http://www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador>
- MARN. (n.d.). <http://www.snet.gob.sv/>. Retrieved junio 29, 2015, from <http://www.snet.gob.sv/>: <http://www.snet.gob.sv/SRT/zoom/map.php?mapa=inundacion%2F>
- Mena, M. L. (2013). INFORME DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS. San Salvador: MARN.
- PRISMA. (2001). Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco. San Salvador: Nelson Cuellar.
- Román, F. J. (2015). Hidrología - Hidrogeología. Salamanca, España.
- Santaengracia, L. M. (2010). CÁLCULO DE CAUDALES A PARTIR DE AFOROS DIRECTOS. Montevideo: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- SCHUSTER, S. (2015, mayo 4). NeuronalMind42. Retrieved junio 29, 2015, from mind42.com: <http://mind42.com/public/b05909b4-e9ab-41dd-83a9-ecc05a19a5ff>

## **ANEXOS**

Anexo 1 Tabla de Datos Recopilado en jornadas de Muestreo en época Seca. ....	159
Anexo 2 Tabla de Datos Recopilado en jornadas de Muestreo en época de Lluvias.....	167
Anexo 3 Ficha de Monitoreo del Agua Subterránea. ....	175
Anexo 4 Resultados de análisis al final época de Lluvias. ....	177
Anexo 5 Resumen de resultados análisis químico iones mayoritarios .....	186
Anexo 6 Resumen de resultados de las relaciones iónicas época de Lluvias y seca.....	187

Anexo 1 Tabla de Datos Recopilado en jornadas de Muestreo en época Seca.

No.	ID	PROPIETARIO	UBICACIÓN	N	W	N	W	NIVEL DE AGUA	PROF	TEMP. POZO	CE	OD%	OD	SALINIDAD	TDS	PH	ORH
1	PE01	Jorge Alberto Avalos	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'26"	88°47'50"	13.44056	88.79722	12		29.83	331	40.05	3.02	0.16	0.215	7.05	-9.4
2	PP01	ADESCO SACRUP (Santa Cruz Porrillo)	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'31"	88°47'52"	13.44194	88.79778	12.32	62.5	29.83	265	64.4	4.65	0.12	0.172	6.74	8.8
3	PE02	José Salvador Velasco	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'33"	88°47'57"	13.4425	88.79917	3	6	28.78	605	43.5	3.31	0.29	0.393	6.4	29.2
4	PE03	Carlos René Miranda	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'33"	88°47'51"	13.4425	88.7975	12.03		28.29	251	64.4	4.85	0.12	0.163	6.44	26.9
5	PE04	Victoria García Durán	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'33"	88°47'53"	13.4425	88.79806	9.93		28.53	279	46.2	3.42	0.13	0.181	6.9	-0.6
6	PE05	Sara Marlene Chacón	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'14"	88°48'17"	13.38722	88.80472	1.37	5.17	29.07	428	10.1	0.9	0.2	0.278	6.67	13.2
7	PE06	Albergue Santa Lucía	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'14"	88°48'11"	13.38722	88.80306	3.06									
8	PE07	Isaura Gámez Cruz	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'16"	88°48'13"	13.38778	88.80361	1.93	2.5	28.02	561	27	1.95	0.27	0.365	6.81	4.8
9	Ppu01	Ana de Jesús Portillo	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'16"	88°48'13"	13.38778	88.80361	1.5		28.56	672	20.5	1.52	0.21	0.287	6.72	10.2
10	PE08	José Ramón Rosado	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'20"	88°48'14"	13.38889	88.80389	2	4	27.26	500	24.9	1.96	0.24	0.325	6.88	0.7
11	PE09	Blanca Flor Montes	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'23"	88°48'17"	13.38972	88.80472	4	8	26.65	746	13	1.03	0.36	0.485	7.12	-13.9
	PI1			13°23'20.58"	88°49'29.88"	13.38905	88.82497	4	8	26.65	746	13	1.03	0.36	0.485	7.12	-13.9
12	PE10	Marcelina Panameño	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'23"	88°48'14"	13.38972	88.80389	2.04									
13	Ppu02	José Alfredo Rodríguez	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'23"	88°48'14"	13.38972	88.80389	3	12	29.57	369	17	1.26	0.17	0.24	7.18	-17.4
14	PE11	José Alfredo Rodríguez	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	13°23'25"	88°48'18"	13.39028	88.805	1.54	3	27.32	869	12	0.89	0.42	0.565	6.89	-0.2
15	PE12	Manuel Quijano	Caserío Santa Julia, Cantón El Amate	13°23'30"	88°48'08"	13.39167	88.80222	1.81		26.7	509	32.1	2.54	0.24	0.331	7.07	-10.7
16	PE13	Ingenio Izalco	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	13°23'55"	88°47'58"	13.39861	88.79944	2		26.73	889	6.4	0.49	0.43	0.578	7.44	-32.7
17	PE14	Edwin Antonio Pacas	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	13°24'02"	88°47'53"	13.40056	88.79806	2.47		28.99	844	6.5	0.47	0.41	0.549	6.74	9.1
18	PE15	Edwin Antonio Pacas	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	13°24'00"	88°47'53"	13.4	88.79806	1.87		28.08	632	12	0.85	0.3	0.411	6.77	7.1
19	PE16	Tomás Rodríguez	Caserío El Pichiche	13°19'08.3"	88°48'17.6"	13.31897	88.80489	2.35	3.3	26.75	1168	28.4	2.21	0.56	0.735	7	856.54
20	PE17	Comunidad El Pichiche	Caserío El Pichiche	13°19'05.5"	88°48'15.1"	13.31819	88.80419	2.58	4	28.39	828	30.8	2.27	0.38	0.506	7.7	1205.2
21	PE18	Roberto Márquez Vásquez	Caserío El Pichiche	13°19'07.1"	88°48'21.9"	13.31864	88.80608	2.42		26.69	2179	34.3	2.68	1.07	1.371	7.4	458.89
22	PE19	Carmen Rodas	Caserío El Pichiche	13°19'04.1"	88°48'24.9"	13.31781	88.80692	1.65		26.5	3590	17.1	1.31	1.83	2.268	6.8	278.42

	5		Caserío El Pichiche	13°19'08"	88°48'27"	13.31889	88.8075				22000						7.3	
23	PE20	Simón Jorge Sosa	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	13°22'41.8"	88°48'25.0"	13.37828	88.80694	1.8	7	29.14	735	23.1	1.73		0.33	0.443	6.9	1360.4
24	PE21	Ramón Mauricio Amaya	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	13°22'44.4"	88°48'18.0"	13.379	88.805	2.06	3	30.49	1162	83.4	6.22		0.51	0.684	6.7	860.89
25	PE22	Milagro del Carmen Barrientos	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	13°22'39.9"	88°48'20.9"	13.37775	88.80581											
26	PE23	José Noboa	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'19.7"	88°49'13.5"	13.37214	88.82042	1.84	3	28.72	541	21	1.6		0.24	0.328	6.7	1847.4
27	PE24	Julio Cesar Barrios	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'14.6"	88°49'12.9"	13.37072	88.82025	2.45	3.6	28.59	388	14.2	1.02		0.17	0.236	6.8	2578.7
28	PE25	Rafael Aníbal Rodríguez	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'23.4"	88°49'26.0"	13.37317	88.82389	1.81	3.3	28.26	1493	31.2	2.39		0.7	0.914	7	669.77
29	PE26	María Paula Martínez	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'25.3"	88°49'11.0"	13.37369	88.81972	1.69		28.43	1131	29.4	1.98		0.52	0.69	7.4	883.92
30	PE27	Bedi del Carmen	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'26.9"	88°49'05.4"	13.37414	88.81817	1.89		27.63	548	11.5	1.01		0.25	0.34	6.8	1823.3
31	PE28	Santos Novoa	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	13°22'26.7"	88°49'03.1"	13.37408	88.81753	2	2.8	27.57	408	10.6	0.79		0.18	0.252	6.8	2453.1
32	PP02	Centro Escolar San Marcos de la Cruz	Cantón San Marcos de la Cruz	13°25'55.2"	88°49'11.0"	13.432	88.81972	4.8	33									
33	PE29	María Elena Chávez	Cantón San Marcos de la Cruz	13°25'50.1"	88°49'10.3"	13.43058	88.81953	4.79		28.93	387	51	3.87		0.17	0.234	6.5	2582.8
34	PE30	Juana Gómez Carranza	Cantón San Marcos de la Cruz	13°25'39.9"	88°49'09.5"	13.42775	88.81931	4.71		28.49	360	40.9	3.11		0.16	0.219	6.5	2778.8
35	PE31	Elsa González	Cantón San Marcos de la Cruz	13°25'23.8"	88°49'07.0"	13.42328	88.81861	4.13		28.72	211	13.1	0.97		0.09	0.128	6.7	4744.1
36	PE32	Zoila Esperanza Quevedo	Cantón El Amate	13°25'38.5"	88°49'01.2"	13.42736	88.817	5.22		28.5	453	34.4	2.62		0.2	0.276	6.7	2208.5
37	PE33	Felipe Bonilla	Cantón El Amate	13°25'37.4"	88°48'54.5"	13.42706	88.81514	5.61		28.74	289	26.7	2.06		0.13	0.175	6.6	3460.3
38	PE34	Elvira de los Ángeles Regalado Rivas	Cantón El Amate	13°25'38.3"	88°48'39.3"	13.42731	88.81092	4.37	5.25	29.02	328	23.2	1.78		0.14	0.198	6.8	3048.4
39	PE35	Ana Guadalupe Bonilla	Caserío El Pichiche	13°19'07.5"	88°48'26.9"	13.31875	88.80747	3.55	7.5	26.85	6120	11.4	0.87		3.32	3.98	7	-11.2
	PI9			13°19'30.93"	88°49'49.06"	13.32526	88.83029	3.55	7.5	26.85	6120	11.4	0.87		3.32	3.98	7	-11.2
40	PP03	Juan Francisco Mejía Cortez	Comunidad El Guayabo	13°20'28.6"	88°48'21.7"	13.34128	88.80603	3.15	55									
41	PE36	Juan Francisco Mejía Cortez	Comunidad El Guayabo	13°20'27.0"	88°48'31.0"	13.34083	88.80861	2.21										
42	PE37	Aristides Antonio García Amaya	Comunidad El Guayabo	13°20'49.2"	88°48'24.4"	13.347	88.80678	3.38	14	28.59	3121	14.7	1.11		1.62	2.029	7.11	-17.8
	PI7			13°21'13.96"	88°49'49.21"	13.35388	88.83034	3.38	14	28.59	3121	14.7	1.11		1.62	2.029	7.11	-17.8
43	PE38	Marisela Crisol Orellana	Comunidad Monteverde, Cantón Azacualpa	13°21'26.4"	88°48'21.5"	13.35733	88.80597	3.25	5	28.38	1096	6.5	0.42		0.54	0.713	7.47	-38.6
44	PE39	María Lilian Orellana	Comunidad Monteverde, Cantón Azacualpa	13°21'21.5"	88°48'19.4"	13.35597	88.80539	2.59	5.49	28.6	1352	6.8	0.45		0.67	0.872	7.25	-25.5
45	PE40	Rogelio Díaz	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°21'59.7"	88°47'53.6"	13.36658	88.79822	2.57		27.3	476	21.3	1.65		0.23	0.31	6.61	12.3

46	PE41	Pedro Hueso	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°21'53.5"	88°48'03.8"	13.36486	88.80939	1.81	4	28.21	484	9.6	0.71	0.23	0.314	6.74	4.5
47	PE42	Alfredo Merino	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°21'56.7"	88°48'15.5"	13.36575	88.80431	2.38	4.5	28.95	524	11.6	0.86	0.25	0.341	6.61	12.2
48	PE43	Centro de Desarrollo Productivo, Escuela de campo agricultores	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°22'10.1"	88°48'23.4"	13.36947	88.8065	2.44		29.98	883	19.5	1.45	0.43	0.575	6.85	-1.8
49	PE44	Luis Cortés	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°22'19.8"	88°48'27.8"	13.37217	88.80772	2.26	3								
50	PE45	Luis Cortés	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°22'20.5"	88°48'27.4"	13.37236	88.80761	2.32	3	28.27	673	21	1.3	0.32	0.438	6.92	-6.3
51	PE46	Ana Berta Melgar	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°22'32.2"	88°48'28.3"	13.37561	88.80786	2.03		28.95	433	41.6	2.7	0.21	0.281	6.67	8.6
52	PE47	Ramiro Rosales	Cantón Agua Zarca	13°24'24.3"	88°47'32.7"	13.40675	88.79242	1.81		27.66	399	15	1.11	0.19	0.26	6.69	7.9
53	PE48	Raúl Alcántara	Cantón Agua Zarca	13°24'26.9"	88°47'33.0"	13.40747	88.7925	1.94	2.4	28.09	382	31.2	2.33	0.18	0.248	6.69	7.3
54	PE49	Catalina Funes Cruz	Cantón Agua Zarca	13°24'30.7"	88°47'37.4"	13.40853	88.79372	2.18	2.5	27.86	412	31	2.36	0.2	0.267	6.71	6.6
55	PE50	Transito Rivas	Cantón Agua Zarca	13°24'31.7"	88°47'42.3"	13.40881	88.79508	2.17	3.5	27.59	407	24	1.78	0.19	0.265	6.72	4.1
56	PE51	Gloria Ester Pineda	Cantón Agua Zarca	13°24'32.2"	88°47'46.3"	13.40894	88.79619	2.9		27.38	495	21	1.5	0.24	0.322	6.69	7.8
57	PE52	Salomón Hernández	Cantón Agua Zarca	13°24'25.0"	88°47'47.1"	13.40694	88.79642	2.2									
58	PE53	Dolores Cañenguez	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°22'54.8"	88°48'17.5"	13.38189	88.80486	2.05		33.58	1367	49.2	3.41	0.67	0.889	6.97	-9.4
59	PE54	Verónica Mabel Rivas	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	13°23'07.5"	88°48'16.4"	13.38542	88.80456	2.07	4.4	30.16	504	26	1.88	0.24	0.328	7.11	-17.5
60	PE55	Cristóbal Chirino	Cantón El Amate	13°25'37.4"	88°48'35.6"	13.42706	88.80989	4.57		28.8	249	81.4	6.27	0.12	0.162	6.27	16.4
61	PE56	Fernando Alberto Sorto	Cantón El Amate	13°25'37.6"	88°48'28.9"	13.42711	88.80803	3.64		28.48	415	5.6	0.42	0.2	0.27	6.44	22.4
62	PE57	Cruz Alejandro Ruíz	Cantón El Amate	13°25'42.6"	88°48'26.2"	13.4285	88.80728	3.18	4.5	29.99	255	18.3	1.34	0.12	0.166	6.5	18.7
63	PE58	Ernesto González	Cantón Barrio Nuevo	13°25'38.2"	88°47'59.5"	13.42728	88.79986	5.49		28.84	541	39	3.1	0.26	0.352	7.34	-30.8
64	PE59	Sandra Marisa	Cantón Barrio Nuevo	13°25'41.8"	88°47'56.5"	13.42828	88.79903	7.29		29.42	2162	32.8	2.36	1.1	1.406	6.34	28.3
65	PE60	Feliciana López	Cantón Barrio Nuevo	13°25'44.0"	88°47'57.6"	13.42889	88.79933	6.06		29.01	1161	29	2.17	0.57	0.754	7.01	-11.8
66	PE61	Raúl Ayala	Cantón Barrio Nuevo	13°25'46.7"	88°47'57.0"	13.42964	88.79917	7.89		29.94	354	40.1	2.85	0.17	0.23	7.14	-19.2
67	PE62	José Simeón Cañas	Cantón Barrio Nuevo	13°25'53.2"	88°47'56.4"	13.43144	88.799	6.85	9.85	28.3	406	41.5	3.15	0.19	0.264	6.7	6.7
68	PE63	María Virginia Iraheta	Cantón Barrio Nuevo	13°26'06.7"	88°47'54.7"	13.43519	88.79853	10.56		29.3	213	43.5	3.25	0.1	0.138	6.44	22.1
69	PE64	José Santos Mejía	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	13°26'56.0"	88°45'04.0"	13.44889	88.75111	6.22	8	29.62	488	58.5	4.4	0.23	0.317	8.01	-69.5
70	PE65	Juana Flores Lima	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	13°26'46.0"	88°45'00.0"	13.44611	88.75	3.69		27.95	637	35	2.56	0.31	0.414	8.01	-69.2
71	PP04	Fuente de Agua, La Trinidad	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	13°26'34.0"	88°45'15.0"	13.44278	88.75417		82	31.14	341	82	6.4	0.16	0.221	7.35	-30.1
72	PE66		Caserío San Ramón Grifal, Cantón El	13°26'32.0"	88°45'23.0"	13.44222	88.75639	3.34		29	373	40	3.12	0.18	0.243	7.22	-22.3

			Playón														
73	PE67	Martín Durán	Cantón El Pacún	13°24'11.0"	88°44'21"	13.40306	88.73917	2.81		28.44	324	25	1.93	0.15	0.211	6.72	7.2
74	PE68	María Elena Andrade Castillo	Cantón El Pacún	13°24'13.0"	88°44'23.0"	13.40361	88.73972	3.31		28.5	225	7	0.53	0.11	0.145	6.45	23.2
75	PE69	José Germán García	Cantón El Pacún	13°24'08.0"	88°44'22.0"	13.40222	88.73944	2.75		27.53	481	15.8	1.22	0.23	0.312	6.68	9.2
76	PE70	Dora de Jesús Villegas	Cantón El Pacún	13°24'06.0"	88°44'23.0"	13.40167	88.73972	2.83		27.92	832	18	1.33	0.4	0.591	6.85	-0.3
77	PE71	Alfredo Joel	Cantón El Pacún	13°24'08.0"	88°44'40.0"	13.40222	88.74444	2.71		28.45	375	36	2.6	0.18	0.244	6.92	-4
78	PE72	Carlos Alberto Valladares	Cantón El Pacún	13°23'35.0"	88°44'39.0"	13.39306	88.74417	2.73	3.23								
79	PE73	María Carlota Serrano	Cantón San Marcos Lempa	13°23'12.0"	88°45'02.0"	13.38667	88.75056	2.41		28.02	184	30	2.35	0.09	0.12	6.56	16.7
80	PE74	María Aidé Arias	Cantón San Marcos Lempa	13°22'53.0"	88°45'16.0"	13.38139	88.75444	2.37									
81	PE75	Dolores Acebedo	Colonia San Pedro, El Gavilán	13°26'15.0"	88°47'25.0"	13.4375	88.79028	2.51		28.72	515	44	3.4	0.25	0.335	6.68	9.9
82	PE76	Javier de Jesús Romero	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'19.0"	88°47'39.0"	13.43861	88.79417	6.09		29.46	212	44	5	0.1	0.138	6.46	22.9
83	PE77	Manuel de Jesús Arévalo	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'24.0"	88°47'36.0"	13.44	88.79333	0.76	5.32	25	649	58	4.76	0.31	0.422	7.08	-14.5
84	PE78	Marta Lorena Palacios	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'22.0"	88°47'42.0"	13.43944	88.795	3.82	3.95	27.13	232	60.5	4.71	0.11	0.15	6.67	11
85	PE79	Gladis Estela García	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'21.0"	88°47'47.0"	13.43917	88.79639	7.81		29.35	676	23.7	1.79	0.33	0.44	6.1	43.6
86	PE80	José Antonio Guevara	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'21.0"	88°47'37.0"	13.43917	88.79361	3.49		28.51	323	35.5	2.5	0.15	0.21	6.47	23.7
87	PE81	Eduardo Palacios	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	13°26'19"	88°47'36.0"	13.43861	88.79333	6.53	8.4	29.03	261	63	4.7	0.12	0.17	6.79	3.2
88	PE82	Carlos Francisco Guardado Estrada	Bodega antigua Hacienda San Gerónimo, Cantón San Carlos	13°24'20"	88°45'45.0"	13.40556	88.7625	1.68		27.79	418	28.8	2.28	0.2	0.272	6.88	-3
89	PE83	Manuel Zapata	Hacienda San Gerónimo, Cantón San Carlos	13°24'19"	88°45'47.0"	13.40528	88.76306	1.78		26.86	397	3.9	0.29	0.19	0.258	6.83	-0.4
90	PE84	Oscar Antonio Gutiérrez	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	13°24'06"	88°45'37.0"	13.40167	88.76028	1.84		27.31	289	12	0.88	0.14	0.188	6.89	-2.2
91	PE85	Pedro Pérez	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	13°24'06"	88°45'34.0"	13.40167	88.75944	1.63		24.77	301	9	0.74	0.14	0.195	7.05	-10
92	PE86	comunal abandonado	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	13°24'05"	88°45'30.0"	13.40139	88.75833	1.8									
93	PE87	Francisco Merino	Rural San Gerónimo, cantón San Carlos	13°24'40"	88°45'40.38"	13.41111	88.76122	2.6		25.69	916	0.6	0.04	0.45	0.596	7.56	-43.9
94	Rio 1	Río Terrero	Área rural San Gerónimo, cantón San Carlos	13°24'02"	88°45'29.0"	13.40056	88.75806			31.07	256	98	7.28	0.12	0.166	8.09	-75.9
95	PE88	Arturo Umaña	Los Lotes, San Gerónimo, cantón San Carlos	13°23'42"	88°45'32.0"	13.395	88.75889	2.02		28.83	389	5.5	0.39	0.18	0.253	6.8	1.3
96	PE89	Arturo Umaña	Los Lotes, San Gerónimo, cantón San Carlos	13°23'39"	88°45'36.0"	13.39417	88.76	1.98		27.55	294	24	1.8	0.14	0.191	7.09	-15.8
97	PE90	Pablo Amaya	Rural, San Gerónimo, cantón San Carlos	13°23'26"	88°45'26.0"	13.39056	88.75722	1.55		28.37	311	3	0.21	0.15	0.202	6.85	0.1

98	PE91	Jesús Pérez	Rural, San Gerónimo, cantón San Carlos	13°23'29"	88°45'21.0"	13.39139	88.75583	2.04		28.33	283	2.2	0.16	0.13	0.184	6.69	7.5
99	PE92	Francisco Merino	Las Moritas, cantón San Carlos	13°23'20"	88°45'17.0"	13.38889	88.75472	2.28		28.46	359	3.6	0.3	0.17	0.233	6.79	2.1
100	PE93	Pascual Quintanilla Martínez	Las Moritas, cantón San Carlos	13°23'20"	88°45'20.0"	13.38889	88.75556			28.25	398	40	3.05	0.19	0.259	6.82	0
101	PE94	Manuel Iraheta	El Palmo, Los Naranjos, cantón Las Mesas	13°18'12"	88°48'23"	13.30333	88.80639	2.18		27.84	909	18.3	1.42	0.44	0.59	7.19	-21.9
102	PE95	Santos Marcos Amaya	Isla La Coyota	13°18'27"	88°48'27"	13.3075	88.8075	1.52		27.8	870	23.2		0.42	0.566	6.98	-8.7
	Bahía 1	Santos Marcos Amaya	Isla La Coyota (agua de la bahía)	13°18'27"	88°48'27"	13.3075	88.8075										
104	Ppu03	Catalino Luna	Los Naranjos, cantón Las Mesas	13°17'54"	88°47'48"	13.29833	88.79667			29.76	1975	26	2.05	1	1.283	6.58	14.1
105	PE96	Álvaro Mejía	Los Naranjos, cantón Las Mesas	13°17'43"	88°47'41"	13.29528	88.79472	2.51		26.62	364	25.39	2.08	0.17	0.236	6.78	2.3
106	PE97	Benancio Orellana	La Pita	13°16'39"	88°48'40"	13.2775	88.81111	1.51		26.83	11292	9.9	0.74	6.4	7.34	7.61	-46.6
107	PE98	Ignacio Palacios	La Pita	13°16'59"	88°48'23"	13.28306	88.80639	2.37		28.43	872	7	0.54	0.472	0.567	7.17	-20.5
108	PE99	María Elena Lobato	Puerto Nuevo, Cantón Las Mesas	13°17'05"	88°48'18"	13.28472	88.805	2.75		28.58	463	9.9	0.73	0.22	0.301	6.92	-5.7
109	Ppu04	Rubidia Esmeralda Mejía	Puerto Nuevo, Cantón Las Mesas	13°17'13"	88°48'7.65"	13.28694	88.80213	2.97		28.42	938	45.3	3.2	0.46	0.61	7.16	-20.1
110	PE100	Silvia Estela Lobato Martínez	El Naranjo, cantón Las Mesas	13°17'20"	88°47'56"	13.28889	88.79889	2.97		26.27	2055	1.7	0.13	1.04	1.336	7.09	-15.7
111	PE101	José Ernesto Valdez	Junto a escuela cantón Las Mesas	13°17'26"	88°47'50"	13.29056	88.79722	2.78		27.8	1217	22	1.5	0.6		7.18	-21
112	PE102	Ana Vilma Romero Portillo	El Naranjo, cantón Las Mesas	13°17'28"	88°47'52"	13.29111	88.79778	2.66		27.3	1378	10.8	0.85	0.69	0.895	7.03	-12.2
113	PE103	Felipa Elida Rauda Serrano	El Naranjo, cantón Las Mesas	13°17'38"	88°47'27"	13.29389	88.79083	2.83		29.22	618	15.5	1.17	0.3	0.4025	7.29	-28
114	PE104	Teresa de Jesús Sánchez	Hacienda El Coyol	13°21'44"	88°46'00"	13.36222	88.76667	3.03	4.03	27.75	699	4	0.31	0.34	0.453	7.29	-31
115	PE105	Santos Gámez	Hacienda El Coyol	13°21'33"	88°46'08"	13.35639	88.76889	3.02		28.51	840	3	0.24	0.46	0.64	7.06	-17.7
	PI5			13°21'41.69"	88°45'15.10"	13.36158	88.75419	3.03		28.51	840	3	0.24	0.46	0.64	7.06	-17.7
116	PE106	Gloria Flores	Hacienda El Coyol	13°21'44"	88°46'12"	13.36222	88.77	2.37		28.06	349	9	0.68	0.16	0.227	6.86	-5.7
117	PE107	Samuel Alfredo Cerritos Henríquez	Hacienda La Sabana	13°21'54"	88°46'10"	13.365	88.76944	2.69		26.42	339	2	0.16	0.16	0.221	7.04	-16.1
118	PE108	José Palacios	Cantón Las Anonas	13°21'43"	88°47'04"	13.36194	88.78444	2.74		27.19	619	0.7	0.03	0.3	0.403	7.51	-44
119	PE109	María Amparo Sánchez	Cantón Las Anonas	13°21'47"	88°46'59"	13.36306	88.78306	2.77		27.13	395	9.2	0.73	0.19	0.257	6.97	-12.1
120	PE110	María Isabel Ramos	Cantón Las Anonas	13°21'49"	88°47'02"	13.36361	88.78389	3.2		27.39	451	2.2	0.16	0.21	0.293	7.04	-16.3
121	PE111	José David Ayala	Cantón Las Anonas	13°22'01"	88°46'53"	13.36694	88.78139	2.57		28.54	343	5	0.31	0.16	0.223	6.72	3
122	PE112	Juan Antonio López Panameño	Cantón Las Anonas	13°22'13"	88°46'45"	13.37028	88.77917	2.45		29.03	249	17	1.33	0.12	0.162	6.66	6.3
123	PE113	Paula de Jesús Castillo	Cantón Las Anonas	13°22'37"	88°46'33"	13.37694	88.77583	2.68		28.61	275	5.5	0.35	0.13	0.179	6.65	7

124	PE114	Hacienda Marines	El Coco	13°20'52"	88°47'20"	13.34778	88.78889	2.37		24.52	452	17.7	1.46	0.22	0.298	7.44	-40
125	PE115	Comunidad El Coco	Comunidad El Coco	13°20'45"	88°48'05"	13.34583	88.80139	3.4		29.31	285	35	2.8	0.13	0.185	6.5	15.5
126	PE116	Martha del Carmen Moreno	El Porvenir	13°20'50"	88°46'44"	13.34722	88.77889	2.85		29.03	125	2	0.14	0.06	0.081	7.07	-18.3
127	PE117	Coronado Aguilar Orellana	Santa Marta	13°18'38"	88°46'32"	13.31056	88.77556	3.49		28.55	114	1.3	0.09	0.05	0.078	6.73	2.2
	PI8			13°18'31.06"	88°46'4.20"	13.30863	88.76783	3.49		28.55	114	1.3	0.09	0.05	0.078	6.73	2.2
128	PE118	Fermin Echeverría Rivera	Santa Marta	13°18'53"	88°46'31"	13.31472	88.77528	2.36		26.62	181	1.7	0.14	0.08	0.116	6.7	3.7
129	PE119	Rosa María Cuevas	Caserío San Antonio	13°19'07"	88°46'30"	13.31861	88.775	2.81		27.79	149	17	1.3	0.07	0.097	7.1	-20.1
130	PE120	Carlos Humberto Vásquez	Cas El Porvenir, cantón Las Anonas	13°20'23"	88°46'23"	13.33972	88.77306	2.87		27.67	111	1	0.08	0.05	0.07	7.59	-48.7
131	PE121	José Mariano Aguilar	Santa Marta 2	13°21'20"	88°46'15"	13.35556	88.77083	2.67		28.35	152	16	1.15	0.07	0.099	7.04	-16.3
132	PE122	María del Carmen Ayala	Caserío La Sabana	13°21'39"	88°46'19"	13.36083	88.77194	2.57		27.93	205	1.8	0.13	0.09	0.132	6.56	11.9
133	PE123	CASSA, Hacienda Agua	Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	13°23'46"	88°47'48"	13.39611	88.79667	1.92		28.45	4284	63.1	4.83	2.26	2.783	7.12	-9.2
134	PP05	CASSA, Hacienda Agua	Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	13°23'47"	88°47'50"	13.39639	88.79722										
135	PE124	Margarita Antonia Cervera	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	13°27'40"	88°49'38"	13.46111	88.82722	3.99									
136	PE125	Margarita del Carmen Cruz	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	13°27'44"	88°49'34"	13.46222	88.82611	6.57	7	28.99	3960	37.4	2.82	2.08	2.575	6.32	36.6
137	PE126	Manases Neftalí Sánchez	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	13°27'40"	88°49'30"	13.46111	88.825	5.78	6.45	28.69	3826	47.1	3.58	2.01	2.49	7.14	-10.5
138	PE127		Lotificación Maira, Cantón La Lucha	13°27'22"	88°49'27"	13.45611	88.82417	6.12		28.48	5240	43.5	3.24	2.76	3.345	6.51	26.1
139	PE128	Mariana Molina	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'28"	88°49'16"	13.45778	88.82111	6.05		27.3	114	21.4	1.7	0.05	0.074	7.15	-10.6
	<b>NUEVO</b>	Ana Miriam Gómez	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'24"	88°49'19"	13.45667	88.82194										
140	PE129	Yolanda Arias de Soto	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'27"	88°49'20"	13.4575	88.82222	6.2		28.07	100	52.7	4.04	0.05	0.064	6.41	32.6
141	PE130	Escuela Campo Verde	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'22"	88°49'15"	13.45611	88.82083	6.41		31.33	138	42.5	3.08	0.06	0.092	6.72	13.7
142	PE131	Lucía Romero	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'23"	88°49'20"	13.45639	88.82222	5.53		28.71	122	46.9	3.58	0.06	0.078	6.5	42.3
143	PE132	Vicenta López	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'34"	88°49'18"	13.45944	88.82167	3.9	5.35	28.43	104	48.6	3.76	0.05	0.068	6.58	22
144	PE133		Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'30"	88°49'14"	13.45833	88.82056										
145	PE134	Pedro Julio González	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'26"	88°49'12"	13.45722	88.82	4.73		27.85	140	55.6	4.2	0.06	0.09	7.07	-6.6
146	PE135	Juan Carlos Chávez	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	13°27'30"	88°49'18"	13.45833	88.82167	4.32		28.21	158	29.5	2.27	0.07	0.104	6.61	19.7
147	PE136	Fermin García	cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	13°27'44"	88°47'23"	13.46222	88.78972	7.9		30.16	120	33.7	2.52	0.05	0.077	6.99	-1.9

	NUEVO	Celina Maricela Barrera	cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	13°27'46"	88°47'24"	13.46278	88.79										
	NUEVO		cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	13°27'54"	88°47'20"	13.465	88.78889										
	NUEVO	María de los Ángeles	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	13°26'44"	88°47'43"	13.44556	88.79528										
	NUEVO	LAGUNETAS DE SAN CARLOS	Cantón San Carlos	13°22'37"	88°45'37"	13.37694	88.76028										
148	PE137	Rubidia Palacios	Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	13°30'37"	88°50'18"	13.51028	88.83833	33.07		28.9	90	53.7	4.08	0.04	0.059	6.64	8.6
149	PE138		Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	13°30'39"	88°50'27"	13.51083	88.84083	20.73		27.17	90	43.3	3.3	0.04	0.058	6.26	29.7
150	PE139	Alfonso Santos Palacios	Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	13°30'45"	88°50'08"	13.5125	88.83556	23.53		27.94	101	51	4.01	0.05	0.065	6.4	16
	PI2			13°30'39.53"	88°51'39.83"	13.51098	88.86106	23.53		27.94	101	51	4.01	0.05	0.065	6.4	16
151	PE140	Pozo Comunal	Comunidad El Milagro / San José Llano Grande / Tecoluca	13°31'03"	88°48'22"	13.5175	88.80611	6.65									
152	PE141	Pozo Comunal	Comunidad El Milagro / San José Llano Grande / Tecoluca	13°31'04"	88°48'24"	13.51778	88.80667	8.08		28.21	108	44.5	3.6	0.05	0.07	6.2	33.2
153	PE142	Omar Wilfredo Coreas	Impendía 1 / Tecoluca	13°30'28"	88°47'48"	13.50778	88.79667	6.13		27.77	96	40	3.13	0.04	0.063	6.27	29.5
	PI3			13°30'14.70"	88°40'35.15"	13.50408	88.67643	6.13		27.77	96	40	3.13	0.04	0.063	6.27	29.5
154	PE143	Pozo Comunal	San Francisco Angulo / Tecoluca	13°30'50"	88°48'24"	13.51389	88.80667	3.24									
155	PE144		Valle Nuevo	13°25'40"	88°47'39"	13.42778	88.79417	3.51		27.06	107	11.2	0.86	0.05	0.069	7.13	-19.8
156	PE145	Arrendado CASSA	Cantón El Pacún	13°24'28"	88°44'15"	13.40778	88.7375	3.55									
157	PE146	Marta Yesenia Gutiérrez	Caserío Agua Fuerte	13°25'01"	88°43'32"	13.41694	88.72556	3.45	3.88	29.55	222	23	1.75	2.22	2.744	6.3	27.7
158	PE147	Sandra Beatriz Moreno	Colonia La Arenera	13°25'18"	88°43'14"	13.42167	88.72056	3.91		34.3	412		11.24	2.32	2.874	6.58	12.2
159	PE148	María Alicia Recinos	Cantón San Nicolás	13°25'38"	88°42'22"	13.42722	88.70611	6.75									
160	PE149	Mirna Corina Rodríguez	Caserío Santa Bárbara	13°26'37"	88°42'59"	13.44361	88.71639	8.46		29.69	295	50	3.65	2.19	2.73	6.91	-7.4
	PI4			13°26'32.63"	88°41'50.90"	13.4424	88.69747	8.46		29.69	295	50	3.65	2.19	2.73	6.91	-7.4
161	PE150	Lotificación Felipito	Lotificación Felipito, Caserío Santa Bárbara	13°26'34"	88°43'01"	13.44278	88.71694			29.9	292	26.1	1.93	2.21	2.722	6.73	3.2
162	PE151	Hacienda Los Tigüilotes	Hacienda Los Tigüilotes	13°27'13"	88°44'02"	13.45361	88.73389	4.28									
163	PE152	Hacienda Los Tigüilotes	Hacienda Los Tigüilotes	13°27'13"	88°44'13"	13.45361	88.73694	4.4									
164	PE153	La Haciendita 2	Hacienda La Haciendita 2	13°26'41"	88°43'32"	13.44472	88.72556	3.69		29.7	486	14.5	1.1	2.67	3.265	6.48	17.9
165	PE154	Centro Convenciones Iglesia Pentecostal	Cantón San Ramón Grifal	13°27'37"	88°45'32"	13.46028	88.75889	3.16		28.91	393	45.2	3.44			7.15	-21.2
166	PE155	Isabel Leiva	Colonia 19 de Junio, Cantón San Ramón Grifal	13°27'47"	88°45'42"	13.46306	88.76167	8.19		29.8	202	53	4.15	1.91	2.385	6.38	25.6

167	PE156		San José La Ceiba, Cantón San Fernando	13°29'36"	88°46'22"	13.49333	88.77278	4.58		30	344	27.4	2.01	2.2	2.718	6.7	0.1
168	PE157	David Hilario Villegas Rodríguez	Cantón San Ramón Grifal	13°26'38"	88°45'18"	13.44389	88.755	3.98		28.77	675	31	2.35	2.52	3.164	7.08	-16.7
169	PE158	FENADESAL	Cantón San Ramón Grifal	13°26'29"	88°45'53"	13.44139	88.76472	6.94	7.48	28.7	308	30.5	2.34	2.18	2.69	6.45	19.3
170	PE159	Julio González	Caserío Los 90, Cantón El Playón	13°26'19"	88°46'40"	13.43861	88.77778	4.81	5.59	29.29	216	54	4.02	1.94	2.41	6.4	
171	PE160	María Antonia Lobo	Caserío La Platanera	13°26'20"	88°46'57"	13.43889	88.7825	10.6		30.1	206	65	4.9	1.99	2.469	6.55	16
172	PE161	Candelaria Urria	Caserío Los 90, Cantón El Playón	13°26'23"	88°46'42"	13.43972	88.77833	4.26		30.4	213	53.5	4	1.89	2.345	6.41	21.4
173	PE162	Centro Escolar El Playón	Cantón El Playón	13°26'16"	88°46'57"	13.43778	88.7825										

Anexo 2 Tabla de Datos Recopilado en jornadas de Muestreo en época de lluvias

ID	PROPIETARIO	UBICACIÓN	FECHA	N	W	NIVEL	TEMP. POZO	CE	OD%	OD	SALINIDAD	TDS	PH
PE01	Jorge Alberto Avalos	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	11/30/13 12:00 AM	13°26'26"	88°47'50"								
PP01	ADESCO SACRUP (Santa Cruz Porrillo)	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	11/30/13 12:00 AM	13°26'31"	88°47'52"								
PE02	José Salvador Velasco	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	30/nov/2013, 11:30 am	13°26'33"	88°47'57"	5.89	28.45	758	45.7	3.54	0.34	0.462	6.39
PE03	Carlos René Miranda	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	11/30/13 12:00 AM	13°26'33"	88°47'51"								
PE04	Victoria García Durán	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	30/nov/2013, 11:45 am	13°26'33"	88°47'53"	9.73	28.72	310	45	3.44	0.19	0.188	7.66
PE05	Sara Marlene Chacón	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'14"	88°48'17"	1.73	29.9	439	28.2	2.13	0.19	0.261	6.89
PE06	Albergue Santa Lucia	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'14"	88°48'11"	2.66							
PE07	Isaura Gámez Cruz	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'16"	88°48'13"	0.93	28.08	586	10.3	0.8	0.27	0.36	6.66
Ppu01	Ana de Jesús Portillo	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'16"	88°48'13"								
PE08	José Ramón Rosado	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'20"	88°48'14"								
PE09	Blanca Flor Montes	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'23"	88°48'17"	0.6	28.32	929	43.5	3.3	0.43	0.567	6.94
PI1				13°23'20.58"	88°49'29.88"	0.6	28.32	929	43.5	3.3	0.43	0.567	6.94
PE10	Marcelina Panameño	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'23"	88°48'14"								
Ppu02	José Alfredo Rodríguez	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'23"	88°48'14"		29.46	413	30	2.3	0.18	0.249	7.17
PE11	José Alfredo Rodríguez	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa, Sector Los Marranitos	11/16/13 12:00 AM	13°23'25"	88°48'18"	0	29.57	333	20	1.5	0.14	0.199	7.07
PE12	Manuel Quijano	Caserío Santa Julia, Cantón El Amate	11/16/13 12:00 AM	13°23'30"	88°48'08"	0.86	28	807	15	1.12	0.37	0.495	7.56
PE13	Ingenio Izalco	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	11/16/13 12:00 AM	13°23'55"	88°47'58"								
PE14	Edwin Antonio Pacas	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	10/28/13 12:00 AM	13°24'02"	88°47'53"	0.99	28.62	1551	16.5	1.26	0.72	0.941	6.82
PE15	Edwin Antonio Pacas	Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	10/28/13 12:00 AM	13°24'00"	88°47'53"								
PE16	Tomás Rodríguez	Caserío El Pichiche	11/16/13 12:00 AM	13°19'08.3"	88°48'17.6"	1.85	28.12	1743	17.6	1.36	0.82	1.069	7.06

PE17	Comunidad El Pichiche	Caserío El Pichiche	11/16/13 12:00 AM	13°19'05.5"	88°48'15.1"	2.6	27.74	783	25.4	1.98	0.36	0.483	7.35
PE18	Roberto Márquez Vásquez	Caserío El Pichiche	11/16/13 12:00 AM	13°19'07.1"	88°48'21.9"	2.3	28.6	1990	50	3.86	0.94	1.21	7.66
PE19	Carmen Rodas	Caserío El Pichiche	11/16/13 12:00 AM	13°19'04.1"	88°48'24.9"	1.42	27.08	2808	24	1.88	1.39	1.756	6.83
5		Caserío El Pichiche		13°19'08"	88°48'27"			1923 0					7.86
PE20	Simón Jorge Sosa	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'41.8"	88°48'25.0"	1.26	28.6	642	8.6	0.66	0.29	0.391	6.67
PE21	Ramón Mauricio Amaya	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'44.4"	88°48'18.0"	1.32	29.94	1009	55	4.14	0.45	0.6	7
PE22	Milagro del Carmen Barrientos	Caserío Las Isletas, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'39.9"	88°48'20.9"								
PE23	José Noboa	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'19.7"	88°49'13.5"								
PE24	Julio Cesar Barrios	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'14.6"	88°49'12.9"								
PE25	Rafael Aníbal Rodríguez	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'23.4"	88°49'26.0"								
PE26	María Paula Martínez	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'25.3"	88°49'11.0"								
PE27	Bedi del Carmen	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'26.9"	88°49'05.4"								
PE28	Santos Noboa	Caserío El Carmen, Cantón El Despoblado	11/16/13 12:00 AM	13°22'26.7"	88°49'03.1"								
PP02	Centro Escolar San Marcos de la Cruz	Cantón San Marcos de la Cruz	11/23/13 12:00 AM	13°25'55.2"	88°49'11.0"								
PE29	María Elena Chávez	Cantón San Marcos de la Cruz	11/23/13 12:00 AM	13°25'50.1"	88°49'10.3"								
PE30	Juana Gómez Carranza	Cantón San Marcos de la Cruz	11/23/13 12:00 AM	13°25'39.9"	88°49'09.5"								
PE31	Elsa González	Cantón San Marcos de la Cruz	11/23/13 12:00 AM	13°25'23.8"	88°49'07.0"								
PE32	Zoila Esperanza Quevedo	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'38.5"	88°49'01.2"								
PE33	Felipe Bonilla	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'37.4"	88°48'54.5"								
PE34	Elvira de los Ángeles Regalado Rivas	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'38.3"	88°48'39.3"	3.9	28.69	364	16	1.24	0.16	0.221	7.02
PE35	Ana Guadalupe Bonilla	Caserío El Pichiche	11/16/13 12:00 AM	13°19'07.5"	88°48'26.9"	1.83	27.55	6429	20	1.23	3.32	3.987	7.15
PI9				13°19'30.93"	88°49'49.06"	1.83	27.55	6429	20	1.23	3.32	3.987	7.15
PP03	Juan Francisco Mejía Cortez	Comunidad El Guayabo	11/16/13 12:00 AM	13°20'28.6"	88°48'21.7"								
PE36	Juan Francisco Mejía Cortez	Comunidad El Guayabo	11/16/13 12:00 AM	13°20'27.0"	88°48'31.0"	1.35							
PE37	Aristides Antonio García Amaya	Comunidad El Guayabo	11/16/13 12:00 AM	13°20'49.2"	88°48'24.4"		29.95	4095	44.4	3.32	1.96	2.432	7.23
PI7				13°21'13.96"	88°49'49.21"		29.95	4095	44.4	3.32	1.96	2.432	7.23
PE38	Marisela Crisol Orellana	Comunidad Monteverde, Cantón	11/16/13 12:00 AM	13°21'26.4"	88°48'21.5"	0.91	28.12	1258	18.9	1.46	0.59	0.771	6.85

		Azacualpa											
PE39	María Lilian Orellana	Comunidad Monteverde, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°21'21.5"	88°48'19.4"	1.46	28.81	1585	13.7	1.04	0.74	0.961	7.41
PE40	Rogelio Díaz	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°21'59.7"	88°47'53.6"	1.54	28.27	633	33.1	2.57	0.29	0.387	6.92
PE41	Pedro Hueso	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°21'53.5"	88°48'03.8"	1.19	28.77	422	20	1.57	0.19	0.256	6.57
PE42	Alfredo Merino	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°21'56.7"	88°48'15.5"	1.9	29.05	566	10.5	0.8	0.25	0.342	6.62
PE43	Centro de Desarrollo Productivo, Escuela de campo agricultores	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'10.1"	88°48'23.4"	1.66	29.33	722	7	0.53	0.32	0.434	6.73
PE44	Luis Cortés	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'19.8"	88°48'27.8"	1.04							
PE45	Luis Cortés	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'20.5"	88°48'27.4"	1.5	27.98	1002	8.1	0.63	0.46	0.617	6.95
PE46	Ana Berta Melgar	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'32.2"	88°48'28.3"	1.11							
PE47	Ramiro Rosales	Cantón Agua Zarca		13°24'24.3"	88°47'32.7"								
PE48	Raúl Alcántara	Cantón Agua Zarca	10/28/13 12:00 AM	13°24'26.9"	88°47'33.0"	0.56	28.09	405	29	2.27	0.18	0.248	6.68
PE49	Catalina Funes Cruz	Cantón Agua Zarca	10/28/13 12:00 AM	13°24'30.7"	88°47'37.4"	1	27.74	454	31.7	2.45	0.21	0.281	6.51
PE50	Transito Rivas	Cantón Agua Zarca	10/28/13 12:00 AM	13°24'31.7"	88°47'42.3"								
PE51	Gloria Ester Pineda	Cantón Agua Zarca	10/28/13 12:00 AM	13°24'32.2"	88°47'46.3"	1.82	28.16	635	26	2.02	0.29	0.389	6.66
PE52	Salomón Hernández	Cantón Agua Zarca	10/28/13 12:00 AM	13°24'25.0"	88°47'47.1"	1.05	28.42	484	8.6	0.66	0.22	0.295	6.54
PE53	Dolores Cañenguez	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°22'54.8"	88°48'17.5"	1.11							
PE54	Verónica Mabel Rivas	Comunidad Los Marranitos, Cantón Azacualpa	11/16/13 12:00 AM	13°23'07.5"	88°48'16.4"	1.3	29.04	577	21	1.61	0.26	0.348	7.06
PE55	Cristóbal Chirino	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'37.4"	88°48'35.6"	4.02	28.66	342	47.7	3.65	0.15	0.208	6.7
PE56	Fernando Alberto Sorto	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'37.6"	88°48'28.9"	2.62	28.2	454	24.5	1.89	0.2	0.278	6.76
PE57	Cruz Alejandro Ruíz	Cantón El Amate	11/23/13 12:00 AM	13°25'42.6"	88°48'26.2"	2.29	27.13	330	11.3	0.88	0.14	0.198	6.77
PE58	Ernesto González	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°25'38.2"	88°47'59.5"								
PE59	Sandra Marisa	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°25'41.8"	88°47'56.5"								
PE60	Feliciano López	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°25'44.0"	88°47'57.6"								
PE61	Raúl Ayala	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°25'46.7"	88°47'57.0"	7.63	29.81	364	40	3.01	0.16	0.21	7.09
PE62	José Simeón Cañas	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°25'53.2"	88°47'56.4"	6.78	28.37	426	16.1	1.25	0.19	0.26	6.44
PE63	María Virginia Iraheta	Cantón Barrio Nuevo	10/28/13 12:00 AM	13°26'06.7"	88°47'54.7"	10.87							

PE64	José Santos Mejía	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	10/28/13 12:00 AM	13°26'56.0"	88°45'04.0"	3.2	29.46	548	66.6	5.97	0.29	0.388	7.47
PE65	Juana Flores Lima	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'46.0"	88°45'00.0"	4.93	30.95	735	37.4	2.76	0.32	0.429	7.81
PP04	Fuente de Agua, La Trinidad	Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'34.0"	88°45'15.0"		31.56	403	60	4.44	0.17	0.233	7.56
PE66		Caserío San Ramón Grifal, Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'32.0"	88°45'23.0"								
PE67	Martín Durán	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'11.0"	88°44'21"	2.53	28.8	288	27.6	2.13	0.13	0.175	6.6
PE68	María Elena Andrade Castillo	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'13.0"	88°44'23.0"	2.44	28.8	276	27	2.06	0.12	0.167	6.33
PE69	José Germán García	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'08.0"	88°44'22.0"	2.33	27.66	457	30	2.4	0.21	0.287	6.45
PE70	Dora de Jesús Villegas	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'06.0"	88°44'23.0"	2.23	29.28	490	21.9	1.66	0.22	0.494	6.76
PE71	Alfredo Joel	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'08.0"	88°44'40.0"	1.47	28.48	520	30	2.31	0.23	0.317	6.6
PE72	Carlos Alberto Valladares	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°23'35.0"	88°44'39.0"								
PE73	María Carlota Serrano	Cantón San Marcos Lempa	10/19/13 12:00 AM	13°23'12.0"	88°45'02.0"	1.77	28.37	221	44.6	3.42	0.1	0.135	6.37
PE74	María Aidé Arias	Cantón San Marcos Lempa	10/19/13 12:00 AM	13°22'53.0"	88°45'16.0"	1.75							
PE75	Dolores Acebedo	Colonia San Pedro, El Gavilán	11/23/13 12:00 AM	13°26'15.0"	88°47'25.0"	2.38	28.59	853	46.5	3.55	0.39	0.519	6.62
PE76	Javier de Jesús Romero	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'19.0"	88°47'39.0"								
PE77	Manuel de Jesús Arévalo	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'24.0"	88°47'36.0"								
PE78	Marta Lorena Palacios	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'22.0"	88°47'42.0"	3.53	28.69	293	64.4	4.94	0.13	0.178	6.4
PE79	Gladis Estela García	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'21.0"	88°47'47.0"	10							
PE80	José Antonio Guevara	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'21.0"	88°47'37.0"	3.61	29.22	400	27.5	2.1	0.17	0.241	6.35
PE81	Eduardo Palacios	Lotificación San José Porrillo 2, Cantón Santa Cruz Porrillo	11/23/13 12:00 AM	13°26'19"	88°47'36.0"	6.7	29.52	372	65	4.98	0.16	0.223	6.66
PE82	Carlos Francisco Guardado Estrada	Bodega antigua Hacienda San Gerónimo, Cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'20"	88°45'45.0"								
PE83	Manuel Zapata	Hacienda San Gerónimo, Cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'19"	88°45'47.0"								
PE84	Oscar Antonio Gutiérrez	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'06"	88°45'37.0"								
PE85	Pedro Pérez	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'06"	88°45'34.0"								
PE86	comunal abandonado	Colonia San Gerónimo, Cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'05"	88°45'30.0"								

PE87	Francisco Merino	Rural San Gerónimo, cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'40"	88°45'40.38"												
Rio 1	Rio Terrero	Área rural San Gerónimo, cantón San Carlos	30/nov//2013	13°24'02"	88°45'29.0"												
PE88	Arturo Umaña	Los Lotes, San Gerónimo, cantón San Carlos	30/nov//2013, 2:00 pm	13°23'42"	88°45'32.0"	1.19	28.3	966	19.1	1.39	0.44	0.592	6.82				
PE89	Arturo Umaña	Los Lotes, San Gerónimo, cantón San Carlos	30/nov/2013, 1:40 pm	13°23'39"	88°45'36.0"	1.15	27.37	341	31.6	2.5	0.15	0.212	6.92				
PE90	Pablo Amaya	Rural, San Gerónimo, cantón San Carlos		13°23'26"	88°45'26.0"												
PE91	Jesús Pérez	Rural, San Gerónimo, cantón San Carlos	30/nov/2013, 2:30 pm	13°23'29"	88°45'21.0"	0.9	27.08	351	45	3.4	0.16	0.219	6.79				
PE92	Francisco Merino	Las Moritas, cantón San Carlos	30/nov/2013, 3:00 pm	13°23'20"	88°45'17.0"	0.84	27.65	627	11.6	0.9	0.29	0.388	6.74				
PE93	Pascual Quintanilla Martínez	Las Moritas, cantón San Carlos	30/nov/2013, 2:45 pm	13°23'20"	88°45'20.0"		28.19	484	26	2.02	0.22	0.296	6.94				
PE94	Manuel Iraheta	El Palmo, Los Naranjos, cantón Las Mesas	04 /DIC / 2013, 12:49 m	13°18'12"	88°48'23"	2	27.9	1053	31.4	2.43	0.49	0.648	7.08				
PE95	Santos Marcos Amaya	Isla La Coyota	04 /DIC / 2013, 1:17 pm	13°18'27"	88°48'27"												
Estero	Santos Marcos Amaya	Isla La Coyota (agua del Estero)		13°18'27"	88°48'27"												
Ppu03	Catalino Luna	Los Naranjos, cantón Las Mesas	04 /DIC / 2013, 01:20 pm	13°17'54"	88°47'48"												
PE96	Álvaro Mejía	Los Naranjos, cantón Las Mesas	04 /DIC / 2013, 02:07 pm	13°17'43"	88°47'41"	1.8	27.33	385	31.8	2.5	0.17	0.234	6.73				
PE97	Venancio Orellana	La Pita	10/12/13 12:00 AM	13°16'39"	88°48'40"	0.36	27.76	4212	37.4	2.88	2.22	2.737	7.55				
PE98	Ignacio Palacios	La Pita	10/12/13 12:00 AM	13°16'59"	88°48'23"	1.63	28.24	1322	25.6	1.95	0.62	0.81	6.9				
PE99	María Elena Lobato	Puerto Nuevo, Cantón Las Mesas		13°17'05"	88°48'18"												
Ppu04	Rubidia Esmeralda Mejía	Puerto Nuevo, Cantón Las Mesas	10/12/13 12:00 AM	13°17'13"	88°48'7.65"	2.08	29.85	1041	8.4	0.6	0.46	0.619	7.01				
PE100	Silvia Estela Lobato Martínez	El Naranjo, cantón Las Mesas	10/12/13 12:00 AM	13°17'20"	88°47'56"	2.08	27.48	3159	6.6	0.5	1.56	1.959	6.98				
PE101	José Ernesto Valdez	Junto a escuela cantón Las Mesas	10/12/13 12:00 AM	13°17'26"	88°47'50"	1.9	28.28	2364	20.1	1.53	1.13	1.446	6.97				
PE102	Ana Vilma Romero Portillo	El Naranjo, cantón Las Mesas	10/12/13 12:00 AM	13°17'28"	88°47'52"	1.84	28.25	2090	17.8	1.34	0.99	1.279	6.75				
PE103	Felipa Elida Rauda Serrano	El Naranjo, cantón Las Mesas	10/12/13 12:00 AM	13°17'38"	88°47'27"	1.95	29.01	1890	18.6	1.42	0.88	1.141	7.13				
PE104	Teresa de Jesús Sánchez	Hacienda El Coyol	10/12/13 12:00 AM	13°21'44"	88°46'00"												
PE105	Santos Gámez	Hacienda El Coyol	10/12/13 12:00 AM	13°21'33"	88°46'08"	1.14	32.44	1304	61.2	4.5	0.56	0.745	7.63				
PI5				13°21'41.69"	88°45'15.10"	1.14	32.44	1304	61.2	4.5	0.56	0.745	7.63				
PE106	Gloria Flores	Hacienda El Coyol	10/12/13 12:00 AM	13°21'44"	88°46'12"	1.28	28.12	338	14.3	1.16	0.16	0.22	6.67				
PE107	Samuel Alfredo Cerritos Henríquez	Hacienda La Sabana	10/19/13 12:00 AM	13°21'54"	88°46'10"	1.7	27.12	400	9.8	0.73	0.18	0.25					
PE108	José Palacios	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°21'43"	88°47'04"	2.32											

PE109	María Amparo Sánchez	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°21'47"	88°46'59"	1.9	28.76	626	39.7	3.04	0.28	0.38	6.98
PE110	María Isabel Ramos	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°21'49"	88°47'02"	2.6	28.1	498	6.1	0.47	0.22	0.306	7.16
PE111	José David Ayala	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°22'01"	88°46'53"	1.95	28.43	664	39	3	0.3	0.405	7.07
PE112	Juan Antonio López Panameño	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°22'13"	88°46'45"	1.68	28.62	312	35.3	2.7	0.14	0.19	6.81
PE113	Paula de Jesús Castillo	Cantón Las Anonas	10/19/13 12:00 AM	13°22'37"	88°46'33"	2	28.72	366	8.6	0.66	0.15	0.204	6.51
PE114	Hacienda Marines	El Coco	10/19/13 12:00 AM	13°20'52"	88°47'20"								
PE115	Comunidad El Coco	Comunidad El Coco	10/19/13 12:00 AM	13°20'45"	88°48'05"	2.9	29.91	251	34.7	2.61	0.11	0.149	6.56
PE116	Martha del Carmen Moreno	El Porvenir	10/12/13 12:00 AM	13°20'50"	88°46'44"	1.02	28.87	1192	33	2.5	6.26	7.213	7.14
PE117	Coronado Aguilar Orellana	Santa Marta	10/12/13 12:00 AM	13°18'38"	88°46'32"		26.8	1503	22	1.67	0.72	0.943	6.88
PI8				13°18'31.06"	88°46'4.20"		26.8	1503	22	1.67	0.72	0.943	6.88
PE118	Fermín Echeverría Rivera	Santa Marta	10/12/13 12:00 AM	13°18'53"	88°46'31"	1.3	27.17	4973	35	2.71	2.55	3.105	7.01
PE119	Rosa María Cuevas	Caserío San Antonio	10/12/13 12:00 AM	13°19'07"	88°46'30"	1.65	28.13	1264	10.8	0.78	0.59	0.775	7.03
PE120	Carlos Humberto Vásquez	Cas El Porvenir, cantón Las Anonas	10/12/13 12:00 AM	13°20'23"	88°46'23"		27.94	1619	24.6	2.03	0.77	0.995	7.11
PE121	José Mariano Aguilar	Santa Marta 2	10/12/13 12:00 AM	13°21'20"	88°46'15"	0.66	29.23	1026	21.6	1.7	0.46	0.617	7.24
PE122	María del Carmen Ayala	Caserío La Sabana	10/19/13 12:00 AM	13°21'39"	88°46'19"	1.24	27.7	2828	21.3	1.65	1.38	1.749	7.04
PE123	CASSA, Hacienda Agua	Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	11/16/13 12:00 AM	13°23'46"	88°47'48"	0.72	29.27	453	45.7	3.46	0.2	0.272	7.15
PP05	CASSA, Hacienda Agua	Hacienda Agua Santa, Caserío Agua Zarca, Cantón El Amate	11/16/13 12:00 AM	13°23'47"	88°47'50"								
PE124	Margarita Antonia Cervera	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	11/23/13 12:00 AM	13°27'40"	88°49'38"	3.54							
PE125	Margarita del Carmen Cruz	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	11/23/13 12:00 AM	13°27'44"	88°49'34"	6.99	29	363	52	4	0.16	0.219	6.06
PE126	Manases Neftalí Sánchez	Lotificación Maira, Cantón La Lucha	11/23/13 12:00 AM	13°27'40"	88°49'30"	6.1	28.92	408	68	5.22	0.18	0.247	6.99
PE127		Lotificación Maira, Cantón La Lucha											
PE128	Mariana Molina	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'28"	88°49'16"	4.26	26.73	1004	14.2	1.07	0.48	0.633	6.95
<b>NUEVO</b>	Ana Miriam Gómez	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'24"	88°49'19"	3.91	28.33	866	53.4	4.1	0.4	0.531	6.84
PE129	Yolanda Arias de Soto	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'27"	88°49'20"								
PE130	Escuela Campo Verde	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'22"	88°49'15"								
PE131	Lucía Romero	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'23"	88°49'20"	3.59	27.9	679	29	2.26	0.31	0.419	6.32
PE132	Vicenta López	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'34"	88°49'18"	3.1	27.98	224	60.5	4.64	0.1	0.139	6.57
PE133		Colonia Campo Verde, cantón La Lucha		13°27'30"	88°49'14"								

PE134	Pedro Julio González	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'26"	88°49'12"	3.45	27.18	684	65.5	5.21	0.32	0.427	7.44
PE135	Juan Carlos Chávez	Colonia Campo Verde, cantón La Lucha	11/30/13 12:00 AM	13°27'30"	88°49'18"	5.63	27.6	923	59.2	4.4	0.43	0.571	6.78
PE136	Fermín García	cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	30/nov/2013, 11:00 am	13°27'44"	88°47'23"	7.15	29.31	2195	34.1	2.54	1.03	1.319	6.88
NUEVO	Celina Maricela Barrera	cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	04/DIC/2013, 10:45 am	13°27'46"	88°47'24"		27.86	730	55.8	4.42	0.33	0.45	6.86
NUEVO		cas El Porrillito, cantón Santa Cruz Porrillo	04/DIC/2013, 10:55 am	13°27'54"	88°47'20"		29.66	384	48.3	3.66	0.17	0.229	6.83
NUEVO	María de los Ángeles	Caserío El Delirio, Cantón Santa Cruz Porrillo, Tecoluca, San Vicente	04/DIC/2013, 11:25 am	13°26'44"	88°47'43"	8.42	28.2	256	57.5	4.47	0.11	0.157	6.69
NUEVO	LAGUNETA DE SAN CARLOS	<b>Cantón San Carlos</b>	04/DIC/2013, 12:04 m	13°22'37"	88°45'37"		27.69	275	14.6	1.12	0.12	0.169	6.9
PE137	Rubidia Palacios	Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°30'37"	88°50'18"	33.67	26.8	232	71	5.61	0.11	0.146	6.64
PE138		Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°30'39"	88°50'27"	21.63	26.82	199	57	4.54	0.09	0.125	6.34
PE139	Alfonso Santos Palacios	Cantón Buena Vista Abajo / Zacatecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°30'45"	88°50'08"	24.33	27.38	197	62.2	4.91	0.09	0.123	6.52
PI2				13°30'39.53"	88°51'39.83"	24.33	27.38	197	62.2	4.91	0.09	0.123	6.52
PE140	Pozo Comunal	Comunidad El Milagro / San José Llano Grande / Tecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°31'03"	88°48'22"								
PE141	Pozo Comunal	Comunidad El Milagro / San José Llano Grande / Tecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°31'04"	88°48'24"								
PE142	Omar Wilfredo Coreas	Impendía 1 / Tecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°30'28"	88°47'48"	6.25	27.94	207	62.3	4.87	0.09	0.127	6.4
PI3				13°30'14.70"	88°40'35.15"	6.25	27.94	207	62.3	4.87	0.09	0.127	6.4
PE143	Pozo Comunal	San Francisco Angulo / Tecoluca	10/28/13 12:00 AM	13°30'50"	88°48'24"								
PE144		Valle Nuevo		13°25'40"	88°47'39"								
PE145	Arrendado CASSA	Cantón El Pacún	10/19/13 12:00 AM	13°24'28"	88°44'15"	2.64	28.33	244	45	3.4	0.11	0.149	7.01
PE146	Marta Yesenia Gutiérrez	Caserío Agua Fuerte	10/19/13 12:00 AM	13°25'01"	88°43'32"	2.73	28.42	339	31.7	2.43	0.15	0.205	6.34
PE147	Sandra Beatriz Moreno	Colonia La Arenera	10/19/13 12:00 AM	13°25'18"	88°43'14"	3.28	28.21	358	44	3.4	0.16	0.219	6.49
PE148	María Alicia Recinos	Cantón San Nicolás	10/19/13 12:00 AM	13°25'38"	88°42'22"	5.51							
PE149	Mirna Corina Rodríguez	Caserío Santa Bárbara	10/19/13 12:00 AM	13°26'37"	88°42'59"	8	29.14	313	55.5	4.21	0.14	0.189	6.9
PI5				13°26'32.63"	88°41'50.90"	8	29.14	313	55.5	4.21	0.14	0.189	6.9
PE150	Lotificación Felipito	Lotificación Felipito, Caserío Santa Bárbara	10/19/13 12:00 AM	13°26'34"	88°43'01"								
PE151	Hacienda Los Tigüilotes	Hacienda Los Tigüilotes	11/23/13 12:00 AM	13°27'13"	88°44'02"	3.2							
PE152	Hacienda Los Tigüilotes	Hacienda Los Tigüilotes	11/23/13 12:00 AM	13°27'13"	88°44'13"	3.53							

PE153	La Haciendita 2	Hacienda La Haciendita 2	10/19/13 12:00 AM	13°26'41"	88°43'32"	1.55	28.85	584	27	2.06	0.26	0.354	6.4
PE154	Centro Convenciones Iglesia Pentecostal	Cantón San Ramón Grifal	10/28/13 12:00 AM	13°27'37"	88°45'32"	3.55	28.43	423	20	1.53	0.19	0.258	6.72
PE155	Isabel Leiva	Colonia 19 de Junio, Cantón San Ramón Grifal	10/28/13 12:00 AM	13°27'47"	88°45'42"	2.34	29.48	140	35.2	2.69	0.06	0.084	5.78
PE156		San José La Ceiba, Cantón San Fernando	10/28/13 12:00 AM	13°29'36"	88°46'22"	3.9	28.95	72	56.4	4.32	0.03	0.044	6.27
PE157	David Hilario Villegas Rodríguez	Cantón San Ramón Grifal	11/23/13 12:00 AM	13°26'38"	88°45'18"	2.08	28.04	452	8.9	0.69	0.2	0.278	7.23
PE158	FENADESAL	Cantón San Ramón Grifal	11/23/13 12:00 AM	13°26'29"	88°45'53"	6.42	28.88	320	52	3.95	0.19	0.193	6.59
PE159	Julio González	Caserío Los 90, Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'19"	88°46'40"	4.85	34.37	25.7	114	8	0.1	0.142	6.77
PE160	María Antonia Lobo	Caserío La Platanera	11/23/13 12:00 AM	13°26'20"	88°46'57"	9.85	29.13	237	61	4.68	0.1	0.15	6.48
PE161	Candelaria Urria	Caserío Los 90, Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'23"	88°46'42"	4.8	28.85	261	78	5.98	0.11	0.158	6.83
PE162	Centro Escolar El Playón	Cantón El Playón	11/23/13 12:00 AM	13°26'16"	88°46'57"								

Anexo 3 Ficha de Monitoreo del Agua Subterránea.

**FICHA FUENTE AGUA: ID No. PE94 FECHA: 11/03/13 Responsable: Alexis Polanco**

COORDENADAS	NORTE	OESTE	ELEVACION (m)
No. En GPS:	13° 18' 12''	88° 48' 23''	24

<b>Propietario</b>	Manuel Urueta
<b>Ubicación</b>	Caserío El Palmo El Naranjo, cantón Las Mesas

Características de la Fuente	Uso Actual	Altura Brocal (m)	Diámetro Interno (m)	Nivel del agua desde brocal (m)	Profundidad Fondo desde brocal (m)
Excavado natural	Familiar	0.48	1.00	2.66	
Excavado ademe	<input checked="" type="checkbox"/> Red AP				
Perforado en uso	Industria				
Perforado sin uso	Abandono				
Rio o quebrada	Sellado				
Manantial	Riego Agrícola	<input checked="" type="checkbox"/>			

ACTIVIDADES DE LOS ALREDEDORES U OTRAS OBSERVACIONES	
Vivienda	El pozo se ubica junto a estanques piscícolas que tienen una lámina de agua de 0.30 m, actualmente sin utilizar.
Agrícola	
Ganadería	
Otro	

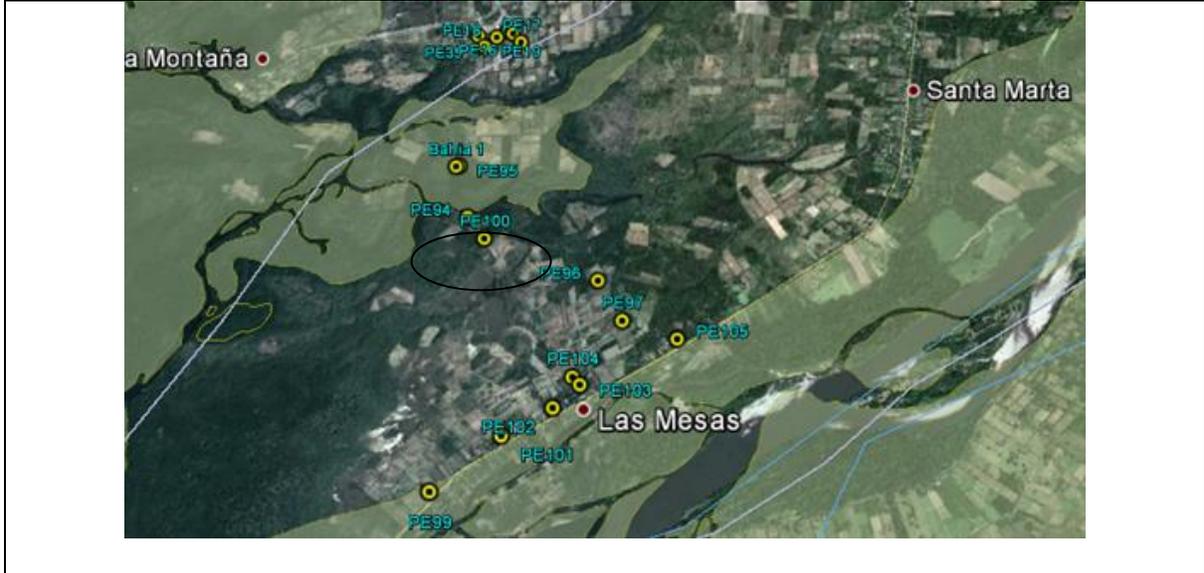
HORA	TEMP AMBIENTE (°C)	TEMP AGUA POZO (°C)	CE (µS/cm)	TDS (g/l)	SALINIDAD		
11:22		27.84	909	0.590	0.44		

**OTROS DETALLES:**

OD %	OD (mg/l)	PH	PHmV	ORH			
18.3	1.42	7.19	-21.9				

**OTROS DETALLES ESPECIFICOS DE LA FUENTE**

**ESQUEMA DE UBICACIÓN:**



**FOTOGRAFIAS:**



**Foto No.**



**Foto No.**



**Foto No.**

**Foto No.**

## Anexo 4 Resultados de análisis al final época de lluvias.

Ministerio de Medio Ambiente  
y Recursos Naturales



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0886  
Identificación de la Muestra : HTE-10  
Solicitante : Laura Gil/HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	10:05	
Temperatura	28.3	°C
pH	6.16	Unidades
TDS	660	mg/L
Conductividad Eléctrica	364	µS/cm
Salinidad	469	PPT

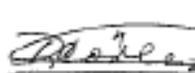
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.398, 17 °C	± 0.031	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	383.37	± 2.478	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	383.37	± 2.478	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.08	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	27.96	± 0.789	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruro	136.32	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.00	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	141.24	± 2.251	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruro	1.56	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	4.07	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.006	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	17.34	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.169	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amomiacal	0.52	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	10.85	± 0.008	mg/L K	0.031	SMEWW3500K C
Silicio	80.95	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW1500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	581.00	± 0.001	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	553.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	45.70	± 0.32	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00572	± 0.00006	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación del Laboratorio de Calidad de Agua.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cofez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
ÁREAS DE FÍSICO QUÍMICO Y ABSORCIÓN ATÓMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0887  
Identificación de la Muestra : HTE-11a  
Solicitante : Laura Gil HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestra : 09/10/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	16:25	
Temperatura	29.7	°C
pH	8.89	Unidades
TDS	837	mg/l
Conductividad Eléctrica	910	µS/cm
Salinidad	483	PPT

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.5865, 17 KC	± 0.002	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	482.48	± 3.304	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	482.48	± 3.304	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	35.77	± 0.113	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	65.18	± 1.397	mg/L Cl	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	156.95	± 3.095	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	1.45	± 0.01	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	2.90	± 0.06	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.004	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	16.43	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.134	± 0.003	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	4.70	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8099
Nitrógeno Amoniacal	0.41	± 0.01	mg/L NH <sub>3</sub>	0.06	HACH
Potasio	2.48	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	104.87	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	535.00	± 0.003	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	526.50	± 3.536	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	63.42	± 0.07	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.10130	± 0.00006	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación del Observatorio de Calidad de Aguas
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0688  
 Identificación de la Muestra : HTE-08  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficia) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	10:45	
Temperatura	29.3	°C
pH	8.23	Unidades
TDS	168	mg/L
Conductividad Eléctrica	242	µS/cm
Salinidad	118	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	5.921, 27 °C	± 0.028	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	166.47	± 0.275	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	166.47	± 0.275	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Cálcio	24.46	± 0.113	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	1.98	± 0.000	mg/L Cl	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	98.89	± 1.688	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.51	± 0.00	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	2.49	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	< 0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	7.97	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.102	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amónico	0.16	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	4.38	± 0.004	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	106.60	± 0.35	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	26.50	± 0.004	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	188.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrica
Sulfatos	13.83	± 0.03	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.01274	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Agua.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Rafael Cortés*  
 Rafael Cortés  
 Jefe Laboratorio

Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0839  
 Identificación de la Muestra : HTE-12  
 Solicitante : Laura Gil/HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 1/2, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	11:16	
Temperatura	29.3	°C
pH	8.07	Unidades
TDS	170	mg/L
Conductividad Eléctrica	245	µS/cm
Salinidad	117	PPT

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	5.8985, 17 °C	± 0.025	Unidades	—	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	156.93	± 2.303	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 1320B
Bicarbonatos	156.93	± 2.303	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 1320B
Boro	< 0.02	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	31.07	± 0.225	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 1320B
Cloruros	1.98	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	111.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 1340C
Fluoruros	0.30	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.01	HACH 8029
Fosfatos	0.83	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	8.12	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.081	± 0.002	mg/L Mn	—	SMEWW 3500Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.28	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.05	HACH
Potasio	2.05	± 0.005	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silicio	104.38	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	22.95	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	137.50	± 0.707	mg/L	—	Electrométrico
Sulfatos	17.57	± 0.05	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00115	± 0.00002	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviatura: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21<sup>st</sup> Edition  
 Nota:  
 • Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la autorización expresa del Observatorio de Calidad de Aguas.  
 • Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio



Kilómetro 5 1/2 carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-8522, Fax: (503) 2132-8520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0890  
 Identificación de la Muestra : HTE-13  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 1/2, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	11:50	
Temperatura	28.4	°C
pH	7.89	Unidades
TDS	12.41	g/L
Conductividad Eléctrica	19.23	mS/cm
Salinidad	9.62	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.944, 17 °C	± 0.013	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	621.50	± 2.203	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	621.50	± 2.203	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.44	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	401.12	± 0.338	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	4741.43	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	3202.51	± 0.281	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.95	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	2.72	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.148	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	534.50	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	1.009	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	48.61	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amomiacal	4.03	± 0.04	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	163.00	± 0.005	mg/L K	0.013	SMEWW3500K C
Silice	68.69	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	4235.00	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	7843.50	± 20.506	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	773.82	± 1.45	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsenico	0.04242	± 0.00007	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviatura: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

**Nota:**

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación expresa del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cochez  
 Jefe Laboratorio



Kilómetro 5 1/2 carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9620



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0891  
 Identificación de la Muestra : HTE-14  
 Solicitante : Laura Gil (HIDROGEOLOGIA)  
 Dirección : Kilómetro 5 1/2, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	12:10	
Temperatura	30	°C
pH	8.14	Unidades
TDS	250	mg/L
Conductividad Eléctrica	358	µS/cm
Salinidad	175	PPT

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.1285, 17 °C	± 0.004	Unidades	--	SMEWW 2840C
Alcalinidad Total	200.94	± 1.754	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	200.94	± 1.754	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	29.40	± 0.563	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2920B
Cloruros	5.93	± 0.000	mg/L Cl	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	120.75	± 0.844	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2940C
Fluoruros	0.46	± 0.00	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	3.48	± 0.02	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	1.145	± 0.007	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	11.50	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.788	± 0.005	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amomiacal	0.60	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.05	HACH
Potasio	17.53	± 0.004	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silicio	100.56	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	35.55	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	200.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	15.94	± 0.12	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsonico	0.01885	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21th Edition, 2005

Notas:

- Este Informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación del Laboratorio de Calidad de Agua.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cohez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5 1/2 carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0892  
 Identificación de la Muestra : HTE-15a  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	12:46	
Temperatura	29.3	°C
pH	6.11	Unidades
TDS	233	mg/L
Conductividad Eléctrica	339	µS/cm
Salinidad	164	PPT

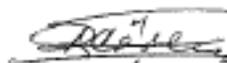
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.012, 17 °C	± 0.020	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	171.54	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	171.54	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.02	mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	38.40	± 1.352	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca-B
Carbonatos	0.03	± 0.030	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	11.85	± 0.030	mg/L Cl	1.99	SMEWW 4500Cl-B
Dureza Total	142.43	± 2.251	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.25	± 0.00	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	2.39	± 2.02	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	11.30	± 0.030	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg-B
Manganeso Total	0.117	± 0.025	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	3.53	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amomiacal	0.33	± 0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	4.60	± 0.023	mg/L K	0.011	SMEWW3500K-C
Silicio	105.31	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	34.45	± 0.031	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	196.00	± 2.828	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	30.13	± 0.23	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8061
Arsénico	0.00154	± 0.00003	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviatura: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Nota:

- Este Informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Agua.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Palota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
ÁREAS DE FÍSICO QUÍMICO Y ABSORCIÓN ATÓMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0893  
 Identificación de la Muestra : HTE-16  
 Solicitante : Laura Gil HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	01:05	
Temperatura	29.6	°C
pH	8.06	Unidades
TDS	557	mg/L
Conductividad Eléctrica	749	µS/cm
Salinidad	394	PPT

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCIÓN	METODO
pH	6.082, 17 °C	± 0.000	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	180.88	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2420B
Bicarbonatos	180.88	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.24	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8035
Calcio	79.63	± 0.338	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.003	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruro	81.00	± 0.000	mg/L Cl	1.99	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	297.99	± 0.563	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruro	0.33	± 0.00	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	1.48	± 1.25	mg/L PO <sub>4</sub>	0.02	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	24.69	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.081	± 0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitrato	53.04	± 0.52	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniaco	0.63	± 0.02	mg/L NH <sub>4</sub>	0.05	HACH
Potasio	30.83	± 0.002	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	92.79	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	51.40	± 0.003	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	447.50	± 3.536	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	84.80	± 0.22	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00204	± 0.00002	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviatura: ND: No Detectable, SMEWW Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2000

Notas:

- Este Informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Chitez*  
 Jefe Laboratorio

Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9622, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
ÁREAS DE FÍSICO QUÍMICO Y ABSORCIÓN ATÓMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0894  
 Identificación de la Muestra : HTE-03  
 Solicitante : Laura Gil (HIDROGEOLOGÍA)  
 Dirección : Kilómetro 5 1/2, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las  
 Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 09/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 09/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 10/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 18/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	09/10/2013	
HORA	21:30	
Temperatura	29.9	°C
pH	6.98	Unidades
TDS	142	mg/L
Conductividad Eléctrica	197.3	µS/cm
Salinidad	100	PPT

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCIÓN	METODO
pH	6.7795, 17 °C	± 0.005	Unidades	—	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	104.75	± 0.551	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	104.75	± 0.551	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.09	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	14.58	± 0.133	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruro	11.85	± 0.000	mg/L Cl	1.39	SMEWW 4500Cl B
Dureza Total	70.22	± 0.281	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruro	0.14	± 0.00	mg/L F	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.29	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.779	± 0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	8.21	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.079	± 0.002	mg/L Mn	—	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	3.31	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.46	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	1.85	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silicio	85.21	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	3	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	29.15	± 0.001	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	119.00	± 0.000	mg/L	—	Electrométrica
Sulfatos	20.11	± 0.06	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00141	± 0.00007	Ng/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectado, SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de Análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Cortez*  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5 1/2 carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

Anexo 5 Resumen de resultados análisis químico iones mayoritarios

Época Lluvias	Longitud	Latitud	Bicarbonato	Cloruro	Sulfato	Magnesio	Sodio	Calcio	Cond elect
<b>Muestra 1</b>	<b>-88.8063889</b>	<b>13.2830556</b>	383.37	136.32	45.7	17.34	581	27.96	984
<b>Muestra 2</b>	<b>-88.7708333</b>	<b>13.3555556</b>	482.48	66.18	2.9	16.43	536	35.77	910
<b>Muestra 3</b>	<b>-88.7391667</b>	<b>13.4030556</b>	166.47	1.98	13.83	7.97	26.5	24.46	242
<b>Muestra 4</b>	<b>-88.7169444</b>	<b>13.4427778</b>	156.93	1.98	17.57	8.12	22.95	31.07	245
<b>Muestra 5</b>	<b>-88.8074722</b>	<b>13.3188083</b>	621.5	4741.43	773.82	534.5	4235	401.12	19230
<b>Muestra 6</b>	<b>-88.8052778</b>	<b>13.3561111</b>	200.94	5.93	15.94	11.5	35.55	29.4	359
<b>Muestra 7</b>	<b>-88.8040028</b>	<b>13.3659972</b>	171.54	11.85	30.13	11.3	34.45	38.4	339
<b>Muestra 8</b>	<b>-88.799</b>	<b>13.4314444</b>	180.88	81	84.8	24.69	51.4	78.63	749
<b>Muestra 9</b>	<b>-88.8222222</b>	<b>13.4575</b>	1.7179	0.3342	0.4183	0.6781	1.268	0.729	197.3

Época SECA	Longitud	Latitud	mg/l Bicarbonato	mg/l Cloruro	mg/l Sulfato	mg/l Magnesio	mg/l Sodio	mg/l Calcio	µS/cm Cond elect
<b>Muestra 1</b>	<b>-88.8063889</b>	<b>13.2830556</b>	339.43	89.97	9.31	11.03	108.9	28.75	854
<b>Muestra 2</b>	<b>-88.7708333</b>	<b>13.3555556</b>	201.15	6.43	1.14	13.16	36.95	22.99	341
<b>Muestra 3</b>	<b>-88.7391667</b>	<b>13.4030556</b>	182.24	3.95	9.63	12.09	23.85	30.12	306
<b>Muestra 4</b>	<b>-88.7169444</b>	<b>13.4427778</b>	154.11	3.95	15.55	13.31	23	28.19	288
<b>Muestra 5</b>	<b>-88.8074722</b>	<b>13.3188083</b>	672	3837.15	476.02	1026.33	445	624.19	22000
<b>Muestra 6</b>	<b>-88.8052778</b>	<b>13.3561111</b>	222.66	17.3	28.24	9.76	33.95	35.27	449
<b>Muestra 7</b>	<b>-88.8040028</b>	<b>13.3659972</b>	248.42	91.94	62.25	32.28	47.85	89.3	1092
<b>Muestra 8</b>	<b>-88.799</b>	<b>13.4314444</b>	111.09	78.1	37.77	31.44	24.9	64.55	630
<b>Muestra 9</b>	<b>-88.8222222</b>	<b>13.4575</b>	2.039	0.3068	0.1999	0.7261	0.8744	1.566	247

Anexo 6 Resumen de resultados de las relaciones iónicas época de lluvias y seca

Muestra	CL -/ HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub> =/Cl-		Mg ++/Ca ++		K/Na		Mg/Cl		(Na + K) / (Ca + Mg)	
	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca
Pozo 1	0.611429957	0.45577737	0.24726967	0.07632489	1.02452361	0.63379339	0.01099175	0.05944502	0.37258079	0.35909448	9.027821943	2.136931369
Pozo 2	0.235859138	0.05496626	0.03232105	0.13076999	0.75880235	0.94564245	0.00272294	0.09596068	0.72717969	5.99481597	7.432398975	0.787638005
Pozo 3	0.020451938	0.03726994	5.15194498	1.79822246	0.53828455	0.66310359	0.09727001	0.18383094	11.7902787	8.96520334	0.672334667	0.490369052
Pozo 4	0.021695241	0.04407289	6.54516799	2.90367178	0.43174252	0.77999716	0.05256805	0.15736132	12.0121785	9.8698806	0.472439228	0.461531839
Pozo 5	13.11817652	9.8184914	0.12037737	0.09150201	2.2013213	2.7163158	0.02265087	0.16835232	0.3301941	0.78344621	2.934245713	0.194995087
Pozo 6	0.050745035	0.13360083	1.9826582	1.20401755	0.64619048	0.45714545	0.29019707	0.40042659	5.68033679	1.65247407	0.824493987	0.804842712
Pozo 7	0.118784071	0.63638979	1.87540473	0.49940063	0.48613542	0.59716193	0.07858132	0.53869492	2.79312925	1.02839502	0.566463282	0.4491106
Pozo 8	0.770015965	1.20887481	0.77219158	0.35670581	0.51873178	0.80463021	0.35298895	0.12171906	0.89282637	1.17913205	0.506649088	0.208601885
Pozo 9	0.194539845	0.15046591	1.25164572	0.65156454	0.93017833	0.46366539	0.0373817	0.10544373	2.02902454	2.3666884	0.934830502	0.42170935

