

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMÍA TROPICAL  
SOSTENIBLE**



**“Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca del río Acahuapa, departamento de San Vicente, El Salvador”.**

**Presentada por:  
Ing. Edgar Antonio Marinero Orantes.**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias en Gestión Integral del Agua.**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2016**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMÍA TROPICAL  
SOSTENIBLE**



**“Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca del río Acahuapa, departamento de San Vicente, El Salvador”.**

**Presentada por:  
Ing. Edgar Antonio Marinero Orantes.**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias en Gestión Integral del Agua.**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2016**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO:**

Lic. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

**SECRETARIA GENERAL:**

Dra. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO:**

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestro**

**en Gestión Integral del Agua  
San Salvador, El Salvador, Centro América, 2016**

**Tribunal Evaluador de Tesis**

---

Ing. M. Sc. Eric Mauricio Pastora Chevez  
Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. M. Sc. Miguel Ángel Hernández Martínez  
Secretario y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. M. Sc. Lourdes María Hernández Herrador  
Vocal y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez  
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

## **Dedicatoria**

### **Dedico este trabajo:**

A: DIOS TODOPODEROSO

Por permitirme la fuerza y la energía para finalizar esta meta y proporcionar la sabiduría para guiar mis pasos.

A: MI ESPOSA

Adda Judith, por la comprensión en mis horas dedicadas a este trabajo.

A: MIS PADRES

Angelina Orantes y Porfirio Marinero, por el apoyo permanente.

A: MIS HERMANOS

Selvin, Remberto, Porfirio y Liseth, por su valioso apoyo.

A: MI CUAÑADA

Ana Magdalena Ramírez, por su apoyo en la digitación

A: MI PATRIA

El Salvador

A: MI UNIVERSIDAD

Universidad de El Salvador

A: MI AMIGO

Eric Pastora

## **Agradecimientos**

A Dios todopoderoso por su acompañamiento en esta nueva etapa de mi vida.

A mi amigo Eric Pastora por todo el apoyo y transferencia de conocimientos para lograr los objetivos planteados.

A los compañeros del Instituto de Vulcanología de la Universidad de El Salvador, por su apoyo incondicional en todo el proceso de investigación.

A Dina López, profesora de la Universidad de Ohio, por compartir sus conocimientos científicos, asesorarme con el planteamiento del proyecto de investigación y apoyarme con sus observaciones.

A la Escuela de Posgrados y Educación Continua de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la UES, por su apoyo y pronta respuesta a mis solicitudes para la realización del trabajo.

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, por facilitar software especializado para el análisis de los datos.

Al Instituto del Agua de la Facultad Multidisciplinaria Occidental, por todo su apoyo y acompañamiento en la colección de los datos, obtención de información y análisis de las muestras de agua.

Al SNET por compartir los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio.

A mis compañeros de la maestría, Ricardo, René, Emilio, Milton, Ubense, Katya, Xochil y Álvaro.

A todas las personas de las comunidades visitadas que amablemente accedieron a brindar información y acompañar el trabajo, depositando la confianza en el estudio.

## Índice

	<b>Página</b>
Resumen .....	18
Abstract.....	19
I. Introducción .....	20
II. Planteamiento del problema.....	23
III. Objetivos.....	24
3.1 Objetivo General.....	24
3.2 Objetivos Específicos .....	24
IV. Hipótesis .....	24
V. Marco Teórico Conceptual.....	25
5.1 Geología.....	25
5.1.1 Formación Bálsamo.....	27
5.1.2 Formación Cuscatlán.....	27
5.1.3 Formación San Salvador.....	27
5.2 Hidrogeología .....	28
5.2.1 Generalidades de aguas subterráneas.....	28
5.2.2 Principales unidades hidrogeológicas en la zona de estudio. ....	33
5.2.3 Principales acuíferos de la zona.....	34
5.2.4 Zona de recarga.....	35
5.2.5 Parámetros hidrogeológicos .....	35
5.3 Regiones Hidrográficas de El Salvador. ....	35
5.4 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas.....	36
5.4.1 Cuenca.....	37
5.5 Generalidades de las aguas superficiales .....	38
5.6 Aspectos generales de la subcuenca del río Acahuapa .....	39
5.6.1 Distribución poblacional.....	39
5.6.2 Salud.....	40

5.6.3	Características hidrometeorológicas de la subcuenca del río Acahuapa .....	41
5.7	Aspectos biofísicos de la subcuenca del río Acahuapa.....	44
5.7.1	Uso potencial del suelo .....	44
5.7.2	Uso actual del suelo.....	45
5.7.3	Cobertura vegetal.....	46
5.7.4	Red hídrica.....	47
5.8	Balance hídrico del suelo .....	48
5.8.1	Recarga por infiltración .....	48
5.9	Geoquímica del agua subterránea .....	48
VI.	Metodología.....	50
6.1	Ubicación .....	50
6.2	Fases de la Investigación .....	50
6.2.1	Fase preliminar.....	51
6.2.2	Fase de campo .....	52
6.3	Parámetros Geológicos .....	52
6.4	Parámetros Geoquímicos .....	53
6.4.1	Muestras de agua de ríos .....	53
6.4.2	Muestreo de aguas subterráneas .....	54
6.5	Balance Hídrico del Suelo .....	55
6.5.1	Precipitación.....	55
6.5.2	Precipitación efectiva.....	55
6.5.3	Precipitación media .....	56
6.5.4	Evapotranspiración media .....	57
6.5.5	Infiltración .....	57
6.5.6	Escurrimiento .....	58
6.6	Geoquímica del agua superficial y subterránea .....	58
6.6.1	Procedencia de los datos .....	59
6.6.2	Fase de procesamiento y análisis de datos .....	59

VII. Análisis de Resultados.....	60
7.1 Precipitación .....	60
7.2 Capacidad de infiltración .....	60
7.3 Recarga por infiltración .....	62
7.4 Recarga total .....	63
7.5 Escorrentía .....	64
7.6 Descarga natural .....	64
7.7 Balance Hidrico .....	64
7.8 Red Hídrica .....	65
7.9 Geología.....	66
7.9.1 Miembro b3 .....	68
7.9.2 Miembro C1 .....	68
7.9.3 Miembro S4.....	68
7.9.4 Miembro Q'f. ....	68
7.10 Textura de suelos .....	68
7.11 Geoquímica del agua superficial y subterránea .....	70
7.11.1 Pozos domésticos.....	70
7.11.2 Manantiales.....	75
7.11.3 Ríos.....	79
7.12 Propuesta del plan de manejo de recursos hídricos de la subcuenca del río Acahuapa.....	83
7.12.1 Contexto regional.....	83
7.12.2 Aspectos socioeconómicos .....	84
7.12.3 Infraestructuras y servicios.....	87
7.12.4 Rasgos biofísicos .....	91
7.12.5 Propuesta de áreas temáticas para la formulación de un Programa de Manejo del Recurso Hídrico de la subcuenca del río Acahuapa. ....	92
7.12.6 Programas de protección del acuífero y contribución al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.....	93

7.12.7	•Manejo de desechos sólidos.....	97
7.12.8	Procesos para la implementación del plan de manejo de los recursos hídricos .....	100
VIII.	Conclusiones.....	103
IX.	Recomendaciones .....	104
X.	Bibliografía.....	105
XI.	Anexos.....	109

## Índice de Cuadros

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Regiones Hidrográficas de El Salvador .....	36
Cuadro 2. Población de los municipios pertenecientes a la subcuenca río Acahuapa. ....	40
Cuadro 3. Número de Unidades de Salud y Dispensarios Médicos, dentro de la subcuenca del río Acahuapa. ....	41
Cuadro 4. Ríos muestreados en la subcuenca del río Acahuapa. ....	53
Cuadro 5. Precipitación en la subcuenca del río Acahuapa, periodo del 2006 hasta el 2010. ....	60
Cuadro 6. Dato de infiltración de agua en las distintas formaciones geológicas .....	61
Cuadro 7. Valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y profundidad de raíz (PR).....	62
Cuadro 8. Recarga potencial del acuífero superficial producido por la precipitación. ....	63
Cuadro 9. Porcentaje de recarga en las zonas donde se elaboró el balance de masas. ....	63
Cuadro 10. Textura de los suelos existentes en el área de la subcuenca del río Acahuapa. ....	69

## Índice de Figuras

### Página

Figura 1. Estudio fotogeológico de imágenes de satélite LANDSAT-TM FCC: 432 Frame 19-51, del volcán de San Vicente y sus alrededores. Zilioli (1995).....	26
Figura 2. Esquema de un acuífero (Davis & DeWiest 1966). .....	30
Figura 3. Relación entre la textura y porosidad de las rocas (Adaptado de Kiely 1999).....	31
Figura 4. Acuíferos del área donde se realizó la investigación, Modificado del mapa Hidrogeológico de la Región de San Salvador (ANDA-COSUDE 2008).....	33
Figura 5. Esquema del ciclo del agua (Davis & DeWiest 1966).....	39
Figura 6. Uso potencial del suelo en la subcuenca del río Acahuapa (Modificado de Barahona et al, 2007). .....	45
Figura 7. Mapa de uso actual del suelo en la subcuenca del río Acahuapa (Modificado de Barahona et al 2007).....	46
Figura 8 Red Hídrica de la subcuenca del río Acahuapa (Modificado de Barahona et al 2007). .....	47
Figura 9. Ubicación del área de investigación de la subcuenca del río Acahuapa. ....	51
Figura 10. Isoyetas de la zona de estudio. ....	56
Figura 11. Balance de hídrico de la subcuenca del río Acahuapa, en unidades de Mm <sup>3</sup> . ....	65
Figura 12. Sistema principal de drenaje de la subcuenca del río Acahuapa.....	66
Figura 13. Geología presente en la subcuenca del río Acahuapa. ....	67
Figura 14. Mapa de suelos de la subcuenca del río Acahuapa. ....	70
Figura 15. Ubicación de los pozos excavados (PE) en la subcuenca del río Acahuapa. ....	71

Figura 16. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua subterránea de los pozos excavados (PE), correspondiente a la época seca.....	72
Figura 17. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua subterránea de los pozos excavados (PE), correspondiente a la época de lluvia. ....	73
Figura 18. Variaciones del contenido de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L) con respecto a $\text{Cl}^-$ (mg/L) en pozos domésticos.....	74
Figura 19. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en pozos respecto al agrupamiento por microcuencas. ....	74
Figura 20. Ubicación de manantiales en la subcuenca del río Acahuapa.....	75
Figura 21. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua de manantiales, correspondiente a la época seca.....	77
Figura 22. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua de los manantiales, correspondiente a la época de lluvia.....	77
Figura 23. Variaciones del contenido de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L) con respecto a $\text{Cl}^-$ (mg/L) en manantiales. ....	78
Figura 24. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en los manantiales durante la época seca y de lluvia.....	79
Figura 25. Ubicación de puntos de muestreos en los ríos de la Subcuenca del río Acahuapa. ....	80
Figura 26. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua superficial de los ríos, correspondiente a la época seca. ....	81
Figura 27. Variaciones del contenido de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L) con respecto a $\text{Cl}^-$ (mg/L) en ríos.....	82
Figura 28. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en ríos durante la época seca y de lluvia.....	83

## Índice de Anexos

	<b>Página</b>
Anexo 1. Permeámetro utilizado para realizar medidas de infiltración en el área de estudio. ....	109
Anexo 2. Esquema del Permeámetro de Guelph basado en el tubo de Mariotte. ....	109
Anexo 3. Información geoquímica de la Geotérmica Salvadoreña. ....	110
Anexo 4. Sección transversal de un río en los que se muestran los puntos de observación para la toma de datos de velocidad del agua. ....	116
Anexo 5. Descripción de las partes del equipo utilizado para medir el caudal del río. ....	116
Anexo 6. Partes del equipo multiparámetros (YSI 556 MPS), utilizado en la investigación para la toma de datos de los parámetros físico químicos. ....	117
Anexo 7. Equipo multiparámetros (YSI 556 MPS), utilizado en la investigación para la toma de datos de los parámetros físicos químicos ....	117
Anexo 8. Proceso de recolección de muestras en pozos, manantiales y ríos de la subcuenca del río Acahuapa (SNET, MARN 2005). ....	118
Anexo 9. Equipo medidor del flujo de dióxido de carbono. ....	121
Anexo 10. Medidor del nivel estático de los pozos muestreados. ....	122
Anexo 11. Equipo y Programas utilizados para medir los parámetros obtenidos en la investigación. ....	123
Anexo 12. Coeficientes de Cultivo (Kc) para el cálculo del balance hídrico de suelos. ....	124
Anexo 13. Tablas para determinar Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas. USDA (1955). ....	125

Anexo 14. Caudales medios y Relación Precipitación-Escorrentía (SNET, 2005).....	126
Anexo 15. Poligonos de Thiesen de las estaciones meteorológicas de la subcuenca del río Acahuapa.....	127
Anexo 16. Resultados de análisis químicos para cationes, aniones y parámetros fisicoquímico de las muestras de agua de pozos, manantiales y ríos, de la subcuenca del río Acahuapa.....	128
Anexo 17. Uso de suelos en la subcuenca del río Acahuapa.....	131
Anexo 18. Propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) .....	131
Anexo 19. Letrina seca familiar .....	133
Anexo 20. Estaciones meteorológicas con influencia en la subcuenca del río Acahuapa. ....	134
Anexo 21. Toma de datos con el Permeámetro de Guelph, zona de Antiguo Tepetitán, Barrio San José, municipio de Tepetitan, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	135
Anexo 22. Toma de datos con el permeámetro de Guelph, cantón Calderas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	136
Anexo 23. Toma de datos con el permeámetro Guelph, Colonia La Gloria, municipio, San Vicente, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	137
Anexo 24. Toma de datos con el permeámetro de Guelph, Cantón Las Minas, municipio, Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	138
Anexo 25. Toma datos con el permeámetro de Guelph, Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitan, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	139
Anexo 26. Recarga de la zona de Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitan, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	140
Anexo 27. Recarga de la zona del cantón Calderas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	141

Anexo 28. Recarga de la zona de la Colonia La Gloria, municipio de San Vicente, departamento de San Vicente, 2011 a 2012. ....	142
Anexo 29. Recarga de la zona del catón Las Minas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012. ....	143
Anexo 30. Recarga de la zona del Barrio San José, Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitán, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.....	144
Anexo 31. Fichas de información del agua subterránea (pozos), muestreados en la subcuenca del río Acahuapa. ....	145
Anexo 32. Error del balance iónico de las muestras de pozos, manantiales y ríos en la época seca y lluviosa .....	155
Anexo 33. Datos anómalos de temperatura (°C) encontrados en el proceso de toma de datos en la subcuenca del río Acahuapa. ....	156
Anexo 34. Datos de alcalinidad (mg/L) del agua de pozos, manantiales y ríos en la época seca de la subcuenca del río Acahuapa. ....	157
Anexo 35. Datos de alcalinidad (mg/L) del agua de pozos, manantiales y ríos, en la época lluviosa de la subcuenca del río Acahuapa. ....	158
Anexo 36. Conductividad eléctrica en pozos en época seca y de lluvia. ....	159
Anexo 37. Contenido de sulfato en ríos en época seca y de lluvia.....	159
Anexo 38. Contenido de bicarbonato en pozos en época seca y de lluvia. ....	160
Anexo 39. Contenido de sulfato en pozos en época seca y de lluvia. ....	160
Anexo 40. Contenido de hierro en pozos en época seca y de lluvia.....	161
Anexo 41. Conductividad eléctrica en manantiales en época seca y de lluvia.....	161
Anexo 42. Contenido de flujo de dióxido de carbono en manantiales en época seca. ....	161
Anexo 43. Contenido de hierro en manantiales en época seca y de lluvia.....	162
Anexo 44. Conductividad eléctrica en ríos en época seca y de lluvia.....	162
Anexo 45. Contenido de hierro en ríos en época seca y de lluvia.....	163
Anexo 46. Contenido de bicarbonato en manantiales en época seca y de lluvia.....	163

Anexo 47. Contenido de bicarbonatos en ríos en época seca y de lluvia .....	164
Anexo 48. Contenido de sulfato en manantiales en época seca y de lluvia. ....	164
Anexo 49. Contenido de oxígeno disuelto en manantiales en época seca y de lluvia.....	165
Anexo 50. Contenido del flujo de dióxido de carbono en pozos en época seca.....	166
Anexo 51. Contenido de oxígeno disuelto en ríos en época seca y de lluvia. ....	166
Anexo 52. Contenido de flujo de dióxido de carbono en ríos en época seca. ....	167
Anexo 53. Relación cloro/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia. ....	168
Anexo 54. Relación cloro/sulfato en ríos en época seca y de lluvia. ....	169
Anexo 55. Relación oxígeno/sulfato en pozos en época seca y de lluvia. ....	170
Anexo 56. Relación oxígeno/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia.....	170
Anexo 57. Relación oxígeno/sulfato en ríos en época seca y de lluvia.....	172
Anexo 58. Relación hierro/sulfato en pozos en época seca y de lluvia.....	173
Anexo 59. Relación hierro/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia. ....	174
Anexo 60. Relación hierro/sulfato en ríos en época seca y de lluvia. ....	175
Anexo 61. Mapa geológico de El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1997.....	176
Anexo 62. Inventario de los pozos perforados de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), San Vicente, El Salvador. ....	177
Anexo 63. División morfológica de la subcuenca del río Acahuapa.....	178
Anexo 64. Geología identificada en la subcuenca del río Acahuapa.....	179

## Resumen

Marinero Orantes, EA. 2015. Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca del río Acahuapa, departamento de San Vicente, El Salvador. Tesis Mag. Sc. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 179 p.

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de ampliar el conocimiento hidrogeoquímico del acuífero en la zona de la subcuenca del río Acahuapa, en el departamento de San Vicente, que abarca los municipios de San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapáz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara y Apastepeque. Así mismo, forma parte de la Región Hidrográfica del río Lempa, una de las más importantes del país. La población actual ubicada en la subcuenca es de aproximadamente 112,236 habitantes, lo cual representa el 80% de la población del departamento de San Vicente. Se recolectaron muestras de 20 pozos escavados, 15 manantiales y 10 puntos en las aguas superficiales de la red hídrica de la subcuenca. Los muestreos se llevaron a cabo en la época seca y lluviosa durante el periodo comprendido de febrero de 2011 hasta agosto de 2012.

Los parámetros analizados fueron datos de cationes (Na, K, Ca, Mg, Fe total) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^{2-}$ ), así como de carbonatos con el fin de determinar el balance de masa y flujo de gas  $\text{CO}_2$ . Además, parámetros fisicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. Tales análisis son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sus relaciones con los sistemas hidrológicos. De forma general se concluyó que el comportamiento químico del acuífero en la subcuenca del río Acahuapa en ambas épocas lluviosa y seca, es similar, y que las familias de agua predominantes son bicarbonatadas magnésicas y cálcicas bicarbonatadas. Las aguas bicarbonatadas son malas para riego, debido a la fijación de iones en el terreno y creación de un medio alcalino.

**Palabras claves:** subcuenca, cationes, aniones, pozos escavados, manantiales, red hídrica, época seca, época lluviosa.

## **Abstract**

Marinero Orantes, EA. 2015. Groundwater hydrogeochemical characterization of the river basin of Acahuapa department of San Vicente, El Salvador. Tesis Mag. Sc. San Salvador, El Salvador. University of El Salvador. 174 p.

This study was conducted in order to expand the knowledge hidrogeoquimico of the aquifer in the area of the Sub-basin of the Acahuapa River, in the Department of San Vicente, which includes the municipalities of San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapaz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara and Apastepeque. Likewise, it is part of the hydrographic Region of the Lempa River, one of the most important in the country. The current population located in the Sub-basin is approximately 112,236 inhabitants, which represents 80% of the population of the Department of San Vicente.

Samples of 20 wells finally, 15 springs and ten points in the surface waters of the water supply of the Sub-basin were collected. The samplings were carried out in the dry and rainy season during the period of February 2011 to August 2012.

The parameters analyzed data of cations (Na, K, Ca, Mg, Fe total) and anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^{2-}$ ), as well as carbonates were to determine the balance of mass and  $\text{CO}_2$  gas flow. In addition, physicochemical parameters of temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity. Such analyses are sufficient for the study of the main chemical processes in most of the aquifers and their relationships with the hydrological systems. In general it was concluded that the chemical behaviour of the aquifer in the Sub-basin of the Acahuapa River in both rainy and dry seasons, is similar, and that the ruling families of water are bicarbonate calcium and magnesium bicarbonates. The bicarbonate waters are bad for irrigation due to the fixing of ions in the soil and creating an alkaline medium.

**Key words:** sub-basin, cations, anions, Wells Finally, springs, water supply, dry season rainy season.

## **I. Introducción**

La subcuenca del río Acahuapa se ubica en el departamento de San Vicente, abarca los municipios de San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapaz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara y Apastepeque. Así mismo, forma parte de la Región Hidrográfica del río Lempa, una de las más importantes del país. Está hidrológicamente clasificada como irregular y se divide en tres zonas conocidas como: zona baja, media y alta. La zona baja está definida desde la desembocadura del río Acahuapa al río Lempa, con elevaciones desde 40 hasta los 100 metros sobre el nivel del mar (msnm), la zona media se extiende desde los 100 hasta los 500 msnm y la zona alta de los 500 hasta los 2,181.74 msnm. La población actual ubicada en la subcuenca es de aproximadamente 112,236 habitantes, lo cual representa el 80% de la población del departamento de San Vicente (Barahona et al. 2007).

Las actividades agroeconómicas de importancia son la producción de granos básicos y la caña de azúcar, la cual es procesada artesanalmente en 11 molinos, pero la mayoría de esta producción es comercializada en el Ingenio INJIBOA, con el fin de procesarla industrialmente para la elaboración de azúcar y otros derivados. Otro cultivo productivo en la subcuenca es el café, el cual es cultivado en la parte alta del volcán Chinchontepec, que en las décadas de los setenta y ochenta se procesaba en beneficios como Molineros y Acahuapa, pero que a mediados de la década de los noventa (1995) dejaron de funcionar y las instalaciones son utilizadas en la actualidad como bodegas.

El sistema de salud cuenta con una red médico-hospitalaria tales como Hospital nacional, unidades de salud, casas de salud y dispensarios, distribuidos en las zonas urbanas y rurales de los municipios, donde se atienden enfermedades en su mayoría respiratorias y gastrointestinales.

La subcuenca cuenta con servicios básicos como telecomunicaciones, electricidad y agua potable, este último es suministrado en la zona urbana por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), en las zonas rurales se administra por las juntas de agua y por las municipalidades. El sistema de alcantarillado de aguas negras funciona sólo

en dos municipios, Apastepeque y San Vicente, los cuales la vierten sin tratamiento en el río Acahuapa.

En cuanto al uso potencial del suelo se identifican de la clase I hasta la clase VIII, la primera clase puede ser utilizada para la producción agrícola y la construcción, en cuanto a la clase VIII principalmente es para desarrollar áreas naturales por las pendientes mayores de 30% en las que se encuentra este tipo de suelo. Así mismo, el uso actual del suelo está dedicado a la producción agropecuaria, forestal y bosque natural, pero existen conflictos de uso debido a que no se realiza por la vocación que tiene sino de acuerdo a intereses individuales (Guzmán 1984).

Con respecto a la cobertura vegetal se observa un alto grado de deforestación, aunque existen algunos bosques naturales y de cafetales que se encuentran en un buen estado. La hidrología está constituida por un sistema principal de drenajes que es el río Acahuapa y todos sus afluentes, identificándose los ríos San Felipe, La Joya Caliente, Sisimico, Tiembla Tierra, Amapupulta, Ismataco, Antón Flores, Istepeque, Tepetitán y Agua Caliente.

La geología de la subcuenca está diferenciada por el grupo de rocas siguientes: efusivas andesíticas-basálticos, piroclastitas ácidas (tierra blanca), epiclastitas volcánicas y tobas ardientes fundidas.

La zona alta de la subcuenca del río Acahuapa cuenta en su territorio con bosques primarios y cafetaleros ubicados en el volcán Chinchontepec, que generan las condiciones de infiltración del agua precipitable al acuífero poroso<sup>1</sup> que abastece los sistemas de agua potable de cinco municipios: Guadalupe, Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente, con una población total de 73,690 habitantes (DIGESTYC 2008).

---

1 Mapa Hidrogeológico de la Región de San Salvador, elaborado bajo convenio: Subgerencia de Investigación e Hidrogeología de ANDA- COSUDE, 2008.

Dentro del área de la zona geográfica se encuentran 12 afluentes hacia el río Acahuapa, cuyas aguas son utilizadas en el riego de parcelas agrícolas, producción pecuaria y otras actividades productivas.

Las aguas subterráneas en la subcuenca enfrentan un problema en cuanto al uso, explotación y manejo, debido al desconocimiento del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero, capacidad de almacenamiento, áreas de recarga y sus parámetros hidrogeológicos. Por tal motivo, el presente estudio generó información sobre el comportamiento del flujo subterráneo con el fin de caracterizarlo y lograr establecer una correlación entre la geología de la zona y la dinámica del flujo subterráneo. Así mismo, determinar su evolución química estableciendo la relación con las formaciones geológicas y comparar los resultados de la investigación con los datos establecidos en el mapa hidrogeológico de la zona en estudio. De forma general se concluyó que el comportamiento químico del acuífero en la subcuenca del río Acahuapa en ambas épocas lluviosa y seca, es similar, y que las familias de agua predominantes son bicarbonatadas magnésicas y cálcicas bicarbonatadas, las cuales no se pueden utilizar en sistemas de riego, debido a la fijación de iones en el terreno y por la creación de un medio alcalino.

Finalmente, todo lo anterior es para lograr establecer una base de información sistematizada e integral para la generación de propuestas de manejo integrado de los recursos hídricos de la zona, específicamente lo correspondiente a las aguas subterráneas y superficiales.

## **II. Planteamiento del problema**

Actualmente existe conflicto en cuanto al acceso, uso, manejo y explotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la subcuenca del río Acahuapa, ya que el proceso de expansión urbana y agrícola no planificada, impactan negativamente en la capacidad de recarga de los acuíferos. Así como en la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas por los vertidos domésticos, desechos urbanos, agropecuarios, industriales, aunado a la alta demanda de agua para todos los usos, así como al desconocimiento del comportamiento del flujo subterráneo en el acuífero (somero y profundo), la capacidad de almacenamiento, área de recarga y sus parámetros hidrogeológicos.

El presente estudio está enfocado en la generación de información relacionada con el comportamiento del flujo subterráneo, con el fin de caracterizar y establecer correlación existente entre la geología de la zona y la dinámica del flujo del agua subterránea; así mismo, comparar los resultados de la investigación con la información mapeada y definida en el mapa hidrogeológico de la zona en estudio. Con lo anterior se establecerá una base de información sistematizada e integral para la generación de una línea base como propuesta del manejo integral de los recursos hídricos de la zona, específicamente lo correspondiente a las aguas subterráneas.

### **III. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento del flujo subterráneo en la subcuenca del río Acahuapa y establecer una correlación entre la geología de la zona y la composición geoquímica del agua subterránea.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las características geoquímicas de las aguas subterráneas y superficiales de la subcuenca del río Acahuapa.
- Establecer el balance hídrico en términos de volumen de almacenamiento para efecto del manejo del agua subterránea.
- Caracterizar la calidad del agua del acuífero de la subcuenca del río Acahuapa.
- Generar una línea base de información hidrogeológica con el fin de proponer una estrategia de manejo integrado de los recursos hídricos de la zona, específicamente lo correspondiente a las aguas subterráneas.

### **IV. Hipótesis**

Si existe relación entre la geología de la zona y la composición química del agua subterránea, entonces las características hidrogeoquímicas del acuífero son dinámicas y climatológicamente influenciadas por los periodos de época seca y de lluvia ocurridos en la subcuenca del río Acahuapa.

## **V. Marco Teórico Conceptual**

El presente capítulo contiene los conceptos fundamentales necesarios de la hidrogeología, geología, hidrología, balance hídrico y otros aspectos temáticos para la discusión de los resultados obtenidos a través de las distintas fases de campo.

### **5.1 Geología**

La geología predominante de El Salvador puede establecerse como una secuencia de unidades terciarias y cuaternarias, netamente continentales y de origen volcánico con intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres. Las unidades terciarias comprenden a las Formaciones Morazán, Chalatenango y Bálamo, y las cuaternarias a la Formaciones Cuscatlán y San Salvador (Baxter 1984).

El Salvador está constituido casi en un 90% por rocas ígneas o magmáticas, en su mayoría volcánicas, de edades terciarias y cuaternarias, siendo la excepción el extremo noroeste donde afloran rocas sedimentarias marinas pertenecientes al cretáceo (LAGEO s.f).

Al igual que el resto de América Central, el país se encuentra fuertemente influenciado por el fenómeno de subducción debido a la interacción de la Placa de Cocos que se está introduciendo por debajo de la Placa del Caribe, que constituye la plataforma continental Centroamericana.

La principal estructura geológica del país, formada en la transición Plioceno-Pleistoceno, está constituida por la fosa o graben central, que lo atraviesa por su parte media en una dirección Oeste Noroeste-Este Sureste. Esta estructura que posee un ancho promedio de 30 km es considerada la más importante porque en ella están ubicados los volcanes cuaternarios activos.

Geológicamente el área se ubica en la parte central del graben salvadoreño, que se extiende a través de todo el territorio nacional en dirección Oeste-Sureste (CEL 1976).

Los productos cuaternarios del volcán de San Vicente han rellenado en su mayoría el sector meridional de este graben, escondiendo su relativo borde. Por el contrario, el sistema de

fallas marginales septentrionales se manifiesta todavía con gran evidencia según una dirección preferencial ONO-ESE y es claramente reconocible a lo largo de la carretera Panamericana entre los pueblos de San Vicente y Chinameca (CEL 1995).

La geología de la zona de estudio corresponde a las formaciones Bálsamo, Cuscatlán y San Salvador, correspondiente a la zona central del país (figura 1).

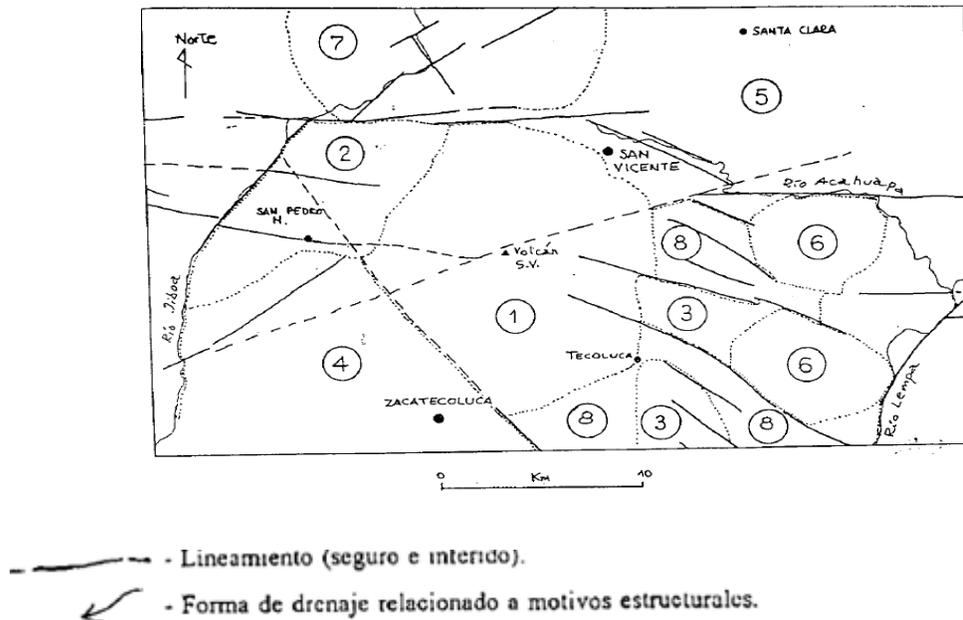


Figura 1. Estudio fotogeológico de imágenes de satélite LANDSAT-TM FCC: 432 Frame 19-51, del volcán de San Vicente y sus alrededores. Zilioli (1995).

La figura anterior describe la estructura del área donde se desarrolló la investigación, ubicando los materiales como lahares, flujos piroclásticos, afloramientos de lavas, flujos y cursos rígidos.

- 1) Lavas y lahares bien compactados (aglomerados volcánicos) del volcán de San Vicente;
- 2) Lahares (en facies distales, de menor competencia), epiclastitos volcánicos, flujos piroclásticos, sin diferencias;
- 3) Afloramientos de lavas sin diferencias;
- 4) Aglomerados volcánicos y lahares muy competentes;
- 5) Sectores caracterizados por la presencia de bordes (o segmentos) caldericos;
- 6) Cuerpos rígidos, macizos, constituidos por afloramientos de lavas;
- 7) Área de depresión topográfica interesada por fuerte erosión;
- 8) Epiclastitas volcánicas (Zilioli, 1995).

Los materiales geológicos predominantes en la zona de investigación están representados por las siguientes formaciones, describiendo de forma detallada los materiales que las constituyen.

### **5.1.1 Formación Bálsamo**

Correspondiente a los periodos Plioceno-Pleistoceno y del Periodo Mioceno-Plioceno. Está constituido por aglomeraciones cementadas, lahares, tobas fundidas, limos rojos, tobas líticos y lavas descompuestas, rocas que en conjunto alcanzan entre 300 y 400 metros de espesor. La meteorización de las lavas ha dado lugar a la formación de arcillas y limos rojos (Baxter 1984).

### **5.1.2 Formación Cuscatlán**

Es una secuencia volcano-sedimentaria del Plio-Pleistoceno. La sección volcánica está constituida por tobas ácidas en la base, seguido por lavas ácidas-intermedias y andesitas-basaltos en la parte superior. La secuencia sedimentaria está limitada a cuencas intermontañas, las cuales incluyen horizontes de diatomita, epiclastitas y areniscas, intercaladas localmente por capas carbonosas y tobas (Baxter 1984).

### **5.1.3 Formación San Salvador**

La secuencia consiste en piroclástitas ácidas y efusivas ácidas-básicas intercaladas ubicadas en una franja de rumbo ONO-ESE aproximadamente; limitan al norte con las unidades del Mesozoico-Terciario inferior, y al sur con la formación Bálsamo. Los centros volcánicos están alineados a lo largo de estas fracturas, como las del Grupo del volcán de Santa Ana. Algunos de estos centros volcánicos han experimentado repetida actividad previamente (Baxter 1984).

Constituida por una intercalación de piroclásticos sueltos, tobas color café y flujos de lava basáltica. Los piroclásticos son cenizas volcánicas, lapilli y polvo volcánico, los depósitos sedimentarios recientes consisten de cantos rodados, gravas, arena, limo y arcilla, en proporciones variadas (Baxter 1984).

## **5.2 Hidrogeología**

### **5.2.1 Generalidades de aguas subterráneas**

El agua subterránea es uno de los más importantes recursos naturales. En regiones áridas y semiáridas es a menudo la única fuente de agua, y en regiones húmedas las fuentes de agua superficial se caracterizan por intermitencia, escasez, distribución desigual y desarrollo insuficiente (Balek 1989).

Hidrogeología puede definirse como el estudio de las aguas subterráneas con particular énfasis a la química y a su modo de migración y relación con el entorno geológico (Davis & DeWiest 1966).

Keith (1973) sostiene que el agua al penetrar la superficie terrestre queda depositada formando reservas, que combinadas con los flujos proporcionan fuentes de suministro de agua denominadas aguas subterráneas. Luego esta es devuelta a la superficie después de recorrer lentamente grandes distancias mediante el flujo natural, por la acción de las plantas o de las personas.

Bouwer (1978) plantea que las aguas subterráneas pueden ser recolectadas mediante pozos, túneles, galerías de desagüe o por flujos naturales de la superficie de la Tierra, vía escurrimiento o por afluentes al aire libre. Son desde tiempos remotos un recurso importante para las civilizaciones alrededor del mundo, en nuestro tiempo es una de las mayores fuentes de abastecimiento para la industria, la irrigación, la agricultura y las zonas rurales.

#### **5.2.1.1 Definición de acuífero**

Las formaciones geológicas suficientemente permeables para transmitir y producir agua en cantidades utilizables se denominan acuíferos. En gran medida los materiales acuíferos más comunes son no consolidados como arenas y gravas, que se presentan en los valles aluviales cubiertos por depósitos finos, las llanuras costeras, dunas y depósitos glaciales (Bouwer 1978).

Un acuífero es una formación de roca permeable, es decir, porosa o fisurada, portadora y almacenadora de agua, que contiene cantidades suficientes para ser explotada y traída a la superficie mediante pozos; de aquí que la zona saturada de las capas superficiales de la tierra es un acuífero en sí. El agua contenida en formaciones que pueden ser gravas de río, calizas agrietadas, areniscas porosas, entre otras, ocupa los poros o vacíos intergranulares, fracturas o grietas que presenten. Lo que es común en toda clase de acuífero es la presencia de un fondo de estrato impermeable o semipermeable (Kiely 1999).

Existen dos tipos de acuíferos: no confinado y confinado. Acuíferos no confinados son depósitos de agua subterráneos en materiales porosos. No hay ninguna arcilla u otro material de restricción para que los niveles de las aguas subterráneas sean libres de subir o bajar. La parte superior de un acuífero no confinado es la tabla de agua, que es el plano donde las presiones de las aguas subterráneas son iguales a la presión atmosférica. La altura del nivel freático se corresponde con el nivel de agua de equilibrio. La principal fuente de aguas subterráneas en acuíferos no confinados es la precipitación que ha infiltrado en el suelo por encima de los acuíferos, ya sea directamente o indirectamente a través de escurrimiento superficial y la infiltración de arroyos o lagos (Bouwer 1978).

La condición de la presión en un acuífero confinado se caracteriza por la superficie piezométrica, la cual está determinada por la conexión equilibrada de los poros de las capas de los horizontes del suelo que conectan con la zona saturada (Bouwer 1978) (figura 2).

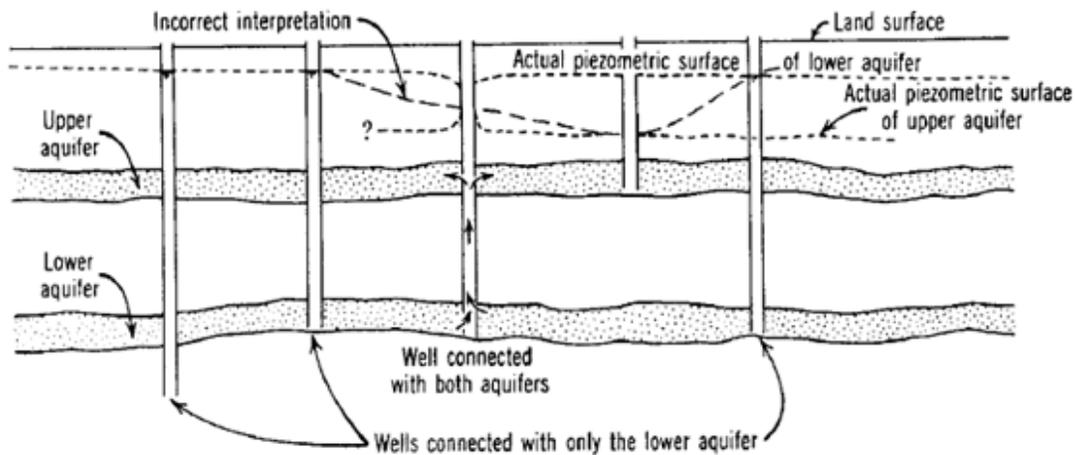


Figura 2. Esquema de un acuífero (Davis & DeWiest 1966).

Para una zona determinada, los distintos estratos geológicos ya sea de una misma formación geológica o diferente, que posean características hidráulicas similares pueden agruparse dentro de una misma unidad llamada unidad hidrogeológica.

### 5.2.1.2 Porosidad

Se define como el porcentaje de vacíos que hay en un volumen de estratos, en una formación geológica. Ya que se asume que todos los espacios vacíos que contiene un acuífero están ocupados por agua, la porosidad es un parámetro importante para determinar la capacidad del acuífero de captar agua. En la figura 3 se muestra la variación de la porosidad con el tipo de geomorfología que presentan algunos depósitos sedimentarios o rocas capaces de retener agua. La relación del volumen de agua extraíble por bombeo de una muestra de material permeable inicialmente saturado con respecto al volumen total de la muestra se denomina porosidad eficaz (Pulido 1978).

La porosidad de los materiales consolidados depende del grado de compactación, el estado de la solución y fracturación de la roca; la porosidad de los materiales no consolidados depende de los granos, su forma, disposición y distribución de tamaño. Con respecto al tamaño de los poros, los de menor diámetro se ajustan a la izquierda de los poros más grandes y por lo tanto un medio con distribución no uniforme de tamaño tendrá una menor porosidad que uno en el que la porosidad sea uniforme (Davis & DeWiest 1966).

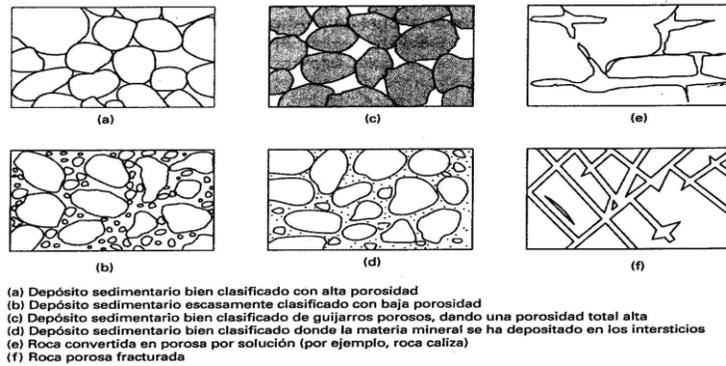


Figura 3. Relación entre la textura y porosidad de las rocas (Adaptado de Kiely 1999).

### 5.2.1.3 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica ( $k$ ) describe la permeabilidad de un acuífero, así como el fluido que se transmite a través del acuífero (Hudak 2000). En muchos acuíferos,  $k$  varía con la dirección y ubicación. Un acuífero homogéneo es uno en que la magnitud de  $k$  es el mismo en todas las localidades. En un acuífero heterogéneo la magnitud de  $k$  varía de un lugar a otro. Se le representa simbólicamente por “ $k$ ” y se define según Pulido (1978) como “el caudal de agua que se infiltra a través de una sección de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario”.

La gravedad es la fuerza que favorece el movimiento del agua, además de considerar la pendiente del terreno influenciado por la dirección y velocidad del flujo. Es importante entonces definir el concepto de gradiente hidráulico (Pulido 1978).

### 5.2.1.4 Velocidad de flujo y gradiente hidráulico

El nacimiento de la hidrología subterránea como una ciencia cuantitativa puede rastrearse hasta 1856. Fue en ese año que un ingeniero hidráulico francés llamado Henry Darcy publicó su informe sobre el suministro de agua de la ciudad de Dijon, Francia. En el informe Darcy describe un experimento de laboratorio que él había llevado a cabo para analizar el flujo de agua a través de arenas. Los resultados del experimento se sustentan en la ley que ahora lleva su nombre (Freeze & Cherry 1979).

Según Henry Darcy la velocidad de flujo dentro del terreno viene dado por:

$$v = -ki = k \frac{dh}{dz}$$

Donde k es la conductividad hidráulica que se define como la velocidad del agua dentro de un medio que permite el paso de la misma entre sus poros, en metros por segundo; i es el gradiente hidráulico, que es la razón del cambio de la altura h a partir de un nivel de referencia con respecto a la distancia recorrida z por el flujo; es decir que:

$$i = -\frac{dh}{dz}$$

#### **5.2.1.5 Transmisividad**

El término transmisividad (T) se emplea extensamente en hidráulica de aguas subterráneas. Puede definirse como la tasa de agua de viscosidad cinemática imperante, que es transmitida a través de un ancho de unidad del acuífero bajo un gradiente hidráulico de la unidad. Se deduce que “b” es el espesor saturado del acuífero (Todd 1980).

La medición en campo de esta se hace a partir de pruebas de bombeo. Medida la transmisividad, la conductividad hidráulica se obtiene de despejarse de la ecuación:

$$T = k b$$

Dónde:

T: transmisividad (m<sup>2</sup>/día)

k: conductividad hidráulica (m/día)

b: sección vertical de rejilla o espesor del acuífero saturado (m)

## 5.2.2 Principales unidades hidrogeológicas en la zona de estudio

En el volcán Chinchontepec se encuentra ubicada una Unidad Acuífera Volcánica Fisurada de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción, esta unidad la constituyen principalmente rocas volcánicas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujo y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria (fallamiento existente) (ANDA-COSUDE 2008).

En el mapa Hidrogeológico de la Región de San Salvador, elaborado bajo convenio de ANDA- COSUDE (2008) se describen las diferentes unidades hidrogeológicas y acuíferos que se encuentran en la subcuenca del río Acahuapa, (figura 4).

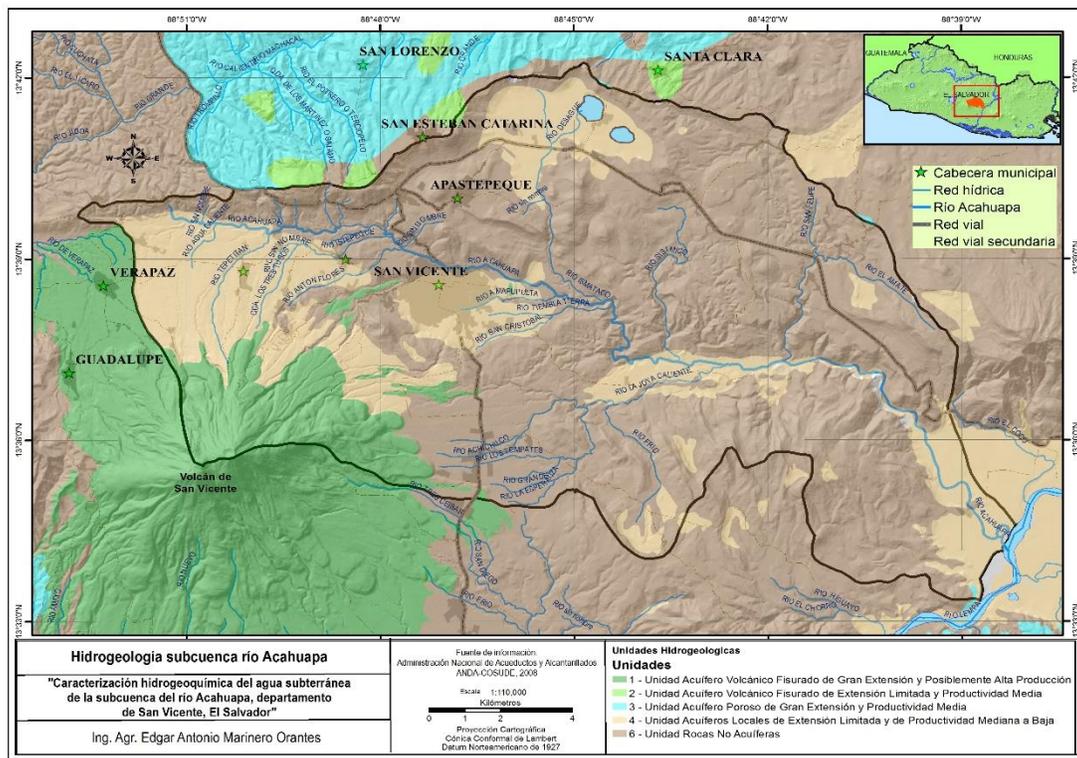


Figura 4. Acuíferos del área donde se realizó la investigación, Modificado del mapa Hidrogeológico de la Región de San Salvador (ANDA-COSUDE 2008).

En la mayoría de los suelos de la subcuenca del río Acahuapa se encuentran Unidades de Rocas No Acuíferas, las cuales son materiales que están constituidos por flujos macizos de lavas, intercalados con tobas aglomeradas y brechosas, además de lahares cementados, que presentan conductividades hidráulicas muy bajas o casi nulas debido a su baja porosidad o a su alto grado de compactación y cementación. Se considera que constituyen el basamento de los acuíferos identificados en la zona de estudio. La profundidad a la que se encuentra esta unidad puede superar los 100 m.

Las unidades de Acuíferos Locales de Extensión Limitada y de Productividad Mediana a Baja, están constituidas por sedimentos aluviales (arenas, gravas, otros) que han sido transportados por los ríos desde la parte alta de los cerros hasta la planicie. Los materiales de esta unidad presentan una conductividad de media a baja, la que depende de la granulometría, del grado de limpieza (contenido de limo y arcilla) y del grado de compactación que presentan los materiales. El espesor de estos materiales puede superar los 15 m; la dirección del flujo es Sur al Norte y Noreste (ANDA-COSUDE 2008).

### **5.2.3 Principales acuíferos de la zona**

Los acuíferos Granulares Porosos se encuentran en los valles como el de Lempa-Jiboa, se caracterizan por la secuencia de depósitos cuaternarios, en su mayoría materiales piroclásticos eyectados y sedimentos aluviales (de pie de monte), los cuales provienen de los volcanes aledaños y que han sido transportados desde las partes altas de la cadena volcánica hacia la planicie por rápidas avenidas de ríos y flujos intermitentes de escorrentía superficial. La composición de este tipo de rocas son materiales piroclásticos heterogéneos de estructuras variables, inter-estratificados con capas de cenizas y lentes de polvo volcánico. Además, el modelo hidrogeológico de los acuíferos porosos de gran extensión, localizado en las cercanías de los cauces de los ríos o desembocaduras de los mismos, presenta acarreo de materiales de distintos tamaños, que proceden de rocas cercanas, las cuales han sufrido proceso de desgaste o erosión paulatina. Son estos procesos de desgaste y erosión por parte de agentes como el viento, lluvia y torrentes, los que han provocado una serie de partículas de distintas granulometría que son arrancadas de la roca madre y

transportadas por los agentes hasta su lugar de deposición cuando ya no poseen la suficiente energía para continuar su transporte (ANDA-COSUDE 2008).

#### **5.2.4 Zona de recarga**

La principal zona de recarga de los acuíferos identificados se localiza en lo que corresponde al volcán de San Vicente (Chinchontepec), en donde la fractura y el carácter escoriáceo de los flujos de lava hacen posible que aproximadamente un máximo de 25% de las precipitaciones pluviales que caen sobre dichas zonas se infiltren, teniendo en cuenta que la precipitación en el volcán es de aproximadamente 1,480 mm/año, mientras que en las zonas de los valles o planicie de San Vicente se tiene el 10% de infiltración (ANDA-COSUDE 2008).

#### **5.2.5 Parámetros hidrogeológicos**

Los parámetros hidráulicos definidos para estos sistemas acuíferos (identificados en el mapa hidrogeológico de la figura 4) establecen que la transmisividad del acuífero somero varía entre valores de 250 a 750 m<sup>2</sup>/día, con un espesor saturado que puede variar entre 30-60 m, y con un coeficiente de almacenamiento de 0.01, lo cual hace considerarlos del tipo libre freático. Posteriormente se interconecta con el acuífero fisurado, en el que la secuencia de capas de material piroclástico compactado puede dar cierto confinamiento ( $s=0.001$ ) y mantener el rango de transmisividades entre 750 y 1,500 m<sup>2</sup>/día (ANDA-COSUDE 2008).

Los parámetros hidráulicos para los acuíferos porosos se establece que la transmisibilidad de estos acuíferos oscila entre valores de 100 a 250 m<sup>2</sup>/día, con un espesor saturado que puede variar entre 30-40 m, y con un coeficiente de almacenamiento de 0.01, lo cual hace considerarlos del tipo libre (ANDA-COSUDE 2008).

### **5.3 Regiones Hidrográficas de El Salvador**

El MARN (2003) estima que las regiones Hidrográficas de El Salvador se determinan por medio de la delimitación de las cuencas de los principales ríos del país, así se han

identificado y delimitado 11, las cuales se han denominado por medio del nombre del río Principal o un lugar bastante popular. En el cuadro 1 se detallan las 11 regiones:

El MAG (1985) plantea que la Región "A" referida a la cuenca del río Lempa, es de mayor importancia para El Salvador, en comparación con las otras regiones. Esta posee un área total de 17,790 Km<sup>2</sup>, de los cuales 10,082 km<sup>2</sup> corresponde a El Salvador, 5,251 km<sup>2</sup> a Honduras y 2,457 km<sup>2</sup> a Guatemala.

Cuadro 1. Regiones Hidrográficas de El Salvador.

<b>Región</b>	<b>Detalle</b>
A	Río Lempa
B	Río Paz
C	Río Cara Sucia – san Pedro
D	Río grande de Sonsonate
E	Río Mandinga – Comalapa
F	Río Jiboa
G	Estero de Quezaltepeque
H	Bahía de Jiquilisco
I	Río grande de San Miguel
J	Río Sirama
K	Río Guascorán

Fuente: Centro Nacional de Registro, 2001.

#### 5.4 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas

Faustino (2004) clasifica las cuencas por el sistema de drenaje y su conducción final en:

- a) **Arreicas:** es aquella que cuando no logra drenar a un río, mar o lago, sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo.
- b) **Criptorreicas:** son aquellas que sus redes de drenaje superficial no tiene un sistema organizado o aparente y corren como río subterráneo.

- c) **Endorreicas:** sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar.
- d) **Exorreicas:** es cuando sus vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

Por otra parte, el mismo autor plantea que una cuenca hidrográfica puede dividirse de acuerdo al grado de concentración de la red de drenaje en:

- a) **Cuenca:** es el área de terreno conformada por un sistema hídrico el cual tiene un río principal y sus afluentes secundarios, terciario, de cuarto orden o más.
- b) **Subcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso del río principal de la cuenca.
- c) **Microcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso del río principal de una subcuenca.

#### 5.4.1 Cuenca

Faustino (2003) establece que es un territorio definido por la línea divisoria de las aguas en la cual se desarrolla un sistema hídrico superficial, formando una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal que lleva sus aguas a un lago o mar.

La intervención humana genera efectos negativos y positivos sobre los recursos y el sistema natural de la cuenca, razón por la cual, muchas veces se deben considerar los peligros y riesgos ante eventos extremos y fenómenos naturales severos, que están relacionados con los desastres naturales.

Sheng (1985) identifica una cuenca como un área topográfica delineada que resulta drenada por un sistema de corrientes de agua, ó sea la superficie total que drena hasta un cierto punto de una corriente de río.

## **5.5 Generalidades de las aguas superficiales**

La hidrología es la ciencia que se ocupa del agua (líquida y sólida), sus propiedades, circulación y distribución debajo de la superficie de la tierra y en la atmósfera, desde el momento de su precipitación hasta que vuelve a la atmósfera a través de la evapotranspiración o se descarga en el océano. En los últimos años se ha ampliado el ámbito de la hidrología para aspectos ambientales y económicos (Bates & Jackson 1987).

Vector (2004) define a la hidrología como la ciencia que se encarga del estudio del ciclo hidrológico.

Considerando lo antes planteado es importante conocer el método para realizar el análisis territorial, y para las aguas superficiales es conocer los componentes del ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico es el proceso por el cual el agua se moviliza en las diferentes partes de la superficie terrestre y en sus primeras capas. El agua se evapora de los océanos de la tierra y de otras masas de agua, y en menor medida de la superficie terrestre. El agua evaporada se eleva a la atmósfera hasta que las bajas temperaturas en la altura la condensan y luego precipita en forma de lluvia, o en algunos lugares en forma de nieve. Luego vuelve a los océanos u otras masas de agua directamente o por medio de escorrentía superficial o movimiento de aguas subterráneas (Davis & DeWiest 1966) (figura 5).

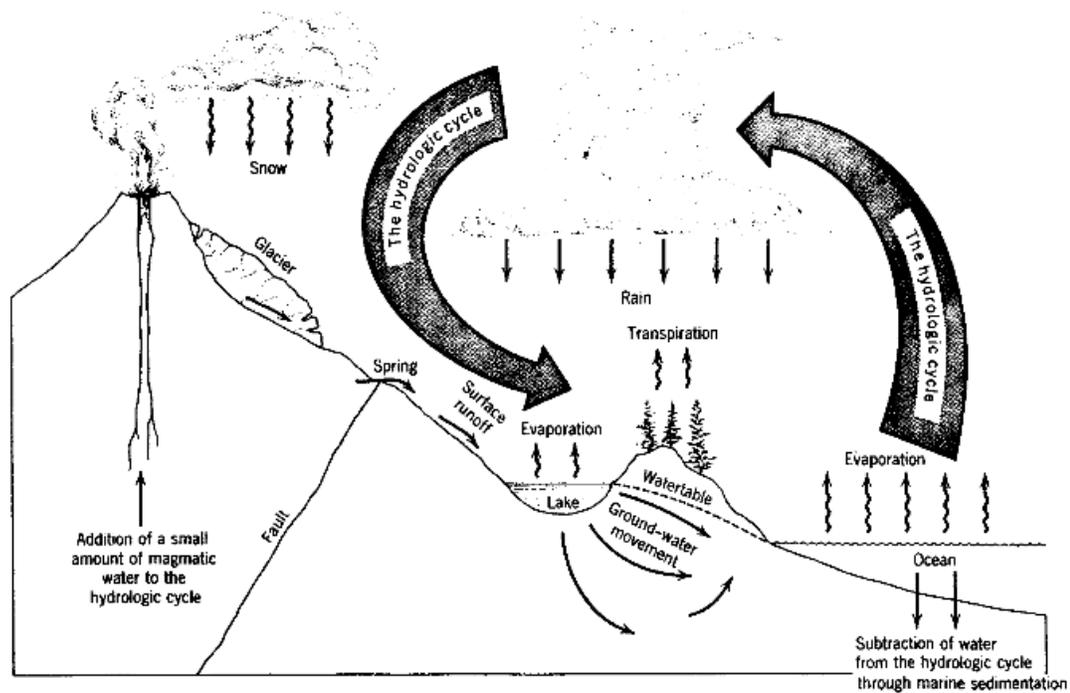


Figura 5. Esquema del ciclo del agua (Davis & DeWiest 1966).

## 5.6 Aspectos generales de la subcuenca del río Acahuapa

### 5.6.1 Distribución poblacional

La distribución demográfica de la cuenca del río Acahuapa comprende la zona urbana y la zona rural, donde sobresalen los municipios con mayor densidad poblacional urbana tales como: Tepetitán, San Cayetano Istepeque, San Vicente y Apastepeque. Los municipios que tienen mayor población en el área rural son: Santa Clara, San Esteban Catarina, Verapaz y Guadalupe (cuadro 2) (Barahona et al. 2007).

Cuadro 2. Población de los municipios pertenecientes a la subcuenca río Acahuapa.

<b>Municipio</b>	<b>Población Total</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Acumulado (%)</b>
Apastepeque	18,342	0.32	75.6
Guadalupe	5,486	0.10	95.9
San Cayetano Istepeque	5,349	0.09	96.2
San Esteban Catarina	5,661	0.10	95.5
San Lorenzo	6,055	0.11	95.1
San Vicente	53,213	0.93	48.8
Santa Clara	5,349	0.09	96.2
Tepetitán	3,631	0.06	98.3
Verapaz	6,257	0.11	94.9
<b>TOTAL</b>	<b>109,343</b>		

Fuente: DIGESTYC, 2007.

### 5.6.2 Salud

Los habitantes de la subcuenca del río Acahuapa cuentan en la zona urbana con Unidades de Salud Pública atendidas por personal profesional en la materia, y Casas de Salud en la ciudad de San Vicente. En algunas comunidades de la zona rural se tienen Dispensarios Médicos, los cuales son atendidos por Promotores de Salud, estas instituciones prestan servicio diurno. En el cuadro 3 se detallan el número de Unidades y Dispensarios que se encuentran en la zona de estudio. Además, en la cabecera departamental existe un Hospital nacional de medicina general, una Clínica-hospital privada y un centro de atención del Seguro Social (Barahona et al. 2007).

Cuadro 3. Número de Unidades de Salud y Dispensarios Médicos, dentro de la subcuenca del río Acahuapa.

Municipios	Urbano		Rural	
San Vicente	1	Hospital Nacional	6	Dispensario Médico
	1	Unidad de Salud	1	Casa de la Salud
	1	Seguro Social		
	2	Casas de la salud		
Apastepeque	1	Unidad de Salud	8	Dispensarios Médico
San Cayetano Istepeque	1	Unidad de Salud	5	Dispensarios Médico
Tepetitán	1	Unidad de Salud	2	Dispensarios Médico
Verapaz	1	Unidad de Salud	1	Dispensario Médico
Guadalupe	1	Unidad de Salud		
Santa Clara	1	Unidad de Salud		
San Esteban Catarina	1	Unidad de Salud		
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>		<b>23</b>	

FUENTE: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. 2,004

### 5.6.3 Características hidrometeorológicas de la subcuenca del río Acahuapa

#### 5.6.3.1 Clima

Según Koppen, citado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET 2005), al considerar los rangos altitudinales de la subcuenca del río Acahuapa, se distinguen tres regiones climáticas: sabana tropical caliente o tierra caliente de los 0 - 800 msnm; sabana

tropical caluroso o tierra templada de los 800-1,200 msnm; y clima tropical de las alturas de los 1,200-2,700 msnm.

El régimen de viento predominante de la subcuenca se especifica de la siguiente manera: para la zona baja, de 40 a 100 msnm, el rumbo del viento es del norte en la estación seca y de rumbo sur en la estación lluviosa. Las brisas marinas ocurren después del mediodía, durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, con velocidades promedio de 8 km/h. En la zona media de 100 a 500 msnm, el rumbo de los vientos es del norte para todo el año. Durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, la velocidad promedio es de 10 km/h. En la zona alta, de 500 a 2,181.74 msnm, los vientos son predominantes del rumbo norte en la estación seca y del rumbo sur-sureste en la estación lluviosa; durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas con velocidades promedio de 10-12 km/h. La humedad relativa oscila entre 60 y 85% de acuerdo al mes del año (SNET 2005).

### **5.6.3.2 Precipitación**

Según datos del SNET (2005) la precipitación media del país es de 1,784 mm/año, la cual se distribuye en forma irregular tanto espacial como temporalmente. A nivel temporal se distinguen dos épocas climáticas bien diferenciadas, la época seca que abarca los meses de noviembre a abril y la época de lluvias de mayo a octubre. A nivel espacial también se observan diferencias en cuanto a la distribución de la lluvia, debido a los factores orográficos y climáticos que las originan. A nivel anual se registran lluvias superiores a los 2,000 mm en las zonas altas de la cordillera norte, la cadena volcánica y la cadena costera, lluvias del orden de 1,500 a 1,900 mm en los valles interiores o Depresión Central, y de 1,300 a 1,500 mm en la zona sur oriental y nor-occidental del país. El dato de precipitación para la subcuenca del río Acahuapa se establece con el valor de 421.22 millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ).

### **5.6.3.3 Temperatura**

De acuerdo a datos registrados por el SNET (2005), la temperatura varía entre 15-38° C, dependiendo de la elevación en metros sobre el nivel del mar, y los meses del año. El pico máximo de temperatura se alcanza en los meses de marzo y abril con 38° C, lo cual solo ocurre en la parte baja de la subcuenca debido a que esta zona se encuentra de 40 a 100 msnm; mientras que las temperaturas mínimas alcanzadas son de 15° C en diciembre, y de 16° C en enero y febrero, tanto en la parte media y alta de la subcuenca, debido a sus valores de altura, los cuales van de los 100 a los 2,181.74 msnm.

### **5.6.3.4 Evapotranspiración**

Determinaciones realizadas por el SNET (2005) sobre la evapotranspiración real plantean que en las zonas donde se cultiva café, específicamente en la cordillera volcánica, en la Cordillera del Bálsamo, así como en los alrededores del Lago de Coatepeque, las Sierras de Apaneca-Ilamatepeque, Tacuba, y los volcanes de San Vicente y San Miguel, se presentan los valores más bajos de evapotranspiración real del orden de los 800 a 900 mm.

El valor de la evapotranspiración anual del país es de 1,010 mm, siendo las regiones hidrográficas con mayor pérdida las de Goascorán (1,037 mm), Lempa (1,029 mm) y Paz (1,007 mm). La región hidrográfica que presenta menores valores de evapotranspiración real es la Grande de Sonsonate-Banderas (926 mm). En la subcuenca del río Acahuapa, la evapotranspiración es de 210.94 Mm<sup>3</sup> (SNET 2005).

### **5.6.3.5 Escorrentía superficial**

En referencia a los valores anuales de escorrentía por región hidrográfica, las que presentan mayores valores como lámina de agua son: Goascorán (747 mm), Grande de Sonsonate, Banderas (639 mm), Lempa (590 mm); y las de menor escorrentía son Paz (420 mm), Bahía de Jiquilisco (437 mm), Jiboa y Estero de Jaltepeque (477 mm) (SNET 2005).

En cuanto a la subcuenca del río Acahuapa, el SNET (2005) plantea que el valor de la escorrentía superficial es de 99.20 Mm<sup>3</sup>.

### **5.6.3.6 Almacenamiento de agua**

El dato de almacenamiento de agua en cada una de las regiones hidrográficas del país, según datos presentados por el SNET (2005), aplicando la ecuación de conservación de masa, genera un valor de 4,959.98 Mm<sup>3</sup> (8.85%), dato que representa el cambio de almacenamiento a nivel promedio de agua. Así mismo, plantea que el cambio de almacenamiento representa el flujo subsuperficial que se genera en las cuencas, la recarga a los acuíferos y las variaciones de los cuerpos de agua.

Por otra parte, señala que es importante mencionar que los resultados obtenidos son promedios anuales de un periodo de 30 años, por lo que los valores individuales de cada año pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas que se presenten. En años donde se presente el fenómeno El Niño o sequías, estos cambios de almacenamiento serán mucho menores a los datos obtenidos como promedio. Finalmente, el dato de almacenamiento para la subcuenca del río Acahuapa es de 108.46 Mm<sup>3</sup> (SNET, 2005).

## **5.7 Aspectos biofísicos de la subcuenca del río Acahuapa**

### **5.7.1 Uso potencial del suelo**

Guzmán (1984) sostiene que de acuerdo con el levantamiento General de Suelos de El Salvador, existen ocho clases de suelo, las cuales determinan el uso agrícola y no agrícola.

Para la subcuenca del río Acahuapa, Barahona et al (2007) plantean que se han identificado siete clases, que van de la I a la VIII, a diferencia de la clase V que no se encuentran suelos de esta categoría dentro de la zona. En la figura 6 se representa el uso potencial del suelo, que es la utilidad adecuada que debería dársele a estos.

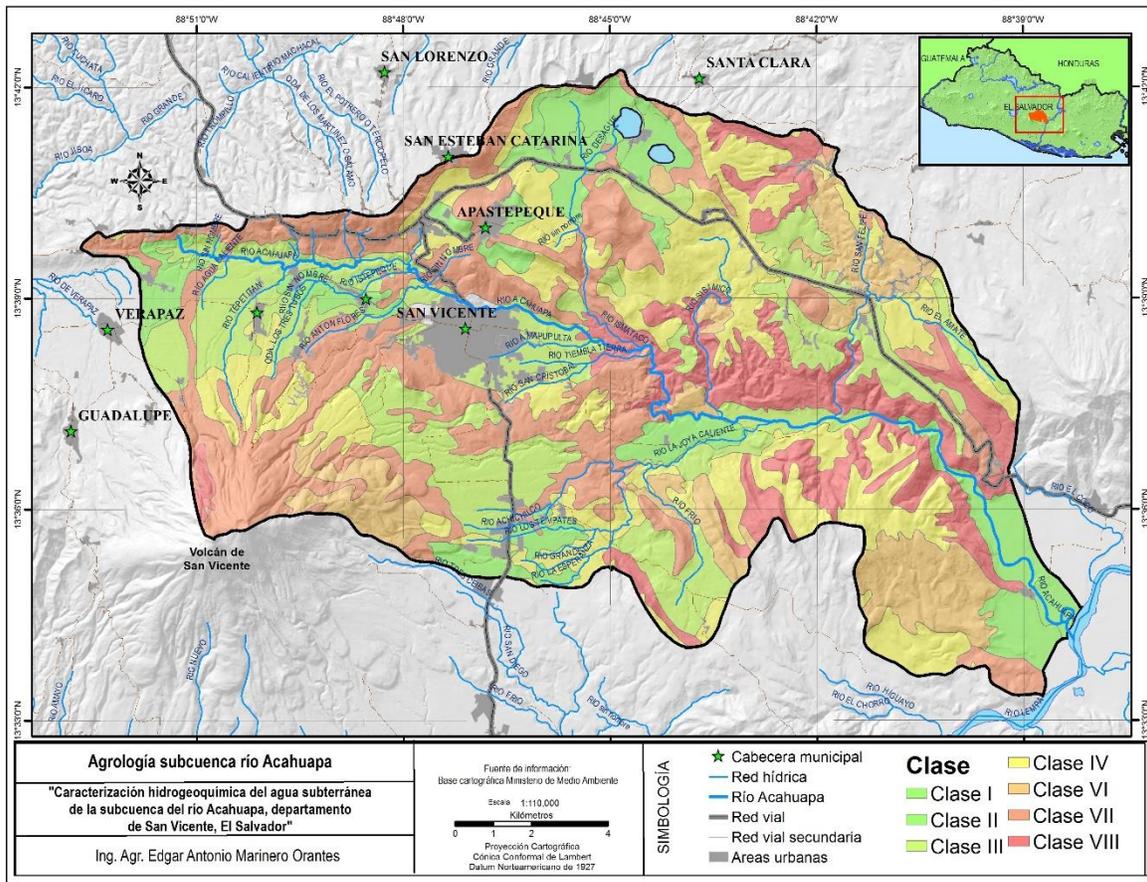


Figura 6. Uso potencial del suelo en la subcuenca del río Acahuapa.

### 5.7.2 Uso actual del suelo

Comprende todas aquellas actividades agropecuarias que se desarrollan y la forma que las tierras son utilizadas. La mayor parte del territorio de la subcuenca se encuentra dedicado al sector agropecuario, que incluye el cultivo de café, caña de azúcar, frutales, hortalizas, pastos y la mayoría de granos básicos, así como también a una buena área forestal. Además, existe un área boscosa que en la actualidad ha sido declarada Zona Protegida, conocida como La Joya, ubicada al Sureste de la cabecera departamental de San Vicente. La parte alta del volcán Chinchontepec representa una zona de gran peligro si se elimina su cobertura vegetal (Barahona et al 2007).

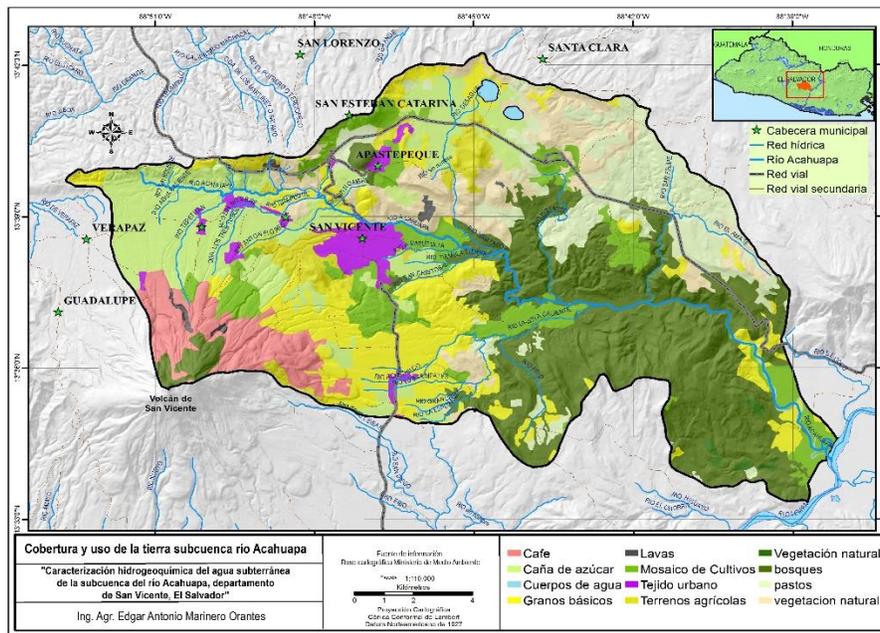


Figura 7. Mapa de uso actual del suelo en la subcuenca del río Acahuapa.

### 5.7.3 Cobertura vegetal

La subcuenca presenta un alto grado de deforestación, aunque todavía se logra apreciar diferentes especies de árboles dispersos a lo largo y ancho del territorio en estudio (Barahona et al 2007).

En la subcuenca se encuentra La Joya, dicha zona está entre los 13°33' latitud norte y los 88°43' longitud este, con una extensión de 973.46 ha, con un rango de altitud desde 19 hasta 100 msnm; el tipo de vegetación que predomina en dicha área son bosques húmedos sub-tropicales. Otra área natural protegida está localizada en el volcán Chinchontepec, en el cual todo lo expuesto del volcán hacia el valle de Jiboa está cubierto por una gran diversidad de flora, predominando especialmente el café por lo que es considerado zona cafetalera. Así también, se encuentra una pequeña área conocida como la Barranca del Sísimico (Flores et al 2003).

### 5.7.4 Red hídrica

De acuerdo a los cuadrantes del Levantamiento General de Suelos de la república de El Salvador: 2457-III Cojutepeque, 2457-IV San Vicente, 2457-II río Titihuapa y 2457-I puente Cuscatlán, el sistema principal de drenaje está constituido por el río Acahuapa y todos sus afluentes, teniendo entre los de mayor importancia los siguientes ríos: San Felipe, La Joya Caliente, Sisimico, Tiembla Tierra, Amapupulta, Ismataco, Antón Flores, Istepeque, Tepetitán y Agua Caliente; y las quebradas que se unen a estos ríos o al mismo Acahuapa. Además, dentro del área de la subcuenca se encuentra la laguna de Apastepeque y la laguna Ciega, localizadas en el municipio de Santa Clara, así como los afluentes principales que forman la red hídrica de la subcuenca del río Acahuapa (figura 8).

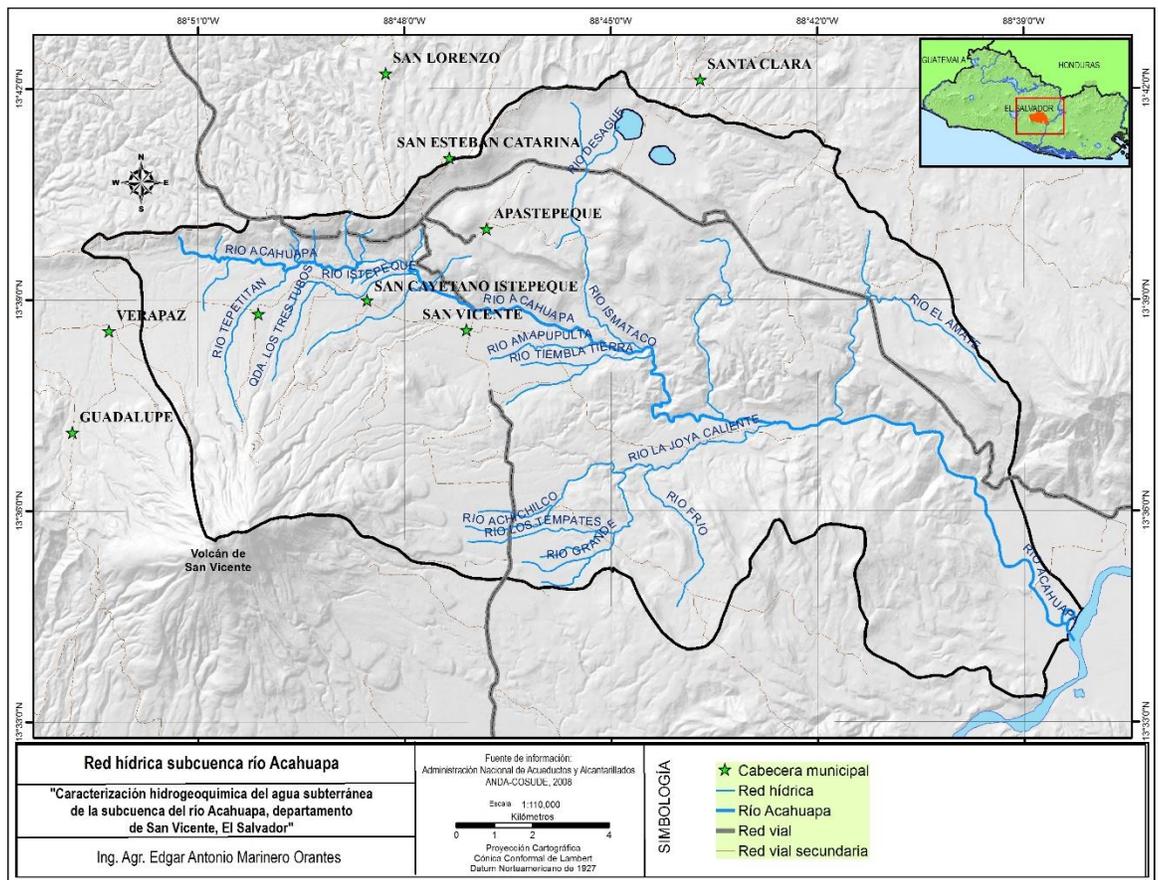


Figura 8 Red Hídrica de la subcuenca del río Acahuapa.

## **5.8 Balance hídrico del suelo**

Según Schosinky & Losilla (2000) los elementos que intervienen en el Balance Hídrico de suelo son: capacidad de infiltración (Fc), Infiltración (I), punto de marchitez (PM), Profundidad de raíz (PR), Rango de Agua Disponible para las plantas (CC- PM); Densidad del Suelo (DS), C1: factor de la Evapotranspiración Potencial (ETP), por cierre de estomas, antes que ocurra la Evapotranspiración Real (ETR); C2 factor de ETP, por cierre de estomas después que ocurra la ETR; Coeficiente de pendiente (Kp), Coeficiente de vegetación (Kv), factor estimado con base a la prueba de infiltración (Kfc), precipitación media mensual (P), Precipitación que infiltra (PI), escorrentía superficial (ESC), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), humedad de suelo inicial (HSI), Humedad disponible (HD), Humedad de suelo final (HSF), Déficit de capacidad de campo (DCC), recarga potencial (RP), Necesidad de riego (NR), Retención de lluvia (RET).

### **5.8.1 Recarga por infiltración**

La infiltración es el proceso de un fluido en una matriz sólida a través de los poros o pequeñas aberturas; especifica el movimiento del agua en la tierra o la roca porosa (Bates & Jackson 1987).

La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica (Corey 1994).

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente (Schosinsky & Losilla 2000).

## **5.9 Geoquímica del agua subterránea**

La hidrogeoquímica se limita al estudio de los aspectos químicos del agua en sí y en sus relaciones con las rocas de la corteza terrestre (Custodio & Llamas 2001).

La hidrogeoquímica es la química de las aguas terrestres y de la superficie, particularmente las relaciones entre las características químicas, la calidad de las aguas y geología de la zona (Bates & Jackson 1987).

Los estudios hidrogeoquímicos son importantes para definir la calidad natural del agua subterránea, así como su evolución tanto en el tiempo como en el espacio, además, permite determinar si existe o no contaminación, cuál es la o las fuentes de contaminación y el grado de dicha contaminación. De esta manera permite determinar la calidad del agua y los usos que esta puede tener ya sea para consumo humano, uso doméstico, industrial, agropecuario y otros.

La química del agua lluvia es sometida a cambios drásticos debido al contacto con la superficie de la tierra, incluso, antes de que llegue al suelo la lluvia puede recoger solutos de las plantas y gran parte de su acidez puede ser neutralizada. Como el agua pasa a través de la zona del suelo, adquiere solutos de disolución o parcial disolución de minerales y algunos solutos son extraídos por las plantas. Los organismos de los compuestos orgánicos solubles del suelo pueden acelerar la descomposición de los minerales (Drever 1997).

## **VI. Metodología**

### **6.1 Ubicación**

Según Barahona et al. (2007) la subcuenca del río Acahuapa está ubicada en la zona Paracentral de la República de El Salvador, específicamente en el departamento de San Vicente, y localizada entre las coordenadas geográficas: 13° 33.37', 13° 41.98' latitud Norte y 88° 38.42', 88° 50.25' longitud Oeste; con una extensión superficial de 239.26 km<sup>2</sup> (23,925.55 ha). Su cauce tiene una longitud de 33 km, ubicada a 60 km al sureste de la ciudad capital San Salvador (figura 9). La subcuenca tiene una elevación promedio de 1,110.87 msnm, con una cota máxima de 2,181.74 msnm y una mínima de 40 msnm. En la parte alta de la subcuenca del río Acahuapa, predominan pendientes del 50% y comprende los municipios de Guadalupe, Verapaz, Tepetitán y San Cayetano Istepeque. Las pendientes más bajas en promedio son del 15%, en donde se encuentran ubicados los municipios de San Vicente, Apastepeque, San Esteban Catarina y Santa Clara, que es la parte de descarga.

Por la forma que presenta la subcuenca, esta se clasifica como Irregular. La subcuenca se divide en tres zonas morfológicamente diferenciadas: zona baja, media y alta (anexo 63):

-La zona baja inicia desde 40 msnm hasta los 100 msnm, en donde se ubica la desembocadura del río Acahuapa al río Lempa.

-La zona media comienza desde los 100 msnm y termina hasta los 500 msnm.

La zona alta empieza desde los 500 msnm y finaliza hasta los 2,181.74 msnm (Barahona et al. 2007).

### **6.2 Fases de la Investigación**

Con el propósito de conocer los procesos hidrogeoquímicos durante la interacción agua-roca, se diseñaron tres fases de trabajo: preliminar, de campo, procesamiento y análisis de datos.

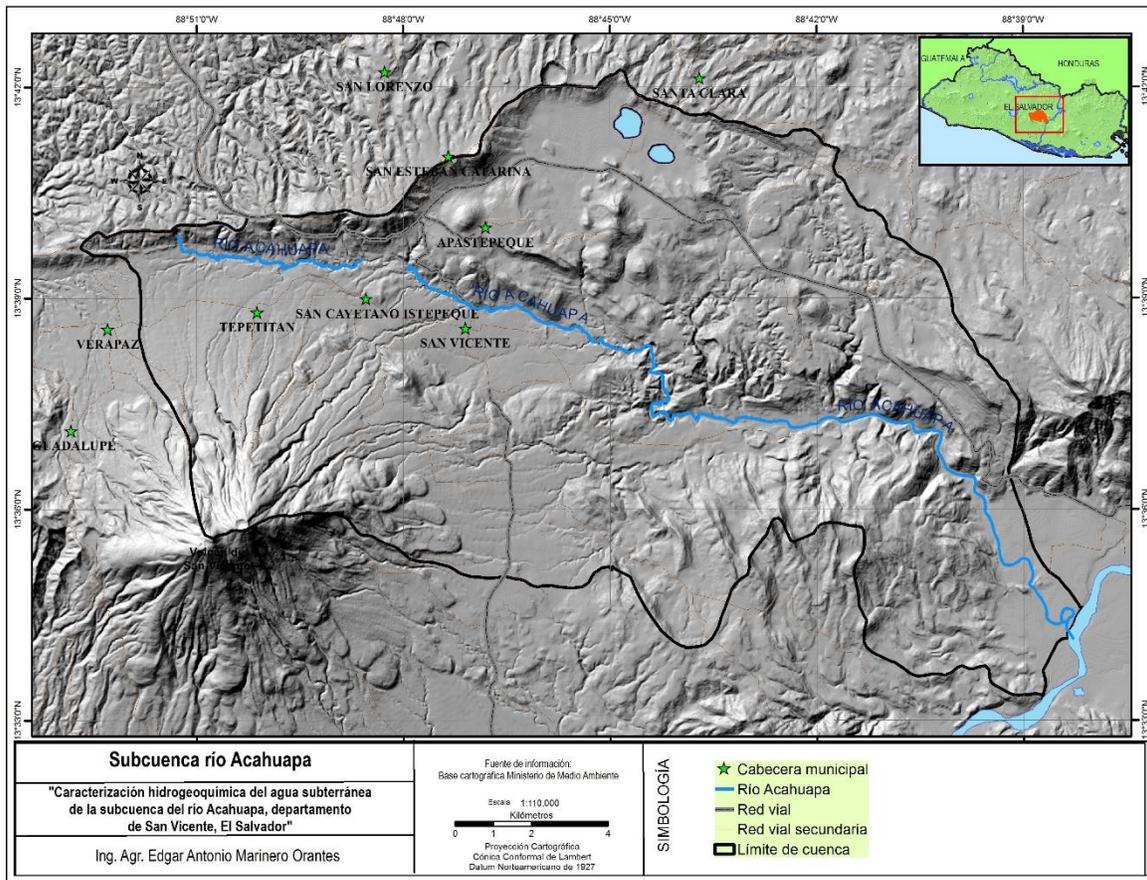


Figura 9. Ubicación del área de investigación de la subcuenca del río Acahuapa.

### 6.2.1 Fase preliminar

Se recopiló información existente de la zona de estudio, incluyendo mapas temáticos como: topográficos, geológicos, hidrogeológicos, hidrológico, información hidrogeoquímica de la zona, uso de suelos, uso de la tierra, información hidrometeorológica, imágenes, bibliografía relacionada con la temática e informes socioambientales. Así mismo, información relacionada con los antecedentes geoquímicos del Campo Geotérmico de San Vicente, datos de la zona del río Acahuapa que se encuentran en los archivos de la Geotérmica Salvadoreña (LAGEO)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Geotérmica Salvadoreña, Final 15 Av. Sur y Boulevard Sur, Colonia Utila, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centroamérica.

Toda esta indagación sirvió para tener un primer acercamiento del comportamiento del flujo subterráneo en la subcuenca del río Acahuapa, correlacionando la geología de la zona y la composición química del agua subterránea.

### **6.2.2 Fase de campo**

Esta fase se realizó a través de visitas de reconocimiento y toma de muestras de agua superficiales y subterráneas. Las fuentes muestreadas fueron georreferenciadas con equipo de posicionamiento (Global Positioning System) marca “eTrex”, modelo “vista”, fabricado por la corporación GARMIN.

Se realizaron reuniones con las comunidades para informarles sobre la investigación a desarrollar en sus territorios. Las visitas de campo fueron hechas con el fin de reconocer y corroborar las geoformas del relieve topográfico con la geología local y con la información bibliográfica existente en el mapa geológico (escala: 1:500,000, año 1968). También se hizo un levantamiento de información con el fin de generar las columnas estratigráficas y crear un perfil hidrogeológico, además, se llevaron a cabo cinco pruebas de infiltración por cada unidad de suelo según el mapa Pedológico, utilizando el método del Permeámetro de Guelph (anexo 1 y 2), debido a que es una técnica de fácil manipulación y aplicación, y la confiabilidad de los datos es alta. Esta metodología permitió determinar la capacidad de infiltración de la zona estudiada y con los datos se determinó la recarga por precipitación al acuífero de la zona.

### **6.3 Parámetros Geológicos**

Se llevó a cabo a través del análisis de la información contenida en los mapas geológicos realizados por la Misión Alemana de 1978. Estos mapas se encuentran a escala 1:100,000 y son proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” (IGN), del Centro Nacional de Registros (CNR).

Se consultó la información generada por la Geotérmica Salvadoreña (LAGEO) (anexo 3), específicamente la relacionada con el sistema de San Vicente. También se examinó la información correspondiente a la Región Hidrográfica donde se llevó a cabo la

investigación, así como la revisión del Léxico Estratigráfico de El Salvador (Baxter, 1984) y mapas topográficos de la zona de estudio de 1:50,000.

## 6.4 Parámetros Geoquímicos

### 6.4.1 Muestras de agua de ríos

Se realizó la toma de muestras en 14 ríos, durante la época seca y de lluvia, de los cuales 10 correspondieron a ríos tributarios, 2 puntos distribuidos en toda la subcuenca y 2 en el cauce del río Lempa, eligiendo este número debido a que representaban los puntos principales del drenaje natural de la unidad hidrogeológica y evitando redundancia desde el punto de vista del área en estudio (cuadro 4).

Se tomaron datos del caudal principal del río, realizando tres aforos en la parte alta, media y baja del cauce principal del río de la subcuenca del río Acahuapa, esto se realizó utilizando molinete de eje vertical y cazoletas, por el método del vadeo, durante la época seca (anexo 4 y 5).

Con la utilización del Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS), se tomaron medidas de parámetros fisicoquímicos directamente en campo, generando datos en tiempo real de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica (anexo 6 y 7).

Cuadro 4. Ríos muestreados en la subcuenca del río Acahuapa.

Nombre	X	Y	Elevación (msnm)	Aspectos generales
RT-1	316552	1506296	85	Río San Felipe
RT-2	315124	1506296	111	Río La Joya
RT-3	313622	1506388	127	Río Sisimico
RT-4	311726	1505081	193	Río tributario del Río La Joya
RT-5	310901	1508216	253	Río Amapulapa
RT-6	309051	1504232	383	Río Achichilco

RT-7	305883	1509967	397	Río La Quinta
RT-8	305603	1510289	416	Río Istepeque
RT-9	300994	1510186	569	Río El Flor
RT-10	300594	1510455	565	Río Tepetitán
CP-1	300561	1510755	559	Cauce Principal del río Acahuapa
CP-2	302170	1510325	528	Desembocadura del río Acahuapa
L-1	330596	1505174	23	Represa 15 de septiembre
L-2	322621	1500810	14	20 metros al sur oeste de la desembocadura del río Acahuapa

Se tomaron muestras de agua en pozos, manantiales y agua superficial, en diferentes puntos de la zona en estudio, considerando los pasos de la cadena de custodia para muestras que son trasladadas al laboratorio (anexo 8), dichas muestras se analizaron en el Laboratorio del Instituto del Agua de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, de la Universidad de El Salvador, el objetivo era la obtención de datos de cationes (Na, K, Ca, Mg, Fe total) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^{2-}$ ), así como de carbonatos con el fin de determinar el balance de masa.

Las medidas de flujo del gas  $\text{CO}_2$  de las aguas superficiales y subterráneas se desarrolló por el método de la cámara de acumulación de Chiodini, utilizando un equipo de flujo doble para la determinación de gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , de la marca WEST SYSTEM, el cual emplea un espectrofotómetro de IR, una cámara cilíndrica abierta, un datalogger y una computadora manual que conecta al sensor de IR por bluetooth, el cual plotea la concentración de  $\text{CO}_2$  respecto del tiempo, obteniendo el dato de flujo en ppm/segundo (anexo 9).

#### **6.4.2 Muestreo de aguas subterráneas**

Se seleccionaron 20 pozos artesanales, los cuales fueron muestreados durante la época seca y de lluvia. Además, se tomaron datos del nivel estático de los pozos con ayuda de un medidor de niveles marca Nordmeyer, que tiene una cinta de 200 m de longitud. También

se usó una cinta métrica para tomar los datos de altura del broquel y el diámetro del pozo (anexo 10).

Se tomaron medidas de parámetros fisicoquímicos directamente en campo, generando datos en tiempo real de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica, utilizando un multiparámetro (YSI 556) (anexo 6).

#### **6.4.3 Muestreo de agua de manantiales**

En el caso de los manantiales se tomaron datos durante la época seca y lluviosa, para 15 manantiales distribuidos en toda la subcuenca (anexo 16).

#### **6.5 Balance Hídrico del Suelo**

Para la realización del balance hídrico se usó el método de Schosinsky, que utiliza los parámetros siguientes:

##### **6.5.1 Precipitación**

Uno de los componentes más importantes para determinar la recarga en el acuífero es la precipitación. Este factor es variable en el tiempo y en las zonas, por lo que se considera un fenómeno discontinuo. Se analizaron los datos de cinco estaciones meteorológicas para una serie de cinco años que comprende del 2006 hasta el 2010, para las estaciones de San Jacinto, finca El Carmen, beneficio Acahuapa, Cojutepeque y Puente Cuscatlán.

##### **6.5.2 Precipitación efectiva**

Uno de los cálculos importantes para realizar el balance hídrico es la precipitación efectiva, la cual está influenciada por cuatro factores: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración en el suelo, cobertura vegetal y topografía. Algunas veces la intensidad de la precipitación puede sobrepasar el umbral establecido en la zona donde se descarga, y lograr sobrepasar la capacidad del suelo para absorber el agua (velocidad de infiltración), lo que genera que se produzca el escurrimiento el cual es agua que no utiliza la planta y que no llega a las aguas subterráneas.

La velocidad de infiltración del agua está relacionada con aspectos del suelo como: textura, estructura, compactación y contenido de humedad. Entonces, en suelos con textura que predomine la arena la velocidad de infiltración es mayor, en contraste con el suelo que en su textura contiene mayor porcentaje de arcilla en la cual la infiltración es menor. Con respecto a la cobertura del suelo con vegetación, garantiza que la velocidad que trae la gota de agua se disminuya al caer al suelo y permita que el movimiento del agua sea adecuado para que se infiltre y percole fácilmente en el suelo. Y con respecto a la topografía es un factor que determina si habrá escorrentía o infiltración.

### 6.5.3 Precipitación media

Para la precipitación media sobre la cuenca se tomaron datos de las estaciones pluviométricas y climatológicas más cercanas, el trazo de los mapas de isoyetas a nivel mensual y anual se elaboraron utilizando el programa SURFER y con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (figura 10).

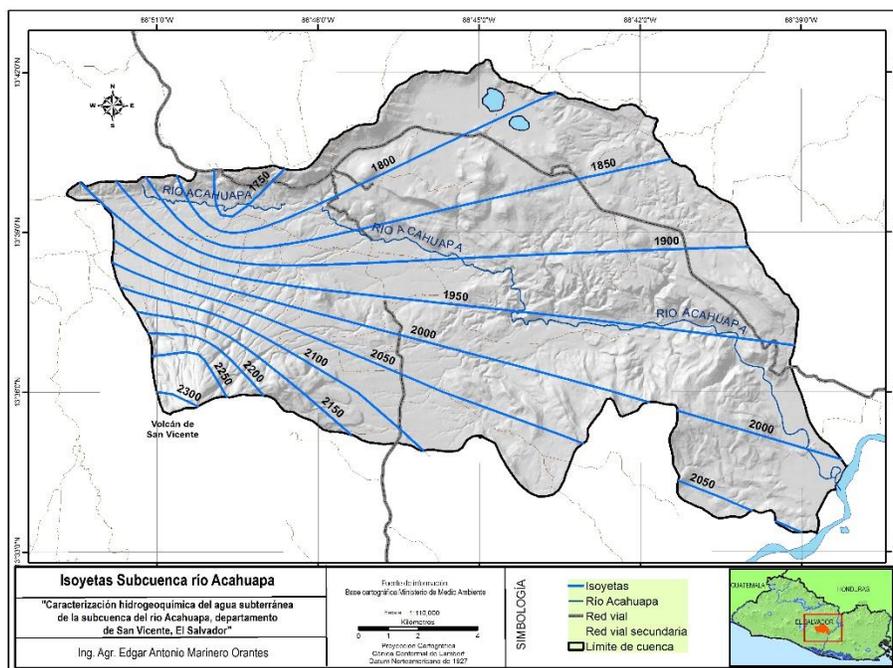


Figura 10. Isoyetas de la zona de estudio.

#### **6.5.4 Evapotranspiración media**

Para evaluar la evapotranspiración media de la cuenca se realizaron los cálculos de Evapotranspiración de Referencia, Evapotranspiración de Cultivo y Evapotranspiración Real. El cálculo de la evapotranspiración de referencia se realizó por el método de Hargreaves, que incluye los elementos meteorológicos de temperatura, radiación y humedad relativa; es la más utilizada en el país por usar un número menor de parámetros meteorológicos.

La evapotranspiración de cultivo se tomó de la información del Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ ), generada por la FAO (anexo 12).

La evaporación real se calculó teniendo en cuenta la capacidad de agua disponible en el suelo, considerando los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la textura del suelo generados por esta misma Oficina en coordinación con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en 1985 (anexo 13).

#### **6.5.5 Infiltración**

La capacidad de infiltración se realizó llevando a cabo cinco pruebas, utilizando el método del Permeámetro de Guelph. La ecuación que se utilizó para calcular la capacidad de infiltración fue:

$$K = \{Q * L / A * h\}$$

Dónde:

Q = caudal ( $L^3 T^{-1}$ )

K = conductividad hidráulica ( $LT^{-1}$ )

A = área de la sección transversal del flujo ( $L^2$ )

h = altura de la columna de agua (L)

L = altura de la columna del suelo (L)

Las pruebas de infiltración se llevaron a cabo en la época seca, considerando que las condiciones de humedad del suelo no afectarían los resultados que se generarían. Con los valores encontrados se utilizó la ecuación desarrollada por Schosinsky & Losilla (2000), para determinar los porcentajes de infiltración generada por la lluvia mensualmente, aplicándose dentro de un rango de capacidad de infiltración ( $f_c$ ).

$$Kf_c = 0,267 * Ln(f_c) - 0,000154 * (f_c) - 0,723$$

Dónde:

$Kf_c$  = Fracción que infiltra por textura del suelo, tanto por uno

$f_c$  = Capacidad de infiltración en mm/día

$Ln$  = Logaritmo natural.

### **6.5.6 Escorrentía**

La escorrentía se determinó con la información generada en el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), usando la metodología que considera la Regionalización de Caudales medios y la Relación Precipitación – Escorrentías (anexo 14).

### **6.6 Geoquímica del agua superficial y subterránea**

Esta sección se ha dividido en tres temas fundamentales que tratan por separado los resultados de los datos geoquímicos obtenidos durante las campañas de muestreo (febrero 2011 y agosto 2012), en los cuales se asocian los aspectos hidrogeológicos correspondientes a los diferentes ambientes, tales como: 13 ríos, 20 pozos domésticos y 15 manantiales, esto durante la época seca y de lluvia, sometidos a un análisis químico en el cual se identificaron las especies mayoritarias disueltas.

Posteriormente, a partir de los resultados obtenidos en la época seca se procedió a seleccionar las muestras más representativas en base a su contenido mineralógico que mostraron máximos y mínimos, de manera de desarrollar una segunda campaña de muestreo correspondiente a la época de lluvia.

### **6.6.1 Procedencia de los datos**

Los análisis realizados corresponden a medidas de parámetros fisicoquímicos tales como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, cationes (Na, K, Ca, Mg, Fe total) y aniones ( $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ). Estas especies fueron analizadas con el objetivo de caracterizar la composición química del agua en los distintos ambientes evaluados.

### **6.6.2 Fase de procesamiento y análisis de datos**

Consistió en correlacionar los datos obtenidos de las fuentes de agua con información histórica de años anteriores y los recopilados en la zona de estudio.

Con los resultados de los análisis físico químicos de las aguas subterráneas fue posible determinar la composición del agua, utilizando el diagrama triangular de Piper, usando el programa especializado para agua subterránea Aqua Chem. Además, se comprobó la existencia de los analitos más importantes usando mapas de isoconcentraciones de los diferentes puntos de muestreo tomados en la subcuenca del río Acuahuapa.

Con la información de las mediciones realizadas en pozos, manantiales y en aguas superficiales, así como la interrelación de los componentes geológicos, se determinó el comportamiento del flujo subterráneo en la subcuenca del río Acahuapa y se estableció una correlación entre la geología de la zona y la composición química del agua subterránea.

Tomando como base el Método de Schosinsky y Losilla (2000) se pudo obtener el cálculo del Balance Hídrico de Suelos, de acuerdo a los resultados de precipitación, evapotranspiración potencial, capacidad de campo y punto de marchitez, con lo cual se determinó la recarga por precipitación al acuífero.

Finalmente, la información colectada en esta fase referida a las condiciones químicas, hidrológicas, hidrogeológicas, geológicas, meteorológicas, y al relacionarla con las condiciones socio ambientales de la zona, fueron insumos relevantes para elaborar la propuesta de lineamientos para la Gestión de los Recursos Hídricos de la zona en estudio.

## VII. Análisis de Resultados

Con la información recolectada en la fase de campo y la revisión de cartografía se procedió a realizar la interpretación del sistema y se logró los siguientes resultados.

### 7.1 Precipitación

Uno de los componentes más importantes para determinar la recarga en el acuífero es la precipitación. Este factor es variable en el tiempo y en las zonas, por lo que se considera un fenómeno discontinuo. Se analizaron los datos de cinco estaciones meteorológicas para una serie de cinco años que comprende del 2006 hasta el 2010, para las estaciones de San Jacinto, finca El Carmen, beneficio Acahuapa, Cojutepeque y puente Cuscatlán. Los datos de precipitación de las estaciones mencionadas se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Precipitación en la subcuenca del río Acahuapa, periodo del 2006 hasta el 2010.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
San Jacinto, San Vicente	0	3.6	3.8	47.4	308	363.2	360.8	306.2	476.2	399.6	104.6	14	2373.4
Finca El Carmen, San Vicente	0	3.2	7.28	23.18	283.18	323.2	382.6	352	443	322	124.2	0	2263.84
Beneficio de Acahuapa, San Vicente	0	0	8.6	49	234.6	250.8	296.4	320.8	325.2	230	21.6	0.2	1737
Cojutepeque, Cuscatlán	7	8.2	16.5	59	215.8	287.2	361.6	328.6	365.2	227.2	90.4	7.4	1966.7
Puente Cuscatlán, San Vicente	1.9	1.44	6.14	37.04	228.2	280.7	314.8	302.7	402.4	294.7	85.2	5.4	1955.38

### 7.2 Capacidad de infiltración

La medición de la capacidad de infiltración en el suelo se realizó llevando a cabo cinco pruebas, utilizando el método del Permeámetro de Guelph. La ecuación que se utilizó para calcular la capacidad de infiltración fue:

$$K = \{Q \cdot L / A \cdot h\}$$

Dónde:

Q = caudal (L3 T-1)

K = conductividad hidráulica (LT-1)

A = área de la sección transversal del flujo (L2)

h = altura de la columna de agua (L)

L = altura de la columna del suelo (L)

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en las distintas formaciones geológicas se presentan en el cuadro 6, obteniendo valores de infiltración ( $f_c$ ) de: 8.96 cm/h, 24.58 cm/h, 1.89 cm/h, 0.29 cm/h y 31 cm/h. Datos que reflejan un acercamiento a la conductividad hidráulica de las diferentes formaciones geológicas del suelo presente en la zona de estudio. El dato mayor que se observa es de 24.58 cm/h que se presenta en un suelo con la textura Areno-Franco, que refleja que existe una presencia alta de partículas de arena y el valor más bajo fue de 0.29 cm/h, indicando un suelo con mayor homogeneidad en la presencia de partículas de arena, limo y arcilla, pues la velocidad de movimiento del agua es baja.

Cuadro 6. Dato de infiltración de agua en las distintas formaciones geológicas

<b>Lugar</b>	<b>Geología</b>	<b>Textura</b>	<b>Datos (cm/h)</b>
Antiguo Tepetitán lahares	Miembro S4	Areno-Franco	24.58
Antiguo Tepetitán cafetal	Miembro S4	Franco	8.96
Col. La Gloria San Vicente	Miembro s1	Franco-Arenoso	0.29
Las Minas, Apastepeque	Miembro b3	Franco-Arenoso	31
Calderas, Apastepeque	Miembro b1	Franco-Limoso	1.89

### 7.3 Recarga por infiltración

La recarga en las aguas subterráneas es producida por la infiltración de la precipitación y para su cálculo se necesita conocer los valores existentes en los suelos de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y profundidad de raíz (PR). Para la presente investigación los datos que se usaron son los que se describen en el cuadro 7, considerados como estándar para todos los suelos que presenten las mismas características y tomados de la tabla de texturas de USDA (anexo 13). En el caso de los valores de CC que se presentan en el rango de 11 a 20% indica el porcentaje de agua que puede ser usado por las plantas para realizar todos sus procesos de biológicos; en el caso de los valores de PM que se encuentran entre los valores de 6 hasta 300% reflejan el agua del suelo que esta retenida fuertemente por las partículas del suelo y no puede ser usada por las plantas.

Cuadro 7. Valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y profundidad de raíz (PR).

Sitio	CC (%)	PM (%)	PR (mm)
Antiguo Tepetitan lahares	18.1	6.8	300
Antiguo Tepetitan cafetal	19.8	7.9	2,500
Col. La Gloria, San Vicente	11.3	304	300
Las Minas, Apastepeque	18.1	6.8	2,500
Calderas, Apastepeque	19.8	7.8	1,600

En el cuadro 8 se muestra el cálculo de la recarga total anual para cinco sitios donde se realizaron medidas, los cuales están distribuidos en la subcuenca del río Acahuapa, considerando la geología existente. El área del sector que cubren los cinco puntos muestreados (según el mapa de Polígonos de Thiessen de la estación del beneficio de Acahuapa es de 112.21 km<sup>2</sup>), recibe una recarga por precipitación promedio de 885.15 milímetros por año (anexo 15).

Cuadro 8. Recarga potencial del acuífero superficial producido por la precipitación.

<b>Recarga</b>	<b>Volumen mm/año</b>
Antiguo Tepetitán lahares	<b>938.97</b>
Antiguo Tepetitán cafetal	<b>864.07</b>
Col. La Gloria, San Vicente	<b>864.07</b>
Las Minas, Apastepeque	<b>894.55</b>
Calderas, Apastepeque	<b>864.07</b>
<b>Promedio anual</b>	<b>885.15</b>

#### **7.4 Recarga total**

Los resultados de las medidas de infiltración de agua realizadas en la zona de influencia del trabajo de investigación, correspondiente a los cinco puntos donde se colectó información, son las siguientes: en la zona alta donde se encuentran las mayores elevaciones en la subcuenca y la zona del valle de Jiboa, se calculó que la recarga potencial puede ser entre el 19.52% (Antiguo Tepetitán cafetal) y el 21.22% (Antiguo Tepetitán lahares) de la precipitación promedio anual. Finalmente, la parte ubicada en el campo vulcanológico de Apastepeque, los valores varían entre el 20.22% (Las Minas) y el 19.52% (Calderas) de la precipitación (cuadro 9).

Cuadro 9. Porcentaje de recarga en las zonas donde se elaboró el balance de masas.

<b>Recarga</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Antiguo Tepetitán lahares	<b>21.22</b>
Antiguo Tepetitán cafetal	<b>19.52</b>
Col. La Gloria, San Vicente	<b>19.52</b>

Las Minas, Apastepeque	<b>20.22</b>
Calderas, Apastepeque	<b>19.52</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>

### **7.5 Escorrentía**

La escorrentía que se produce en estas zonas escurre hacia las zonas bajas. En aquellos sectores en que las condiciones de los suelos tienen mayor grado de capacidad de infiltración, como las zonas altamente fracturadas o fallas geológicas importantes, la recarga puede aumentar localmente. El dato de escurrimiento obtenido para toda la subcuenca es de 2.44 Mm<sup>3</sup> del total de la precipitación de 97.37 Mm<sup>3</sup>.

### **7.6 Descarga natural**

De acuerdo al inventario de fuentes de agua realizado en este estudio y a la ubicación de las mismas en el territorio, la descarga natural del agua subterránea en forma de manantiales ocurre principalmente en zonas de contacto de diferentes miembros geológicos distribuidos a lo largo del río Acahuapa con dirección Este-Oeste; otros manantiales se encuentran ubicados en zonas de fallas geológicas dentro de la cuenca. Otras descargas del acuífero como aporte al caudal base de los ríos no fueron identificados en esta investigación.

### **7.7 Balance hídrico**

De acuerdo a los resultados del balance hídrico realizado (anexo 26, 27, 28, 29 y 30), se observa que de 97.37 Mm<sup>3</sup> por año de precipitación en las zonas de Antiguo Tepetitan, cantón Calderas, colonia La Gloria, cantón Las Minas; 2.44 Mm<sup>3</sup> se convierten en escurrimiento superficial. Además se tiene una recarga potencial promedio del acuífero de 41.75 Mm<sup>3</sup> por año. Siendo notoria la homogeneidad de la precipitación que infiltra, relacionándola con las características de los suelos de la subcuenca.

Los valores del volumen de recarga potencial del acuífera anual observados, que se pueden establecer en 41.75 millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ), que podría estar relacionado al área de la subcuenca. Así mismo, los valores positivos en el cambio de almacenamiento observados, indican que se está ante la presencia de un excedente, deduciendo la existencia de un buen potencial en cuanto a la recarga del agua subterránea (anexos del 26 al 30) y figura 11.

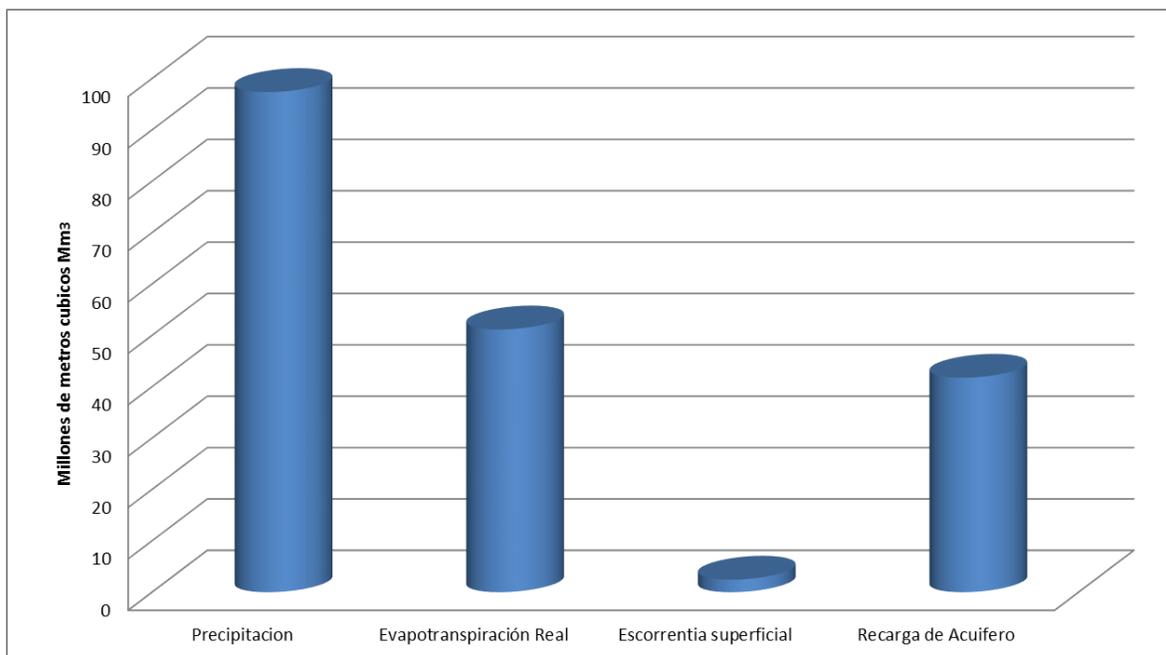


Figura 11. Balance de hídrico de la subcuenca del río Acahuapa, en unidades de  $Mm^3$ .

### 7.8 Red Hídrica

De acuerdo al recorrido realizado por toda la subcuenca del río Acahuapa y a la información contenida en los cuadrantes del Levantamiento General de Suelos de la República de El Salvador: 2457-III, Cojutepeque; 2457-IV, San Vicente; 2457-II, río Titihuapa; y 2457-I, Puente Cuscatlán; el sistema principal de drenaje está constituido por el río Acahuapa y todos sus afluentes como los ríos: San Felipe, La Joya Caliente, Sisimico, Tiembla Tierra, Amapupulta, Ismataco, Antón Flores, Istepeque, Tepetitán y Agua Caliente. Además, dentro del área de la subcuenca se encuentran la laguna de Apastepeque y la laguna Ciega, localizadas en el municipio de Santa Clara (figura 12).

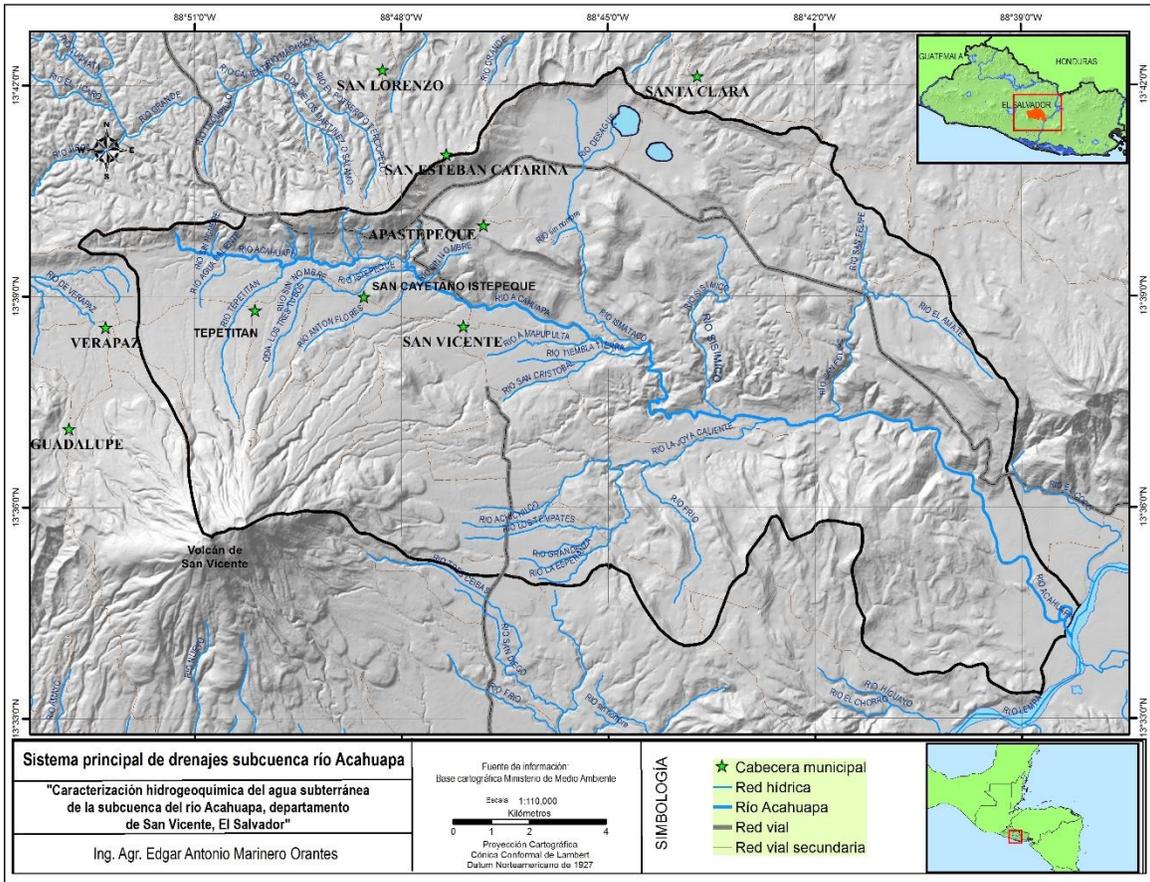


Figura 12. Sistema principal de drenaje de la subcuenca del río Acahuapa.

### 7.9 Geología

Con respecto al contexto geológico del área de estudio, de forma general los materiales geológicos presentes en la cuenca se agrupan en las formaciones siguientes: Bálsamo, Cuscatlán y San Salvador (figura 13).

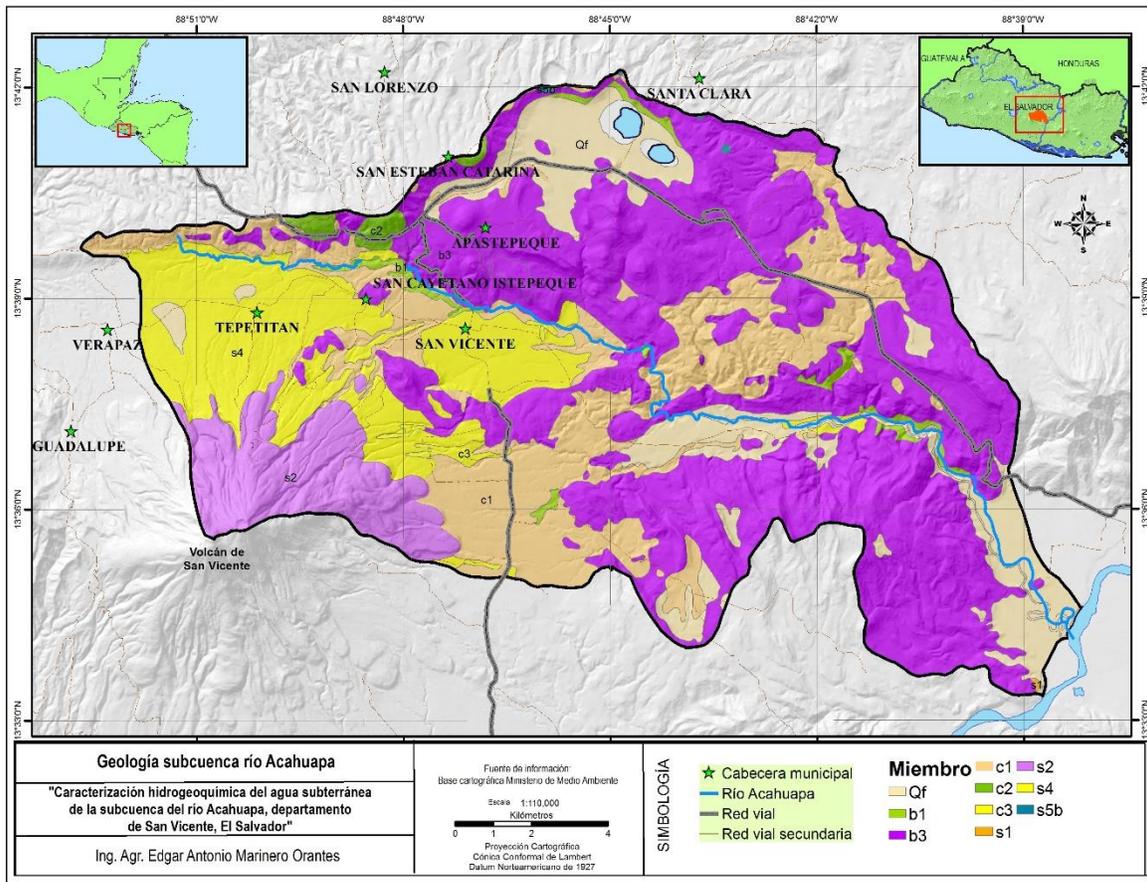


Figura 13. Geología presente en la subcuenca del río Acahuapa.

Cuatro grupos geológicos fueron identificados durante las visitas de campo y las actividades de reconocimiento, predominando los piroclástitas que podrían ser atribuibles a la actividad explosiva de la caldera de Ilopango. Además coladas andesíticas-basálticas y aglomeraciones, lahares y tobas relacionadas con el volcán de San Vicente, tal como lo establece la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del río Lempa (CEL), en estudios especializados realizadas en campañas desarrolladas entre los años 1976 hasta 1995.

De forma más específica las formaciones identificadas fueron San Salvador, Cuscatlán y Bálsamo, los miembros que más predominan en el territorio de la subcuenca del río Acahuapa (anexo 64), son los que se describen a continuación:

### **7.9.1 Miembro b3**

De acuerdo al mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000, estos materiales corresponden con el miembro b3, que según la descripción de Wiesemann (1975) se define como el miembro superior de la formación Bálsamo y está constituido por rocas efusivas básicas-intermedias. Localmente con alteración hidrotermal, silificación y limos rojos (Wiesemann et al. 1975, citado por Baxter 1984).

### **7.9.2 Miembro C1**

Es el miembro inferior de la Formación Cuscatlán y está constituido por unidades sedimentarias y volcánicas. Las primeras son fluvio-lacustres y se ubican en cuencas intermontañas alineadas rumbo noreste (Wiesemann et al. 1975, citado por Baxter 1984).

### **7.9.3 Miembro S4**

De acuerdo al mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000, estos materiales corresponden al miembro S4, comúnmente conocido como "Tierra Blanca". Sobre este miembro, Wiesemann et al. (1978) lo describe como una secuencia de piroclastos ácidos y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas (Wiesemann et al. 1978, citado por Baxter 1984).

### **7.9.4 Miembro Q'f.**

Son depósitos sedimentarios del cuaternario constituido principalmente por secciones con intercalaciones de rocas piroclásticas, depósitos de estuario, barras costeras, depósitos coluviales, conos de deyección y suelo almoor (Baxter 1984).

## **7.10 Textura de suelos**

En la figura 14 se muestra el mapa de suelos de la subcuenca del río Acahuapa, donde se observa que los suelos de esta zona tienen las características que se describen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Textura de los suelos existentes en el área de la subcuenca del río Acahuapa.

<b>Suelos</b>	<b>Textura</b>	<b>Descripción</b>
Andisoles	Franco	Suelos originados de cenizas volcánicas, de distintas épocas y en diferentes partes del país, tienen por lo general un horizonte superficial entre 20 y 40 cm de espesor, de color oscuro, textura franca y estructura granular.
Grumosoles	Arcilloso	Suelos muy arcillosos de color gris a negro con vegetación de morros, cuando están muy mojados son muy pegajosos y muy plásticos. Cuando están secos son muy duros y se rajan. En la superficie son de color oscuro pero con poco humus o materia orgánica.
Aluviales	Franco	Son suelos de materiales transportados o depositados en las planicies costeras y valles interiores. Son aluviones estratificados de textura variable.
Latosoles Arcillo Rojizo	Franco Arcilloso	Suelos arcillosos de color rojizo en lomas y montañas. Son bien desarrollados, con estructura en forma de bloques, con un color generalmente rojo aunque algunas veces se encuentran amarillentos o cafesosos.

Fuente: Mapa Levantamiento General de Suelos de El Salvador, Cuadrante 2457-IV, ESC. 1:50, 000, color. Guzmán 1984.

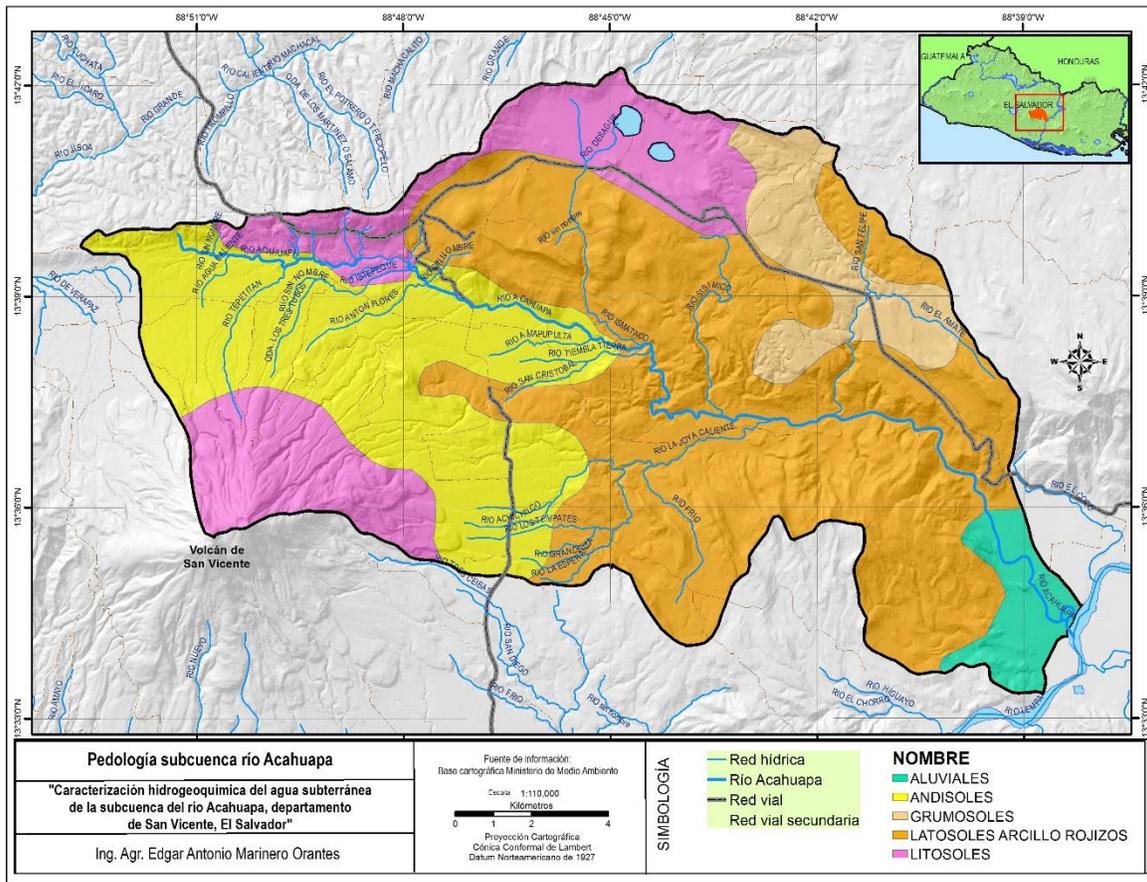


Figura 14. Mapa de suelos de la subcuenca del río Acahuapa.

## 7.11 Geoquímica del agua superficial y subterránea

### 7.11.1 Pozos domésticos

El análisis de esta sección se basa en 20 pozos domésticos excavados, los cuales fueron seleccionados con el propósito de caracterizar la composición química del agua subterránea para este tipo de ambiente geológico. Estos pozos se distribuyen geográficamente en dos grupos en el área de la subcuenca de estudio (figura 15): el primer grupo se ubica en la zona del valle Jiboa, en esta área la profundidad del nivel freático osciló entre 3 m y 16 m. El segundo grupo está situado en el campo volcánico de Apastepeque, en la zona de la laguna de Apastepeque, donde la columna de agua estática varió entre 1 m y 17 m.

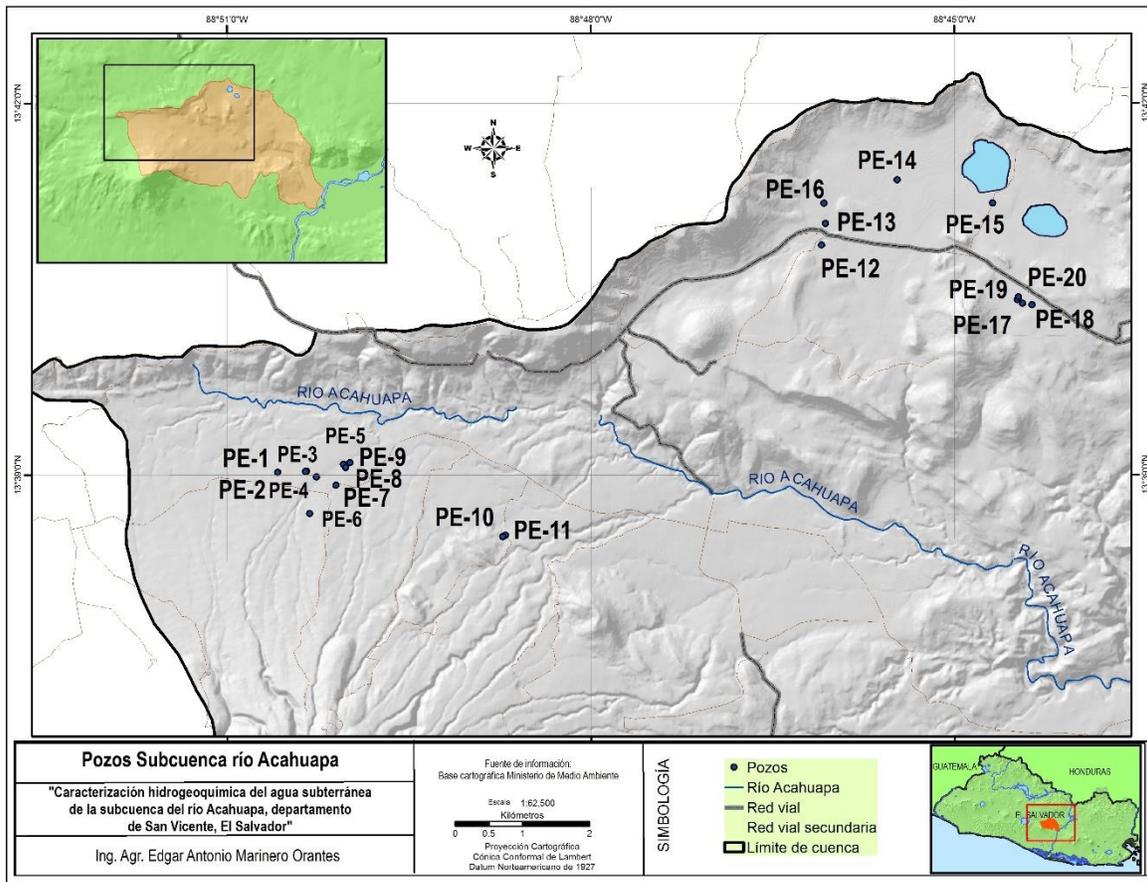


Figura 15. Ubicación de los pozos excavados (PE) en la subcuenca del río Acahuapa.

Los resultados químicos colectados en la época seca y de lluvia durante la campaña de monitoreo de los pozos domésticos, se resume en el anexo 16. Durante el muestreo, la temperatura de las aguas subterráneas varió desde 23.92° C (Pozo excavado, PE- 19) hasta 36.18° C (PE- 10), con un valor promedio de 28.63° C. Las temperaturas más altas se encuentran en la parte alta y media y las temperaturas más bajas en las zonas consideradas de descarga, por estar próximas al cauce principal del río Lempa. Considerando que la temperatura media de las aguas subterráneas según Bogomolov, es de 22. 9° C, se establece que las aguas de los pozos muestreados se encuentra en el rango de tibias. En cuanto al pozo PE-10 (36.6° C), se clasifica como moderadamente tibias.

Los valores de pH variaron entre 4.24 (PE-9) a 6.89 (PE-16), lo cual está asociado a un quimismo de tipo ácido que favorece el proceso de hidrólisis entre las especies presentes en el agua. Sin embargo, se observó un valor máximo de pH en el pozo PE-15 (7.24 y 7.48 en época seca y de lluvia, respectivamente), lo cual establece condiciones de neutralidad del pH para este ambiente en particular. Y de acuerdo a la establecido en la NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA (NSO 13.07.01:08), la mayoría de pozos se encuentran dentro del rango permisible para utilizar el agua para consumo humano. Excepto en los pozos PE-3 (5.1 unidades), PE-8 (4.8 unidades), PE-9 (4.2 unidades).

La electronegatividad del agua varió entre 263  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PE-9) y 797  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PE-8). Basado en el análisis de los iones mayoritarios mostrados en la figura 16, el tipo de agua de los pozos domésticos corresponde a una agua mayoritariamente dominada por  $\text{Ca-Mg-HCO}_3^-$  (Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada), con un cambio gradual de contenido de  $\text{Ca}_2^+$  de alto a moderado para la época de lluvia (figura 17). Está relacionada con aguas relativamente joven, con poca permanencia en el suelo y en su mayoría puede ser de origen meteórico y considerarse como aguas de buena calidad natural. Además se puede manifestar que este tipo de agua no presenta problemas para ser utilizadas para consumo humano, aunque es necesario analizar otros parámetros.

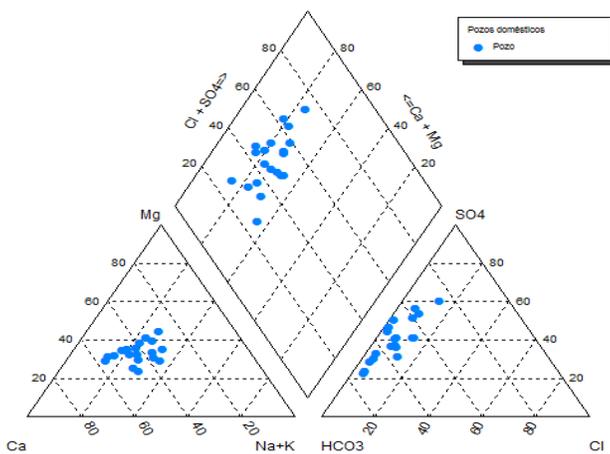


Figura 16. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua subterránea de los pozos excavados (PE), correspondiente a la época seca.

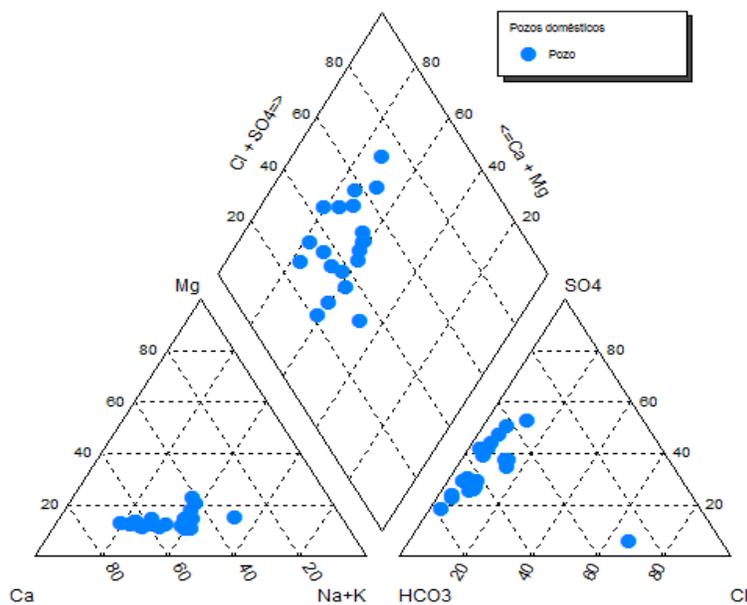


Figura 17. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua subterránea de los pozos excavados (PE), correspondiente a la época de lluvia.

Las concentraciones de Cl<sup>-</sup> durante ambos periodos de muestreo variaron entre 2 mg/L (PE- 9) y 265 mg/L (PE-16). Sin embargo, durante el muestreo de la época de lluvia se observó un valor alto en el contenido de Cl<sup>-</sup> en el pozo PE-16 (265 mg/L), considerándose este valor como una descarga puntual de contaminación de procedencia desconocida (figura 18). Valores que según el Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana en 1994 (CAPRE 1994), se encuentran dentro del rango permisible para suministro de agua potable, exceptuando los datos de los pozos PE-9 y PE-16.

En la mayoría de pozos se observaron condiciones de altos contenidos de oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>), variando entre 2 mg/L (PE-1) y 6.22 mg/L (PE-13). Las altas concentraciones de O<sub>2</sub> son congruentes con ambientes de pozos excavados, debido al contacto permanente del agua subterránea con la atmosfera. Caso particular se observó en los pozos PE-17 y PE-20, donde se midieron concentraciones menores a 2 mg/L en ambas campañas de muestreo, lo cual indica condiciones anóxicas para estos ambientes en particular (figura 19). El

parámetro establecido para agua de consumo humano es de 8 mg/L y en los resultados obtenidos en ambas épocas (seca y lluviosa) es menor que este número.

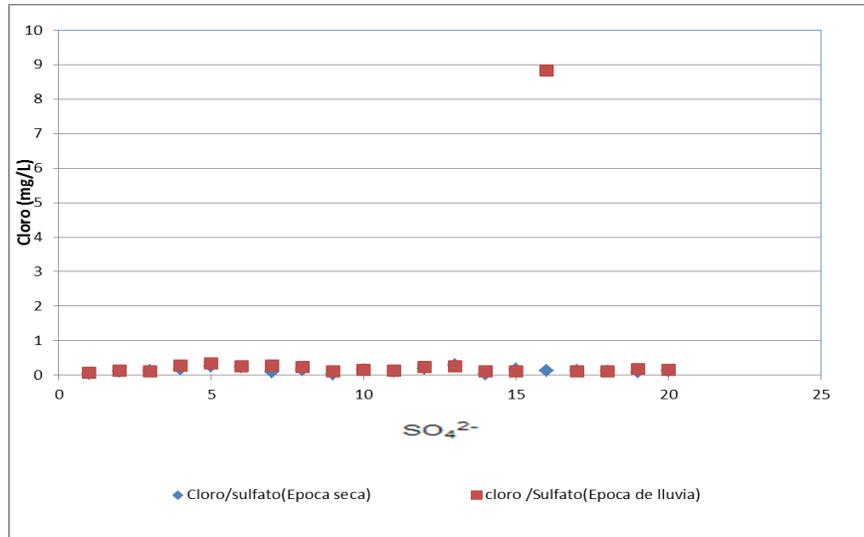


Figura 18. Variaciones del contenido de  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/L) con respecto a  $\text{Cl}^-$  (mg/L) en pozos domésticos.

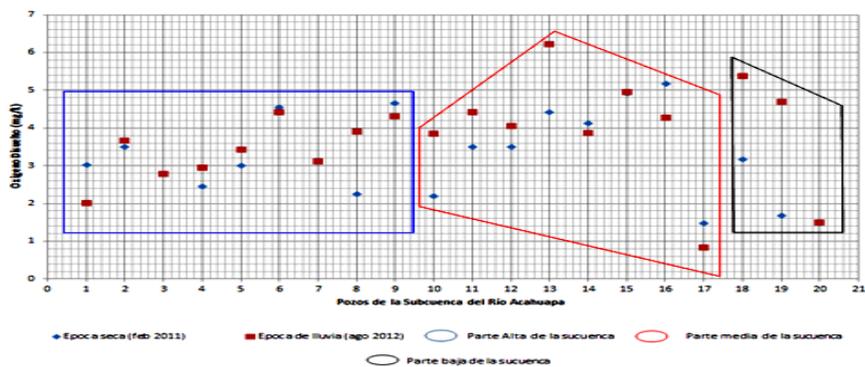


Figura 19. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en pozos respecto al agrupamiento por microcuencas.

### 7.11.2 Manantiales

Esta sección se focaliza en el análisis de 15 manantiales muestreados en época seca y lluviosa. El análisis de este tipo de ambiente permite esclarecer de mejor manera descargas puntuales de aguas tanto superficiales como subterráneas. El primer caso se desarrolla en aquellas zonas donde las infiltraciones de agua lluvia en su paso por la matriz porosa intercepta cambios abruptos en la topografía del terreno y no alcanza a percolar capas del subsuelo más profundas. El segundo escenario se origina a partir del movimiento de las aguas subterráneas donde ésta intercepta líneas de debilidad geológica generando así descargar en la superficie. Estos manantiales se encuentran espacialmente distribuidos a lo largo del río Acahuapa con dirección Este-Oeste (figura 20). Los resultados del análisis químico se presentan en el anexo 16.

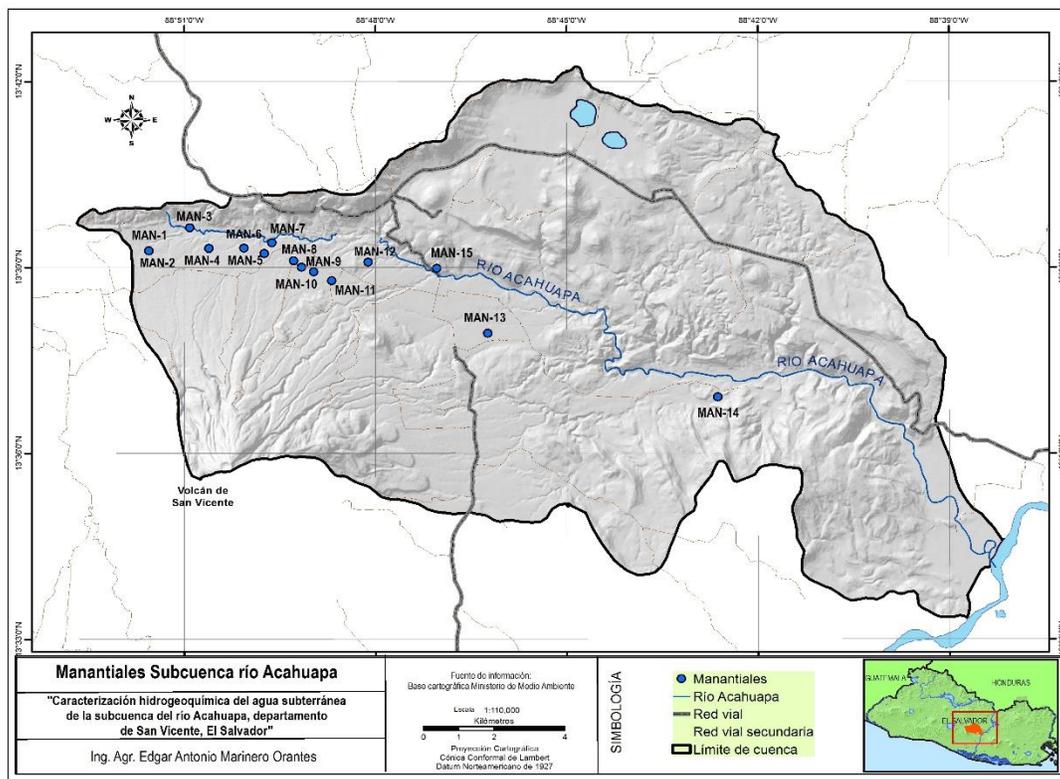


Figura 20. Ubicación de manantiales en la subcuenca del río Acahuapa

Las mediciones de temperatura del agua en los manantiales variaron entre 23.14° C (MAN-9) y 39.35° C (MAN-4), con un valor promedio de 31.2° C. Estas temperaturas clasifican el agua según Bogonolov moderadamente tibias en su mayoría y en el caso de MAN-4, se presenta dentro del rango de caliente.

Se observó dos rangos de valores de pH dentro del grupo de muestras, el primero varió entre 5.86 (MAN-10) y 6.92 (MAN-7), lo cual clasifica como aguas ácidas; y un segundo grupo con clara tendencia a condiciones de alcalinidad, variando entre 7.34 (MAN-5) y 8.13 (MAN-14). De acuerdo a las normas de calidad de agua CAPRE 1994, el rango de pH se encuentra dentro del rango permisible para el consumo humano, pero se necesita conocer otros parámetros.

La conductividad eléctrica presentó valores máximos de 586  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (MAN-4), 592  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (MAN-5) y 590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (MAN-6). De acuerdo con lo establecido en la NORMA CAPRE 1994, la cual recomienda el valor de 400  $\mu\text{S}/\text{m}$ , para agua de consumo humano, estos valores sobrepasan y en el caso de estos manantiales no es recomendable dicho uso. Para el resto de los manantiales si procede usarla para consumo humano (anexo 16).

Con base al análisis de los iones mayoritarios mostrados en las figuras 21 y 22, el tipo de agua observada en los manantiales corresponde con una familia de agua dominada por el anión bicarbonato y los cationes calcio y magnesio ( $\text{Ca-Mg-HCO}_3^-$ ), con una ligera a moderada concentración de  $\text{Na+K}$  para la época de lluvia. Considerando que las aguas subterráneas son más mineralizadas que las superficiales, los iones que predominan en los manantiales muestreados son los bicarbonatos, dejando claro que existe un riesgo de alcalinización de los suelos al utilizar agua bicarbonatada en el riego de cultivos.

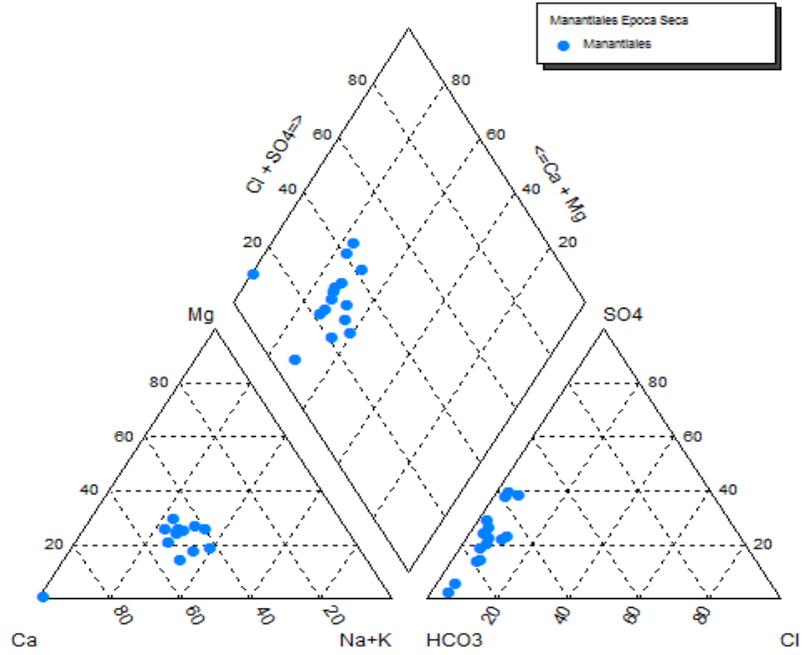


Figura 21. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua de manantiales, correspondiente a la época seca.

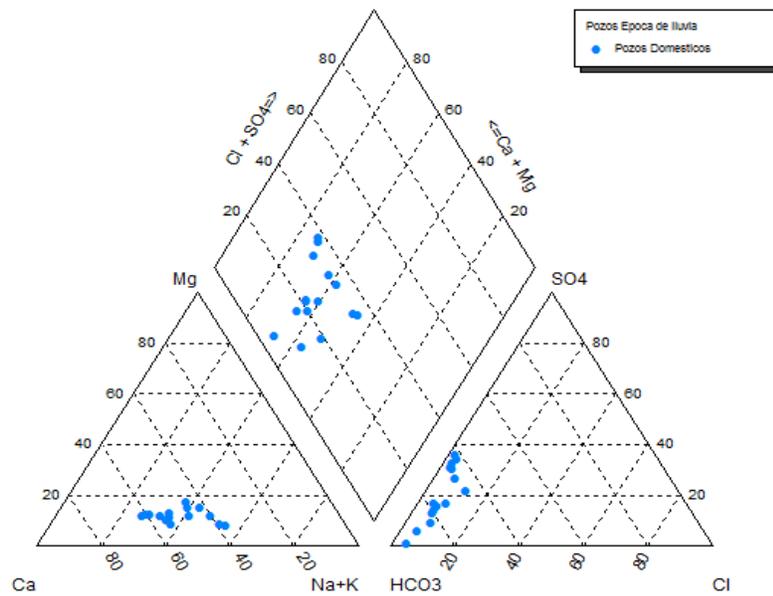


Figura 22. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua de los manantiales, correspondiente a la época de lluvia.

Las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  durante ambos periodos de muestreo variaron entre 2.5 mg/L (MAN-9) y un máximo de 19 mg/L (MAN-8) (figura 23). La mayoría de muestras mostraron altas concentraciones de oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) inclusive durante la época seca de este estudio. Sin embargo, se lograron discriminar cuatro manantiales (MAN-6, MAN-9, MAN-10, y MAN-12) con valores de concentración menores a 2 mg/L, el cual es un indicador de ambientes con ausencia de oxígeno disuelto (figura 24). A pesar de que estos mismos manantiales mostraron un incremento en el contenido de oxígeno durante la época de lluvia, solamente el manantial MAN-12 indicó la ausencia de mezcla de agua superficial y subterránea, siendo su descarga exclusiva de flujos de aguas subterráneas para ambas épocas del año. Con respecto a la concentración de cloro, las normas de calidad del CAPRE 1994, los valores identificados son menores que el valor mínimo recomendado (25 mg/L), en este caso no existe ningún riesgo alguno para la salud de los consumidores de esta agua.

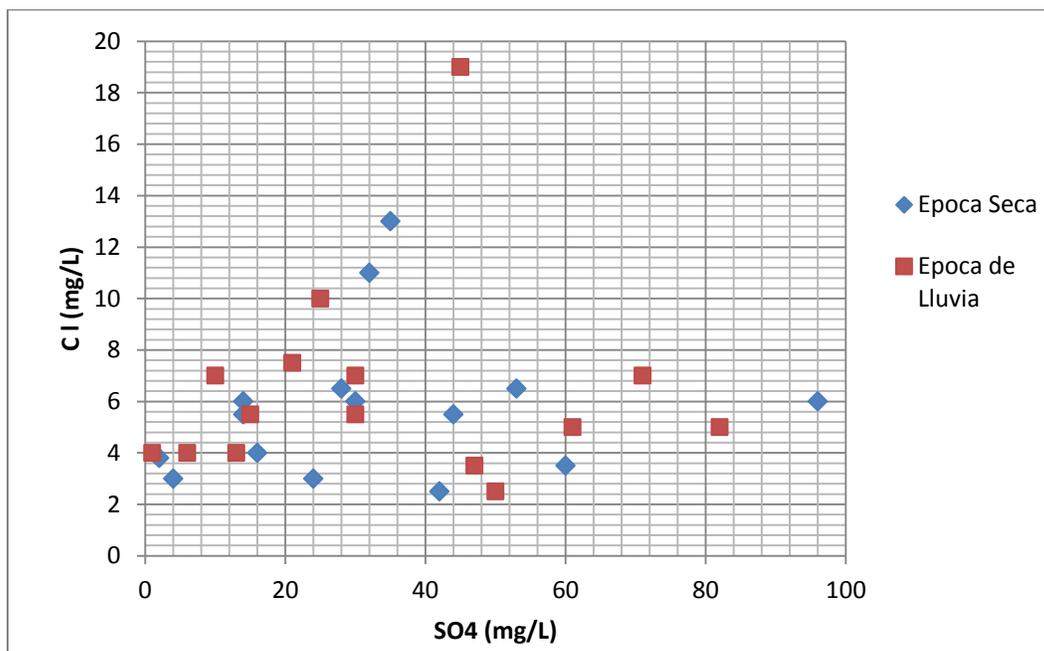


Figura 23. Variaciones del contenido de  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/L) con respecto a  $\text{Cl}^-$  (mg/L) en manantiales.

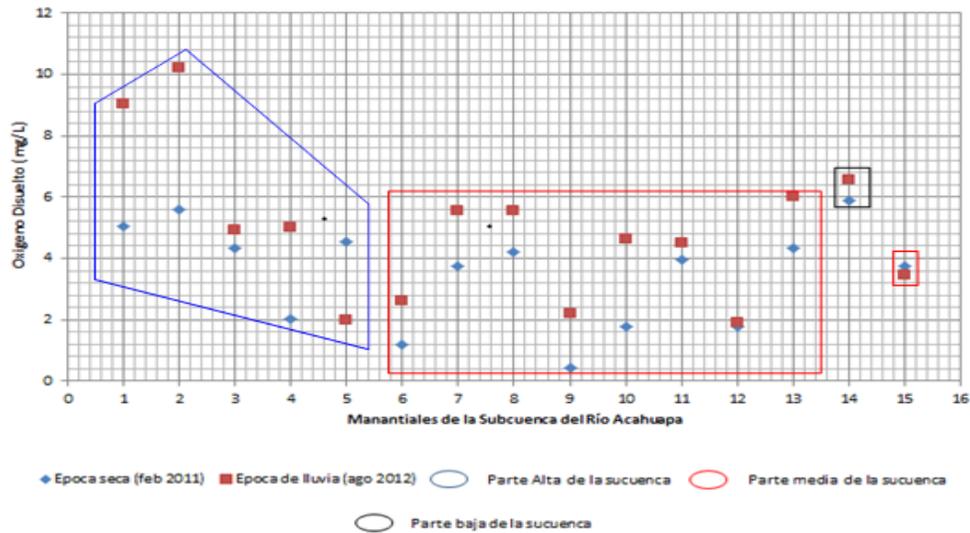


Figura 24. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en los manantiales durante la época seca y de lluvia.

### 7.11.3 Ríos

La información referente a los ríos se basa en los análisis de las muestras químicas del agua de 13 puntos de muestreo, colectados en igual número de tributarios así como dos puntos de interés asociados con este estudio (anexo 16). En este análisis se incorporaron las mediciones realizadas en el punto coincidente con la descarga de la subcuenca del río Acahuapa (CP-2) y el río Lempa (L-1 y L-2). Su selección se desarrolló con el propósito de comparar el quimismo generado en ambas cuencas, su posible interacción con el agua subterránea de la subcuenca en estudio, así como la relación química del agua superficial medida aguas abajo del punto de descarga con el río Lempa (figura 25).



mayoría de datos obtenidos están dentro del rango permisible, exceptuando los punto RT-9 y CP-1, que se encuentran fuera del rango para uso humano.

En campo se reportaron mediciones de conductividad eléctrica que variaron desde 212  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (RT-1) hasta 547  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (RT-10). De acuerdo con el análisis de los iones mayoritarios mostrados en la figura 26, el tipo de agua en los ríos se clasifica como cálcica-magnésica-bicarbonatada ( $\text{Ca-Mg-HCO}_3^-$ ), esto para ambas época del año. Estas aguas están relacionadas con aguas de zonas de recarga, que son aguas relativamente jóvenes, con poco tiempo de permanencia en el subsuelo y en su mayoría puede ser de origen meteórico, tomando en cuenta los resultados, como aguas de buena calidad natural.

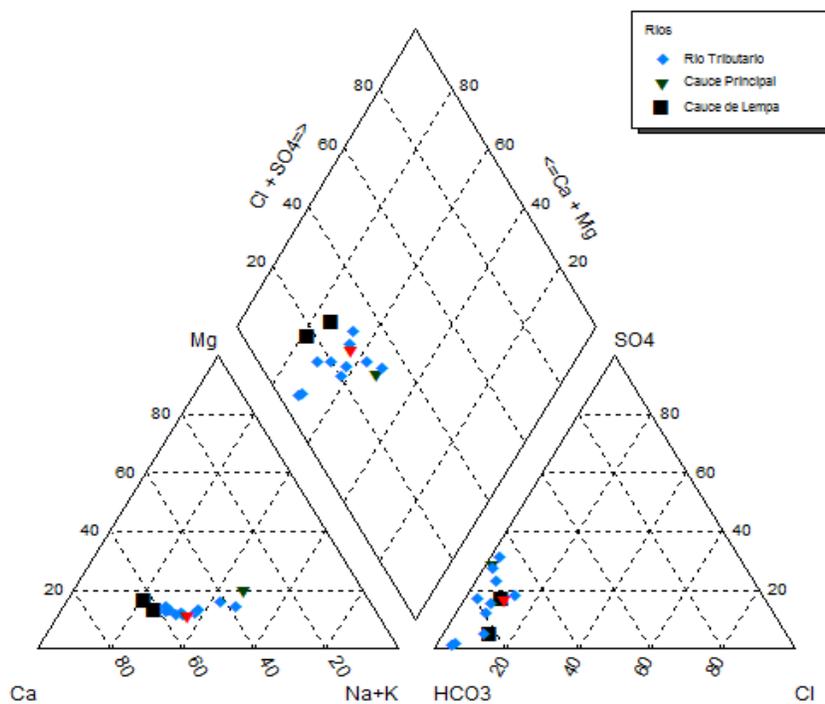


Figura 26. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua superficial de los ríos, correspondiente a la época seca.

El contenido de  $\text{Cl}^-$  observado durante la época seca y de lluvia varió entre de 2 mg/L (RT-1) y 11.0 mg/L (RT-6). Según las normas de agua para consumo humano CAPRE 1994, los resultados reflejan datos que son menores que el valor recomendado de 25 mg/L, por tanto no representa peligro para la salud humana. La figura 27 muestra la relación del sulfato con respecto al cloro, observándose una condición de mayor dilución del cloro para la época de lluvia, no así para el caso del sulfato que muestra un incremento en su contenido a la salida de la cuenca. De acuerdo con la figura 28, se observa como las concentraciones de oxígeno disuelto muestreadas en los ríos para ambas épocas corresponden con un sistema natural de aireación a medida que el caudal de los mismos fluye desde cotas del terreno de mayor elevación hasta cotas menores a la salida de la cuenca. Se discrimina un punto en particular con respecto a su contenido de oxígeno disuelto que no sigue la misma tendencia del resto de los puntos (RT-10), con un valor promedio de ambas épocas de 4.71.

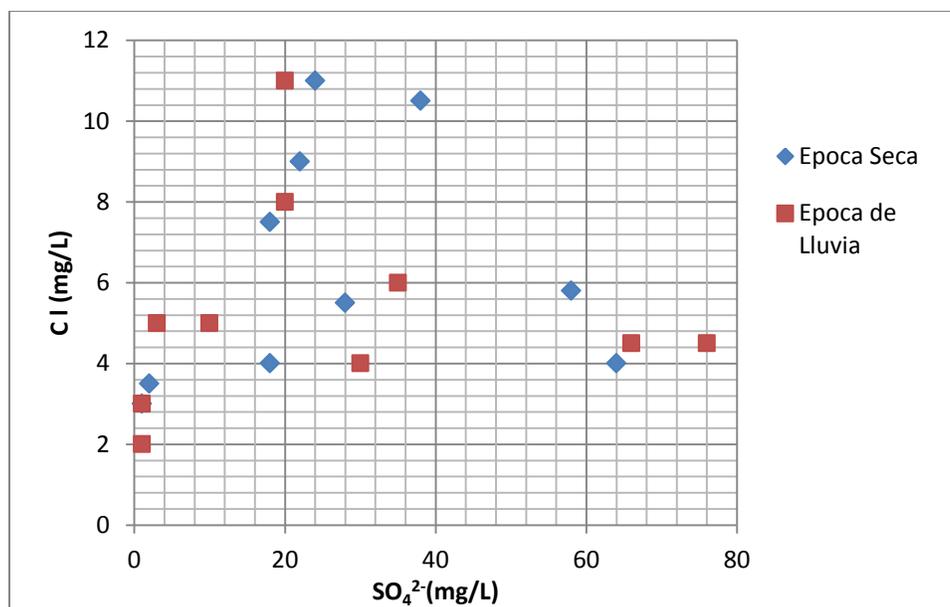


Figura 27. Variaciones del contenido de  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/L) con respecto a  $\text{Cl}^-$  (mg/L) en ríos.

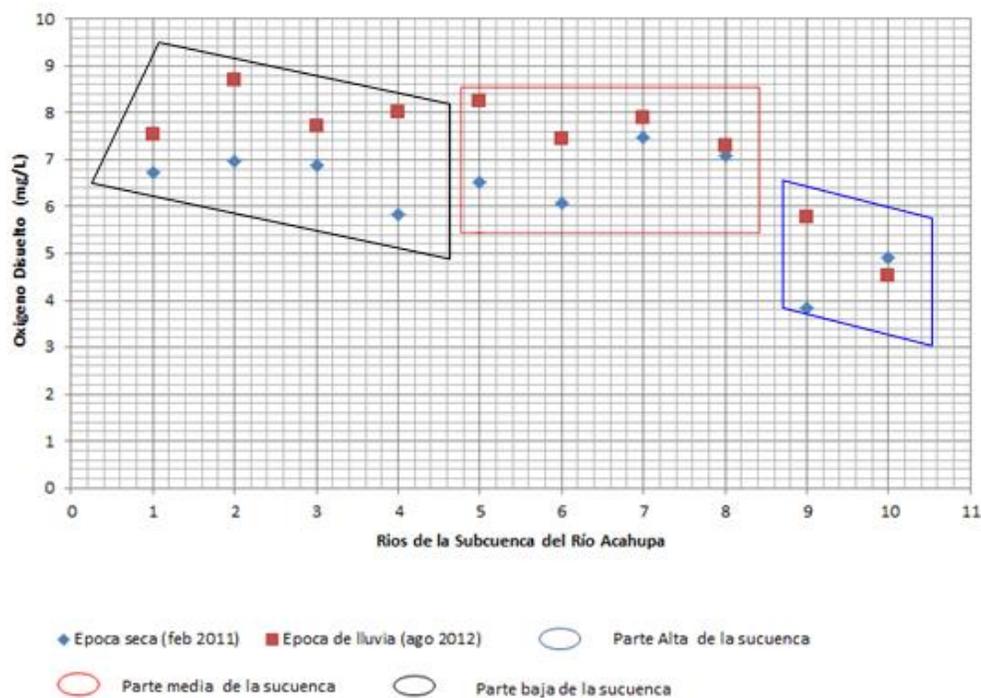


Figura 28. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en ríos durante la época seca y de lluvia.

## 7.12 Propuesta del plan de manejo de recursos hídricos de la subcuenca del río Acahuapa.

### 7.12.1 Contexto regional

En El Salvador la estructura institucional para los recursos hídricos está centralizada en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), mientras que las funciones más específicas están asignadas en diversas agencias gubernamentales como ANDA, LaGeo, gobiernos municipales, organismos no gubernamentales que impulsan acciones en el territorio como: AQUA, CARITAS EL SALVADOR, CORDES, ADES, otros. Adicionalmente, en el país se han conformado varias entidades de coordinación como la Red de Agua Potable y

Saneamiento, en la que los entes públicos participan conjuntamente con las ONGs, la cooperación internacional y otros actores.

El MARN presentó en marzo del 2012 un anteproyecto de la Ley General del Agua, pero hasta la fecha la situación de esta propuesta es que la Comisión de Medio Ambiente de la Asamblea Legislativa, ha discutido algunos artículos pero no existe la correlación para la aprobación de un documento de 178 artículos. Además, en el marco de la celebración del día mundial del agua, el MARN presentó el día 22 de marzo del 2014, algunos avances en cuanto al tema de la seguridad hídrica de El Salvador, en los cuales destaco los siguientes:

- Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programas que enfatizan la protección del recurso hídrico, minería metálica, política de biocombustible, estrategia de desarrollo de la franja Costera Marina.
- Directrices ambientales de cumplimiento obligatorio en planes de ordenamiento territorial: 28 municipios de la subregión metropolitana y en proceso para los 128 municipios de la franja Costera Marina.
- Se incorporaron criterios en la evaluación ambiental de proyectos que enfatizan la reducción del riesgo por eventos extremos y la protección de los recursos hídricos.
- Se trabajó en el Plan Nacional Hídrico, cuya formulación concluirá en el 2015.

Según el Informe del Cambio Climático para El Salvador, presentado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el 6 de mayo de 2014, respecto a los recursos hídricos se espera que se produzcan cambios en la reducción de los caudales superficiales del agua y desbordamientos de los ríos.

## **7.12.2 Aspectos socioeconómicos**

### **7.12.2.1 Actividades agrícolas**

Generalmente las actividades más importantes están basadas en la producción agropecuaria de subsistencia, principalmente para autoconsumo: maíz (Zea mays), maicillo (Sorghum

spp.), frijol (Phaseolus vulgaris) y algunas hortalizas como parte de la diversificación agrícola: pipían (Cucúrbita mixta), repollo (Brassica oleracea), pepino (Cucumis sativus), berro (Nasturtium officinale), tomate (Solanum lycopersicum), otras.

Las principales actividades agroindustriales del área de estudio son dos: la caña de azúcar (Saccharum officinarum) y el café (Coffea arabica). La primera es procesada artesanalmente en 11 molineras y la mayoría de esta producción es comercializada en el Ingenio INJIBOA<sup>3</sup>. El café es cultivado en la parte alta del volcán Chinchontepec, con una mayor área de producción en el flanco norte. Desafortunadamente en el área de la cuenca no se cuenta con instalaciones de beneficios para el procesamiento.

#### **7.12.2.2 Actividad ganadera**

En la zona se desarrolla la crianza de ganado, pero en la mayoría son pequeños o medianos productores. Las áreas de pasto para ganado se localizan principalmente en la parte media y baja de la subcuenca Acahuapa.

#### **7.12.2.3 Actividad comercial**

En la subcuenca del río Acahuapa el comercio está vinculado a la actividad de los servicios y comercialización de los derivados de la caña de azúcar que se distribuye localmente.

Predomina la situación de pobreza a pesar de que algunos hogares cuentan con apoyo de remesas familiares. Esto ocasiona presión sobre los recursos naturales, sobre todo porque no hay actividades productivas familiares o solo son de subsistencia. Esto obliga a las personas a recolectar frutos, leña, granos básicos para su comercialización y otras actividades.

---

<sup>3</sup> Ingenio Jiboa. km. 68 ½, carretera a Zacatecoluca, cantón San Antonio Caminos, San Vicente, El Salvador, Centroamérica.

#### **7.12.2.4 Actividad turística**

Existen bosques, cafetales de gran belleza escénica, molindas, lo que permite visualizar el turismo como un potencial generador de empleo y desarrollo, pero es necesario superar aspectos como el manejo de los desechos sólidos y líquidos, los riesgos existentes y el nivel de pobreza. Los principales atractivos turísticos son: la barranca del Sisimico, el volcán Chinchontepec, el valle de Jiboa, monumentos históricos y la laguna de Apastepeque.

Las actividades turísticas están promovidas por sectores económicos privados, gobiernos locales y por organizaciones no gubernamentales. Parte del turismo es ofertado por propietarios locales y cuya infraestructura no posee los servicios adecuados para desarrollar la industria del turismo a mayor escala.

#### **7.12.2.5 Uso de la tierra**

La tierra se entiende el sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos ecológicos e hidrológicos que se desarrollan dentro del sistema. Para el establecimiento de la categoría de usos de la tierra (anexo 17), la clasificación de los mismos está en función de los criterios que se describen a continuación:

#### **7.12.2.6 Cuerpos de agua**

Se consideran en esta categoría canales, lagunas y ríos, independientemente del uso a que estén sometidos. Albergan especies de diferente tipo y los utilizan como su hábitat natural para alimentación, reproducción y dormideros. Los cuerpos de agua tienen características particulares en correspondencia con el régimen hídrico temporal o permanente y la geomorfología del terreno. Así, en el caso de San Vicente destacan: laguna de Apasteque, laguna Ciega y laguna Chalchuapan. Además, en esta categoría se incluye el Embalse 15 de Septiembre.

#### **7.12.2.7 Ecosistemas boscosos terrestres**

Los valles interiores de media altura corresponden a elevaciones de 200 msnm a 1,400 msnm, con formaciones tales como: lagunas, matorrales, bosque de galería y vegetación sobre lava volcánica. Elevaciones superiores a los 1,500 msnm corresponden a ecosistemas de vegetación sobre lava volcánica y bosque nebuloso.

Según datos del Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial –PNODT (2003), la zona de estudio tiene una superficie forestal del 7% del total de la superficie forestal del país, distribuida de la siguiente manera: manglar (2,460.52 ha), bosque subcaducifolio (6,629.37 ha), arbustos y matorrales (4,468.82 ha) y plantaciones forestales (354.33 ha), haciendo un total de (13,913.04 ha).

#### **7.12.2.8 Conservación**

En esta categoría se agrupan todos aquellos suelos que son utilizados con un fin de conservación, sean estos de uso público o privado. En la zona de estudio constituyen principalmente los suelos de bosques nebulosos y de cafetales. En la conservación de biodiversidad, paisajes, áreas frágiles, no se permite ningún tipo de actividad que pueda generar perturbación a los ecosistemas.

#### **7.12.2.9 Dinámica poblacional**

Durante las dos últimas décadas la zona de la subcuenca del río Acahuapa ha tenido un movimiento poblacional muy dinámico. La tendencia poblacional es la emigración, observándose una disminución en la población rural y un aumento en la población urbana, esto debido a las limitadas condiciones económicas y sociales en la zona. En el cuadro 2 se observa la población según el último censo estadístico oficial del 2007.

### **7.12.3 Infraestructuras y servicios**

#### **7.12.3.1 Centros educativos**

Esfuerzos del MINED, FISDL, municipalidades y comunidades, han hecho posible que exista infraestructura, equipamientos y servicios de educación media. El Diagnóstico Social

del Plan de Desarrollo del departamento de San Vicente, reporta que el municipio de Verapaz cuenta con el Instituto de Educación Media de Verapaz (INVE) y Guadalupe con el Instituto Nacional “Santiago Echevoyen”, San Cayetano Istepeque y Tepetitán cuentan con un Complejo Educativo.

La cobertura del servicio escolar, el bajo rendimiento profesional docente (maltrato infantil, alcoholismo y ausencias injustificadas), ausentismo escolar, distancia de los centros escolares con relación a los asentamientos y la migración, constituyen las principales limitantes socioeconómicas recurrentes que afrontan las familias del territorio.

El Centro de Educación Superior más próximo al territorio en estudio es la Facultad Multidisciplinaria Paracentral de la Universidad de El Salvador (FMP-UES), la cual ofrece las carreras profesionales de: Ingeniería Agronómica y Agroindustrial, Ingeniería en Sistemas Informáticos, Licenciatura en Contaduría Pública, Profesorados en Educación Básica para Primeros y Segundos Ciclos, Profesorado en Ciencias Naturales para Tercer Ciclo de Educación Básica y Educación Media, Profesorado en Matemáticas para Tercer Ciclo de Educación Básica y Educación Media, Profesorado en Educación Universitaria y el Profesorado en Idioma Inglés.

#### **7.12.3.2 Centros de salud**

El Ministerio de Salud (MINSAL) tiene instalado un Sistema Básico de Salud Integral (SIBASI) con sede en el Hospital Santa Gertrudis, ubicado en la ciudad de San Vicente. Sin embargo, a pesar de las nuevas instalaciones del mismo su equipamiento es mínimo.

Entre las enfermedades más recurrentes a nivel departamental destacan: gripe, diarrea, dolor de cabeza, calenturas, dengue, tos, paludismo, desnutrición, artritis y bronquitis, la mayoría de ellas relacionadas a problemas de contaminación ambiental y pobreza.

#### **7.12.3.3 Energía eléctrica**

El río Lempa es el recurso hídrico utilizado para la generación de energía hidroeléctrica. En el país la institución encargada de la producción y distribución de la misma es la Comisión

Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa CEL, la cual fue creada por Decreto Ejecutivo del 3 de Octubre de 1945. Inicialmente en la década de los cincuenta, la CEL producía y distribuía también energía eléctrica a partir de generadores Diesel o geotérmicos, actualmente solo produce energía hidroeléctrica y comercializa a empresas privadas que distribuyen la energía en baja tensión para uso doméstico, comercial e industrial.

A lo largo del cauce del río Lempa en el territorio salvadoreño se encuentran distribuidas cuatro centrales hidroeléctricas: Guajoyo, Cerrón Grande, 15 de Septiembre y 5 de Noviembre, las cuales han modificado su cauce y paisaje natural para efectos de embalsamiento de las aguas. Entre estas centrales hidroeléctricas, es la Central Hidroeléctrica 15 de Septiembre (ubicada al Este del municipio de San Ildefonso), la que destaca por su capacidad de producción. Además ha iniciado el proyecto de la geotérmica del volcán de San Vicente, ubicada en el municipio de Tepetitán.

#### **7.12.3.4 Servicios de telecomunicaciones**

El servicio de comunicación por telefonía celular y domiciliar se concentra principalmente en los cascos urbanos de los diferentes municipios del departamento; sin embargo, la cobertura celular es la de mayor predominancia en el territorio de la cuenca.

Por otra parte, el acceso al internet se encuentra disponible principalmente en los centros urbanos de los municipios de la subcuenca del Acahuapa, aunque con las nuevas innovaciones en la telefonía celular la cobertura llega a familias de las zonas rurales.

#### **7.12.3.5 Vías de comunicación y transporte**

Las vías de comunicación principales de la subcuenca del Acahuapa son:

-Carretera Panamericana (CA-1) con cuatro carriles, enlazando principalmente con el Área Metropolitana de San Salvador, zona Central y Oriental del país.

-Carretera Zacatecoluca–Tecoluca-San Vicente: compuesta de dos carriles con dirección norte-sur.

-En los municipios destacan calles adoquinadas, empedradas y balastreadas.

-Línea Férrea FENADESAL (actualmente fuera de operación).

-Calles intermunicipales: compuestas de uno a dos carriles, en su mayoría de asfalto.

#### **7.12.3.6 Sistema y cobertura de agua**

En los diferentes asentamientos humanos de la subcuenca, el 95% de la población se abastece por medio de pozos perforados, los cuales están equipados con sistemas eléctricos de bombeo y bombas artesanales para la extracción del agua. Los sistemas de abastecimiento de agua de la zona son administrados por las comunidades, pero actualmente destaca la organización de las Juntas de Agua (integradas por beneficiarios) en la gestión de los mismos.

En las condiciones de saneamiento relacionadas con la disposición de excretas y aguas servidas, las viviendas cuentan con letrinas mayoritariamente de hoyo seco. La disposición de aguas servidas es un problema que genera contaminación y problemas de insalubridad. Aunado a la contaminación por excretas destacan los botaderos inadecuados de desechos sólidos, cuya incidencia impacta en infecciones de índole intestinal en el departamento.

A pesar de los programas de desparasitación y combate a la desnutrición, el problema se vuelve complejo debido a que la población infantil es la más afectada por la incidencia de episodios diarreicos generados por el ciclo de ingesta del agua contaminada con heces de origen antropogénico.

#### **7.12.3.7 Sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos**

En la zona de estudio el 30% de viviendas no cuentan con recolección ni tratamiento de desechos sólidos. La población rural recurre a la incineración como medida de disposición final de desechos, o en su defecto la acumulación o enterramiento de la misma en áreas destinadas para uso de patios caseros.

## **7.12.4 Rasgos biofísicos**

### **7.12.4.1 Tipos de suelos**

Tres unidades geológicas fueron identificadas durante las visitas de campo y las actividades de muestreo hidrogeológico, tal como se describe a continuación:

-Piroclástitas de edad holocénica atribuibles a la actividad explosiva de la Caldera de Ilopango.

-Coladas andesíticas-basálticas y productos piroclásticos principalmente pleistocénicas del volcán de San Vicente.

-Aglomeraciones, lahares y tobas con intercalaciones lávicas pertenecientes a la caldera pliocénica de Chinchontepec. El significado de esta “pertenencia” queda sin embargo poco claro.

### **7.12.4.2 Capacidad de uso de la tierra**

El estudio agrológico o de capacidad de uso de la tierra es en realidad un estudio interpretativo del comportamiento productivo que se espera de un suelo, deducido a partir de la influencia que ejerce cada uno de los factores introducidos en el análisis. El potencial de uso agrícola viene definido por ocho categorías agrológicas establecidas por la USDA. Estas clases de suelo son el resultado de las interacciones existentes entre los diferentes componentes de clima, características de los suelos, topografía y toda una serie de factores que han llevado a estas definiciones, lo que a fin de cuentas se espera del comportamiento de ellos (Barahona et.al).

La clasificación de la tierra por su capacidad de uso en el área de estudio se encuentra descrita en el anexo 17, en la que se representa además la ubicación espacial de las mismas. En las últimas décadas se ha utilizado aproximadamente un tercio de la superficie del departamento para fines agrícolas, oscilando entre 46 mil mz (32,167.83 ha) y 60 mil mz (41,958.04 ha). Las otras dos terceras partes son área natural, pastos, matorrales y bosques secundarios.

A mediados de los años 90 se observó un incremento de las áreas de siembra de granos básicos (maíz y sobre todo frijol). Este hecho probablemente guarda relación con la adjudicación de tierras a desmovilizados y con el repoblamiento de áreas rurales, así como la valoración del frijol como rubro comercial. Contrariamente, el área tradicionalmente utilizada para el cultivo del arroz experimentó una disminución espacial, debido a la competencia del arroz importado. El área de algodón desapareció por completo. Bajo influencia de la crisis de los precios del café, el área tiende a disminuirse. Las áreas de siembra de caña de azúcar se incrementaron, siguiendo esta tendencia a nivel de país.

#### **7.12.5 Propuesta de áreas temáticas para la formulación de un Programa de Manejo del Recurso Hídrico de la subcuenca del río Acahuapa.**

El manejo de los recursos hídricos de la subcuenca del río Acahuapa incluye de forma directa a cinco municipios Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque, San Vicente y Apastepeque. Por tanto, la propuesta está dirigida a los actores locales que intervienen en la zona de estudio y está dividido en programas que se describen a continuación.

##### **7.12.5.1 Objetivos del manejo del recurso hídrico**

- Asegurar en el tiempo el manejo sostenible del recurso hídrico para el mejoramiento de la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones de la subcuenca del río Acahuapa.
- Proponer el programa de manejo de recursos hídricos a los actores locales del territorio a través de una exposición en espacios de decisión.
- Proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas subterráneas de la subcuenca debido a la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos.

## **7.12.6 Programa de protección del acuífero y contribución al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes**

### **7.12.6.1 Propuesta de manejo de las fuentes de agua (pozos)**

En la zona de estudio el agua subterránea constituye la única fuente de abastecimiento de agua que suple las necesidades de consumo hídrico de los distintos asentamientos humanos.

Dada las características físicas propias de los pozos excavados (gran diámetro y altura de brocal), es común observar problemas de salubridad de sus aguas debido al acceso directo y no restrictivo de contaminantes externos a través de su entrada superior y relativa proximidad con la superficie del terreno. De lo anterior se detalla a continuación una serie de medidas sanitarias direccionadas a la reducción de la vulnerabilidad de los mismos:

-Todo pozo excavado deberá poseer un sello superior a manera de cubierta de madera o concreto para su protección del ingreso de agentes contaminantes externos así como del contacto directo de agua lluvia durante los eventos de precipitación de la época lluviosa.

-Bajo ninguna circunstancia estas infraestructuras podrán ser utilizadas como botaderos de basura o cualquier otro tipo de desecho sólido.

-Es de vital importancia que los pozos cuenten con una bomba para extraer agua, ya sea artesanal o convencional eléctrica, esto permitirá que se facilite la extracción de agua y reducirá el peligro de contaminación.

-Los pozos deben ubicarse en un radio mínimo de 5 metros aguas arriba de letrinas, lavaderos, viviendas y corrales de animales, para evitar contaminación directa del acuífero.

-En trabajos de carácter agrícola e industrial será importante no verter líquidos contaminantes procedentes de herramientas o equipos lubricados con aceites en un radio de 5 metros del broquel del pozo.

#### **7.12.6.2 Propuesta de manejo de las aguas residuales (aguas grises)**

En la zona de estudio uno de los problemas de mayor impacto en la salud comunitaria es el frágil o nulo saneamiento ambiental existente, donde está incluida la falta de un sistema de manejo de aguas residuales que provienen principalmente del lavado de ropa, agua de baño y lavado de actividades de cocina, por lo que se propone manejarlo en un sistema que se describe a continuación:

#### **7.12.6.3 Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**

La propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) consiste en un conjunto de unidades conocido en el medio como “Filtros Percoladores”, es decir, que el proceso biológico que se desarrolla al interior del filtro generará las condiciones de degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de tipo doméstico, además de otros procesos físicos como separación de grasas, arenas, sedimentación, digestión, estabilización y deshidratación de lodos, entre otros, los cuales son complementarios y ayudan a la separación de las aguas residuales en dos fases o sub productos: por un lado la fase líquida o agua tratada, y por otro la fase sólida o lodo mejorador del suelo, con alto contenido de nutrientes para el desarrollo de actividades agroforestales (anexo 18).

Una de las principales ventajas del proceso de tratamiento es que se desarrollará por gravedad, es decir, que el flujo de unidad a unidad no requiere de equipos electromecánicos ni de otro tipo, sino que la naturaleza nos ayuda en todo sentido, pudiendo mencionar entre otras bondades: procesos biológicos de descomposición de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, devolviendo a la naturaleza diversos sub productos que pueden tener un rehúso, como por ejemplo: lodos deshidratados como mejorador de suelo y aguas tratadas que pueden reusarse para fines de riego agrícola.

Como tecnología apropiada en la depuración de aguas residuales, este tipo de planta aplica y puede ser retomada para implementarla en otras zonas que necesiten tomar acciones concretas en beneficio de la salud de la población y el medio ambiente.

Un aspecto importante y digno de destacar es la ornamentación y ambientación de las unidades de tratamiento, ya que le dan otro aspecto y hacen más agradable la estadía en el sitio.

#### **7.12.6.4 Propuesta de manejo de excretas (heces)**

La disposición final de excretas constituye una de las actividades antrópicas de mayor contaminación de los recursos hídricos, ya sea por contacto directo (descargas puntuales de aguas negras sin tratar sobre cuerpos de agua como ríos, lagos o humedales) o indirecto (por abyección o transporte del flujo del agua subterránea a través de la matriz suelo). En el área de estudio el saneamiento ambiental es un factor determinante en la calidad del agua tanto superficial como subterránea. Este hecho se observa de acuerdo a los análisis de resultados de las muestras de agua con evidencia de contaminación, principalmente por coliformes totales y coliformes fecales. Lo anterior tiene estrecha relación con las características hidrogeológicas particulares del área de estudio, tales como:

-La geología está compuesta principalmente por materiales granulares no consolidados de manera de aluviones de alta permeabilidad, de origen volcánico.

-Los niveles freáticos de las aguas subterráneas observados durante la época seca el máximo fue de 4 m y en la lluviosa de 16 m de profundidad.

-No se cuenta con alcantarillado sanitario y algunas familias no cuentan con letrinas adecuadas para su tratamiento.

-El acuífero del área de estudio presenta una extrema vulnerabilidad intrínseca, que se refiere a la sensibilidad de ser adversamente afectado por una carga contaminante antrópica.

A continuación se mencionan las regulaciones que se deben tomar en cuenta para la protección del acuífero en el futuro:

-No se debe permitir la construcción de servicios de fosas (fosas sépticas de ningún tipo), debido a las características vulnerables intrínsecas, porque son una fuente de contaminación directa al acuífero.

-No se puede permitir la descarga directa de aguas residuales a los ríos, por el impacto de esta agua al ecosistema.

-Se debe proporcionar un manejo adecuado del estiércol y la orina del ganado vacuno, porcino, caballar y aves de corral.

-Únicamente debe permitirse en la zona de estudio la letrina abonera seca familiar. Esta letrina funciona separando la orina de las heces, luego se le proporciona un tratamiento sencillo y adecuado, los desechos pierden su aspecto y olor original convirtiéndose en productos útiles (anexo 19).

La letrina está compuesta por dos tazas especiales, estas pueden ser de cemento o plásticas (con separación para heces y orina), las heces caen en dos cámaras o recipientes de concreto con ventanas para extraer el material ya descompuesto, estas se usan alternándolas, es decir, cuando una se llena se deja reposar mientras se descompone el material y se utiliza la otra. La orina cae a un filtro de arena y grava con presencia de oxígeno para reducir el nitrógeno y por ende la contaminación al acuífero. Esta letrina cuenta con paredes y techo. Además, debe tener una tubería que esté conectada a las cámaras, la cual funciona como extractor de gases y aireador de las cámaras (USAID, 1999); uno de los factores más importantes con este tipo de letrinas es el manejo y mantenimiento, porque un manejo inadecuado puede ocasionar una serie de problemas higiénicos y de salud en la familia. El manejo de la letrina consiste en:

- Mantener tapada la letrina todo el tiempo.

-Depositarse los papeles dentro de la cámara para que se descompongan junto con las heces.

-Cada vez que se hagan las necesidades fisiológicas será necesario cubrirlas con material secante ( $\pm 1$  kg). Este material puede estar compuesto por 70% de tierra seca y 30% de cal ó 70% de tierra seca y 30% de ceniza.

-Se debe tener cuidado de no obstaculizar con el material secante la tubería de la orina.

-Cuando una de las cámaras ya esté llena se debe cubrir con tierra y dejar reposar por seis meses, entonces se debe utilizar la otra cámara.

-Después de seis meses de reposo se puede sacar el material, este no tiene ningún olor y su textura es de tierra, este material puede ser utilizado sin problema en plantas ornamentales, huertos y otras.

#### **7.12.7 Manejo de desechos sólidos**

Los desechos sólidos son el resultado de actividades de los seres vivos, quienes son los únicos que producen desechos de difícil degradación o descomposición.

El sistema de recolección de desechos sólidos y su tratamiento en los municipios de la subcuenca del río Acahuapa, es realizado solamente en las zonas urbanas. Y en el caso de los desechos orgánicos, es realizado en una Planta de Tratamiento de Desechos Orgánicos construida con apoyo del MARN, que se encuentra ubicada en el municipio de San Cayetano Istepeque, departamento de San Vicente.

El manejo de los desechos sólidos de origen no orgánico se realiza con la recolección y disposición final en rellenos sanitarios, los cuales son servicios privados que ofrece la empresa Manejo Integral de Desechos Sólidos (MIDES), ubicada en el departamento de San Salvador, en condiciones de acuerdo a lo establecido en la legislación ambiental.

Respecto a la problemática de la contaminación por el mal manejo de desechos sólidos, en el área de estudio se observa lo siguiente:

-Se limpia la ciudad pero se contamina lo rural.

-Botaderos en carreteras y sin tratamiento.

-Trabajadores del tren de aseo no realizan bien su trabajo.

-A pesar de los esfuerzos de la microrregión en la gestión para la construcción de rellenos sanitarios, aún no hay resultados.

-Quema de cañales, bosques y rastrojos.

#### **7.12.7.1 Propuesta para el manejo de los desechos sólidos**

- **Educación ambiental**

La educación es la base fundamental para la búsqueda de resolver el problema de los desechos sólidos, la cual debe estar dirigida al núcleo familiar y con carácter participativo de equidad de género. Para ello será necesario que el manejo de los desechos sólidos sea parte de un ciclo participativo al seno del hogar y que éste se extienda a escala comunitaria, para una correcta disposición final de acuerdo a estándares, lineamientos y regulaciones correspondientes a lo establecido en el marco ambiental del territorio nacional.

- **Desarrollo del programa**

Este eje consiste en trabajar con la población y realizar las gestiones para garantizar la participación en el manejo de los desechos sólidos que consiste una propuesta de educación formal e informal sobre aspectos relacionados con la gestión de los desechos sólidos. También, se trabajará en el proceso de tratamiento directo. Con respecto al ciclo del tratamiento de los desechos sólidos, deberá realizarse considerando las siguientes etapas:

-La generación: es una actividad humana inevitable, normalmente son materiales sin valor para las personas.

-Almacenamiento: esta actividad consiste en una disposición temporal de los desechos en el lugar de generación. En esta etapa debe de existir un almacenamiento en recipientes

separados, uno para desechos orgánicos (putrescibles) y otro para desechos inorgánicos (putrescibles a largo plazo).

-Recolección: en la zona de estudio debe de iniciarse un sistema de recolección de desechos separada, es decir, recolección de desechos orgánicos separados de los desechos inorgánicos.

-Transporte: mecanismo para conducir los desechos del lugar de generación al lugar de tratamiento o disposición final.

-Procesamiento: técnica o conjunto de técnicas para recuperar desechos sólidos. En la zona aproximadamente el 80% de los desechos sólidos son orgánicos, por lo tanto estos pueden ser procesados por medio de compostaje para convertirlos en compost (mejorador de suelos) y pueden ser utilizados en actividades agrícolas. El compostaje puede hacerse dentro de la zona de estudio solamente si se preparan las condiciones ingenieriles del subsuelo, tomando en cuenta la proximidad de la superficie con los niveles freáticos de las aguas subterráneas. Si el compostaje no se hace adecuadamente se puede convertir en un problema grave de contaminación al ambiente pero principalmente al acuífero. La solución más segura es que el tratamiento a los desechos orgánicos se haga fuera de la zona de estudio.

-Disposición final: se refiere al destino final de aquellos desechos sólidos que conocemos como basura. De los desechos generados en la zona de estudio solamente el 20% pueden ser destinados a disposición final, el cual representa aproximadamente 0,71 toneladas diarias. Para este trabajo será necesario contar con el adecuado medio de transporte para su recolección, estos deben ser llevados y depositados en un relleno sanitario que cumpla con las normas técnicas propuestas en la ley del medio ambiente.

## •Seguimiento al programa

Este eje es fundamental para que la población se apropie del programa de desechos sólidos. El seguimiento consiste en acompañar a la población en todo el proceso. El objetivo final es lograr que la población pueda hacer que el programa funcione y sea sostenible.

### **7.12.8 Procesos para la implementación del plan de manejo de los recursos hídricos**

#### **7.12.8.1 Organización y mecanismos de coordinación**

La organización es un elemento importante para el éxito del plan de manejo, en cuanto mejor sea la organización, mayor es el trabajo que se puede realizar. La organización también facilitará el monitoreo y evaluación de los avances en el cumplimiento del plan.

La coordinación es otro factor fundamental para la apertura, desarrollo y seguimiento del plan, la cual deberá realizarse con los actores locales (beneficiarios del plan), autoridades estatales (municipalidades y gobierno central), organizaciones no gubernamentales, organismos sectoriales y organizaciones internacionales. Es determinante que la coordinación esté dirigida a cumplir los objetivos del plan.

#### **7.12.8.2 Estrategias y mecanismos financieros**

Un factor determinante en cualquier plan es la gestión de los recursos financieros, ya que gran parte del éxito de este plan dependerá de la capacidad de gestión de los habitantes del área de estudio, de las municipalidades, los organismos no gubernamentales.

La estrategia de los habitantes del área de estudio debe estar dirigida a establecer vínculos de coordinación con entidades gubernamentales, no gubernamentales e internacionales, para la consecución de recursos económicos para financiar el plan de manejo. En estos casos será determinante el liderazgo de los habitantes del área de estudio.

### **7.12.8.3 Aspectos organizativos especiales para la ejecución de la propuesta de gestión de recursos hídricos**

La organización, administración y coordinación para la ejecución de la propuesta, será responsabilidad de las instituciones gubernamentales, no gubernamentales y la organización comunitaria de la zona. Tendrán bajo su responsabilidad la administración de los fondos y la adquisición de los bienes y servicios; asimismo, y considerando la naturaleza de la propuesta, coordinarán con otras instancias involucradas en cada uno de los componentes para ejecutar las acciones operativas de campo, a su vez brindará apoyo técnico y logístico en la ejecución física.

Se constituirá un equipo de apoyo técnico interinstitucional, conformado por el coordinador de la propuesta, los coordinadores de los componentes que serán contratados y coordinadores de subcomponentes, quienes se reunirán mensualmente y en reuniones extraordinarias según la necesidad. El equipo tendrá la función principal de discutir aspectos técnicos, financieros y operativos a efecto de apoyar al coordinador en la toma de decisiones, principalmente en aquellas actividades que se realizan en forma conjunta.

### **7.12.8.4 Actividades que contendrá el plan de intervención**

Para la implementación de las actividades de la propuesta se plantea una estrecha coordinación entre las municipalidades, las organizaciones comunitarias y organizaciones no gubernamentales, de tal forma que en donde sea posible se intervenga complementariamente, en las mismas áreas.

Identificación de intervención elaborando mapas temáticos de los territorios, que permita a cada gobierno local desde la perspectiva de la gestión de recursos hídricos, a las comunidades y otros usuarios conocer los riesgos y los posibles impactos en el mal uso de los recursos. Además se ejecutarán medidas estructurales para disminuir algunos costos indicativos, de igual forma para las obras especializadas.

Se desarrollaran acciones encaminadas a contribuir al buen manejo y cuidado de los recursos hídricos de la subcuenca del río Acahuapa, iniciando con la formación en el tema de los recursos naturales, hidrología, hidrogeología, organización, gestión y otros. Asimismo se buscara el fortalecimiento de las experiencias exitosas existentes.

## **VIII. Conclusiones**

- La caracterización hidrogeoquímica, discrimina la existencia de un acuífero superficial que se ubica en el área de estudio, este acuífero está constituido por piroclastos y material de origen volcánico sedimentarios, que constituyen un acuífero poroso.
- Se identificaron dos tipos de aguas, confirmadas por el análisis con los gráficos de Piper, en los que predominan bicarbonatadas magnésicas y cálcicas -bicarbonatadas.
- El balance de masa hídrico superficial, presenta valores de recarga potencial observados en el cambio de almacenamiento, indicando que se está ante la presencia de un excedente, y la existencia de un buen potencial en cuanto a la recarga del agua subterránea.
- Existe el riesgo de salinización de los suelos al emplear las aguas bicarbonatadas en el riego de los cultivos.
- La información colectada permite tener los datos para fortalecer la línea base de información hidrogeológica, que facilitará realizar un manejo integrado de los recursos hídricos, específicamente de las aguas subterráneas.

## **IX. Recomendaciones**

- Realizar estudios de prospección geológica a una escala mayor a la definida en el mapa geológico 1:100,000, en cortes de perfiles de pozos de abastecimiento domiciliar durante la excavación y perforación de los mismos, para definir los materiales del acuífero regional identificado.
- Para definir las zonas de recarga del acuífero identificado, es necesario realizar un estudio hidrogeológico que incluya la hidrología isotópica, con el fin de determinar las características isotópicas relacionadas con el comportamiento del flujo de las huellas de aguas precipitadas.
- Desarrollar una cartografía hidrogeológica a mayor escala (1:50,000), de manera que sea congruente con objetivos de uso del territorio a detalle.
- La vulnerabilidad del acuífero es una condición natural, sin embargo, es necesario ejecutar el plan que se propone en esta investigación para proteger, conservar, reducir el impacto a la polución por parte de actividades antropogénicas inherentes al desarrollo del área de la cuenca.
- Será determinante que el estudio llegue a la red de municipalidades del valle de Jiboa, ONGs que desarrollan proyecto y otras instituciones, que se encuentran dentro del territorio de la subcuenca del río Acahuapa. Con el fin de que sirva como una herramienta para la elaboración de programas o proyectos para un manejo sostenible de los recursos hídricos.

## **X. Bibliografía**

- Alvarado, NA; Hernández, LF. 2000. Plan de Manejo Integral de la microcuenca del río Amatitán, en los municipios de San Esteban Catarina y Santa Clara, San Vicente, El Salvador. 13 p.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SV); COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, CH). 2008. Mapa hidrogeológico de la república de El Salvador. San Salvador, El Salvador, C. A. Esc. 1:100,000. color.
- Balek, J. 1989. Developments in water science. Editorial ELSERVIER. Checoslovaquia. 247 p.
- Barahona, RE; Aguilar, OE; Ochoa, SA. 2007. Análisis de Amenazas Potenciales para la Prevención de Desastres Naturales en la Subcuenca del Río Acahuapa. Tesis Ing. Agr. San Vicente. El Salvador, UES-FMP. 128 p.
- Bates, R, & Jackson, J. 1987. Glossary of geology. Second edition. American Geological Institute, Virginia. USA. 803 p.
- Baxter, S. 1984. Léxico Estratigráfico de El Salvador. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). El Salvador. 108 p.
- Bouwer, H. 1978. Groundwater hydrology. Editorial McGraw Hill, New York, Estados Unidos. 497 p.
- CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, SV). 1995. Estudio de factibilidad del Campo Geotérmico de San Vicente, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 30 p.
- \_\_\_\_\_. 1976. Estado de los estudios en los campos de Chinameca, Berlin, San Vicente. División de Recursos Geotérmicos. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 50 p.
- \_\_\_\_\_. 1992. Informe de prefactibilidad del campo geotérmico de San Vicente, Gerencia de GEOCEL Superintendencia de Explotación y Evaluación de Campos Departamento de Exploración Geotérmica. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 71 p.
- \_\_\_\_\_. 1993. Proyecto factibilidad geotérmica del área de San Vicente. Superintendencia Proyectos Geotermoelectricos. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 60 p.
- \_\_\_\_\_. 1995. Campo Geotermico de San Vicente. Informe de Investigación Geocientífico. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 40 p.

- \_\_\_\_\_. 1977. Estudio de prefactibilidad proyecto geotérmico de San Vicente, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 56 p.
- Corey, A. 1994. Mechanics of immiscible fluids in porous medio. Water Resources Publications. Colorado. USA. 267 p.
- Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrogeología Subterránea (Vol. I). Omega S.A. Barcelona, España. 97 p.
- Davis, S & DeWiest, R. 1966. Hydrogeology. Krieger Publishing Company Krieger Drive. Florida USA. 478 p.
- DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos, SV). 2008. Censos Nacionales VI de Población y V de Vivienda 2007 de El Salvador. Ministerio de Economía, El Salvador. 576 p.
- Drever, J. 1997. The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. Prentice Hall. USA. 456 p.
- Faustino, J. 2003. Manejo de Cuencas con Enfoque en la Prevención de Desastres Naturales. CATIE. San Salvador, El Salvador. p 1-10.
- Faustino, J. 2004. Manual de Cuencas. World Vision, San Salvador, El Salvador. 154 p.
- Flores, OA; Handal, S; Ochoa, L. 2003. Diagnóstico de la Diversidad Biológica de El Salvador. REDMESO/SER. México, D.F. 105-147 p.
- Freeze, RA; Cherry, JA. 1979. Groundwater. United States of America: Prentice Hall, Inc. 626 p.
- Guzmán, PA. 1984. Levantamiento General de Suelos de la República de El Salvador; Cuadrante 2457-IV San Vicente, Nueva San Salvador, El Salvador. Dirección General de Investigaciones Agronómicas. ESC. 1:50,000. Color.
- Hudak, P. 2000. Principles of hydrogeology. Second edition. Lewis Publishers, New York. USA. 219 p.
- Keith, DT. 1973. Hidrología (aguas subterráneas). Editorial PARANINFO, Madrid, España. 400 p.
- Kiely, G. 1999. Ingeniería Ambiental: fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. Editorial McGraw Hill. Madrid. España. 500 p.
- LAGEO (Geotérmica Salvadoreña, SV). 2010. Datos geoquímicos del proyecto San Vicente INC. El Salvador. 10 p.
- \_\_\_\_\_. s.f. Descripción litológica pozos de San Vicente. El Salvador. 50 p.

- Losilla, M; Rodríguez, H; Schosinsky, G; Stimson, J y Bethune, D. 2001. Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 40 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2003. Mapas de Recurso Hidrográficas, (en línea), San Salvador, SV. Consultado jueves 27 de noviembre del 2012. Disponible en <http://www.medioambiente@marn.gob.sv>
- \_\_\_\_\_. 2003. El Salvador-Perfil Ambiental Estudio de Campo. 135 p.
- Mazzoleni, G. 1995. Informe preliminar de geología-geovulcanología del área del volcán de San Vicente y del sector adyacente de Apastepeque. El Salvador. 16 p.
- PNOTD (Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, SV). 2003. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y del Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, del Ministerio de Obras Públicas. El Salvador, Centroamérica. 250 p.
- Pulido, JL. 1978. Hidrogeología práctica. URMO, S.A. Balboa, España. 200 p.
- Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la Infiltración con base en la lluvia mensual. Rev. Geol. América Central, CR. 55 p.
- Sheng, TC. 1985. Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Guía. FAO. (Conservación). No 13 p.
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 2005. Informe Mensual de Monitoreo Volcánico, Abril 2005. Informe de Monitoreo del Volcán de San Vicente, (en línea). El Salvador. Consultado 2 de Julio de 2007. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/geologia/monitoreo-php?id-volcan=19>
- \_\_\_\_\_. 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador, Componente Evaluación de Recursos Hídricos. San Salvador, El Salvador. 109 p.
- Todd, DK. 1980. Groundwater Hydrology. Second edition. University of California, Berkeley and Consulting Engineers. USA. 554 p.
- USAID. 1999. Manejo de las cuencas hidrográficas para la reconstrucción después de los huracanes y reducción de la vulnerabilidad ante los desastres naturales. Contribución de USAID a los debates sobre vulnerabilidad ecológica y social. Grupo Consultivo para la Reconstrucción y Transformación de América Central. Estocolmo, Sweden. 80 .p.
- Vector Colorado, L. 2004. Technical Memorandum: Description of the Environment—Hydrogeology (Memorando Técnico: Descripción del Medioambiente—Hidrología); preparado por Larry Breckenridge para Frederick Earnest. El Salvador. 30 p.

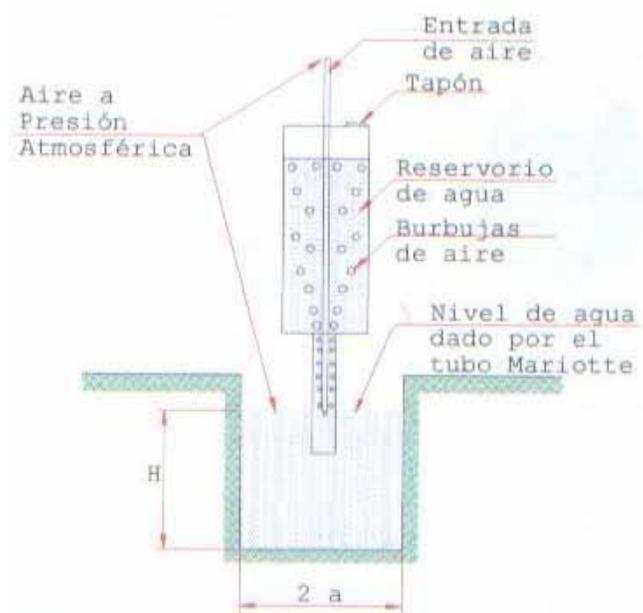
- Zilioli, E. 1995. Fotogeología del volcán de San Vicente y sus alrededores, en la república de El Salvador, América Central. El Salvador. 4 p.

## XI. Anexos

Anexo 1. Permeámetro utilizado para realizar medidas de infiltración en el área de estudio.



Anexo 2. Esquema del Permeámetro de Guelph basado en el tubo de Mariotte.



Anexo 3. Información geoquímica de la Geotérmica Salvadoreña.

Fuente	X	Y	h	TEMP.	CONDOC.	pH	Na	K	Ca	Mg	HCO3	SO4	Cl
F-204	525540	275850		25.3	202	7.4	12.4	2.9	15	8	108	9	3.9
F-205 A	526250	278475		28.4	201	6.4	19.5	3	16.7	7.4	134	5.63	4.15
F-219	528900	273400		24.7	206	6.7	15.6	3.7	15.4	6.8	124	1.92	3.45
F-220	525025	273950		25.8	224	6.7	12.2	2.7	17.4	8.9	109	10.9	4.83
F-220 B	525125	274000		26.5	282	7.2	13.6	3.1	24	10.7	116	24.9	5.33
F-238	525550	280300		30.4	246	6.6	19.3	4	18.7	10.3	158	4.18	3.84
F-239	524850	279950		30.8	245	6.6	19.3	4.1	18.3	10.5	155	3.89	4.35
F-243	523775	279650		30.6	376	6.4	30.6	5.8	30	15	184	17.2	14.6
F-244	523950	279760		28.9	472	6.4	35.5	6.6	36.9	17.2	193.23	58.8	8.15
F-246	524450	279775		28.2	425	6.7	31.4	5.8	35.1	15.4	164	56.3	10.1
F-247	524525	279900		28.0	483	6.5	36.4	6	40.8	18.5	187	39.3	20.1
F-254 B	524240	280900		31.3	485	6.5	26.1	5.8	41.4	20.1	208	10.2	21
F-295	526650	280300		30.7	290	6.7	23.9	3.6	21.3	12	182	4.98	3.56
F-400	527050	285500		27.7	176	8.5	6.7	5.8	16.2	10.6	115	1.28	3.51
P-83	523950	275275		27.4	201	6.7	104	3.7	15.5	7.4	108.77	3.36	3.94
P-85	524175	275225		26.9	278	6.7	13.9	5.4	21.1	10.2	114.41	6.85	13.36
P-400	527500	286000		27.3	247	6.2	11	3.1	23.5	10.3	144	1.49	10.3
L-01	527876	285921	513	30.5	223.0	9.19	21.2	8.2	13.8	11.6	121.72	2.1	7.1
F-601	527574	284995	508	26.4	405.0	6.90	22.6	7.1	39.2	19	166.39	55.5	8.65

F-607	532295	282036	401	26.9	168.3	6.90	11.3	2.8	15.1	4.7	64.19	9.05	4.4
F-608	533707	282005	395	26.1	182.8	6.18	15.3	6.52	12.4	3.5	35.88	18.4	3
F-609	533737	281942	339	25.4	139.2	6.15	15.2	6.86	6.8	2.2	41.73	10.6	4.1
F-610	533826	281317	334	28.2	264.0	6.70	19.2	9.15	22.2	7.1	129.66	5.5	12.5
F-620	535457	278013	31	31.7	236.0	7.37	15.6	3.6	23.5	9.1	140.46	3.62	3.5
F-621	535463	278111	189	28.0	255.0	7.57	18.6	2.2	25.6	10.1	141.92	7.81	2.2
F-624	538110	273562	22	30.3	342.0	7.08	22.4	5.37	34.3	12.2	174.93	8.01	10.63
F-625	538165	274073	22	33.9	259.0	7.24	19.3	4.92	25	9	154.43	2.68	3
F-628	535517	271665	40	32.3	287.0	7.44	19.2	6.15	28.8	9.5	160.47	5	7.2
F-644	537245	272757	17	29.4	252.0	6.98	16.3	4.09	27.8	9.5	145.52	3.8	2.5
F-645	535926	271411	19	29.6	272.0	7.26	16.8	4.37	39.4	10.5	164.74	2.69	2.3
F-646	535575	272325	68	32.6	303.0	7.40	15.7	10	35	10.8	173.59	3	5.81
F-649	536122	272394	64	29.4	291.0	7.19	17.4	3.73	37.1	11.1	176.7	5.2	2.5
F-654	529601	272644	398	25.6	180.8	7.12	15.3	2.03	16.2	6.5	106.29	2	1.8
F-656	532276	285203	433	24.2	215.0	6.71	14.2	4.35	29.5	5.3	118.25	5.2	5
F-658	532506	284322	399	25.7	142.6	6.26	12.2	4.68	20.5	3.3	51.68	8.5	3.9
F-659	532557	284313	399	27.7	143.9	6.68	14.2	3.76	16.6	3.3	80.79	5.5	2.9
F-671	524140	273879	472	26.4	229.0	6.68	11	2.71	16.38	7.6	100.55	5.8	2.5
F-674	525102	273880	417	27.8	231.0	6.40	11.9	3.46	18.97	8.4	80.36	20.1	3.6
F-675	524770	275294	425	27.6	260.0	6.59	14.9	3.62	21.97	9.2	116.17	21.8	9.3
F-676	525431	275602	406	29.0	280.0	7.06	18.4	4.44	19.84	11.9	143.51	16	8.4
F-677	525821	275848	369	28.1	306.0	6.68	17.8	5.52	25.87	11.7	140.4	20.4	12.9
F-678	523171	281622	388	25.2	197.7	6.94	14.5	1.65	16.56	6.9	90.3	12.6	2.4

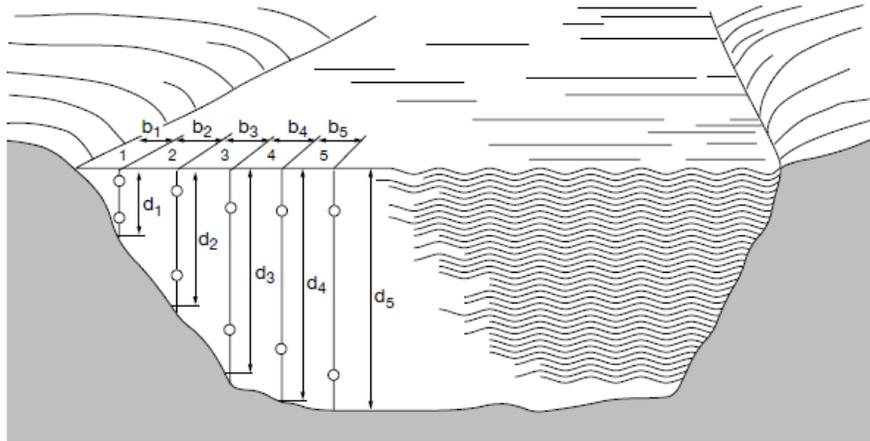
F-679	523352	281377	478	26.3	219.0	6.91	25.1	1.53	17.74	5.1	169.08	28	4
F-680	523231	281254	417	23.6	332.0	6.92	34.7	1.56	26.84	12.5	98.72	12.9	1.9
F-681	523682	281408	420	26.2	216.0	7.77	20.3	1.21	17.58	6.6	85.85	19.8	2.4
F-682	523651	282668	589	26.1	233.0	6.09	28.2	2.07	24.36	8.1	76.88	37.3	1.4
F-683	529303	280154	302	33.1	268.0	6.93	17.8	3.84	24.25	11.5	171.45	11.2	1.5
F-684	529304	280061	304	30.0	253.0	6.84	8.3	2.97	22.6	10.6	149.79	12.3	1.6
F-687	536702	276752	1.71	28.0	175.3	6.99	12.7	0.87	17.3	5.7	78.47	13.8	5.5
F-688				29.6	205.0	7.02	13.8	2.87	20.51	8.8	126.79	8.6	1.5
F-689	530174	281414	340	27.6	180.3	6.43	12.3	4.65	14.21	6	77.67	15.7	4.5
F-690	533189	280189	351	28.4	190.8	7.24	10.7	3.1	15.87	7.3	112.64	10.6	2.5
F-699	524406	278735	266	29.1	250.0	6.79	21.1	4.7	18.3	8.4	129.35	11.7	6.4
F-700	525277	278920	328	29.8	246.0	6.78	20.3	4.2	17.9	8.6	124.72	13.9	5.7
F-701	526360	278538	283	27.6	191.6	6.64	15.4	1.7	15.5	6.1	116.72	1.9	1.7
F-702	527534	276618	283	32.0	296.0	7.02	28.3	6.4	17.3	11.7	162.3	16.1	7.5
F-703	527925	276434	200	30.2	257.0	6.69	16.3	3.1	19	10.1	159.98	11	2
F-704	530689	277297	201	35.3	304.0	7.20	23.1	5.9	20	11.7	187.01	9.2	2.2
F-705	530028	277112	155	32.7	292.0	7.13	24.4	5.9	16.3	10.9	173.47	5.9	3.2
F-706	528706	276803	184	30.7	301.0	7.11	26.7	6	17.7	11.7	173.53	9.4	5.7
F-707	528856	276926	165	33.5	301.0	7.19	28.9	6	15.7	10.6	171.82	8.4	6.3
F-708	533754	278069	78	34.5	257.0	7.09	17.8	4	19.3	9.2	152.78	5.4	1.6
F-709	531561	277298	76	32.5	303.0	7.70	18.9	4.8	21.7	13.1	189.58	8.3	2
F-710	524796	279411	344	30.3	266.0	6.94	21	4.4	19.1	10	151.62	6.83	3.9
F-711	526448	280734	300	27.3	494.0	7.20	47.6	8	29.3	20.1	235.03	52.53	9.7

F-712	527168	281258	302	27.0	260.0	7.37	12.6	2.1	22.8	11	160.04	24.18	1.3
F-713	527438	281780	302	26.1	213.0	8.09	10.7	1.5	18.4	8.7	137.59	2.84	1.8
F-722	532514	284306	388	28.8	142.7	6.22	11	4.7	9	3.2	45.64	7.83	4.5
F-723	532544	284306	386	30.4	154.5	6.47	12.7	5.3	9.9	3.1	62.42	5.74	7.3
F-724	525334	282915	554	32.5	183.1	5.97	9.6	1.8	17	6.7	87.5	11.82	4
F-725	525965	282854	520	32.9	247.0	6.16	12.2	3.9	20	7.8	86.09	22.16	5.2
F-726	526386	282455	520	30.0	109.0	6.23	11.8	3	19.7	6.8	78.34	23.08	3.8
F-727	526326	282363	519	28.3	207.0	6.97	12.2	2	34.8	7	116.3	7.71	2.1
F-728	522722	278979	405	28.2	315.0	7.42	24.4	5.7	17.5	12	177.86	8.09	4
F-729	522752	279256	398	29.2	331.0	7.73	25.6	5.3	22.1	12.7	194.21	7.32	2.7
P-500	527616	285152	517	26.5	453.0	6.92	22.7	9	48.2	17.4	165.72	76.9	6.24
P-501	527574	285187	531	27.1	405.0	6.80	21.9	4.9	51.6	14.9	170.91	46	5.39
P-503	527802	286070	533	26.8	268.0	6.74	26.9	3.5	23.9	9.8	152.36	5	2.3
P-504	527429	286216	568	26.1	412.0	7.20	21.4	3.8	45.4	14.9	123.92	57.2	9.5
P-507	527925	285938	514	26.4	276.0	6.81	17.4	5.1	28	11.1	140.34	15.7	3.5
P-512	527181	285673	520	27.3	344.0	6.72	19.4	6.9	33.5	13.3	136	38.1	9.22
P-514	526412	285840	520	26.1	528.0	6.66	29.5	5.5	33	35.9	175.18	70.4	29.6
P-517	526104	285578	519	25.0	336.0	6.70	20.7	3.3	27.7	16.2	122.52	65.9	9.93
P-518	525887	285091	525	26.1	511.0	6.62	26.5	7.5	53.3	19.5	194.15	52	12.05
P-519	526060	285112	515	29.3	295.0	6.76	16.8	3.7	29.5	10.8	113.98	31.7	1.6
P-520	525330	284816	521	26.1	271.0	6.57	20.8	3.1	27.2	7.5	95.73	31.8	2.3
P-521	525061	284830	522	26.2	331.0	6.88	14.5	3.2	28	16.4	143.63	34.3	8.51
P-522	525212	285876	542	25.9	377.0	6.56	11.7	2.8	43.9	16.2	166.63	48.7	6.66

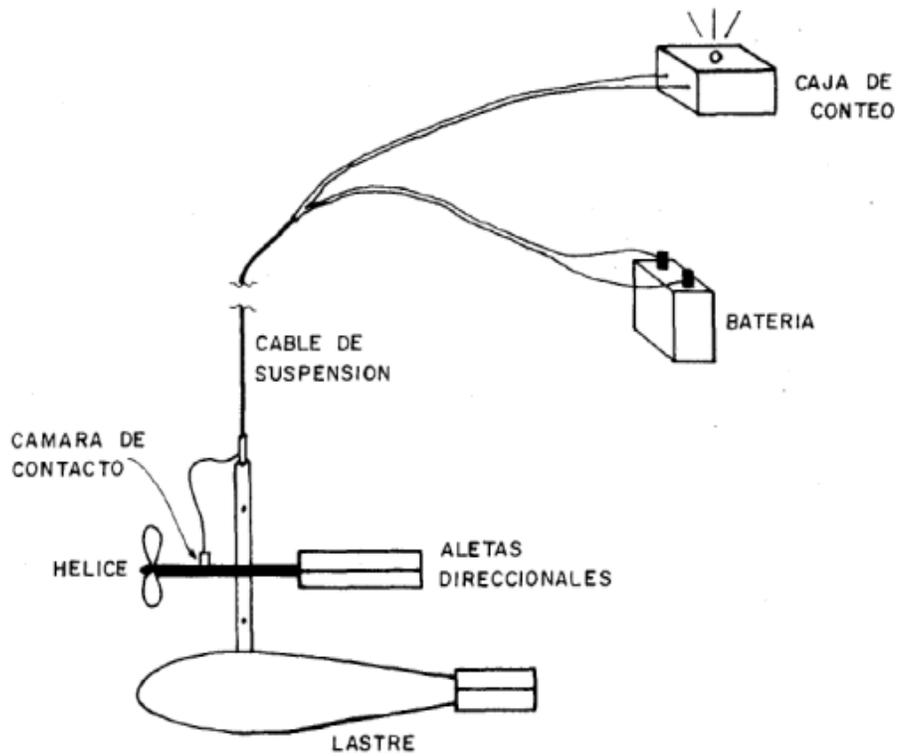
P-523	525918	284643	11	26.2	391.0	6.72	17.2	6.8	37.4	12.1	182.5	11.2	20.84
P-525	528008	284035	75	26.2	354.0	6.81	18.6	6.8	37.4	15.3	148.82	32	11.91
P-525 A	528008	284035					11.7	6.8	37.4	16.2	166.63	48.7	6.66
P-527	529618	273269	367	28.6	170.4	6.70	15.7	4.08	26.1	5.3	93.23	2.49	2.5
P-528	529575	272462	379	27.1	245.0	7.14	17.7	2.34	25.3	8.4	115.5	3.97	3.2
P-529	524349	275017	459	27.8	211.0	6.60	11.1	3.32	27.12	6.9	75.62	12.4	2.6
P-530	524559	275017	451	27.5	196.2	6.53	10.7	3.4	16.95	6.5	74.32	17.5	3.3
P-531	524259	275293	455	27.5	243.0	7.00	14.4	3.58	20.02	9	126	7.2	6.3
P-532	524559	275324	455	28.0	247.0	6.86	14.6	3.6	21.2	9.1	125.08	6.1	7.5
P-533	524980	275232	410	28.3	244.0	6.90	13.4	3.31	21.3	9.4	126.12	14.9	6
P-534	524980	275355	420	28.5	275.0	7.46	19.7	4.86	20.02	10.7	160.11	9.8	10.6
P-535	524860	275693	421	29.7	214.0	7.10	14.8	3.18	20.58	8.4	125.55	10.2	4.7
P-536	525822	275418	390	27.3	327.0	6.66	19.9	5.35	28.76	11.9	159.68	40.6	7.09
P-537	524409	275170	443	27.9	260.0	7.02	15.1	3.4	17.3	8.6	136.61	9.7	5
P-539	526088	279812	313	31.8	331.0	6.62	25.6	4.7	20.2	12.5	154.74	28.7	5.1
P-541	523981	283252	588	28.1	379.0	7.33	27.6	16.3	31.3	9.3	161.81	17.43	19.7
P-542	524371	283836	576	30.8	602.0	6.80	26.8	2.5	51.1	26.9	206.48	46.5	53.72
P-543	524371	283652	588	32.0	305.0	7.03	15.5	2	23.8	13.6	90.06	71	2.7
P-544	524282	283160	578	28.1	271.0	6.72	17	8.1	23.6	9.8	139.06	14.72	10.4
P-545	522933	278979	394	29.8	208.0	7.47	13.3	4.6	17.8	7.1	100.37	8.26	6.5
P-546	523680	283374	600	24.4	545.0	7.41	38.1	31	42.6	8	216.79	21.45	34.41
P-547	523831	283098	601	26.0	1067.0	7.16	65.4	97	59.5	31.2	419.67	33.23	72.82
P-548	522478	283373	598	25.4	140.4	6.47	6.7	5.1	10.4	5.8	64.62	9.17	10.4

P-549	522569	282882	610	26.5	320.0	6.64	11.3	15.5	21.4	10	172.55	11.48	3.4
P-550	522388	282943	606	24.0	317.0	7.71	20.9	4.1	25	8.4	91.89	59.84	11
F-126	536558	272450		98.0	4210.0	7.66	700	21.58	161	1.31	23.6	234	1071
F-128	536287	272080		94.0	4250.0	7.80	698	21.71	159	1.7	24.3	273	1038
F-129	536318	271712		94.0	4280.0	7.86	700	21.77	159	2.37	25.6	276	1043
H-01	536379	271854	39	98.5	3960.0	8.17	665.2	37	149.2	0.06	4.7	305	1139

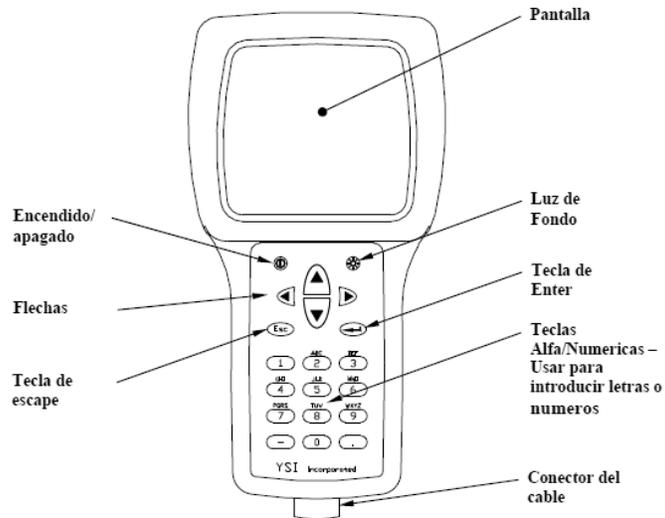
Anexo 4. Sección transversal de un río en los que se muestran los puntos de observación para la toma de datos de velocidad del agua.



Anexo 5. Descripción de las partes del equipo utilizado para medir el caudal del río.



Anexo 6. Partes del equipo multiparámetros (YSI 556 MPS), utilizado en la investigación para la toma de datos de los parámetros físico químicos.



Anexo 7. Equipo multiparámetros (YSI 556 MPS), utilizado en la investigación para la toma de datos de los parámetros físicos químicos



Anexo 8. Proceso de recolección de muestras en pozos, manantiales y ríos de la subcuenca del río Acahuapa (SNET, MARN 2005).

### **Precauciones generales**

Uno de los requerimientos básicos en el muestreo de aguas es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario enjuagar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservantes. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservantes no se puede dejar que rebalse, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente el 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras coleccionadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo coleccionando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible representar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

Los siguientes factores afectan los resultados de un análisis de agua: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente, es necesario disponer de los procedimientos detallados como filtración, sedimentación, otros a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma

individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz.

### **Manejo de muestras de agua**

- Algunos métodos analíticos requieren la distribución de la muestra dentro de varios recipientes, para minimizar cambios durante la recolección, almacenamiento y transporte. Estas operaciones deben realizarse en un período de tiempo lo más corto posible después del muestreo.
- Si debe evitarse el contacto de la muestra con el aire, el recipiente que contiene la muestra debe llenarse completamente y taparse inmediatamente.
- Si las muestras requieren agitación vigorosa, antes de tomar las porciones para análisis, el recipiente no debe llenarse completamente.
- Si se debe evitar el contacto con el aire, puede colocarse dentro del recipiente unos pocos sólidos inertes esterilizados (perlas de vidrio o agitador magnético) antes de la recolección de la muestra.
- Si es necesario filtrar la muestra, esta operación debe llevarse a cabo inmediatamente después de la recolección para minimizar cualquier cambio que pueda ocurrir. La filtración puede realizarse empleando filtros de membrana o filtros de fibra de vidrio.
- Debe evitarse la contaminación externa de los recipientes que contienen la muestra especialmente cuellos y tapones.
- Durante el transporte, las muestras deben asegurarse, evitar agitación innecesaria o exposición a la luz.
- Las muestras deben almacenarse en un cuarto limpio, que pueda mantenerse oscuro y fresco y en el cual no se utilicen reactivos químicos.
- Según el análisis a realizar debe tenerse en cuenta el tiempo máximo de almacenamiento y la forma de preservación de la muestra.

### **Preservación de las muestras**

Los componentes de la muestra de agua están sujetos a cambios en el tiempo que transcurre desde el muestreo hasta el análisis en el laboratorio.

La temperatura y el pH pueden cambiar rápidamente. Los gases disueltos pueden escapar en la muestra; por estas razones el análisis de las muestras aún preservadas debe efectuarse tan pronto como sea posible.

Se recomienda el análisis en el sitio, especialmente para: olor, color, sabor, pH, cloro, oxígeno disuelto, acidez, alcalinidad, dióxido de carbono, temperatura y conductividad.

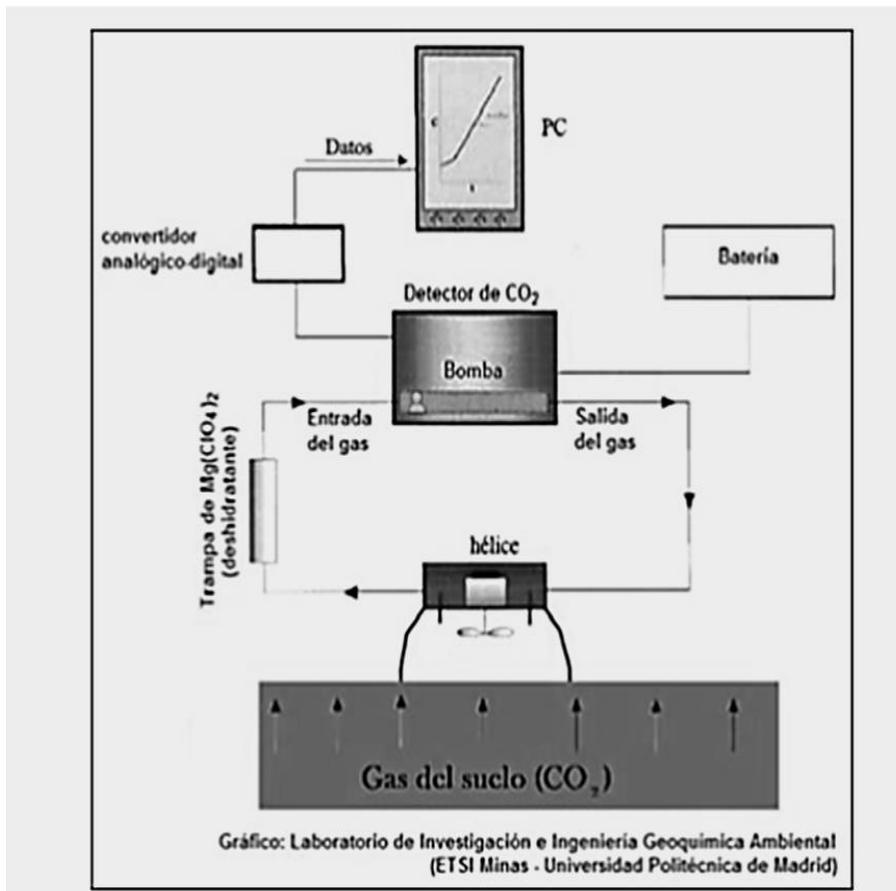
Los métodos de preservación generalmente se dirigen a retardar la acción microbológica y la hidrólisis de diferentes sustancias químicas, así mismo también a reducir la volatilidad de los constituyentes..

Las aguas potables son menos susceptibles a reacciones químicas y biológicas que las aguas residuales.

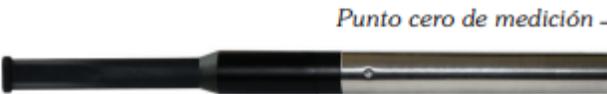
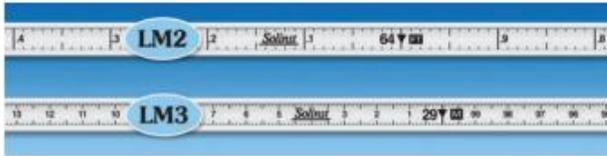
Las principales causas de variaciones en las muestras de agua son:

- La actividad biológica puede consumir o modificar ciertos constituyentes del agua. Esta actividad incide en el contenido de oxígeno disuelto, dióxido de carbono, compuestos de nitrógeno, fósforo y algunas veces silicio.
- Los constituyentes solubles pueden ligarse a material orgánico o la descomposición de células puede alterar la solución.
- Ciertos compuestos pueden oxidarse por el oxígeno presente en la muestra o en la atmósfera, por ejemplo el hierro II, los sulfuros y la materia orgánica.
- Algunas sustancias pueden precipitar como hidróxidos o formar complejos con otros constituyentes, por ejemplo: metales, carbonato de calcio y compuestos metálicos como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ; y otros compuestos pueden volatilizarse como los cianuros y el mercurio.
- El pH, la conductividad, el contenido de  $\text{CO}_2$ , entre otros, pueden modificarse por adsorción del dióxido de carbono procedente del aire, la fotosíntesis o la respiración biológica.
- Los metales disueltos o coloidales, así como ciertos compuestos orgánicos pueden absorberse o adsorberse irreversiblemente sobre las paredes del frasco o sobre los materiales sólidos de las muestras.

Anexo 9. Equipo medidor del flujo de dióxido de carbono.



Anexo 10. Medidor del nivel estático de los pozos muestreados.



101 P7



Anexo 11. Equipo y Programas utilizados para medir los parámetros obtenidos en la investigación.

Parámetros	Equipo	Software/programa
Temperatura	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
pH	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
Turbidez	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
Sólidos totales disueltos	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
Coliformes totales	Filtro de membrana.	Excel, Surfer, Aquachem.
Oxígeno disuelto (porcentaje y en mg/L)	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
Salinidad	Sonda multiparamétrica	Excel, Surfer, Aquachem.
Aniones (HCO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> , Cl, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Br )	Potenciometría utilizando electrodos seletivos de iones y colimetría.	Excel, Surfer, Diagrama Piper, Stiff, Aquachem.
Cátiones (Na, K, Ca, Mg)	Estrectoscopia de absorción atómica (generador de hidruros u horno de grafito).	Excel, Surfer, Diagrama Piper, Stiff, Aquachem.
Flujo de CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	Espectrofotometro: Licor 840/Dragner-Celda eletroquímicas	Surfer, ArcGis, Excel.

## Anexo 12. Coeficientes de Cultivo (Kc) para el cálculo del balance hídrico de suelos.

OCCUP_SUEL	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Aeropuertos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agricultura limpia anual	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Arboles Frutales	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Areas Turísticas y Arqueológicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bosque Caducifolio	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque de coníferas denso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de coníferas ralo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosque de Galería	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque de Mangle	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque latifoliado	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque mixto	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque Secundario (Arbustal)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosque Siempre Verdes	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosques de Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bosques Mixto	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Bosques mixtos semi caducifolios	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Casa de Azúcar	0.6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1	1.05	1.15	1.15	0.85
Café	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Centros Poblados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Charral o Matorral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coníferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cultivo de Písa	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cultivos Anuales Asociados con Cultivos Perennes	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Espacios con Vegetación Escasa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estuarios	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Granos Básicos	1	1	1	1	0.35	1	1.05	1.05	0.6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	0.95	1	1	1
Humedal con cobertura boscosa	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Instalaciones Deportivas y Recreativas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lagos, Lagunas y otros (Lúnticos)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Lagos, lagunas y lagunetas	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Lagunas costeras y esteros	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Latifoliadas	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Mares y océano	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Marismas interiores	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Mixto	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Morrales en potreros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos y Pastos	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Otros Cultivos	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Otros Cultivos Irrigados	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1
Otros Humedales	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Palmeras Oleíferas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos Cultivados	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Perímetro acuícola	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Plantaciones de Bosques Monoespecíficos	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Platanales y Bananeras	0.55	0.55	0.55	0.65	0.7	0.85	0.95	1	1	1	1	0.95
Playas, dunas y arenales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas Pantanosas	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Rocas Expuestas (incluye áreas erosionadas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roquedas, lavas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RYos	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Salinas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas Agroforestales	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Tejido Urbano Continuo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tejido Urbano Discontinuo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tejido Urbano Precario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tejido Urbano Progresivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tierras sin bosque	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
vacías	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Vegetación Arbustiva Baja	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vegetación arbustiva de playa	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Vegetación Esclerofila o espinoso	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Vegetación herbácea natural	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Viveros de Plantas Ornamentales y Cultivos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Comerciales o Industriales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas de Extracción Minera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Ecotonales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas en Construcción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Portuarias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zonas Quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zonas Verdes Urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Anexo 13. Tablas para determinar Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas. USDA (1955).

**Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas**

Textura	Punto de Marchitez (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Campo (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Agua Disponible (agua por pie de profundidad)		
	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)
Arena Media	1.7	0.3	7.62	6.8	1.2	30.48	5.1	0.9	22.86
Arena Fina	2.3	0.4	10.16	8.5	1.5	38.1	6.2	1.1	27.94
Franco Arenoso	3.4	0.6	15.24	11.3	2	50.8	7.9	1.4	35.56
Franco Arenoso Fino	4.5	0.8	20.32	14.7	2.6	66.04	10.2	1.8	45.72
Franco	6.8	1.2	30.48	18.1	3.2	81.28	11.3	2	50.8
Franco Limoso	7.9	1.4	35.56	19.8	3.5	88.9	11.9	2.1	53.34
Franco Arcilloso	10.2	1.8	45.72	21.5	3.8	96.52	11.3	2	50.8
Arcilloso	14.7	2.6	66.04	22.6	4	101.6	7.9	1.4	35.56

Fuente: "Water" the yearbook of Agriculture, USDA (1955)

Libro: "Introduccion a los Suelos y al Crecimiento de las plantas" Roy L. Donshue; Raymond W. Miller, John C. Shicklug

Biblioteca MAG Santa Tecla Referencia: 631.41 D674i

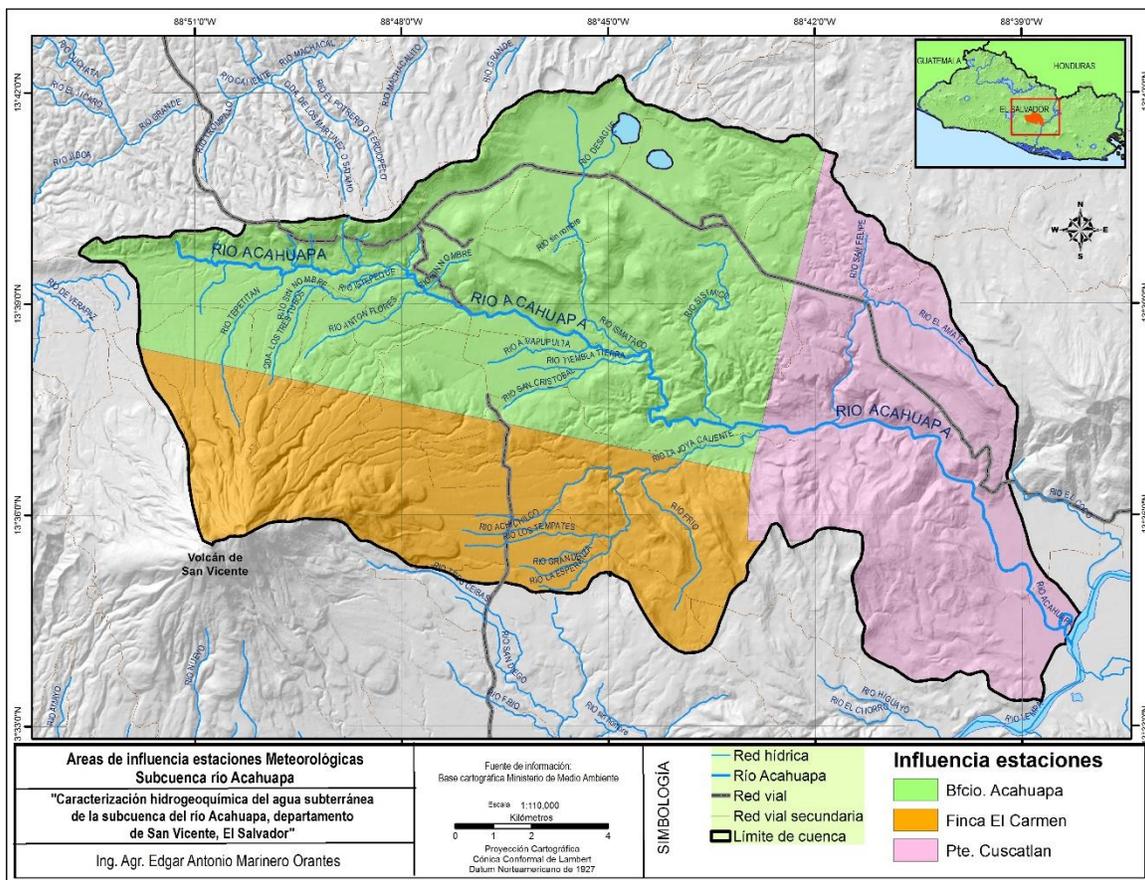
Calculo para profundidad radicular: 1000 mm

Textura	Punto de Marchitez (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Campo (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Agua Disponible (agua por pie de profundidad)		
	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)
Arena Media		0.98	25.00		3.94	100.00		2.95	75.00
Arena Fina		1.31	33.33		4.92	125.00		3.61	91.67
Franco Arenoso		1.97	50.00		6.56	166.67		4.59	116.67
Franco Arenoso Fino		2.62	66.67		8.53	216.67		5.91	150.00
Franco		3.94	100.00		10.50	266.67		6.56	166.67
Franco Limoso		4.59	116.67		11.48	291.67		6.89	175.00
Franco Arcilloso		5.91	150.00		12.47	316.67		6.56	166.67
Arcilloso		8.53	216.67		13.12	333.33		4.59	116.67

Anexo 14. Caudales medios y Relación Precipitación-Escorrentía (SNET, 2005).

REGION	ECUACION	R <sup>2</sup>	RANGO DE AREA (Km <sup>2</sup> )
1	$Q = 0.0127 * A + 1.4954$	0.9842	100 - 1991
2	$Q = 0.0103 * A + 0.4433$	0.9055	55 - 430
3	$Q = 0.0151 * A + 0.4752$	0.964	100 - 2240
4	$Q = 0.0109 * A + 0.545$	0.9647	25 - 587
5	$Q = 0.0304 * A - 0.3231$	0.8621	45 - 185
6	$Q = 2E-06 * A^2 + 0.0156 * A + 0.0944$	0.9626	35 - 845
7	$Q = -1E-05 * A^2 + 0.0214 * A - 0.2529$	0.8932	13 - 560
8	$Q = 0.0176 * A - 10.123$	0.9465	915 - 18200

Anexo 15. Polígonos de Thiesen de las estaciones meteorológicas de la subcuenca del río Acahuapa.



Anexo 16. Resultados de análisis químicos para cationes, aniones y parámetros fisicoquímico de las muestras de agua de pozos, manantiales y ríos, de la subcuenca del río Acahuapa.

Resultados generales de análisis geoquímico en pozos época seca																	
sampleID	X	Y	Elevación	Na	K	Mg	Ca	Fe	Cl	SO4	HCO3	TEMP.	COND. ELECT	OXIG. DIS.	pH.	CO2	ASPECTOS GENERALES
				mg/L	mg/L	°C	µS/cm	mg/L	g/m2dia								
PE-1	300644	1509927	582	23.1	8.3	11.7	38.4	0.06	3	73	111.938	30.55	0.319	3.03	6.8	46.45	POZO DE DON SANTOS PALACIOS GOMEZ
PE-2	301074	1509940	577	22.6	8.6	22.8	44.8	0.08	4.5	45	137.965	30.49	0.404	3.5	6.4	388.79	POZO DE Sra. MARTA ALICIA DIAS
PE-3	301508	1509729	576	25.9	6.1	14.8	30.4	0.46	9	70	115.999	27.43	0.435	2.79	5.1	100.93	CANTARERA DE LA ALCALDIA DE TEPETITAN
PE-4	301720	1510063	562	36.8	9.2	37.9	54.4	0.14	31	180	100.972	31.4	0.657	2.45	6.5	31.26	POZO DE DON ISABEL JOVEL PALACIOS
PE-5	301622	1510037	565	35.2	6.7	30.1	43.2	0.4	23.5	93	130.989	29.5	0.666	3	5.9	27.18	POZO DE DON LUIS ALONSO MORENO
PE-6	301654	1509989	558	36	7.9	35	38.4	0.1	19	78	111.986	30.35	0.6	4.55	6.1	66.09	POZO DE WILFREDO VLADIMIR HERNÁNDEZ
PE-7	301055	1509935	572	19.5	8.2	16.5	36.8	0.12	4	50	123.988	32.77	0.387	3.14	6	164.86	POZO DE MARTA ALICIA DIAZ
PE-8	301115	1509310	575	16.9	7.3	19	32	0.06	8	50	97.9994	28.93	0.797	2.25	4.8	271.4	POZO DE JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-9	301216	1509852	582	23.2	3.3	14.1	21.6	0.2	2	63	89.9998	28.74	0.263	4.65	4.2	47.34	POZO DE JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-10	304025	1508964	520	30.6	7.2	15.3	31.2	0.1	4.2	30	125.913	36.06	0.351	2.19	6.9	37.77	POZO MUNICIPAL SAN CAYETANO
PE-11	303983	1508943	517	19.2	3.4	12.4	22.8	0.06	4	38	104.984	29.13	0.264	3.5	6.2	27.94	POZO DE ESCAMILLA
PE-12	308758	1513244	521	18.5	2.7	11.7	28.8	0.2	10.5	53	102.979	26.41	0.331	3.5	6.3	161.16	POZO DE JOSE ARTURO CORDERO
PE-13	308823	1513566	516	10.3	3.9	12.8	34.8	0.1	14	48	109.978	26.07	0.289	4.41	6.3	54.1	POZO DE PEDRO AREVALO GOMEZ
PE-14	309894	1514206	514	15.9	4.1	17.2	37.2	0.08	2	83	100.937	27.24	0.37	4.12	6.8	122.88	CANTARERA PUBLICA DE LA LAGUNA
PE-15	311309	1513848	514	14.1	6.4	18.4	59.6	0.04	13	73	136.768	30.42	0.422	4.91	7.2	11.48	POZO DE DORA LUZ
PE-16	308800	1513867	513	15.7	2.9	16.4	36	0.08	7	55	88.9797	26.3	0.355	5.18	6.4	nm	POZO DE ISABEL RIVAS
PE-17	311881	1512329	513	14	3.1	17.6	51.1	0.18	4.5	35	136.971	25.47	0.387	1.47	6.3	nm	POZO COMEDOR LA MOLIENDA
PE-18	311742	1512352	521	18	4.2	10	31.6	0.14	9.5	80	80.9924	25.25	0.295	3.17	6	nm	COSTADO IZQUIRD. PANAMERICADA E-O
PE-19	311665	1512406	518	13	4	15.2	35.2	0.15	6.5	73	60.9974	23.92	0.318	1.68	5.6	nm	COSTADO IZQUIRD. PANAMERICADA E-O
PE-20	311682	1512449	512	17	4.2	15.2	35.6	0.2	10.5	80	69.9922	26.26	0.336	1.47	6	nm	COSTADO DERCHO PANAMERICADA E-O

Resultados generales de análisis geoquímico en pozos época de lluvia																	
NOMBRE	X	Y	Elevación	Na	K	Mg	Ca	Fe	Cl	SO4	HCO3	TEMP.	COND. ELECT	OXIG. DIS	pH.	Tipo de Agua	Aspecto Generales
				mg/L	mg/L	mg/L	°C	µS/cm									
PE-1	300644	1509927	582	23.7	8.7	5.4	28.2	0.01	4	67	111.988	30.4	0.378	2.01	6		POZO DE DON SANTOS PALACIOS GOMEZ
PE-2	301074	1509940	577	27.2	7.9	4.4	35	0.01	6	45	175.965	31.14	0.422	3.66	6.3		POZO DE Sra. MARTA ALICIA DIAS
PE-3	301508	1509729	576	22.4	5.9	4.6	28.2	0.01	7	67	107.98	26.68	0.389	2.78	6.3		CANTARERA DE LA ALCALDIA DE TEPETITAN
PE-4	301720	1510063	562	27.1	5.4	10	30.2	0.03	21	74	121.979	31.78	0.533	2.95	6.2		POZO DE DON ISABEL JOVEL PALACIOS
PE-5	301622	1510037	565	27.8	7.2	7.8	32.4	0.05	22	67	123.973	29.78	0.547	3.43	6.3		POZO DE DON LUIS ALONSO MORENO
PE-6	301654	1509989	558	33.2	7.5	10.6	35.6	0.01	21	80	135.971	29.42	0.579	4.42	6.3		POZO DE WILFREDO VLADIMIR HERNÁNDEZ
PE-7	301055	1509935	572	23.4	20.8	4.8	35.8	0.01	12.5	45	141.979	30.87	0.455	3.11	6.2		POZO DE MARTA ALICIA DIAZ
PE-8	301115	1509310	575	19.6	14.5	5.6	31.2	0.01	10	44	119.968	29.18	0.427	3.9	6.4		POZO DE JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-9	301216	1509852	582	21	2.7	3.4	12.2	0.01	4	35	101.977	27.02	0.257	4.31	6.4		POZO DE JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-10	304025	1508964	520	24.2	5.2	4.3	31	0.01	3.5	25	135.952	36.18	0.356	3.84	6.6		POZO MUNICIPAL SAN CAYETANO
PE-11	303983	1508943	517	19.9	2.8	4.2	30.7	0.01	5	37	99.9641	29.66	0.298	4.42	6.6		POZO DE ESCAMILLA
PE-12	308758	1513244	521	13.2	3.2	4.4	38.6	0.01	10.5	43	141.917	26.42	0.381	4.05	6.8		POZO DE JOSE ARTURO CORDERO
PE-13	308823	1513566	516	15.6	3.2	4.7	31.4	0.01	10.5	40	121.856	26.17	0.303	6.22	7.1		POZO DE PEDRO AREVALO GOMEZ
PE-14	309894	1514206	514	9.8	3.6	4.1	36.5	0.01	5	45	81.9482	27.64	0.362	3.87	6.8		CANTARERA PUBLICA DE LA LAGUNA
PE-15	311309	1513848	514	13.3	3.6	4.4	35.2	0.05	7.5	75	109.674	29.26	0.519	4.95	7.5		POZO DE DORA LUZ
PE-16	308800	1513867	513	17.2	8.1	4.7	44.4	0.02	265	30	191.856	26.55	0.39	4.28	6.9		POZO DE ISABEL RIVAS
PE-17	311881	1512329	513	15.7	4.3	4.2	33.9	0.25	8	77	95.9534	26.37	0.35	0.84	6.7		POZO COMEDOR LA MOLIENDA
PE-18	311742	1512352	521	17.2	3.5	4.6	40.9	0.15	11.5	112	119.966	26.33	0.358	5.38	6.5		COSTADO IZQUIRD. PANAMERICADA E-O
PE-19	311665	1512406	518	19.3	4	3.9	33.9	0.11	14.5	85	71.9775	25.94	0.458	4.69	6.5		COSTADO IZQUIRD. PANAMERICADA E-O
PE-20	311682	1512449	512	12.6	3.1	4.4	34.7	0.03	5	35	143.934	25.83	0.342	1.5	6.7		COSTADO DERCHO PANAMERICADA E-O

Resultados generales de análisis geoquímico en manantiales época seca																	
NOMBRE	X	Y	evacid	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	Fe mg/l	Cl mg/L	SO4 mg/l	HCO3 mg/L	TEMP °C	D. EX µS/cm	EXIG. DI mg/L	pH.	CO2 g/m2dia	Aspectos Generales
MAN-1	298892	1510400	585	23.6	3.4	12	40.2	0	13	35	129.99	26	0.5	5.07	5.9	47.85	EL CHORERON (1)
MAN-2	298892	1510400	585	20.7	2.6	11	33.6	0	6	30	122.92	27	0.3	5.6	6.8	280.34	EL CHORERON (2)
MAN-3	300057	1511073	604	13.2	2.6	7.8	1904	0	3	4	87.972	26	0.2	4.33	6.5	0	BOMBA SAN LORENZO
MAN-4	300594	1510455	565	34.4	13.2	19	50.8	0	6	96	180.94	39	0.6	2.01	6.6	296.67	MANANTIAL MARCELO
MAN-5	301583	1510455	544	31.8	10.2	8.6	53.4	0	3.5	60	180.62	35	0.6	4.54	7.3	587.47	BOMBA EL POTRERILLO (TER)
MAN-6	302159	1510292	514	34	11.6	11	48.2	0	6.5	53	203.9	36	0.6	1.21	6.7	363.66	TERMICO BENEFICIO
MAN-7	302376	1510607	553	17.4	4.3	10	31	0	6	14	99.986	27	0.3	3.74	6.1	30.75	BOMBA DE LOS MAGOS
MAN-8	302988	1510069	528	20.1	4.5	9.4	39.8	0	11	32	128.98	26	0.3	4.23	6.2	55.63	PROPIEDAD DE DON EDIS
MAN-9	303210	1509873	525	13.5	2.7	10	27	0	2.5	42	83.991	23	0.3	0.42	6	35.09	PANTANO ISTEPEQUE
MAN-10	303556	1509732	525	14.8	3.1	9.8	32.4	0	5.5	44	80.994	26	0.3	1.77	5.9	111.78	PROPIEDAD DE BETO AREVALO
MAN-11	304062	1509464	520	13.9	2.7	7.5	24.6	0	3	24	81.986	27	0.3	3.94	6.2	36.49	PROPIEDAD BETO BARRERA
MAN-12	305099	1510007	442	24	5.5	13	41.9	0	6.5	28	145.92	31	0.4	1.78	6.8	29.86	PROPIEDAD DE LOS CHAVEZ
MAN-13	308464	1507870	336	18.8	4.7	8.4	22	0	5.5	14	102.95	31	0.3	4.35	6.7	35.47	COLONIA LA PRIMAVERA
MAN-14	314954	1505923	126	18	5.7	10	30.4	0	3.8	2	124.36	31	0.3	5.88	8.1	47.85	RESERV. NAT. LA JOYA
MAN-15	307037	1509808	470	18.4	1.9	4.8	18.4	0	4	16	72.982	26	0.2	3.74	6.4	20.42	CERRO TECONAL

Resultados generales de análisis geoquímico en manantiales época de lluvia																	
NOMBRE	X	Y	evacid	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	TEMP °C	D. EX µS/cm	EXIG. DI mg/l	pH.	tipo de Agu	Aspectos Generales
MAN-1	298892	1510400	585	24.4	3.1	6.2	27.2	0	7.5	21	155.93	27	0.3	9.04	6.7		EL CHORERON (1)
MAN-2	298892	1510400	585	23.3	3.9	5.2	25.8	0	10	25	143.8	27	0.4	10.2	7.2		EL CHORERON (2)
MAN-3	300057	1511073	604	15.6	2.5	3.1	14.4	0	4	6	113.97	26	0.2	4.92	6.4		BOMBA SAN LORENZO
MAN-4	300594	1510455	565	43.2	10.8	3.9	29.4	0	5	82	205.8	34	0.5	5	7		MANANTIAL MARCELO
MAN-5	301583	1510455	544	38.2	10.3	6.5	43.2	0	7	71	193.98	33	0.5	2	6.1		BOMBA EL POTRERITO (TER)
MAN-6	302159	1510292	514	42.2	9.9	4.1	31	0	5	61	165.94	34	0.7	2.62	6.6		TERMICO BENEFICIO
MAN-7	302376	1510607	553	19	4.5	2.8	15.8	0	5.5	15	117.9	27	0.3	5.55	6.9		BOMBA DE LOS MAGOS
MAN-8	302988	1510069	528	29.4	9.6	4.2	44.4	0	19	45	173.71	24	0.5	5.54	7.2		PROPIEDAD DE DON EDIS
MAN-9	303210	1509873	525	17	2.8	4.3	37.5	0	2.5	50	109.98	25	0.3	2.18	6.2		PANTANO ISTEPEQUE
MAN-10	303556	1509732	525	15.8	3	4.1	33.1	0	3.5	47	109.96	27	0.3	4.61	6.5		PROPIEDAD DE BETO AREVALO
MAN-11	304062	1509464	520	15.5	2.7	3.9	30.1	0	5.5	30	95.954	27	0.3	4.52	6.7		PROPIEDAD BETO BARRERA
MAN-12	305099	1510007	442	25.9	5.2	4.4	38.9	0	7	30	179.87	30	0.4	1.9	6.9		PROPIEDAD DE LOS CHAVEZ
MAN-13	308464	1507870	336	19.9	4.7	4.4	29.9	0	7	10	119.84	30	0.3	6.02	7.1		COLONIA LA PRIMAVERA
MAN-14	314954	1505923	126	18.6	5.6	4.2	32.4	0	4	1	145.7	31	0.3	6.55	8.2		RESERV. NAT. LA JOYA
MAN-15	307037	1509808	470	20.5	2	3.6	28.2	0	4	13	81.922	26	0.2	3.45	7		CERRO TECONAL

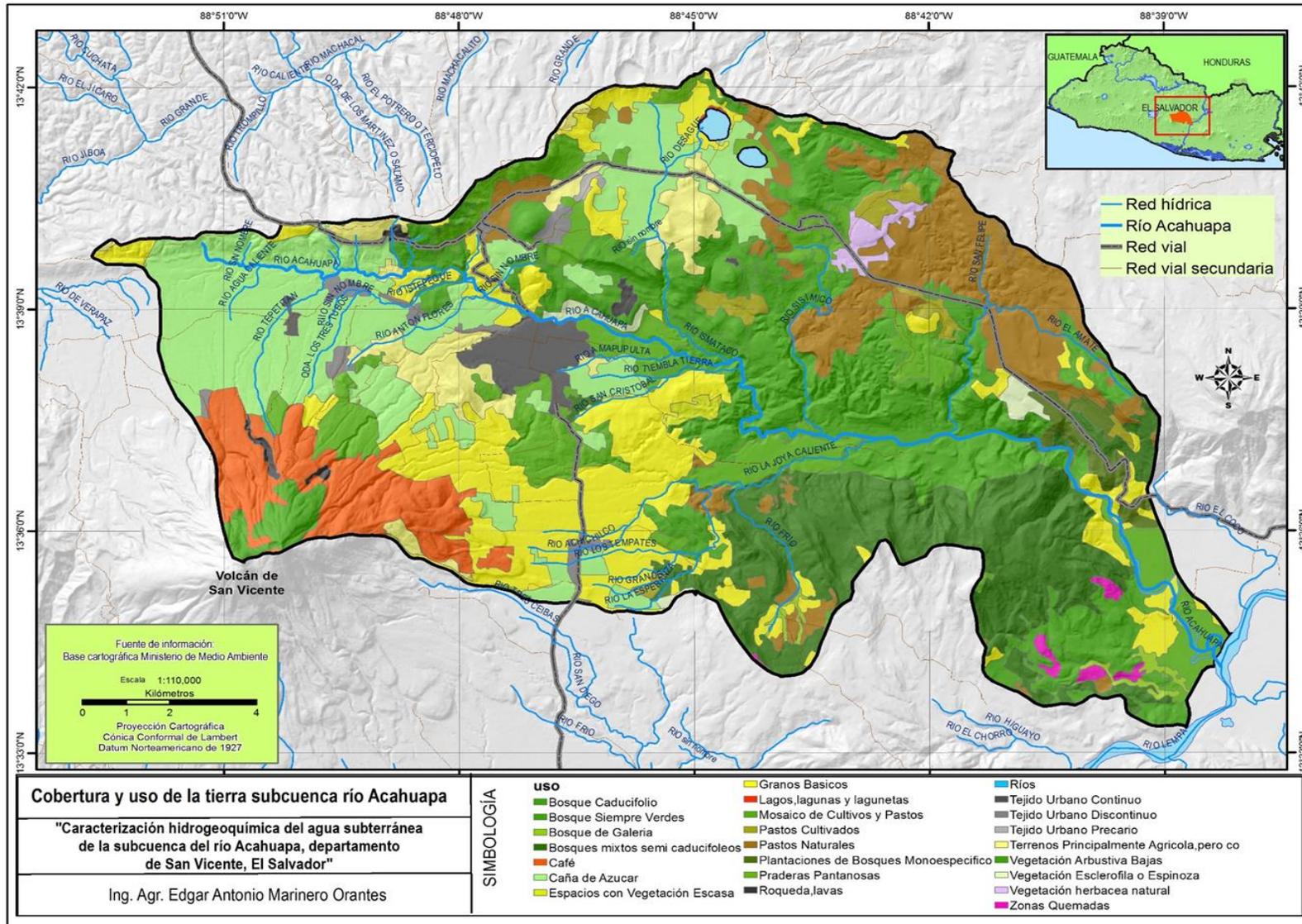
Resultados generales de análisis geoquímico en ríos época seca

NOMBRE	X	Y	Elevación	Na	K	Mg	Ca	Fe	Cl	SO4	HCO3	TEMP.	IND. EL.	OXIG. DIS.	pH.	CO2	Aspectos Generales
				mg/L	°C	µS/cm	mg/L	g/m2/día									
RT-1	316552	1506445	85	15.7	3.9	7	24	0.03	3	1	94.8	30	0.212	6.72	7.3	20.03	Rio San Felipe
RT-2	315124	1506296	111	24	6.6	10	34	0.12	7.5	18	109	31	0.271	6.98	7.25	30.24	Rio La Joya
RT-3	313622	1506388	127	16.6	3.5	9.2	36	0.04	3.5	2	110	33	0.24	6.88	7.56	17.48	Rio Sisimico
RT-4	311726	1505081	193	17.7	5.7	8.4	24	0.1	4	18	90	30	0.25	5.84	6.55	37	Tributario del Rio la Joya
RT-5	310901	1508216	253	21.1	6.2	7.6	25	0.15	9	22	89.8	28	0.24	6.51	7.3	51.29	Rio Amapulapa
RT-6	309051	1504232	383	17.2	5.9	8.4	28	0.06	11	24	89.9	27	0.273	6.08	7.2	39.94	Rio Achichilco
RT-7	305883	1509967	397	21.3	5.1	10.2	32	0.07	10.5	38	112	26	0.317	7.48	7.55	33.56	Rio La Quinta
RT-8	305603	1510289	416	20.8	3.9	14	31	0.12	5.5	28	123	26	0.315	7.08	8.36	40.83	Rio Istepeque
RT-9	300994	1510186	569	39.9	12.9	17.6	52	0.23	4	64	175	29	0.482	3.85	5.35	133.72	Rio El Flor
RT-10	300594	1510455	565	33.8	12.9	10.4	55	0.91	5.8	58	176	34	0.547	4.9	7.33	150.69	Rio Tepetitan
CP-1	300561	1510755	559	34	11.1	12.8	49	0.49	7	66	171	27	0.278	8.05	5.06	21.05	Cauce Principal
CP-2	302170	1510325	528	27.2	6.9	9.4	32	0.21	15.5	18	118	33	0.47	5.34	7.27	13.01	Desembocadura del Rio
L-1	330596	1505174	23	16.1	5	4.8	21	0.05	12	16	89	30	0.232	6.07	6.22	7.27	Represa 15 de septiembre
L-2	322621	1500810	14	19.3	5.7	6.6	26	0.13	11	20	84.8	36	0.328	5.6	7.45	5.61	Desembocadura Rio Acahuapa

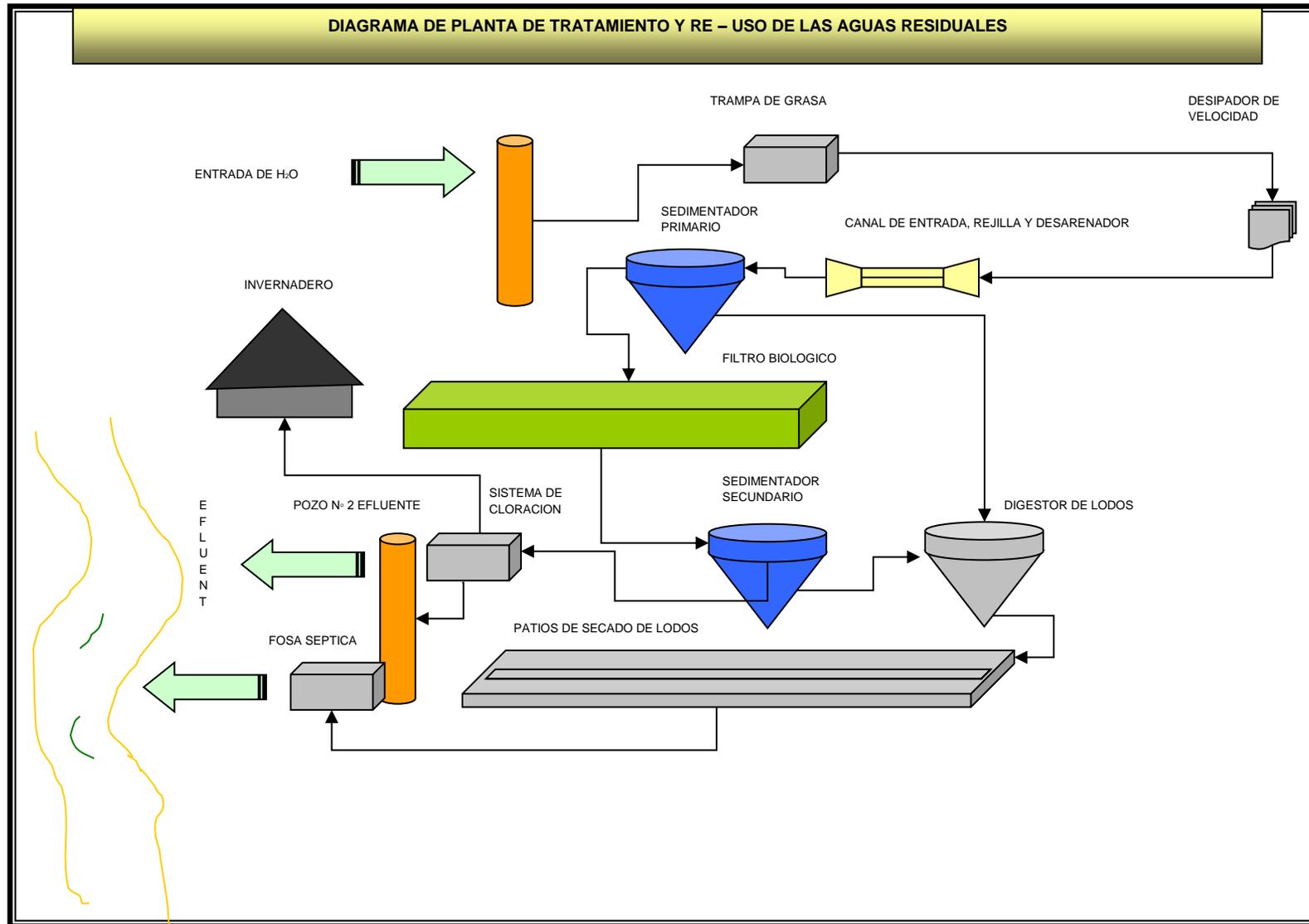
Análisis químico de los ríos en época lluviosa

NOMBRE	X	Y	Na	K	Mg	Ca	Fe	Cl	SO4	HCO3	TEMP.	IND. EL.	OXIG. DIS.	pH.	OBSERVACIONES
RT-1	316552	1506445	13.3	4.8	3.7	26.9	0	2	1	69	29.1	0.2	7.54	8.01	
RT-2	315124	1506296	14.3	4.4	3.1	19.1	0.2	5	10	83	28.8	0.2	8.71	8.52	
RT-3	313622	1506388	14.8	3.9	3.9	29.7	0.1	3	1	112	32	0.3	7.72	8.87	
RT-4	311726	1505081	11.5	4.2	3.7	24.6	0.5	5	3	65	27.1	0.2	8	8.13	
RT-5	310901	1508216	21	5.9	4.2	29.1	0	8	20	128	27.8	0.3	8.25	8.45	
RT-6	309051	1504232	17.7	5.2	3.9	29.3	0	11	20	97	27.4	0.3	7.45	8.17	
RT-7	305883	1509967	18.3	5.9	4.1	32.9	0.1	4	30	179	25.9	0.3	7.9	8.3	
RT-8	305603	1510289	22.2	4.9	4.3	34.4	0.2	6	35	139	26.4	0.4	7.31	8.35	
RT-9	300994	1510186	43.2	11.1	9.8	42.6	0	4.5	66	215	33.9	0.5	5.78	7.68	
RT-10	300594	1510455	42.6	11.4	7.6	34.5	0.2	4.5	76	209	34.8	0.5	4.53	7.7	
CP-1	300561	1510755	41.8	10.3	10.4	29.4	0.1	3	65	202	34.2	0.5	5.29	7.93	
CP-2	302170	1510325	21.3	6.5	3.9	32.2	0.3	11.5	22	126	33	0.3	5.87	8.14	
L-1	330596	1505174	7.1	2.8	3.4	21.9	0.2	4	2	73	34.2	0.5	5.29	7.93	
L-2	322621	1500810	10.8	4.1	3.5	27.1	0.1	6	13	98	28.3	0.2	3.2	7.1	

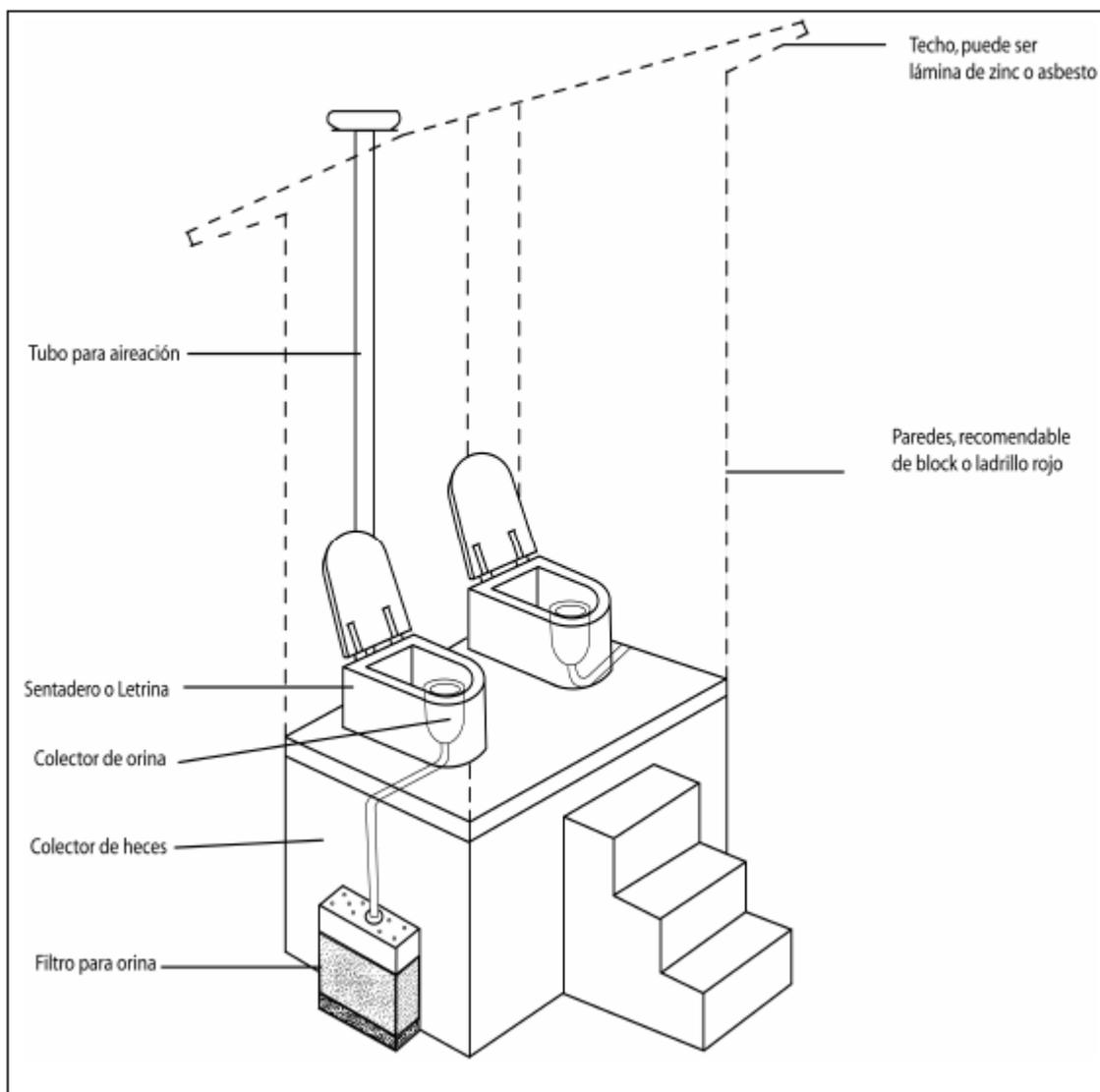
Anexo 17. Uso de suelos en la subcuenca del río Acahuapa.



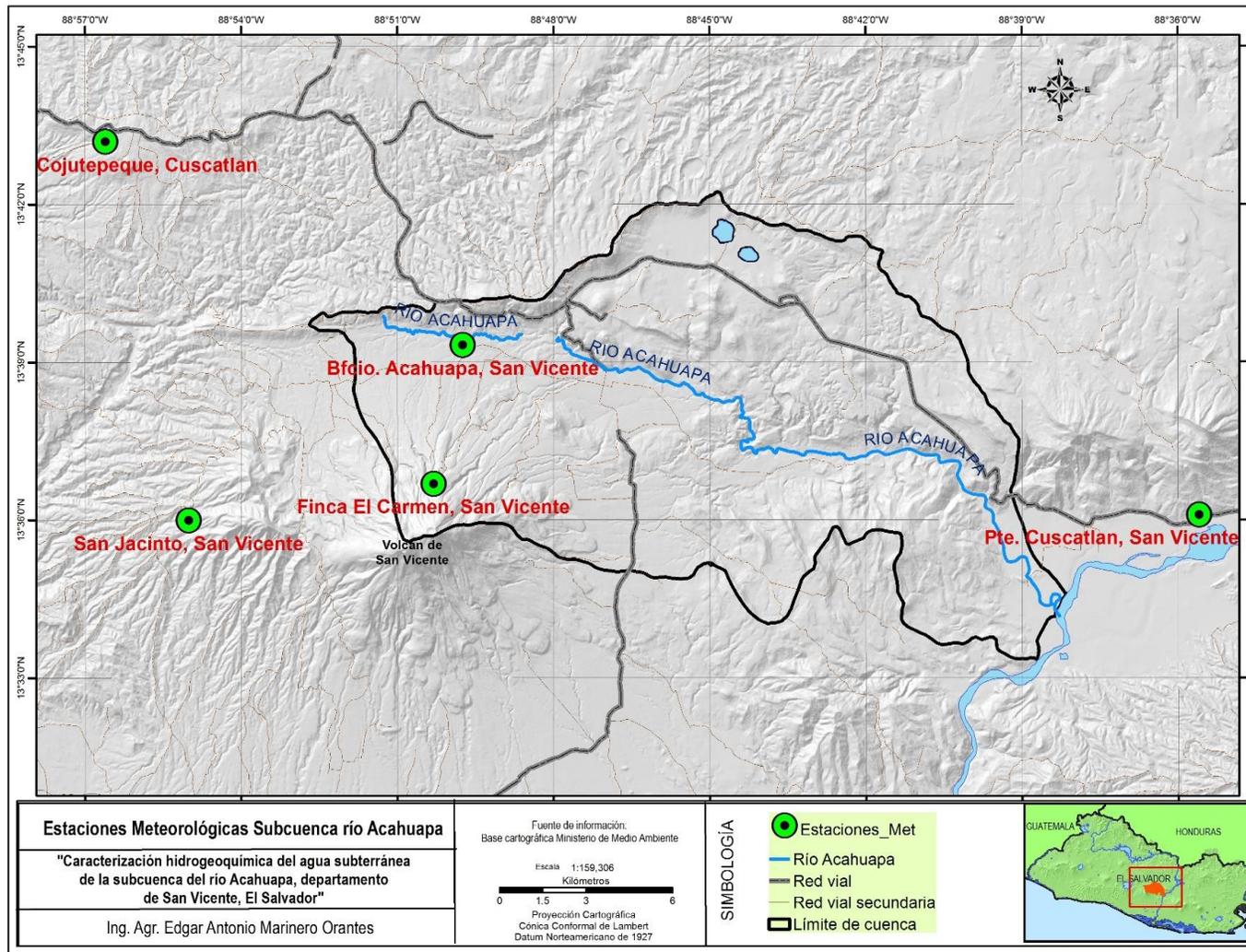
# Anexo 18. Propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)



## Anexo 19. Letrina seca familiar



Anexo 20. Estaciones meteorológicas con influencia en la subcuenca del río Acahuapa.



Anexo 21. Toma de datos con el Permeámetro de Guelph, zona de Antiguo Tepetitán, Barrio San José, municipio de Tepetitán, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO									
PERMEAMETRO DE GUELPH									
Lugar: Antiguo Tepetitán					Fecha y hora: 06/12/2012				
Características del suelo y estado de humedad					Depósito de Lahares				
Características del agujero de infiltración:					Suelo con alto contenido de arena				
Profundidad: 40 cm					Diámetro: 14 cm				
Reservorios utilizados:		combinados		<input checked="" type="checkbox"/>	Responsables: Prueba 1				
		Interior		<input type="checkbox"/>	Edgar Antonio Marinero Orantes				
NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h1= 5 cm					NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h2= 10 cm				
TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)	TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)
0		4			0		10		
	1		2.8	2.8		1		5.9	5.9
1		6.8			1		15.9		
	1		2.7	2.7		1		5.1	5.1
2		9.5			2		21		
	1		1.9	1.9		1		5	5
3		11.4			3		26		
	1		1.6	1.6		1		5	5
4		13			4		31		
	1		0.5	0.5		1		4	4
5		13.5			5		35		
	1		0.5	0.5		1		4.4	4.4
6		14			6		39.4		
	1		0	0		1		3.6	3.6
7		14			7		43		
	1		0.2	0.2		1		3	3
8		14.2			8		46		
	1		0	0		1		4.2	4.2
9		14.2			9		50.2		
	1		0	0		1		3.1	3.1
10		14.2			10		53.3		
Tasa de infiltración regimen permanente R1 (cm/min) =				0.2	Tasa de infiltración regimen permanente R2 (cm/min) =				3.1

Anexo 22. Toma de datos con el permeámetro de Guelph, cantón Calderas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO									
PERMEAMETRO DE GUELPH									
Lugar:	Caldera, Apastepeque				Fecha y hora:	07/12/2012			
Características del suelo y estado de humedad					Lotificación				
Características del agujero de infiltración:					Aluvial				
Profundidad:	30 cm				Diámetro:	10 cm			
Reservorios utilizados:	Combinados				<input checked="" type="checkbox"/>	Responsables: Prueba 1			
	Interior				<input type="checkbox"/>	Edgar Antonio Marinero Orantes			
NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h1=					NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h2				
5 cm					10 cm				
TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)	TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)
0		12.5			0		18		
	2		0.5	0.25		2		1.4	0.7
2		13			2		19.4		
	2		0	0		2		1	0.5
4		13			4		20.4		
	2		0	0		2		0.8	0.4
6		13			6		21.2		
	2		0	0		2		0	0
8		13			8		21.2		
	2		0.2	0.1		2		1.8	0.9
10		13.2			10		23		
	2		0.1	0.05		2		1	0.5
12		13.3			12		24		
	2		0.2	0.1		2		1	0.5
14		13.3			14		25		
	2		0.2	0.1		2		0.7	0.35
16		13.3			16		25.7		
	2		0.2	0.1		2		0.6	0.3
18		13.3			18		26.3		
	2		0.1	0.05		2		0.9	0.45
20		13.4			20		27.2		
Tasa de infiltración regimen permanente R1 (cm/min) =				0.1	Tasa de infiltración regimen permanente R2 (cm/min) =				0.35

Anexo 23. Toma de datos con el permeámetro Guelph, Colonia La Gloria, municipio, San Vicente, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO									
PERMEAMETRO DE GUELPH									
Lugar: <b>La Gloria, San Vicente</b>					Fecha y hora: <b>06/12/2012</b>				
Características del suelo y estado de humedad					<b>Lotificación</b>				
Características del agujero de infiltración:					<b>Suelo compactado</b>				
Profundidad: <b>37 cm</b>					Diámetro: <b>8 cm</b>				
Reservorios utilizados: <b>combinados</b>			<input checked="" type="checkbox"/>		Responsables: <b>Prueba 1</b>				
			<input type="checkbox"/>		<b>Edgar Antonio Marinero Orantes</b>				
NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h1= <b>5 cm</b>					NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h2 <b>10 cm</b>				
TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)	TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)
0		3			0		21		
	2		0.4	0.2		2		1	0.5
2		3.4			2		22		
	2		0.1	0.05		2		1.4	0.7
4		3.5			4		23.4		
	2		0.1	0.05		2		1.6	0.8
6		3.6			6		25		
	2		3.6	1.8		2		1.2	0.6
8		7.2			8		26.2		
	2		0	0		2		1.4	0.7
10		7.2			10		27.6		
						2		1.4	0.7
					12		29		
						2		1	0.5
					14		30		
						2		1.3	0.65
					16		31.3		
						2		1.7	0.85
					18		33		
						2		0	0
					20		33		
Tasa de infiltración regimen permanente R1 (cm/min) =				<b>0.62</b>	Tasa de infiltración regimen permanente R2 (cm/min) =				<b>0.85</b>

Anexo 24. Toma de datos con el permeámetro de Guelph, Cantón Las Minas, municipio, Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO									
PERMEAMETRO DE GUELPH									
Lugar: Las Minas, Apastepeque					Fecha y hora: 06/12/2012				
Características del suelo y estado de humedad					Lotificación				
Características del agujero de infiltración:					Aluvial				
Profundidad: 30 cm					Diámetro: 10 cm				
Reservorios utilizados: combinados			<input checked="" type="checkbox"/>		Responsables: Prueba 1				
Interior			<input type="checkbox"/>		Edgar Antonio Marinero Orantes				
NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h1= 5 cm					NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h2 10 cm				
TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)	TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)
0		17			0		35		
	2		1	0.5		2		8	4
2		18			2		43		
	2		2	1		2		7.5	3.75
4		20			4		50.5		
	2		1.4	0.7		2		7.9	3.95
6		21.4			6		58.4		
	2		0.5	0.25		2		8.1	4.05
8		21.9			8		66.5		
	2		0	0		2		8	4
10		21.9			10		74.5		
Tasa de infiltración regimen permanente R1 (cm/min) =				0.32	Tasa de infiltración regimen permanente R2 (cm/min) =				4

Anexo 25. Toma datos con el permeámetro de Guelph, Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitán, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO									
PERMEAMETRO DE GUELPH									
Lugar:	Antiguo Tepetitán, San José				Fecha y hora:	06/12/2012			
Características del suelo y estado de humedad					Cafetal				
Características del agujero de infiltración:					Suelo con alto contenido de materia orgánica				
Profundidad:	37 cm				Diámetro:	8 cm			
Reservorios utilizados:	combinados			<input checked="" type="checkbox"/>	Responsables:	Prueba 1			
	Interior			<input type="checkbox"/>	Edgar Antonio Marinero Orantes				
NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h1=					NIVEL DEL AGUA EN EL AGUJERO h2				
5 cm					10 cm				
TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)	TIEMPO t (min)	t (min)	Lectura h (cm)	h (cm)	Tasa de inf. (cm/min)
0		3			0		20		
	2		0.4	0.2		2		2.4	1.2
2		3.4			2		22.4		
	2		0.1	0.05		2		2.4	1.2
4		3.5			4		24.8		
	2		0.1	0.05		2		2.2	1.1
6		3.6			6		27		
						2		2	1
					8		29		
						2		2.2	1.1
					10		31.2		
						2		2	1
					12		33.2		
						2		2	1
					14		35.2		
						2		2.2	1.1
					16		37.4		
						2		2.6	1.3
					18		40		
						2		2	1
					20		42		
Tasa de infiltración regimen permanente R1 (cm/min) =				0.05	Tasa de infiltración regimen permanente R2 (cm/min) =				1.11

Anexo 26. Recarga de la zona de Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitan, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

Cálculo de la Recarga Potencial al Acuífero (Rp)

Mes	P (mm)	Pi (mm)	Esc (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	HD (mm)	ETR (mm)	Hsf (mm)	DCC (mm)	Rp (mm)	NR (mm)	Abril	Mayo	Junio
Enero	1.78	1.40	0.38	141.73	30.48	1.40	0.00	31.88	49.40	0.00	191.13	P = valor medido	P = valor medido	P = valor medido
Febrero	3.29	2.29	1.00	144.85	30.48	2.29	0.00	32.77	48.51	0.00	193.36	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado
Marzo	8.46	3.81	4.65	178.27	30.48	3.81	0.00	34.29	46.99	0.00	225.26	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi
Abril	43.12	41.93	1.19	180.99	30.48	21.61	17.19	81.28	0.00	0.00	163.80	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado
Mayo	253.95	246.95	7.00	172.05	81.28	328.23	172.05	81.28	0.00	74.90	0.00	Hsi = valor observado	Hsi = Hsf	Hsi = Hsf
Junio	301.02	294.48	6.54	153.97	81.28	375.76	153.97	81.28	0.00	140.51	0.00	HD = Pi	HD = Hsi + Pi - PM	HD = Hsi + Pi - PM
Julio	343.25	335.60	7.65	165.90	81.28	416.88	165.79	81.28	0.00	169.81	0.01	Hsf = HD+PM-ETR	Hsf = HD+PM-ETR	Si HD+PM-ETR ≥ CC, Hsf = CC
Agosto	322.07	311.51	10.56	161.20	81.28	392.79	161.19	81.28	0.00	150.32	0.01	DCC = CC-Hsf	DCC = CC-Hsf	Si Hsf ≥ CC; DCC = 0
Septiembre	402.40	395.50	6.90	141.28	81.28	476.78	141.28	81.28	0.00	254.22	0.00	Si DCC > 0; Rp = 0	Si DCC > 0; Rp = 0	Rp = Pi+Hsi-CC-ETR
Octubre	294.70	290.77	3.93	141.57	81.28	372.05	141.56	81.28	0.00	149.21	0.01	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR
Noviembre	85.20	84.92	0.28	133.13	81.28	166.20	133.12	63.56	17.72	0.00	17.73			
Diciembre	5.40	3.64	1.76	133.79	34.74	38.38	34.74	30.48	50.80	0.00	149.85			
Anual (mm)	2064.64	2012.79	51.85	1848.63						938.97	941.17			

Simbología:

fc: Capacidad de Infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de Campo

CPM: Punto de Marchitez

PR: Profundidad de Raíces

RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible

DS: Densidad de Suelo

P: Precipitación Media Mensual

Pi: Precipitación que infiltra

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial

ETR: Evapotranspiración Real

Hsi: Humedad del Suelo Inicial

HD: Humedad Disponible

Hsf: Humedad de Suelo Final

DCC: Déficit de Capacidad de Campo

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego

FRANCO

fc (mm/d): 3202.56

DS (g/cm<sup>3</sup>): 1.35

PR (mm): 300

	%	(mm)
CC	18.1	81.28
PM	6.8	30.48
RAD	11.3	50.8

Anexo 27. Recarga de la zona del cantón Calderas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

Cálculo de la Recarga Potencial al Acuífero (Rp)

Mes	P (mm)	Pi (mm)	Esc (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	HD (mm)	ETR (mm)	HSf (mm)	DCC (mm)	Rp (mm)	NR (mm)	Abril	Mayo	Junio
Enero	1.78	1.40	0.38	141.73	35.56	1.40	0	36.96	51.94	0.00	193.67	P = valor medido	P = valor medido	P = valor medido
Febrero	3.29	2.29	1.00	144.86	35.56	2.29	0	37.86	51.06	0.00	196.90	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado
Marzo	8.46	3.81	4.65	178.27	35.56	3.81	2.85	88.90	0.00	0.00	175.42	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi
Abril	43.12	41.93	1.19	180.99	35.56	41.93	37.51	88.90	0.00	0.00	0.00	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado
Mayo	253.95	246.95	7.00	172.05	88.9	300.29	172.05	88.90	0.00	0.00	0.00	Hsi = valor observado	Hsi = Hsf	Hsi = Hsf
Junio	301.02	294.48	6.54	153.97	88.9	347.82	153.97	88.90	0.00	140.51	0.00	HD = Pi	HD = Hsi + Pi - PM	HD = Hsi + Pi - PM
Julio	343.25	336.60	7.65	166.80	88.9	388.94	166.79	88.90	0.00	169.81	0.00	Hsf = HD+PM-ETR	Hsf = HD+PM-ETR	Si HD+PM-ETR ≥ CC, Hsf = CC
Agosto	322.07	311.51	10.56	161.20	88.9	364.85	161.19	88.90	0.00	150.32	0.00	DCC = CC-Hsf	DCC = CC-Hsf	Si Hsf ≥ CC; DCC = 0
Septiembre	402.40	396.50	6.90	141.28	88.9	448.84	141.28	88.90	0.00	254.22	0.00	Si DCC > 0; Rp = 0	Si DCC > 0; Rp = 0	Rp = Pi+Hsi-CC-ETR
Octubre	294.70	290.77	3.93	141.57	88.9	344.11	141.56	88.90	0.00	149.21	0.00	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR
Noviembre	86.20	84.92	0.28	133.13	35.56	84.92	64.56	88.90	0.00	0.00	0.00			
Diciembre	5.40	3.64	1.76	133.79	35.56	3.64	0	38.20	49.70	0.00	183.49			
Anual (mm)	2064.64	2012.79	51.85	1848.63						864.07	748.48			

Simbología:

fc: Capacidad de Infiltración  
 I: Infiltración  
 CC: Capacidad de Campo  
 CPM: Punto de Marchitez  
 PR: Profundidad de Raíces  
 RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible  
 DS: Densidad de Suelo

P: Precipitación Media Mensual  
 Pi: Precipitación que infiltra  
 ESC: Escorrentía Superficial  
 ETP: Evapotranspiración Potencial  
 ETR: Evapotranspiración Real  
 Hsi: Humedad del Suelo Inicial  
 HD: Humedad Disponible  
 HSf: Humedad de Suelo Final  
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo  
 Rp: Recarga Potencial  
 NR: Necesidad de Riego

FRANCO LIMOSO

fc (mm/d):	2150		%	(mm)
I(%):		CC	19.8	88.9
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.5	PM	7.9	35.56
PR (mm):	2500	RAD	11.9	53.34

Anexo 28. Recarga de la zona de la Colonia La Gloria, municipio de San Vicente, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

Cálculo de la Recarga Potencial al Acuífero (Rp)												
Mes	P (mm)	Pi (mm)	Esc (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	HD (mm)	ETR (mm)	Hsf (mm)	DCC (mm)	Rp (mm)	NR (mm)	
Enero	1.78	1.40	0.38	141.73	15.24	1.40	0.00	16.64	34.16	0.00	175.89	P = valor medido
Febrero	3.29	2.29	1.00	144.85	15.24	2.29	0.00	17.53	33.27	0.00	178.12	Pi = valor calculado
Marzo	8.46	3.81	4.65	178.27	15.24	3.81	2.85	15.24	35.56	0.00	210.98	Esc = P-Pi
Abril	43.12	41.93	1.19	180.99	15.24	41.93	37.51	15.24	35.56	0.00	0.00	ETP = Valor observado
Mayo	253.95	246.95	7.00	172.05	50.8	282.51	172.05	125.70	-74.90	0.00	0.00	Hsi = valor observado
Junio	301.02	294.48	6.54	153.97	50.8	330.04	153.97	50.80	0.00	140.51	0.00	HD = Pi
Julio	343.25	335.60	7.65	165.80	50.8	371.16	165.79	50.80	0.00	169.81	0.00	Hsf = HD+PM-ETR
Agosto	322.07	311.51	10.56	161.20	50.8	347.07	161.19	50.80	0.00	150.32	0.00	DCC = CC-Hsf
Septiembre	402.40	395.50	6.90	141.28	50.8	431.06	141.28	50.80	0.00	254.22	0.00	Si DCC > 0; Rp = 0
Octubre	294.70	290.77	3.93	141.57	50.8	326.33	141.56	50.80	0.00	149.21	0.00	NR = DCC+ETP-ETR
Noviembre	85.20	84.92	0.28	133.13	15.24	84.92	64.55	15.24	35.56	0.00	0.00	
Diciembre	5.40	3.64	1.76	133.79	15.24	3.64	0.00	18.88	31.92	0.00	165.71	
<b>Anual (mm)</b>	<b>2064.64</b>	<b>2012.79</b>	<b>51.85</b>	<b>1848.63</b>						<b>864.07</b>	<b>730.70</b>	

Simbología:

fc: Capacidad de Infiltración  
 I: Infiltración  
 CC: Capacidad de Campo  
 CPM: Punto de Marchitez  
 PR: Profundidad de Raíces  
 RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible  
 DS: Densidad de Suelo

P: Precipitación Media Mensual  
 Pi: Precipitación que infiltra  
 ESC: Escorrentía Superficial  
 ETP: Evapotranspiración Potencial  
 ETR: Evapotranspiración Real  
 Hsi: Humedad del Suelo Inicial  
 HD: Humedad Disponible  
 Hsf: Humedad de Suelo Final  
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo  
 Rp: Recarga Potencial  
 NR: Necesidad de Riego

FRANCO ARENOSO

fc (mm/d):		%	(mm)
I(%):		CC	11.3    50.8
DS (g/cm3)		PM	3.4    15.24
PR (mm):	300	RAD	7.9    35.56

Anexo 29. Recarga de la zona del catón Las Minas, municipio de Apastepeque, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

Cálculo de la Recarga Potencial al Acuífero (Rp)

Mes	P (mm)	Pi (mm)	Esc (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	HD (mm)	ETR (mm)	Hsf (mm)	DCC (mm)	Rp (mm)	NR (mm)	Abril	Mayo	Junio
Enero	1.78	1.40	0.38	141.73	30.48	1.40	0.00	31.88	49.40	0.00	191.13	P = valor medido	P = valor medido	P = valor medido
Febrero	3.29	2.29	1.00	144.85	30.48	2.29	0.00	32.77	48.51	0.00	193.36	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado
Marzo	8.46	3.81	4.65	178.27	30.48	3.81	2.85	81.28	0.00	0.00	175.42	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi
Abril	43.12	41.93	1.19	180.99	30.48	41.93	37.51	81.28	0.00	0.00	0.00	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado
Mayo	253.95	246.95	7.00	172.05	81.28	297.75	172.05	156.18	-74.90	0.00	0.00	Hsi = valor observado	Hsi = Hsf	Hsi = Hsf
Junio	301.02	294.48	6.54	153.97	81.28	345.28	153.97	81.28	0.00	140.51	0.00	HD = Pi	HD = Hsi + Pi - PM	HD = Hsi + Pi - PM
Julio	343.25	335.60	7.65	165.80	81.28	386.40	165.79	81.28	0.00	169.81	0.00	Hsf = HD+PM-ETR	Hsf = HD+PM-ETR	Si HD+PM-ETR ≥ CC, Hsf = CC
Agosto	322.07	311.51	10.56	161.20	81.28	362.31	161.19	81.28	0.00	150.32	0.00	DCC = CC-Hsf	DCC = CC-Hsf	Si Hsf ≥ CC; DCC = 0
Septiembre	402.40	395.50	6.90	141.28	81.28	446.30	141.28	81.28	0.00	254.22	0.00	Si DCC > 0; Rp = 0	Si DCC > 0; Rp = 0	Rp = Pi+Hsi-CC-ETR
Octubre	294.70	290.77	3.93	141.57	81.28	341.57	141.56	81.28	0.00	149.21	0.00	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR
Noviembre	85.20	84.92	0.28	133.13	30.48	84.92	133.12	81.28	0.00	0.00	0.00			
Diciembre	5.40	3.64	1.76	133.79	30.48	3.64	0.00	3.64	77.64	30.48	211.43			
Anual (mm)	2064.64	2012.79	51.85	1848.63						894.55	771.34			

FRANCO

Simbología:

fc: Capacidad de Infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de Campo

CPM: Punto de Marchitez

PR: Profundidad de Raíces

RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible

DS: Densidad de Suelo

P: Precipitación Media Mensual

Pi: Precipitación que infiltra

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial

ETR: Evapotranspiración Real

Hsi: Humedad del Suelo Inicial

HD: Humedad Disponible

Hsf: Humedad de Suelo Final

DCC: Déficit de Capacidad de Campo

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego

fc (mm/d):

I(%):

DS (g/cm<sup>3</sup>):

PR (mm):

2500

% (mm)

CC 18.1 81.28

PM 6.8 30.48

RAD 11.3 50.8

Anexo 30. Recarga de la zona del Barrio San José, Antiguo Tepetitán, municipio de Tepetitán, departamento de San Vicente, 2011 a 2012.

Cálculo de la Recarga Potencial al Acuífero (Rp)

Mes	P (mm)	Pi (mm)	Esc (mm)	ETP (mm)	Hsi (mm)	HD (mm)	ETR (mm)	Hsf (mm)	DCC (mm)	Rp (mm)	NR (mm)	Abril	Mayo	Junio
Enero	1.78	1.40	0.38	141.73	35.56	1.40	0.00	36.96	51.94	0.00	193.67	P = valor medido	P = valor medido	P = valor medido
Febrero	3.29	2.29	1.00	144.85	35.56	2.29	0.00	37.85	-2.29	0.00	142.56	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado	Pi = valor calculado
Marzo	8.45	3.81	4.65	178.27	35.56	3.81	0.00	39.37	49.53	0.00	227.80	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi	Esc = P-Pi
Abril	43.12	41.93	1.19	180.99	35.56	41.93	41.93	35.56	53.34	0.00	192.40	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado	ETP = Valor observado
Mayo	253.95	245.95	7.00	172.05	88.90	300.29	172.05	163.80	-74.90	0.00	-74.90	Hsi = valor observado	Hsi = Hsf	Hsi = Hsf
Junio	301.02	294.48	6.54	153.97	88.90	347.82	153.97	88.90	0.00	140.51	0.00	HD = Pi	HD = Hsi + Pi - PM	HD = Hsi + Pi - PM
Julio	343.25	335.60	7.65	165.80	88.90	388.94	165.79	88.90	0.00	169.81	0.01	Hsf = HD+PM-ETR	Hsf = HD+PM-ETR	Si HD+PM-ETR ≥ CC, Hsf = CC
Agosto	322.07	311.51	10.56	161.20	88.90	364.85	161.19	88.90	0.00	150.32	0.01	DCC = CC-Hsf	DCC = CC-Hsf	Si Hsf ≥ CC; DCC = 0
Septiembre	402.40	395.50	6.90	141.28	88.90	448.84	141.28	88.90	0.00	254.22	0.00	Si DCC > 0; Rp = 0	Si DCC > 0; Rp = 0	Rp = Pi+Hsi-CC-ETR
Octubre	284.70	290.77	3.93	141.57	88.90	344.11	141.57	88.90	0.00	149.20	0.00	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR	NR = DCC+ETP-ETR
Noviembre	85.20	84.92	0.28	133.13	88.90	138.26	133.13	35.56	53.34	0.00	53.34			
Diciembre	5.40	3.64	1.76	133.79	35.56	3.64	0.00	35.20	49.70	0.00	183.49			
Anual (mm)	2064.64	2012.79	51.85	1848.63						864.06	918.39			

Simbología:

fc: Capacidad de Infiltración  
 I: Infiltración  
 CC: Capacidad de Campo  
 CPM: Punto de Marchitez  
 PR: Profundidad de Raíces  
 RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible  
 DS: Densidad de Suelo

P: Precipitación Media Mensual  
 Pi: Precipitación que infiltra  
 ESC: Escorrentía Superficial  
 ETP: Evapotranspiración Potencial  
 ETR: Evapotranspiración Real  
 Hsi: Humedad del Suelo Inicial  
 HD: Humedad Disponible  
 Hsf: Humedad de Suelo Final  
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo  
 Rp: Recarga Potencial  
 NR: Necesidad de Riego

FRANCO LIMOSO

fc (mm/d):		%	(mm)
I(%):	CC	19.8	88.9
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	PM	7.6	35.56
PR (mm):	RAD	12.2	53.34

Anexo 31. Fichas de información del agua subterránea (pozos), muestreados en la subcuenca del río Acahuapa.

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-01</b>			Ubicación: Benefico Las Vegas, Ctón. Molinero , Verapaz, Departamento de San Vicente			FECHA: 10/enero/2010	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANIES		
Cuenca:	Subcuenca: Acahuapa	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua Subterránea</b>			<b>Caudal de Explotación</b>	<b>Población Beneficiada</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
			Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		300644	1509027	582
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico: 5 m			Fuente de Contaminación				Información del pozo			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Diámetro</b>	<b>N.E</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Altura del broquel</b>
<b>Don Santos Palacios Gómez</b>			X	-	-	X	1.8 m	4.64 m	6 m	0.7 m
<b>GEOLOGÍA</b>										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-02			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente			FECHA: 21/12/2010	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES		
Cuenca:	Subcuenca: Acahuapa	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua Subterránea</b>			<b>Caudal de Explotación</b>	<b>Población Beneficiada</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
Tipo de Fuente:			Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	301074	1509940	577
			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico: 2.86 m			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Diámetro</b>	<b>N.E</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Altura del broquel</b>
Sra. Marta Alicia Díaz			X	-	-	X	1.83 m	2.86 m	7.68 m	0.83 m
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-03			Ubicación: Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente			FECHA: 12/enero/2011	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES		
Cuenca:	Subcuenca: Acahuapa	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua Subterránea</b>			<b>Caudal de Explotación</b>	<b>Población Beneficiada</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
Tipo de Fuente:			Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	301508	1509729	576
			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Diámetro</b>	<b>N.E</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Altura del broquel</b>
Alcaldía de Tepetitán			X	-	-	X	1.24 m	ND	10 m	0.5 m
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro Q'f, Depósito sedimentario cuaternario										

Ficha de Información Hidrogeológica de los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-04			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA: 12/enero/2011	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca: Acahuapa	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua Subterránea</b>			<b>Caudal de Explotación</b>	<b>Población Beneficiada</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
Tipo de Fuente:			Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	13°39'12.66 "	88°49'59.0 4"	562
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológica</b>	<b>Delicuencia</b>
<b>Isabel Jovel Palacios</b>			X	-	-	X	X	X	-	-
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-05			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. Edgar Orantes	
Cuenca:	Subcuenca: Acahuapa	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua Subterránea</b>			<b>Caudal de Explotación</b>	<b>Población Beneficiada</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
Tipo de Fuente:			Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	301622	1510037	565
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológica</b>	<b>Delicuencia</b>
<b>Luis Alonso Moreno</b>			X	-	-	X	X	-	-	-
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-06</b>			Ubicación: Caserio Tepetitán Viejo, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	Longitud	Latitud	Elevación
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		301654	1509989	558
Pozo	Pozo	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Perforado	Excavado									
	X		Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			Puntual	Difusa	Natural	Antropogénica	Deslizamiento	Geológica	Meteoroló	Delicuencia
Wilfredo Vladimir Hernández			X	-	-	X	X	X	X	-
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Manantiales Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-07</b>			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	Longitud	Latitud	Elevación
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		301055	1509935	572
Pozo	Pozo	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Perforado	Excavado									
	X		Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			Puntual	Difusa	Natural	Antropogénica	Deslizamiento	Geológica	Meteoroló	Delicuencia
Marta Alicia Díaz			X	-	-	X	X	X	X	-
			Diámetro	Profundid	Altura de	NE				
			1.47 m	7.55 m	0.25 m	2.60 m				
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-08</b>			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	301115	1509310	575
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
José Antonio Villalta			X	-	-	X	X	X	X	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.7 m	6 m	0.6 m	2.92 m				
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-09</b>			Ubicación: Antiguo Tepetitán, Tepetitán, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	301216	1509852	582
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
José Antonio Villalta			X	-	-	X	X	X	X	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.70 m	11 m	0.68 m	5.70 m				
GEOLOGÍA										
Formación San Salvador, miembro S4, Tierra blanca, piroclástica ácida y epiclastitas volcánicas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-11			Ubicación: Hacienda , San Cayetano Istepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		303983	1508943	517
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológica</b>	<b>Delicuencia</b>
Familia Escamilla			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			2.10m	16.8 m	0.30 m	0.25 m				
GEOLOGÍA										
Formación Cuscatlan, miembro C3, rocas efusivas básicas intermedias										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-12			Ubicación: El Desvío de Apastepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		308758	1513244	521
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológica</b>	<b>Delicuencia</b>
José Arturo Cordero			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			0.6 m	10 m	0.54 m	0.60 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b1, rocas epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-13			Ubicación: El Desvío de Apastepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	309923	1513565	516
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
Pedro Arevalo Gómez			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.5 m	11.13 m	0.6 m	0.7 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b1, rocas epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-14			Ubicación: Cantón Caldera de Apastepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	309893	1513848	514
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
Municipal			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			no se tomo porque es una bomba sellada							
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b1, rocas epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-15			Ubicación: Caserío La Laguna de Apastepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		311309	1513848	514
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológica</b>	<b>Delicuencia</b>
Dora Lúz			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.24 m	11.90 m	0,78 m	0.6 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b1, rocas epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Río Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-16			Ubicación: Desvío de Apastepeque, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)			
Tipo de Fuente:			X	-	-	-		308799	1513866	513
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteorológico</b>	<b>Delicuencia</b>
Isabel Rivas			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			0.5 m	10 m	0.75	0.60 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b1, rocas epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lavas intercaladas										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Rio Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-17</b>			Ubicación: Comedor la Molienda sobre la Carretera Panamericana, Departamento de San Vicente			FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANIES		
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	311881	1512329	513
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
<b>Desconocido</b>			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.35 m	4.5 m	0.40 m	0.60 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b3, rocas efusivas, básicas intermedias										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Rio Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> <b>PE-18</b>			Ubicación: Sobre la Carretera Panamericana, Departamento de San Vicente			FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANIES		
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	311742	1512329	521
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado X	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
<b>Desconocido</b>			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.44 m	3.20 m	0.5 m	0.6 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b3, rocas efusivas, básicas intermedias										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Rio Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-19			Ubicación: Sobre la Carretera Panamericana, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	31665	1512406	518
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
Dolores Fernández			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.6 m	3 m	0.6 m	0.5 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b3, rocas efusivas, básicas intermedias										

Ficha de Información Hidrogeológica de Los Pozos Muestreados en la Subcuenca del Rio Acahuapa										
<b>PUNTO DE TRABAJO:</b> PE-20			Ubicación: Sobre la Carretera Panamericana, Departamento de San Vicente				FECHA:	Hora:	RESPONSABLE: Ing. EDGAR ORANTES	
Cuenca:	Subcuenca:	Microcuenca:	<b>Tipo de Uso del Agua</b>			Caudal de	Población	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Elevación</b>
	Acahuapa		Doméstico	Industrial	Turístico	(L/s)	(Habitantes)	311682	1512449	512
Tipo de Fuente:			X	-	-	-				
Pozo Perforado	Pozo Excavado	Manantial	<b>Información de la Fuente In Situ</b>							
Nivel Piezométrico:			Fuente de Contaminación				Tipo de Amenaza Potencial			
<b>Propiedad de la Fuente:</b>			<b>Puntual</b>	<b>Difusa</b>	<b>Natural</b>	<b>Antropogénica</b>	<b>Deslizamiento</b>	<b>Geológica</b>	<b>Meteoroló</b>	<b>Delicuencia</b>
Dolores Fernández			X	-	-	X	X	X	-	-
			<b>Diámetro</b>	<b>Profundid</b>	<b>Altura de</b>	<b>NE</b>				
			1.62 m	1.9 m	1.5 m	0.5 m				
GEOLOGÍA										
Formación Balsamo, miembro b3, rocas efusivas, básicas intermedias										

Anexo 32. Error del balance iónico de las muestras de pozos, manantiales y ríos en la época seca y lluviosa

**POZOS**

Muestra	Error de Balance Época Seca (%)	Error de Balance Época de Lluvia (%)
PE-1	-6	12
PE-2	-33	-13
PE-3	0	25
PE-4	-14	13
PE-5	-19	11
PE-6	-39	8
PE-7	-2	10
PE-8	9	10
PE-9	-5	43
PE-10	-9	8
PE-11	-3	3
PE-12	6	8
PE-13	7	14
PE-14	-7	1
PE-15	-13	25
PE-16	1	109
PE-17	-14	7
PE-18	8	35
PE-19	-23	12
PE-20	-33	13

**MANANTIALES**

Muestra	Error de Balance Época Seca (%)	Error de Balance Época de Lluvia (%)
MAN-1	-11	-13
MAN-2	-8	-1
MAN-3	-15	38
MAN-4	-3	-2
MAN-5	-1	-17
MAN-6	6	-7
MAN-7	-9	36
MAN-8	-5	-11
MAN-9	-8	9
MAN-10	-16	10
MAN-11	-12	5
MAN-12	-16	-7
MAN-13	-8	-1
MAN-14	2	6
MAN-15	4	9

**RIOS**

Muestra	Error de Balance Época Seca (%)	Error de Balance Época de Lluvia (%)
RT-1	-25	-46
RT-2	-29	6
RT-3	-36	-2
RT-4	-11	-34
RT-5	-15	14
RT-6	-14	0
RT-7	-5	40
RT-8	-12	4
RT-9	-21	13
RT-10	-10	5

Anexo 33. Datos anómalos de temperatura (°C) encontrados en el proceso de toma de datos en la subcuenca del río Acahuapa.

Punto de Muestreo	Época de Muestreo	Toma de Datos	Lectura (°C)
POZOS	DE LLUVIA	POZO DOMESTICO (PE-4)	31.78
		POZO DOMESTICO (PE-10)	36.18
	SECA	POZO DOMESTICO (PE-4)	31.40
		POZO DOMESTICO (PE-10)	36.06
MANANTIAL	DE LLUVIA	MANANTIAL (MAN-4)	33.64
		MANANTIAL (MAN-5)	33.35
		MANANTIAL (MAN-6)	34.17
	SECA	MANANTIAL (MAN-4)	39.35
		MANANTIAL (MAN-5)	34.78
		MANANTIAL (MAN-6)	36.35
RÍOS	DE LLUVIA	RIOS TRIBUTARIOS (RT-9)	33.94
		RIOS TRIBUTARIOS (RT-10)	34.84
		CAUCE PRINCIPAL RIO ACAHUAPA (CP-1)	34.2
		CAUCE PRINCIPAL RIO ACAHUAPA (CP-2)	33.04
		CAUCE PRINCIPAL RIO LEMPA (L-1)	34.2
	SECA	RIOS TRIBUTARIOS (RT-3)	33.11
		RIOS TRIBUTARIOS (RT-10)	33.54
		CAUCE PRINCIPAL RIO ACAHUAPA (CP-2)	33.32
CAUCE PRINCIPAL RIO LEMPA (L-2)	35.5		

Anexo 34. Datos de alcalinidad (mg/L) del agua de pozos, manantiales y ríos en la época seca de la subcuenca del río Acahuapa.

### POZOS

SIMBOLOGÍA	DATO	NOMBRE DE LA FUENTE
PE-1	112	SANTOS PALACIOS GOMEZ
PE-2	138	Sra. MARTA ALICIA DIAS
PE-3	116	CANTARERA DE LA ALCALDIA DE TEPETITAN
PE-4	101	DON ISABEL JOVEL PALACIOS
PE-5	131	DON LUIS ALONSO MORENO
PE-6	112	WILFREDO VLADIMIR HERNÁNDEZ
PE-7	124	MARTA ALICIA DIAZ
PE-8	98	JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-9	90	JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-10	126	POZO MUNICIPAL SAN CAYETANO
PE-11	105	POZO DE ESCAMILLA
PE-12	103	JOSE ARTURO CORDERO
PE-13	110	PEDRO AREVALO GOMEZ
PE-14	101	CANTARERA PUBLICA DE LA LAGUNA
PE-15	137	DORA LUZ
PE-16	89	ISABEL RIVAS
PE-17	137	COMEDOR LA MOLIENDA
PE-18	81	PANAMERICADA E-O
PE-19	61	PANAMERICADA E-O
PE-20	138	PANAMERICADA E-O

### MANANTIALES

SIMBOLOGÍA	DATOS	NOMBRE DE FUENTE
MAN-1	130	EL CHORERON (1)
MAN-2	123	EL CHORERON (2)
MAN-3	88	BOMBA SAN LORENZO
MAN-4	181	MANANTIAL MARCELO
MAN-5	181	BOMBA EL POTRERILLO (TER)
MAN-6	204	TERMICO BENEFICIO
MAN-7	100	BOMBA DE LOS MAGOS
MAN-8	129	PROPIEDAD DE DON EDIS
MAN-9	84	PANTANO ISTEPEQUE
MAN-10	81	PROPIEDAD DE BETO AREVALO
MAN-11	82	PROPIEDAD BETO BARRERA
MAN-12	146	PROPIEDAD DE LOS CHAVEZ
MAN-13	103	COLONIA LA PRIMAVERA
MAN-14	126	RESERV. NAT. LA JOYA
MAN-15	73	CERRO TECONAL

### RIOS

SIMBOLOGÍA	DATOS	UBICACIÓN
RT-1	95	Rio San Felipe
RT.-2	109	Rio La Joya
RT-3	110	Rio Sisimico
RT-4	90	Tributario del Rio la Joya
RT-5	90	Rio Amapulapa
RT-6	90	Rio Achichilco
RT-7	112	Rio La Quinta
RT-8	126	Rio Istepeque
RT-9	175	Rio El Flor
RT-10	176	Rio Tepetitan

Anexo 35. Datos de alcalinidad (mg/L) del agua de pozos, manantiales y ríos, en la época lluviosa de la subcuenca del río Acahuapa.

### POZOS

CODIGO	CANTIDAD	DUEÑO
PE-1	112	SANTOS PALACIOS GOMEZ
PE-2	176	Sra. MARTA ALICIA DIAS
PE-3	108	ALCALDIA DE TEPETITAN
PE-4	122	ISABEL JOVEL PALACIOS
PE-5	124	LUIS ALONSO MORENO
PE-6	136	WILFREDO VLADIMIR HERNÁNDEZ
PE-7	146	MARTA ALICIA DIAZ
PE-8	120	JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-9	102	JOSE ANTONIO VILLALTA
PE-10	136	MUNICIPAL SAN CAYETANO
PE-11	100	POZO DE ESCAMILLA
PE-12	142	JOSE ARTURO CORDERO
PE-13	122	PEDRO AREVALO GOMEZ
PE-14	82	CANTARERA PUBLICA DE LA LAGUNA
PE-15	110	POZO DE DORA LUZ
PE-16	192	POZO DE ISABEL RIVAS
PE-17	96	POZO COMEDOR LA MOLIENDA
PE-18	120	PANAMERICADA E-O
PE-19	72	PANAMERICADA E-O
PE-20	144	PANAMERICADA E-O

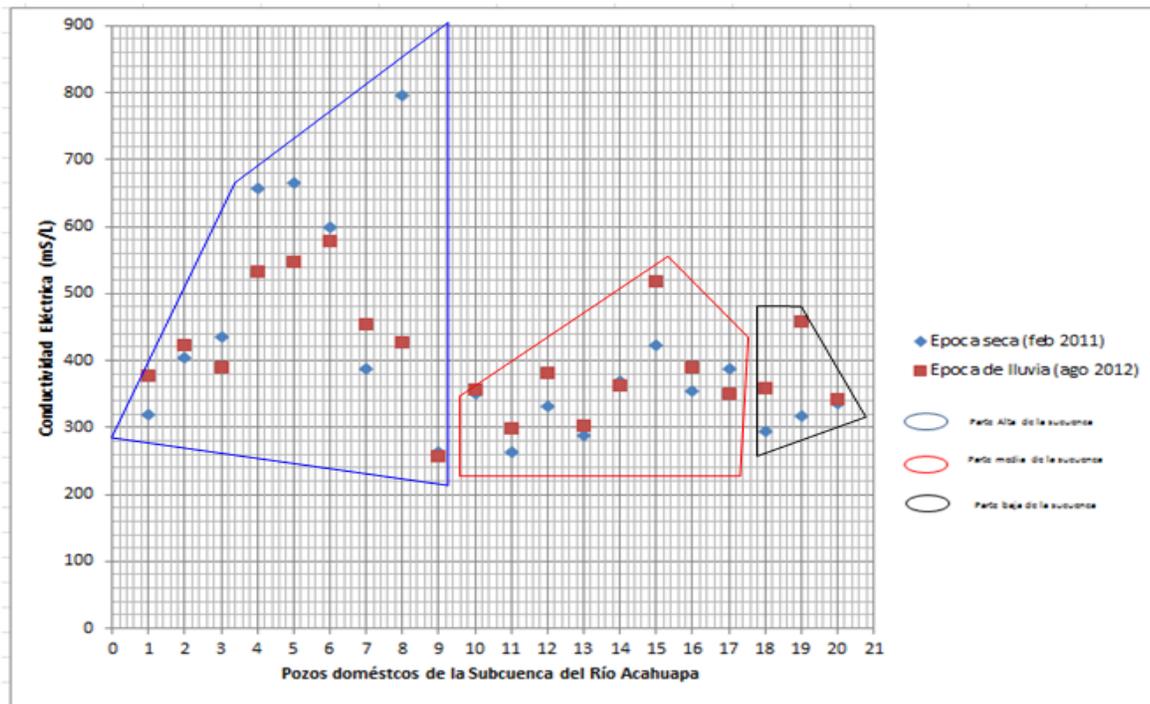
### MANANTIALES

CODIGO	DATO	LUGAR
MAN-1	156	EL CHORERON (1)
MAN-2	144	EL CHORERON (2)
MAN-3	114	BOMBA SAN LORENZO
MAN-4	206	MANANTIAL MARCELO
MAN-5	194	BOMBA EL POTRERILLO (TER)
MAN-6	166	TERMICO BENEFICIO
MAN-7	118	BOMBA DE LOS MAGOS
MAN-8	174	PROPIEDAD DE DON EDIS
MAN-9	110	PANTANO ISTEPEQUE
MAN-10	110	PROPIEDAD DE BETO AREVALO
MAN-11	96	PROPIEDAD BETO BARRERA
MAN-12	180	PROPIEDAD DE LOS CHAVEZ
MAN-13	120	COLONIA LA PRIMAVERA
MAN-14	148	RESERV. NAT. LA JOYA
MAN-15	82	CERRO TECONAL

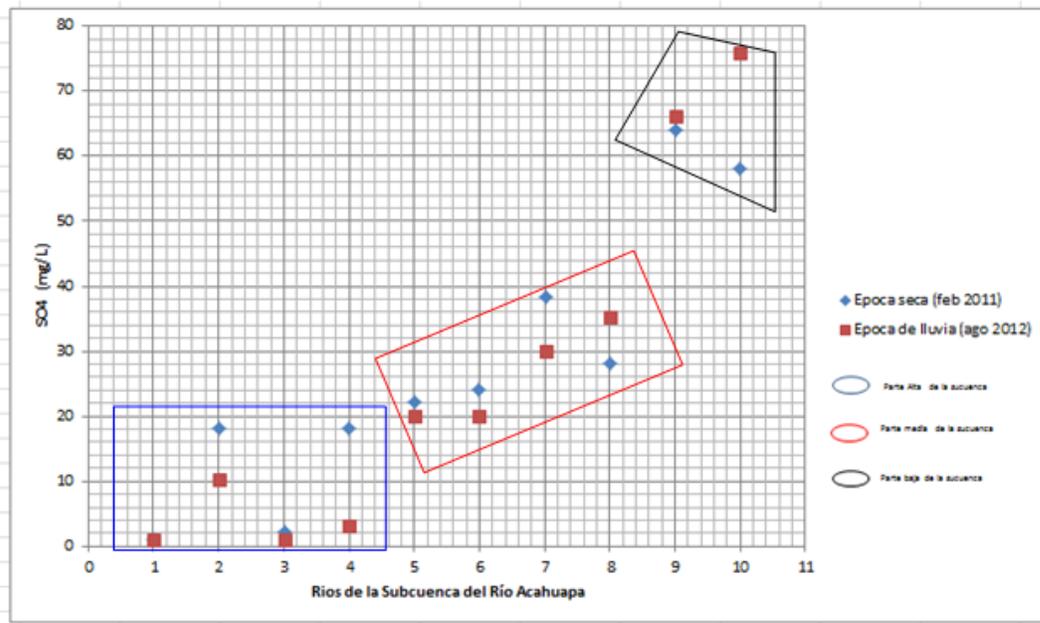
### RIOS

CODIGO	DATO	NOMBRE
RT-1	70	Rio San Felipe
RT-2	86	Rio La Joya
RT-3	120	Rio Salinico
RT-4	66	Tributario del Rio la Joya
RT-5	132	Rio Anapulapa
RT-6	98	Rio Achichico
RT-7	182	Rio La Quinta
RT-8	142	Rio Istepeque
RT-9	216	Rio El Flor
RT-10	210	Rio Tepetitán

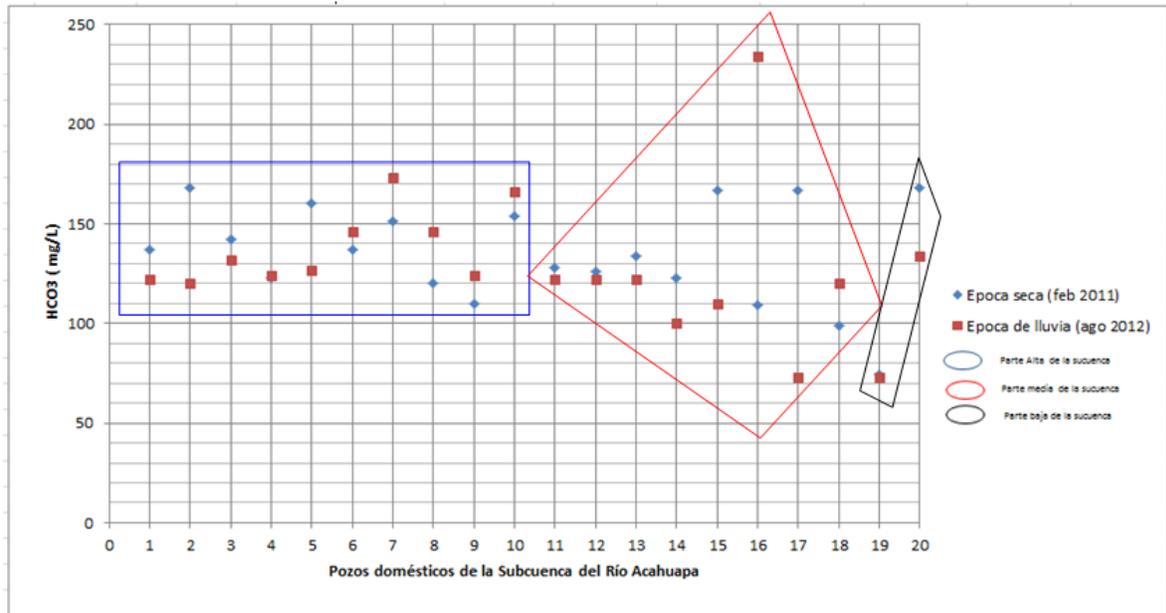
Anexo 36. Conductividad eléctrica en pozos en época seca y de lluvia.



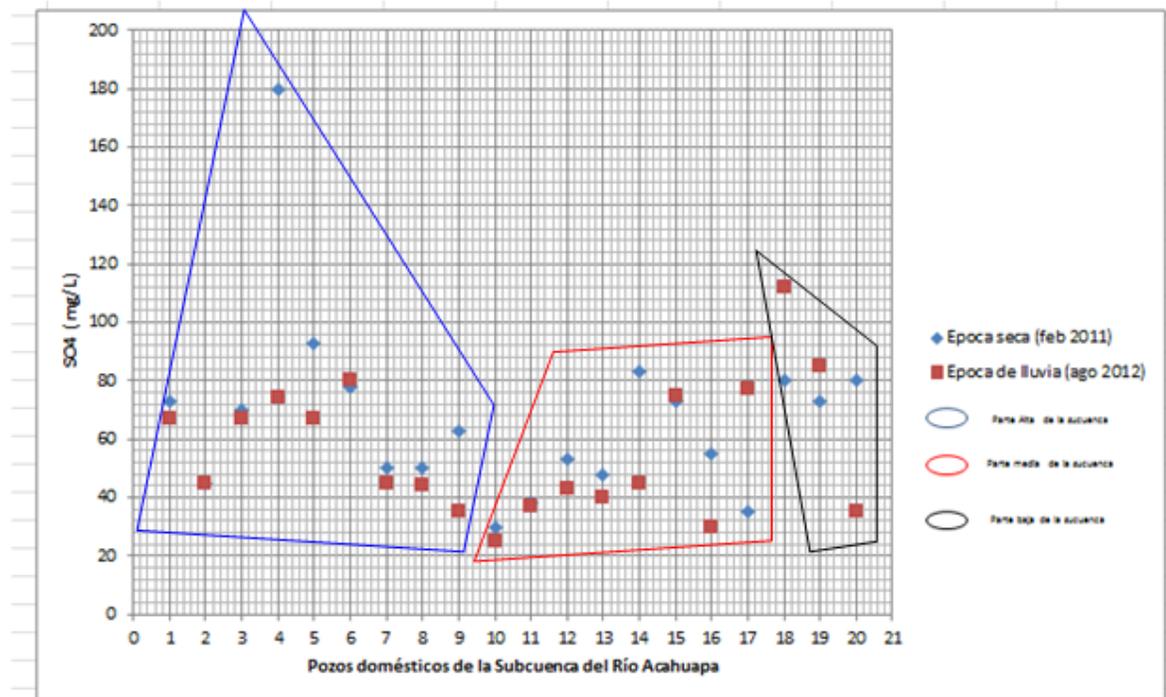
Anexo 37. Contenido de sulfato en ríos en época seca y de lluvia.



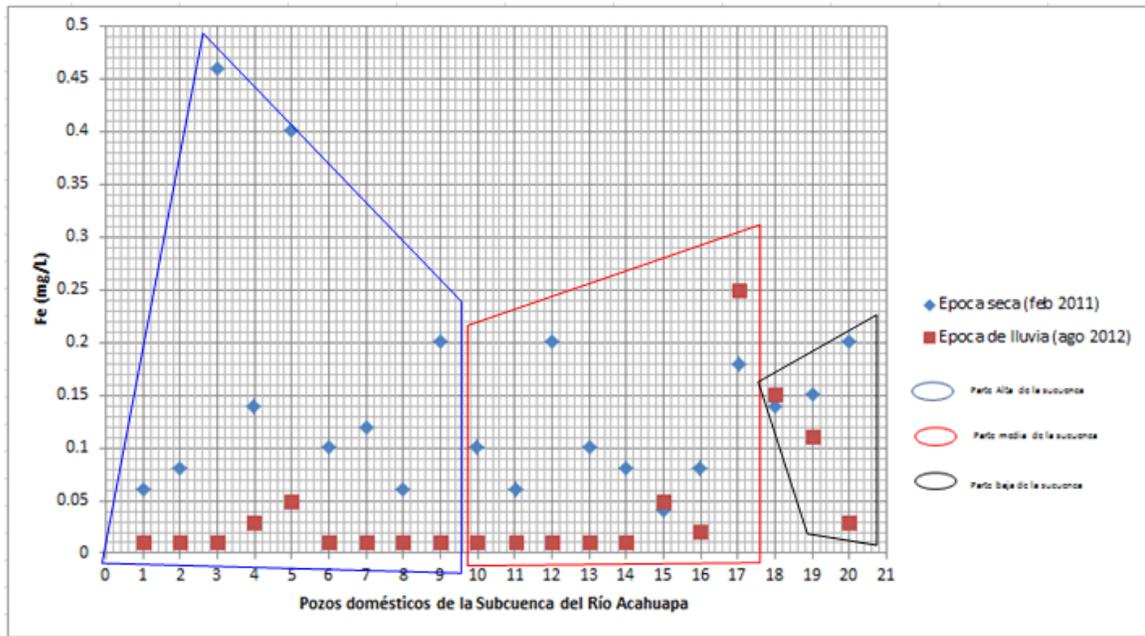
Anexo 38. Contenido de bicarbonato en pozos en época seca y de lluvia.



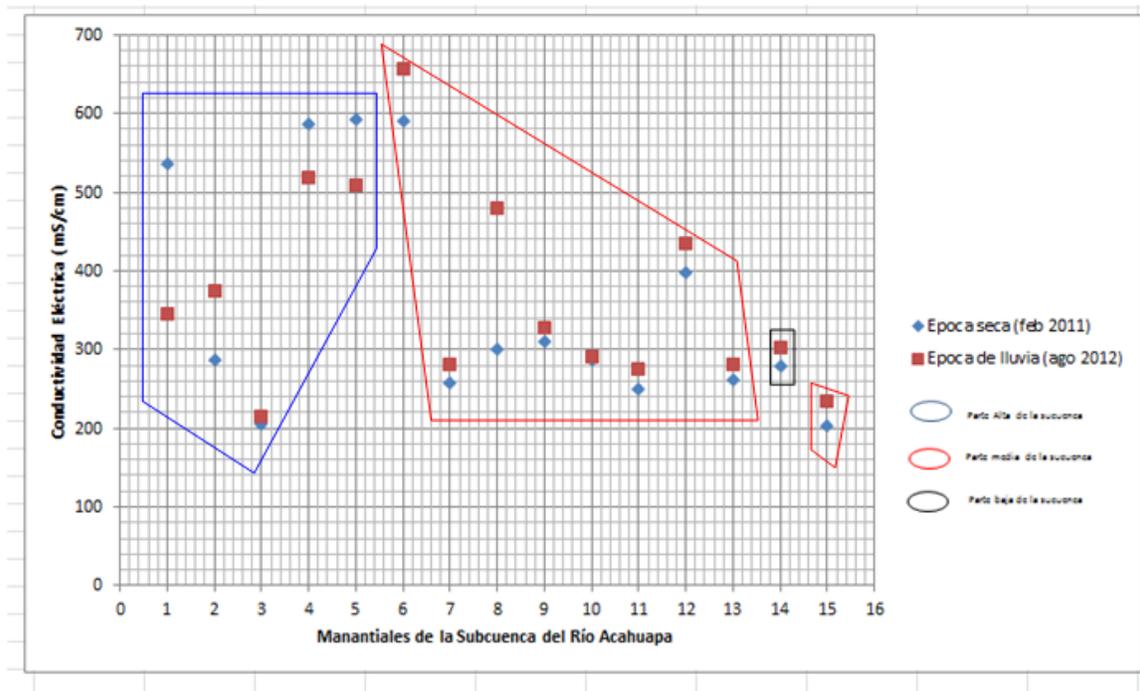
Anexo 39. Contenido de sulfato en pozos en época seca y de lluvia.



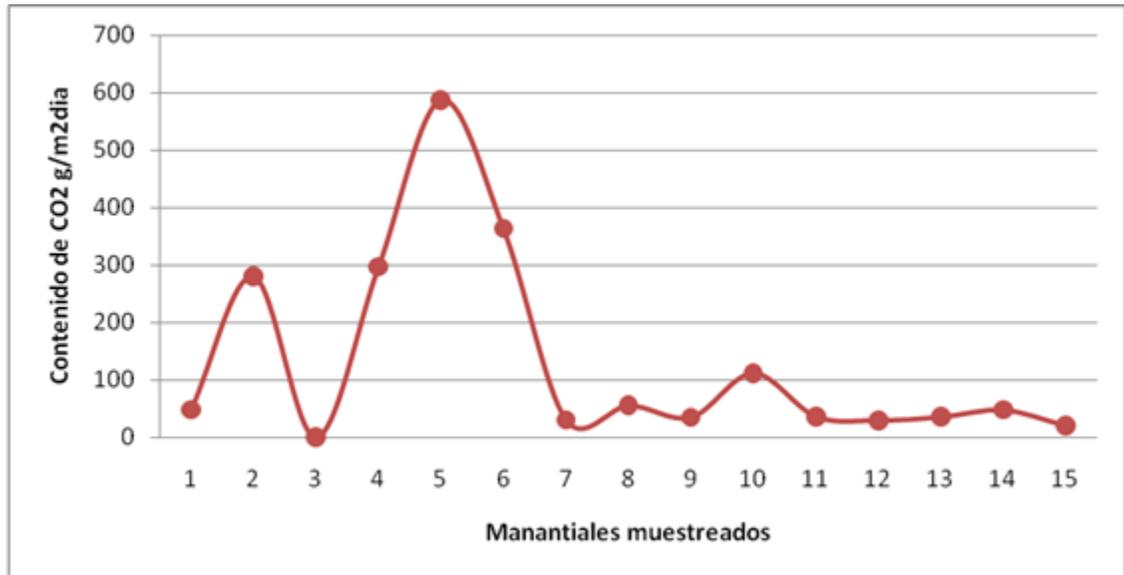
Anexo 40. Contenido de hierro en pozos en época seca y de lluvia.



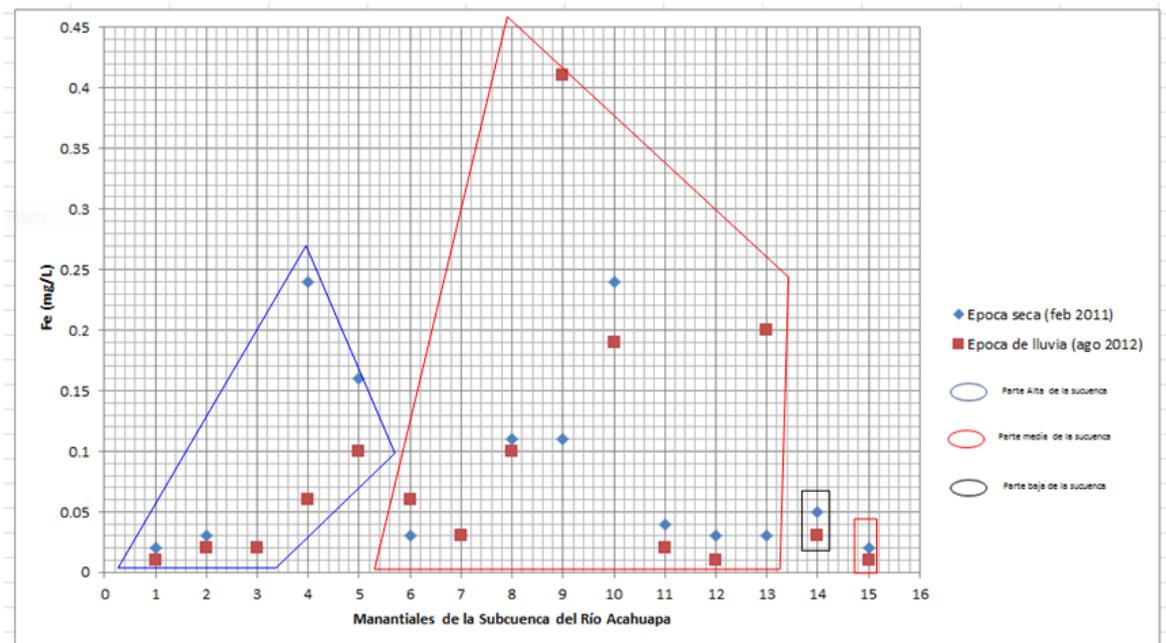
Anexo 41. Conductividad eléctrica en manantiales en época seca y de lluvia.



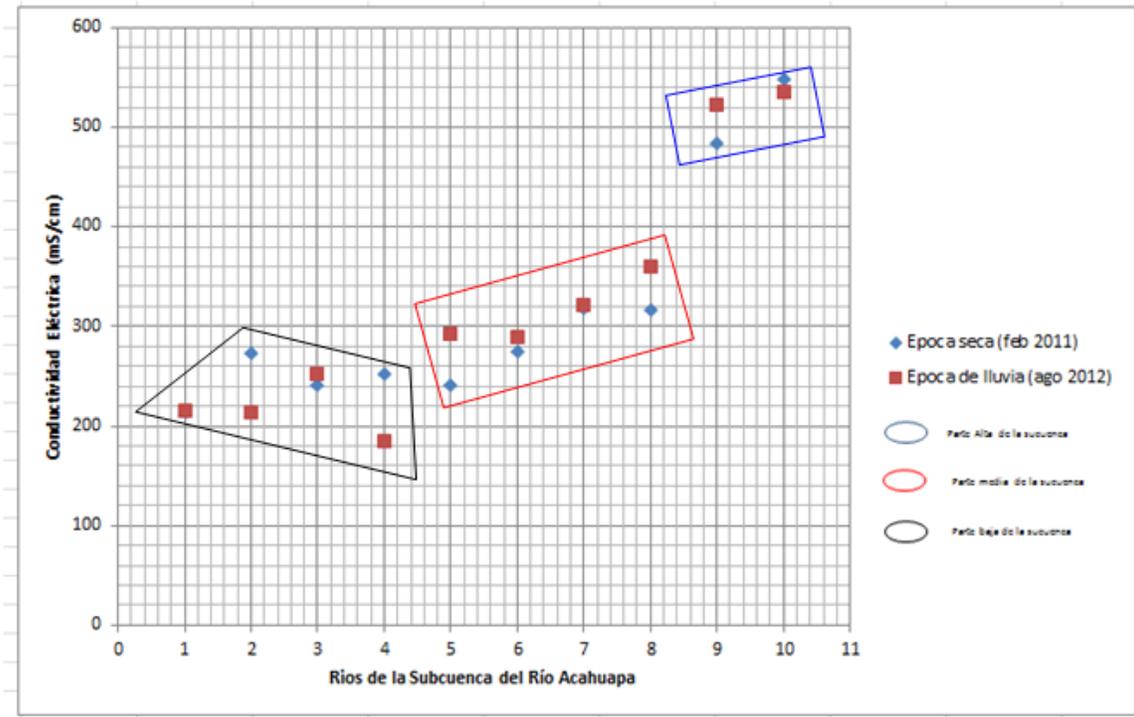
Anexo 42. Contenido de flujo de dióxido de carbono en manantiales en época seca.



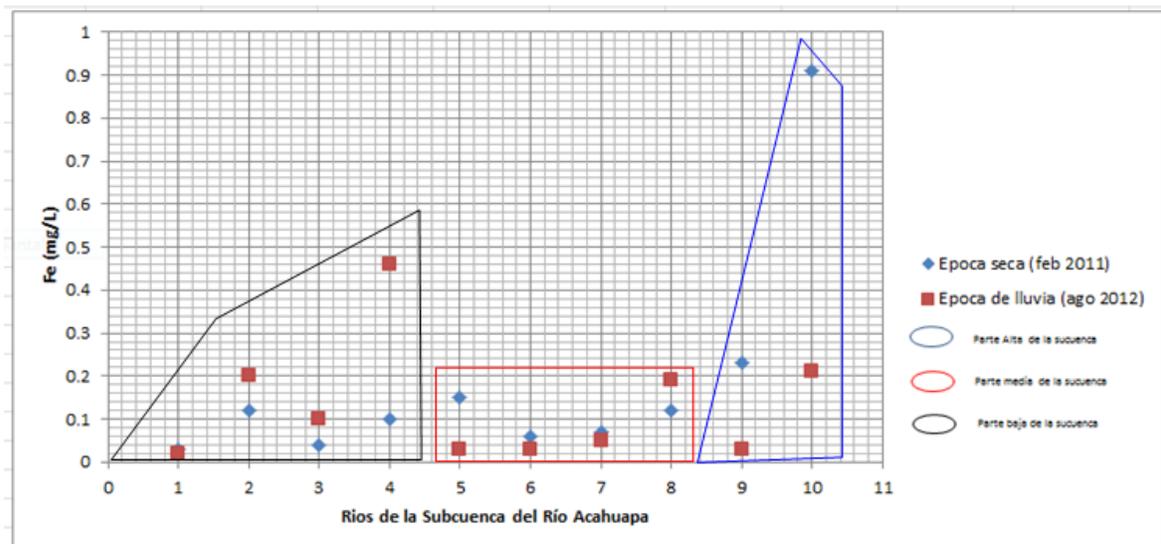
Anexo 43. Contenido de hierro en manantiales en época seca y de lluvia.



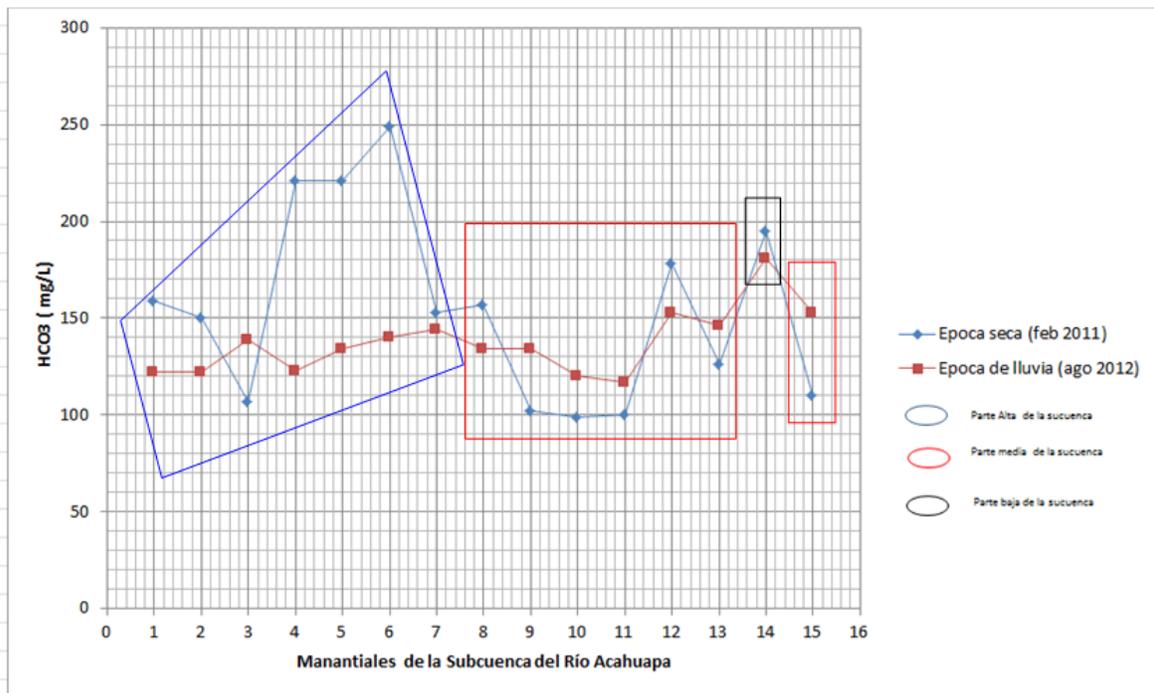
Anexo 44. Conductividad eléctrica en ríos en época seca y de lluvia.



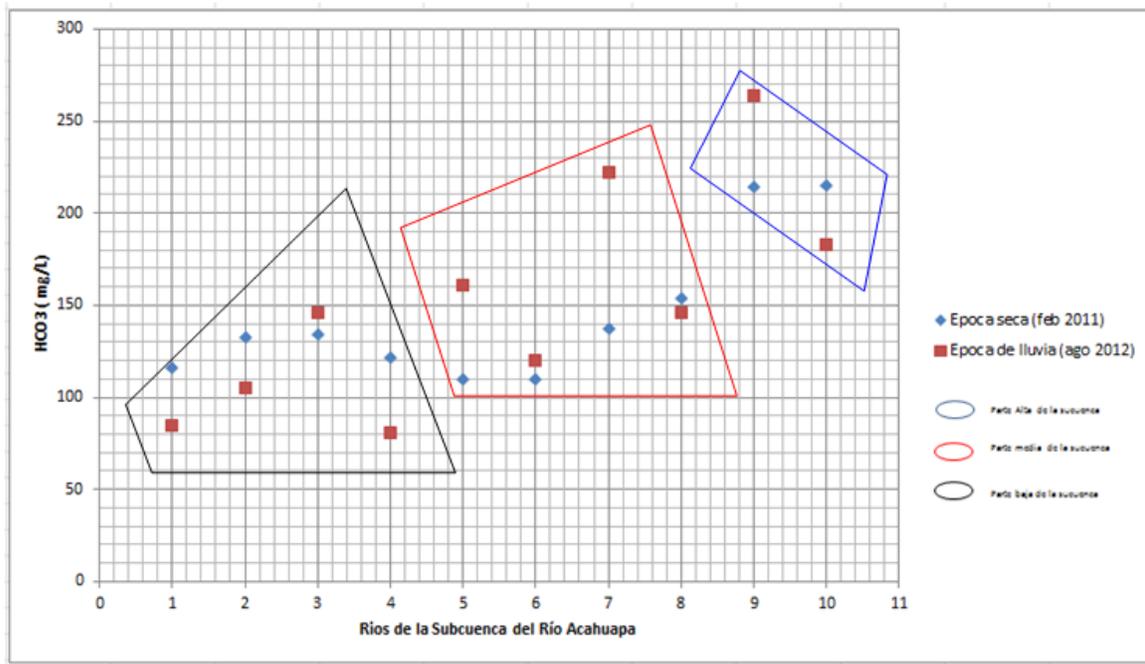
Anexo 45. Contenido de hierro en ríos en época seca y de lluvia.



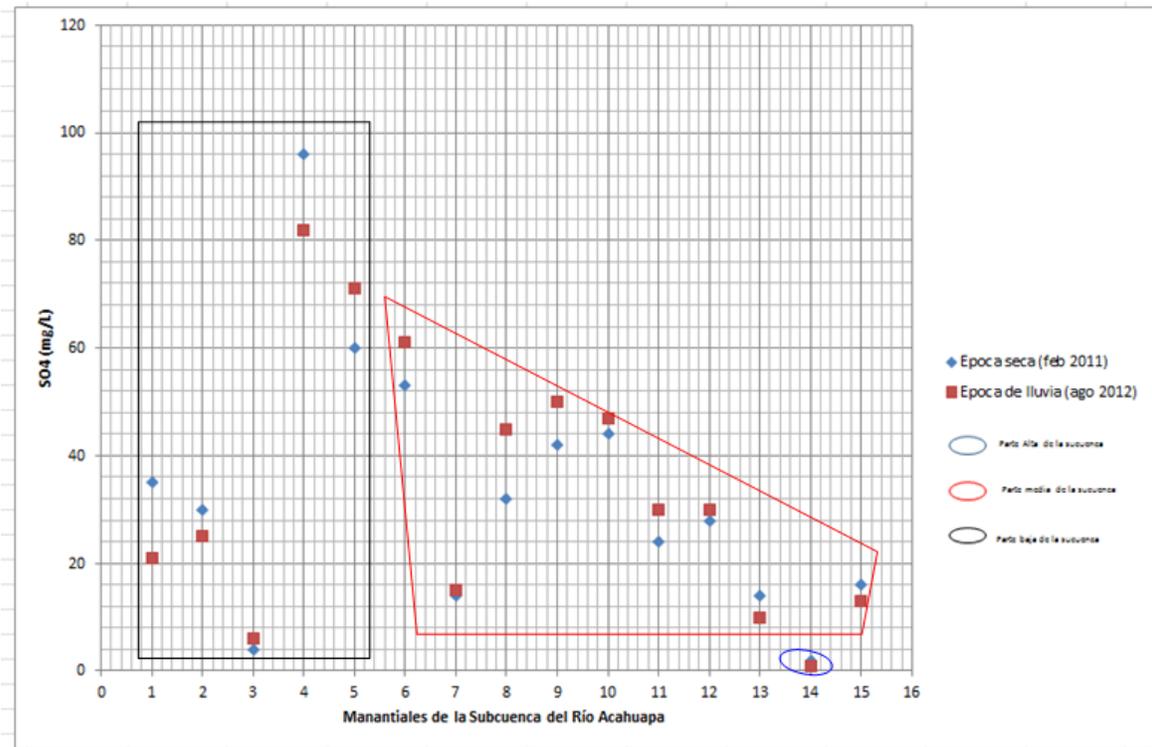
Anexo 46. Contenido de bicarbonato en manantiales en época seca y de lluvia.



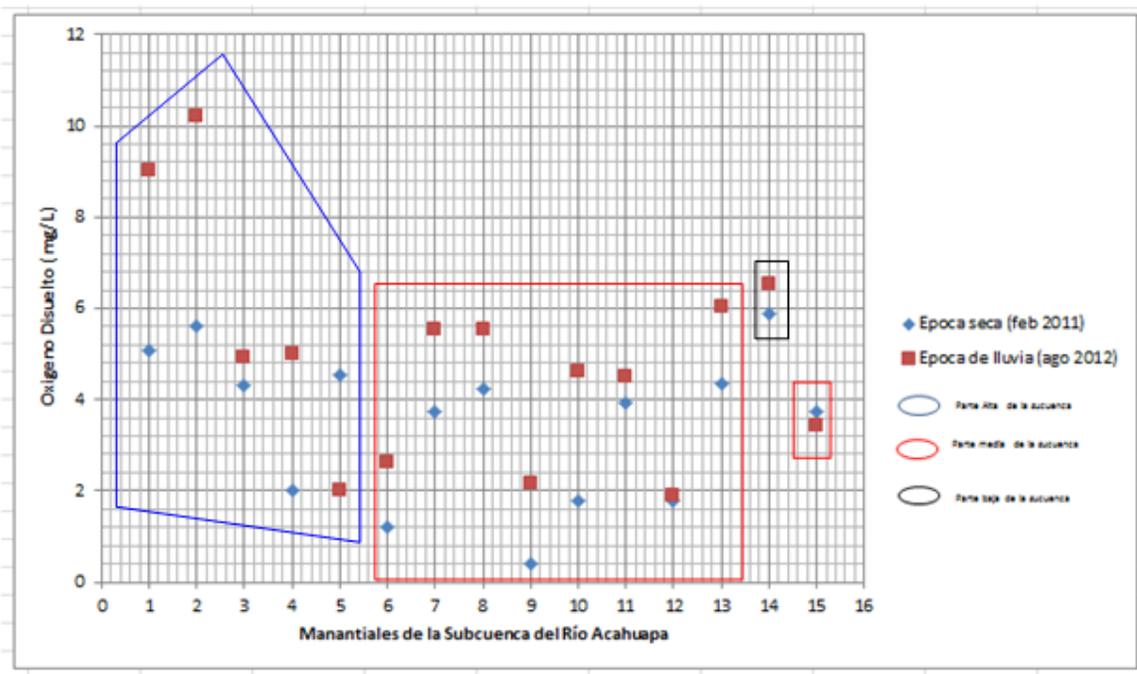
Anexo 47. Contenido de bicarbonatos en ríos en época seca y de lluvia



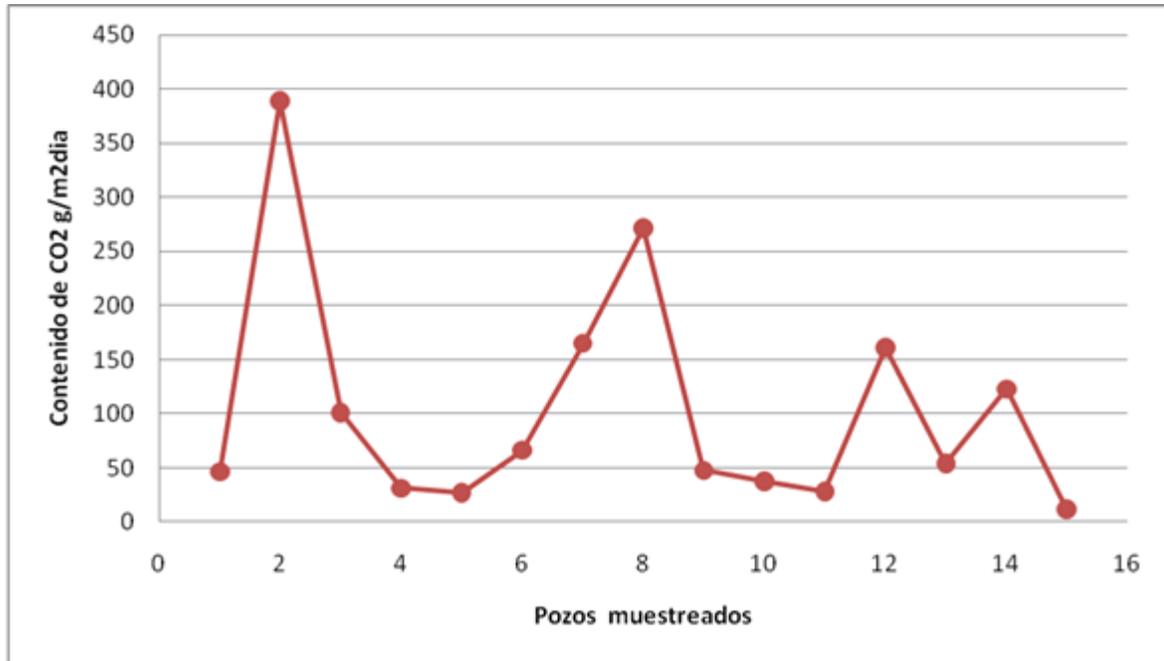
Anexo 48. Contenido de sulfato en manantiales en época seca y de lluvia.



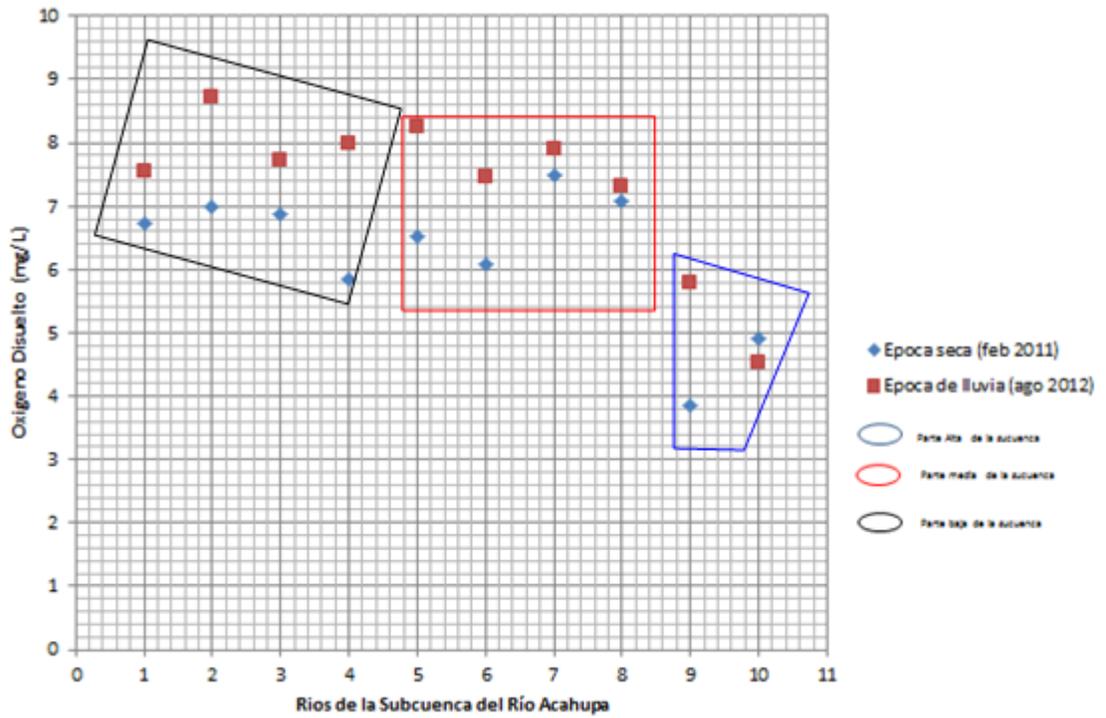
Anexo 49. Contenido de oxígeno disuelto en manantiales en época seca y de lluvia.



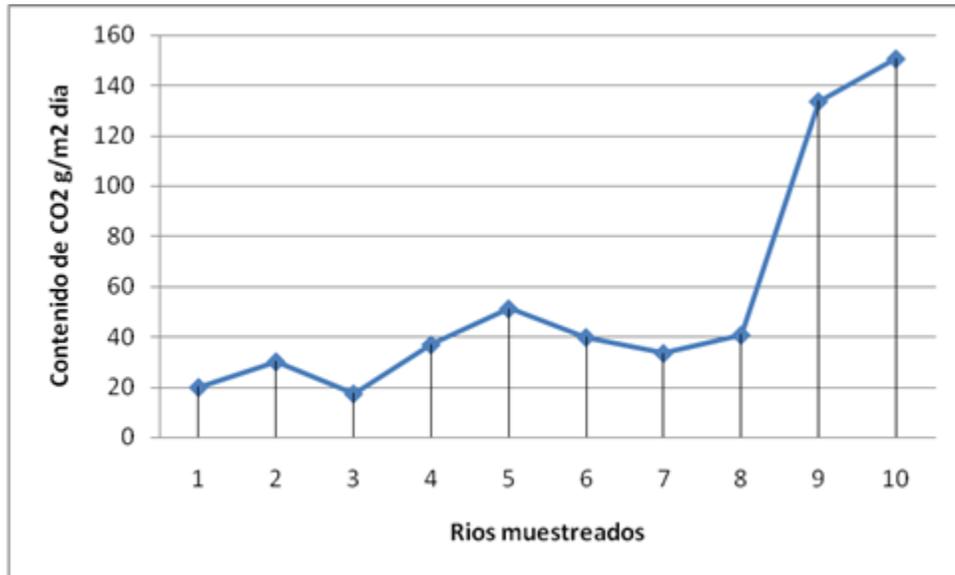
Anexo 50. Contenido del flujo de dióxido de carbono en pozos en época seca.



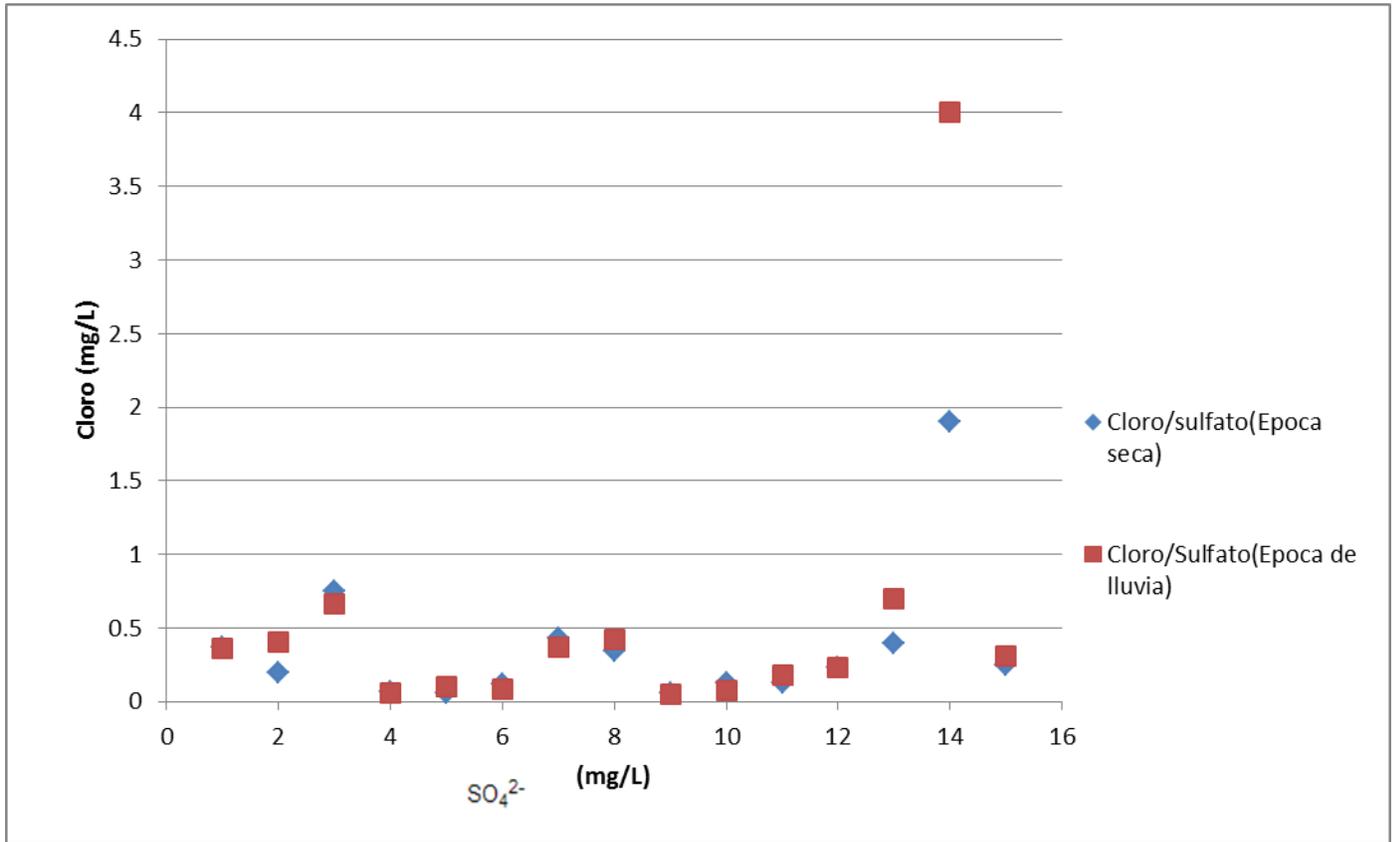
Anexo 51. Contenido de oxígeno disuelto en ríos en época seca y de lluvia.



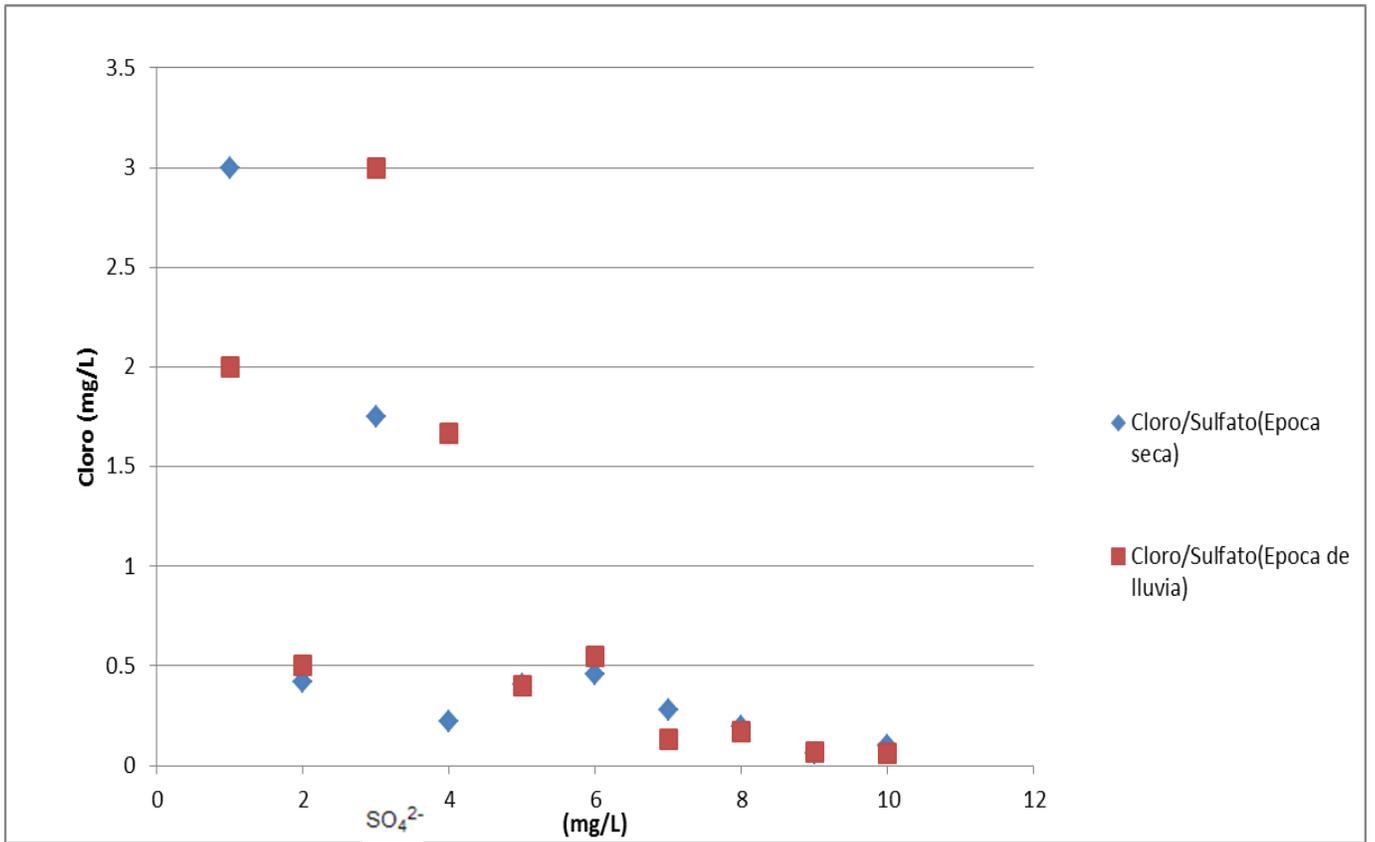
Anexo 52. Contenido de flujo de dióxido de carbono en ríos en época seca.



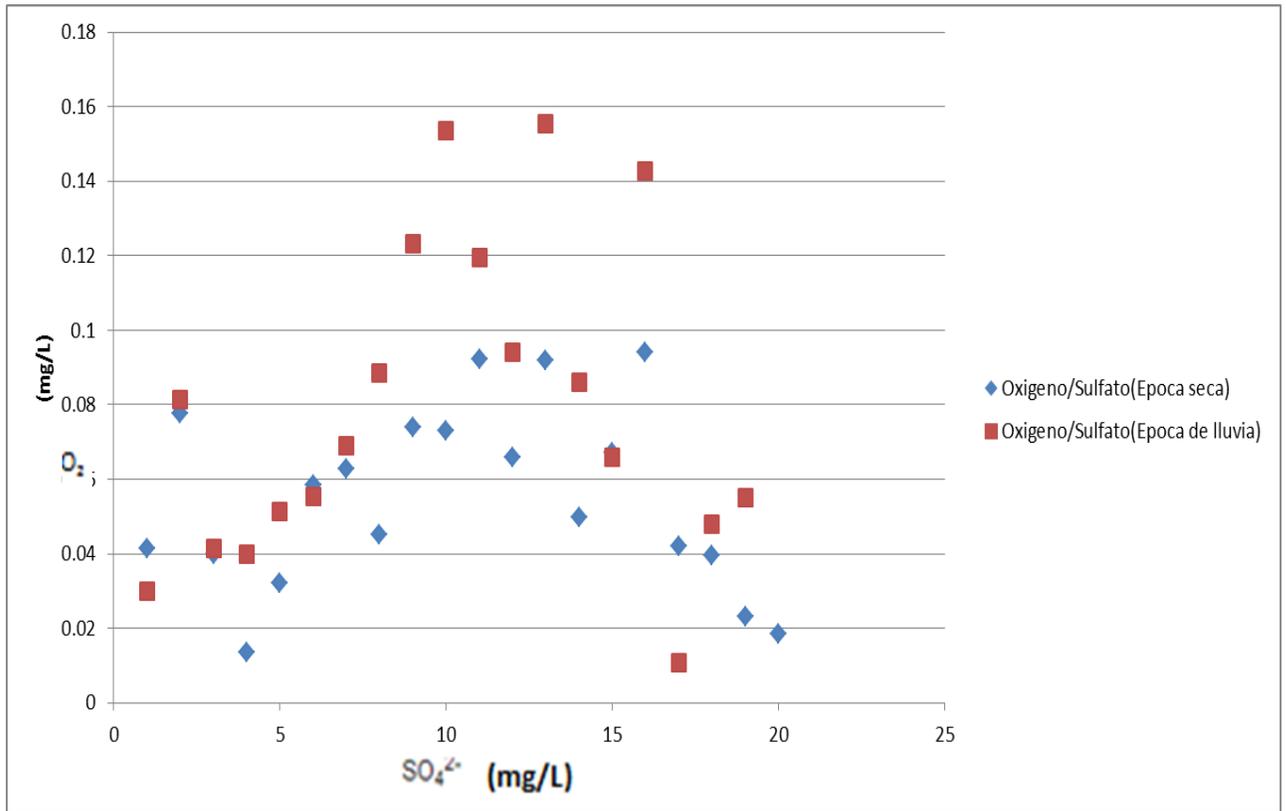
Anexo 53. Relación cloro/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia.



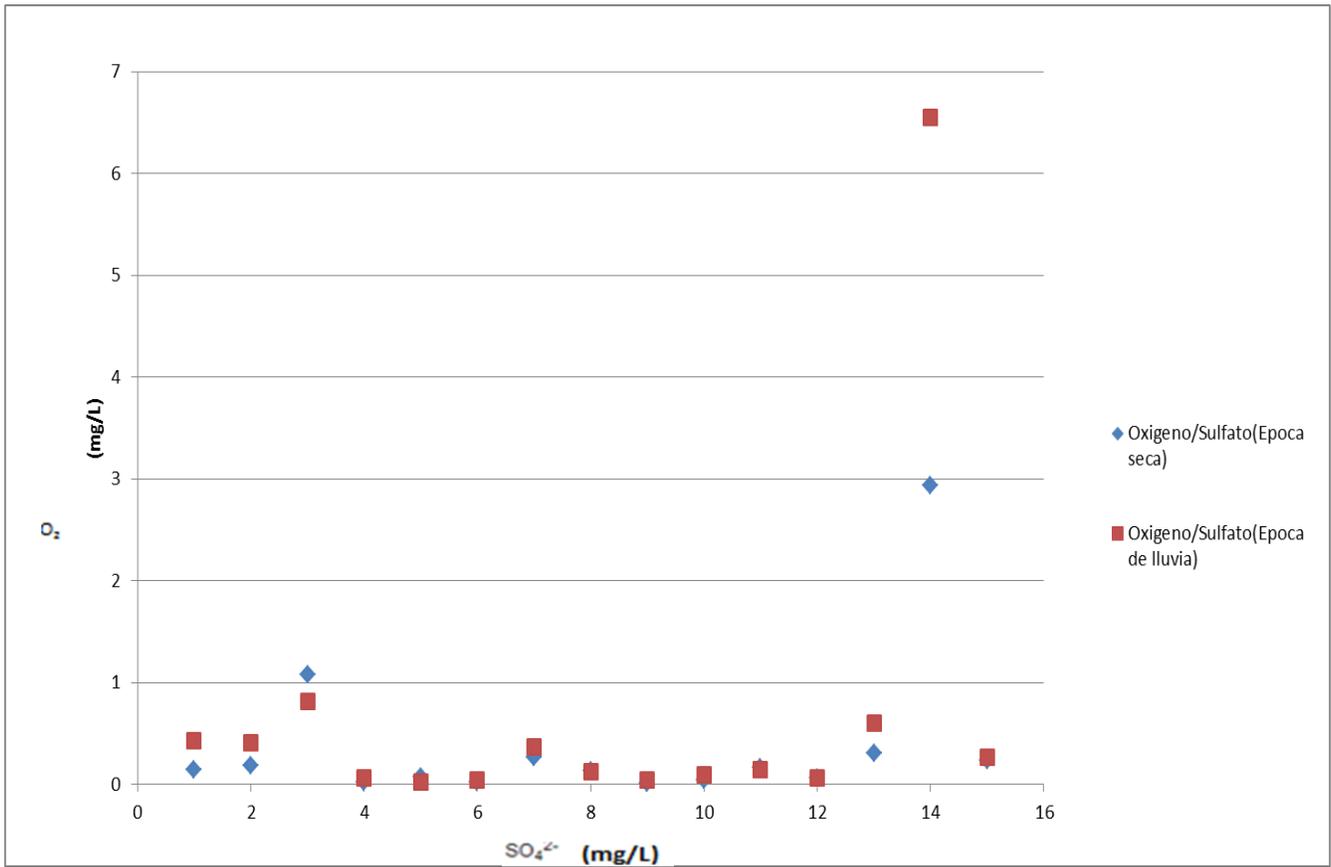
Anexo 54. Relación cloro/sulfato en ríos en época seca y de lluvia.



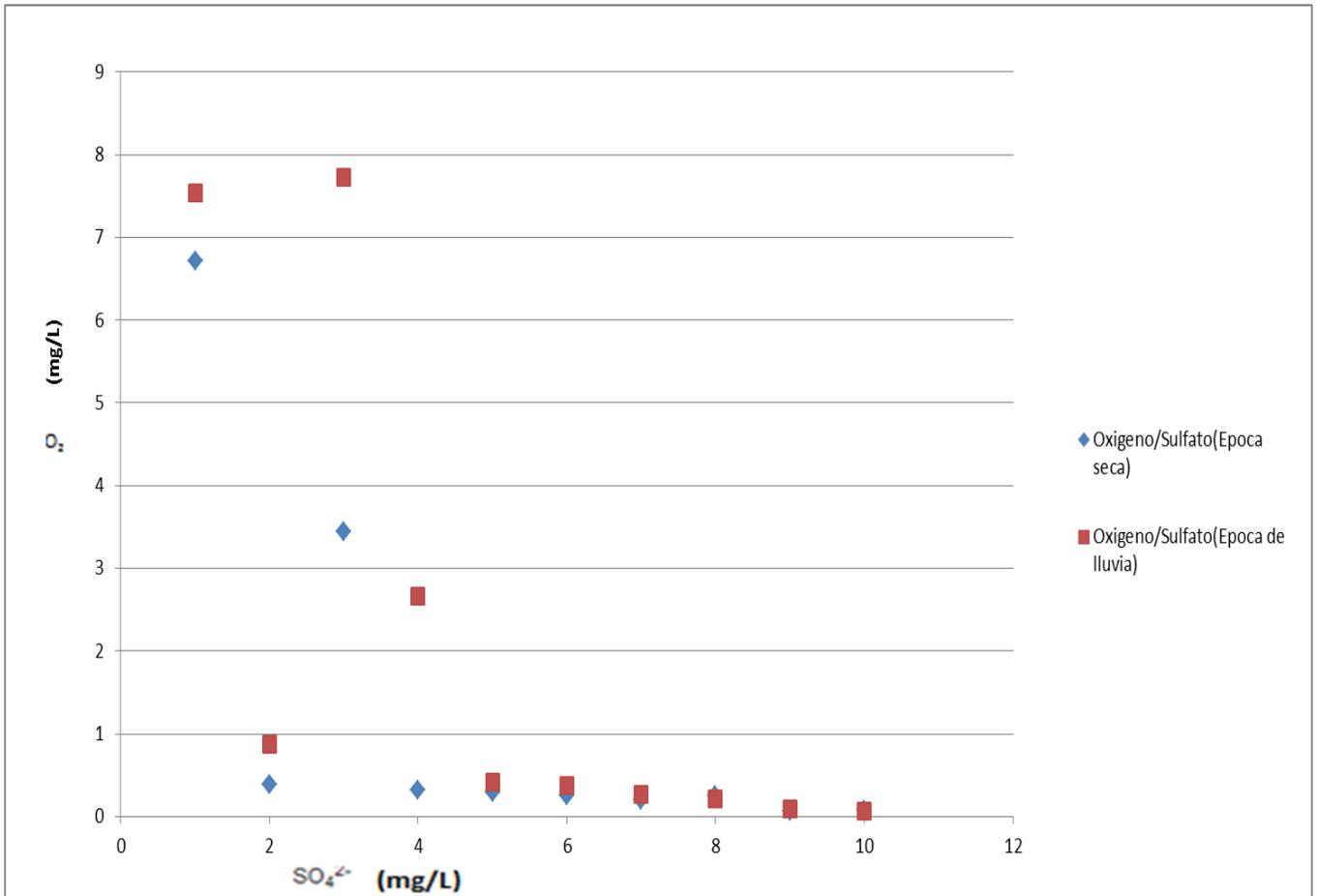
Anexo 55. Relación oxígeno/sulfato en pozos en época seca y de lluvia.



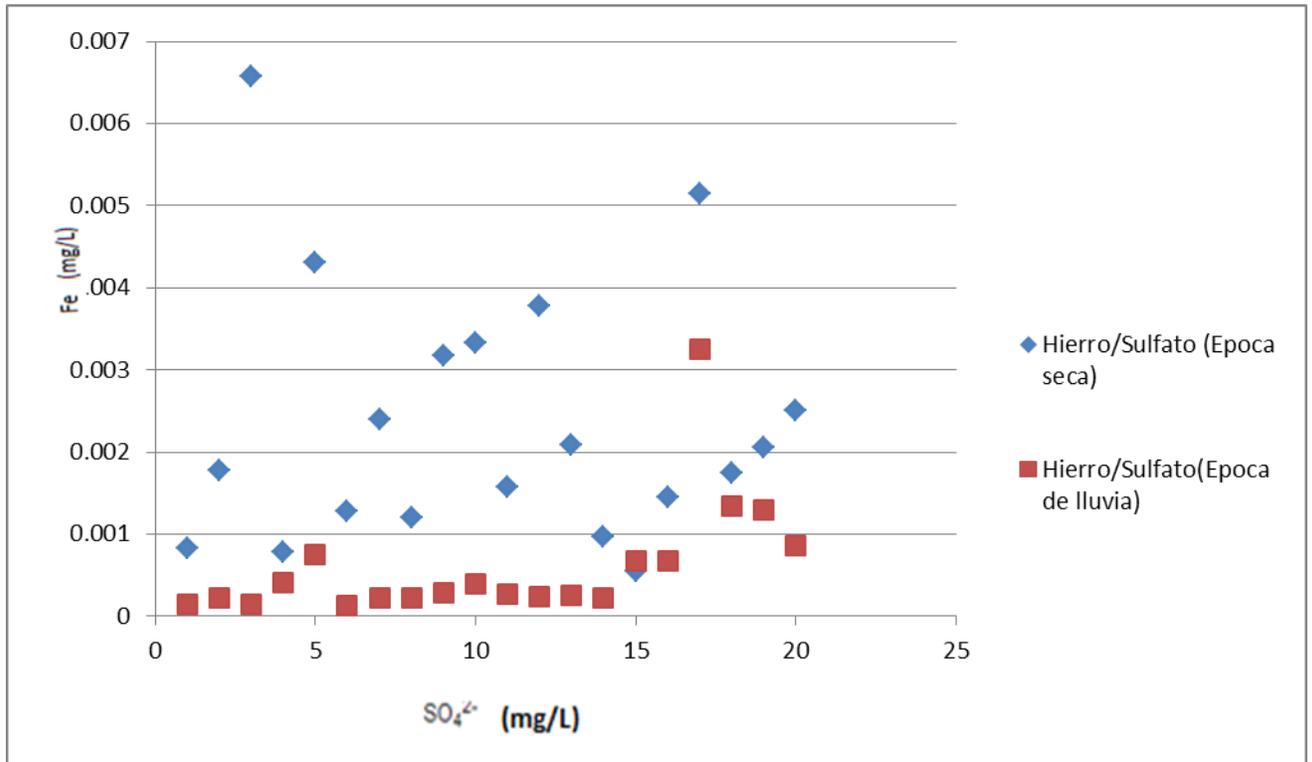
Anexo 56. Relación oxígeno/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia.



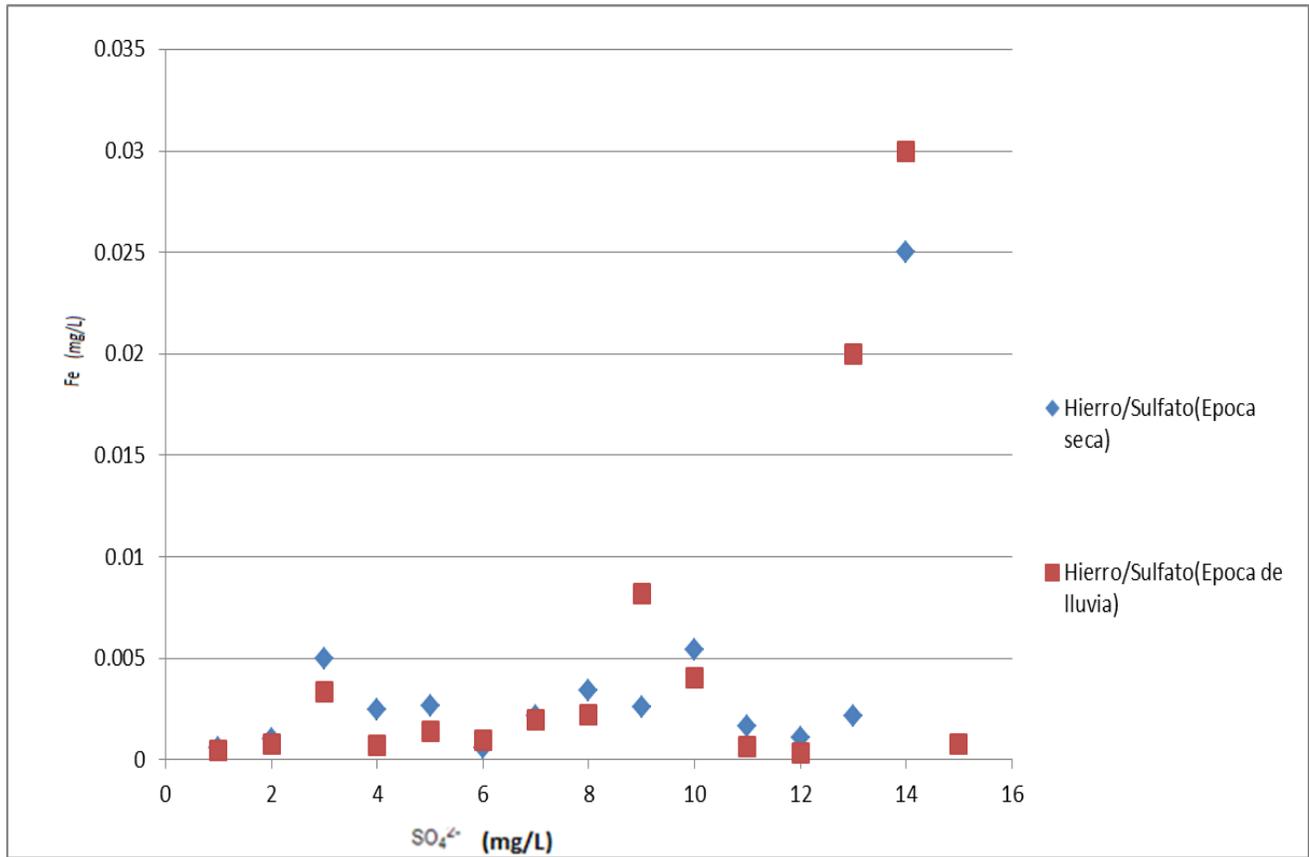
Anexo 57. Relación oxígeno/sulfato en ríos en época seca y de lluvia.



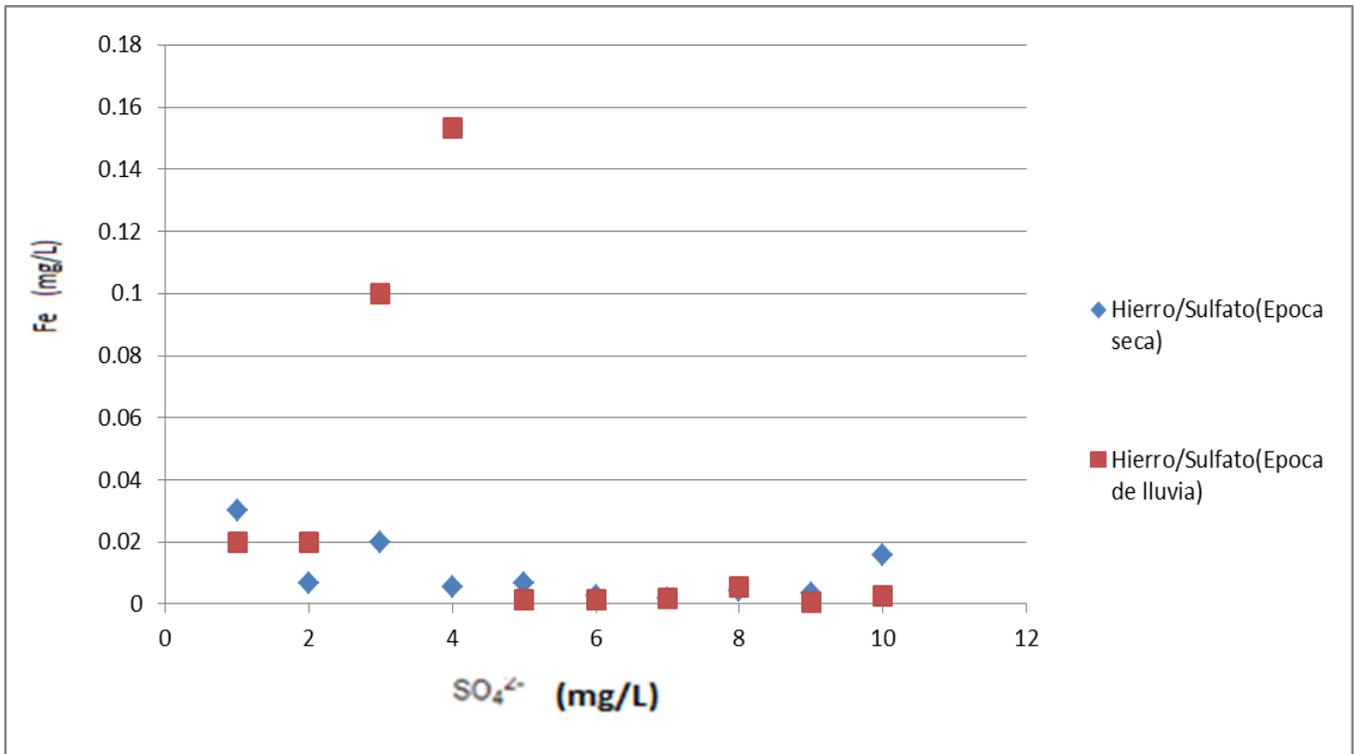
Anexo 58. Relación hierro/sulfato en pozos en época seca y de lluvia.



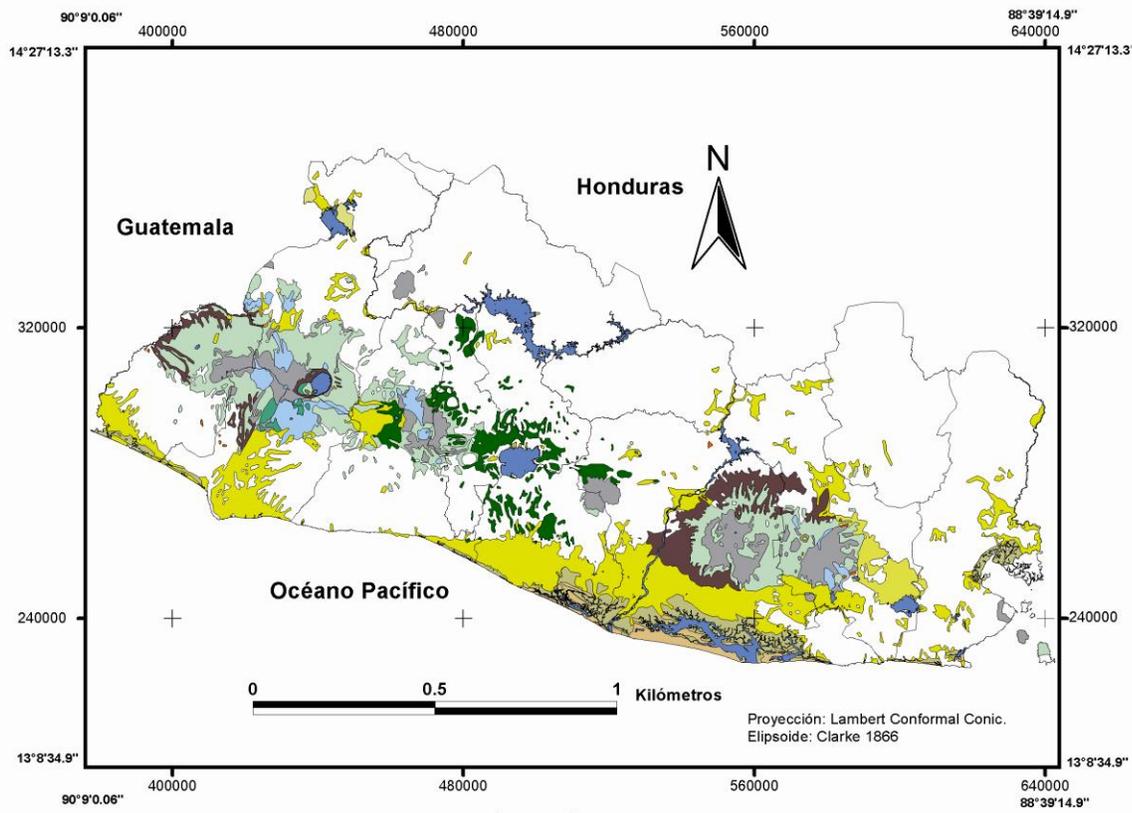
Anexo 59. Relación hierro/sulfato en manantiales en época seca y de lluvia.



Anexo 60. Relación hierro/sulfato en ríos en época seca y de lluvia.



Anexo 61. Mapa geológico de El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1997.



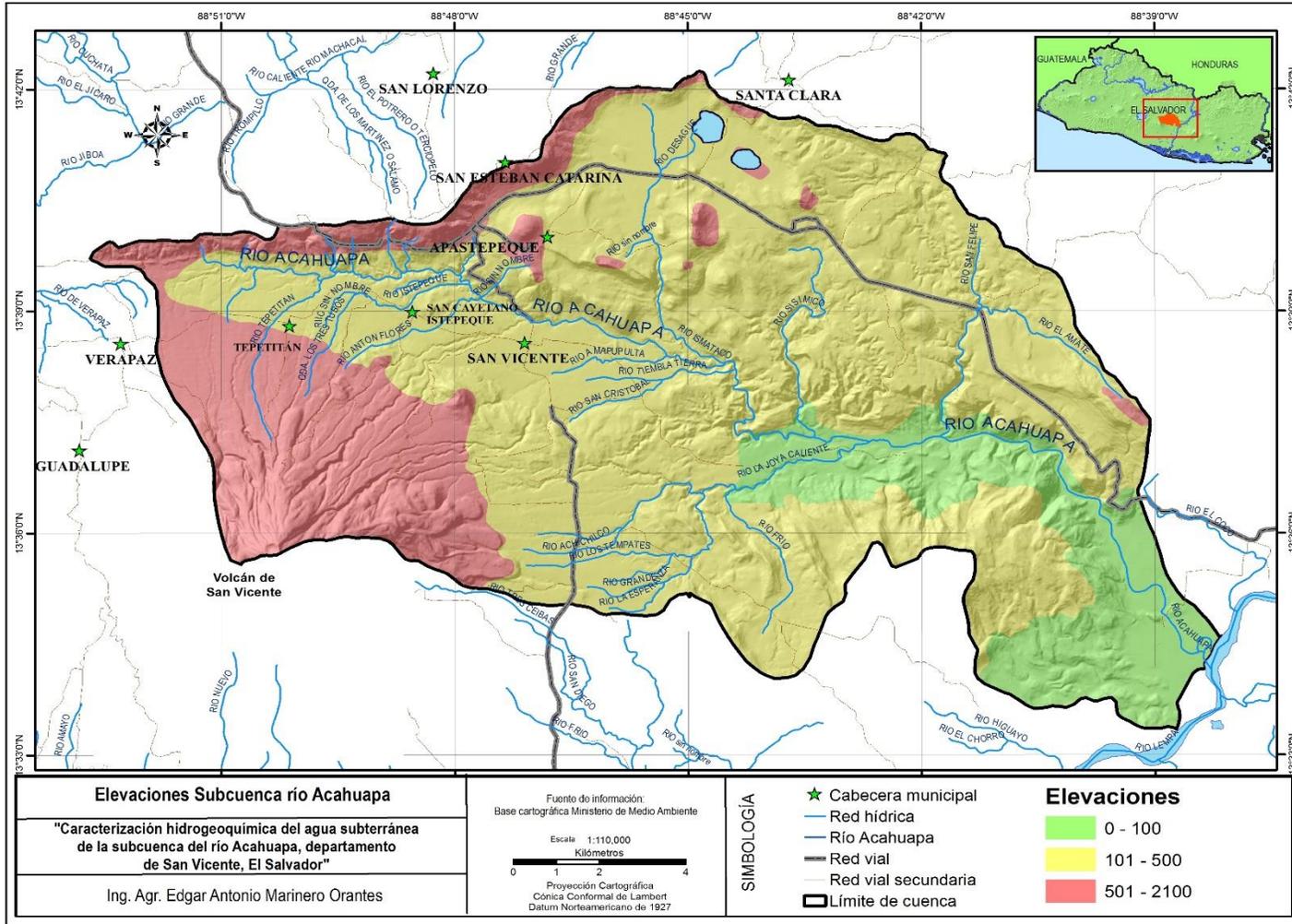
**Legenda**

- Departamentos
- s1 Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas, localmente efusivas básicas - intermedias.
- s2 Efusivas básicas - intermedias, piroclastitas subordinadas
- s3'a Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café)
- s3'b Efusivas ácidas
- s4 "Tierra blanca", Piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas, localmente efusivas ácidas.
- s5'a Efusivas básicas - intermedias.
- s5'b Conos de acumulación (escorias, tobas de lapilli, cinder)
- s5'c Cenizas volcánicas y tobas de lapilli.
- Q'f Aluviones.
- Q'm Aluviones (Manglares)
- Q's Aluviones (barras costeras).
- Agua

Anexo 62. Inventario de los pozos perforados de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), San Vicente, El Salvador.

No.	Nombre	Ubicación		Elev. (msnm)	Prof. (m)	N.E. (m)	Diam. (pulg.)	Transm. (m <sup>2</sup> / día)
		Norte	Este					
1	Planta Tlaloc	286150.00	527650.00	510.0	61.89	9.12	08	3530
2	Planta de bombeo, cantón Calderas, Apastepeque	284875.00	525300.00	509.0	--	8.05	--	--
3	Hospital Santa Gertrudis Pozo No.1	280075.00	523400.00	350.0	61.01	27.17	--	248
4	Hospital Santa Gertrudis pozo No. 2							
5	Planta Los Pozos n° 2, Barrio Concepción	279850.00	521850.00	460.0	60.96	41.15	--	1051
6	Planta Los Pozos n°1, Barrio Concepción	279925.00	521850.00	460.0	51.82	38.40	--	--
7	Planta Los Pozos n°3, Barrio Concepción	280220.39	522327.67	--	--	--	--	--
8	Planta Ana Guerra de Jesús Pozo No.1, Colonia IVU	280200.00	524525.00	350.0	109.73	9.50	12	593
9	La Primavera, Pozo No. 1	278594.00	524844.82	343.0	60.00	8.18	8	184.63
10	La Primavera pozo No. 2	278618.51	524760.64	345	En const.	-	-	-
11	Pozo n° 1, Ingenio Jiboa, cantón San Diego	273800.00	524125.00	263.0	107.29	27.43	10	401
12	Pozo n° 2, Ingenio Jiboa, cantón San Diego	273725.00	524100.00	463.0	108.51	28.35	12	385
13	Planta Ana Guerra de Jesús Pozo No.2, Colonia IVU	280314.38	524344.00	350.0	--	--	--	--
14	El Sillón Sn. Emigdio	279500.00	514000.00	650	88.20	48.80	--	870
15	San José, Molienda	280000.00	514000.00	645	122	44.50	10	1210
16	Beneficio Molinero	281300.00	515400.00	610	60	--	--	--
17	Pozo No.1 Cantón San Benito, Guadalupe	279050.00	513350.00	640	90	53.70	6	247

Anexo 63. División morfológica de la subcuenca del río Acahuapa.



Anexo 64. Geología identificada en la subcuenca del río Acahuapa.

<b>FORMACIÓN SAN SALVADOR</b>	<b>Q`f</b>	<b>Depósitos sedimentarios del cuaternario</b>
	<b>S4</b>	<b>Tierra Blanca, Piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas</b>
	<b>S2</b>	<b>Efusivas básicas -intermedias, piroclastitas subordinadas</b>
<b>FORMACIÓN CUSCATLAN</b>	<b>C1</b>	<b>Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas</b>
	<b>C2</b>	<b>Efusivas- básicas intermedias ácidas</b>
	<b>C3</b>	<b>Efusivas básicas -intermedias</b>
<b>FORMACION BALSAMO</b>	<b>b3</b>	<b>Efusivas- básicas intermedias</b>
	<b>b1</b>	<b>Epiclastitas volcánicas, piroclastitas, corrientes de lava intercalada</b>