

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADOS**



**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA
DEL RÍO CHIMALAPA, DISTRITOS DE SONSONATE Y
NAHULINGO, DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

PRESENTA:

LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAESTRO EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2025

**AUTORIDADES.
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

M.Sc. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE POSTGRADO

DIRECTOR:

M.Sc. ELMER ARTURO CARBALLO RUÍZ.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la obtención del Grado de:
MAESTRO EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS

Título del Trabajo:

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA
DEL RÍO CHIMALAPA, DISTRITOS DE SONSONATE Y
NAHULINGO DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

Presentado por:

LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor(a):

Dra. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN

SAN SALVADOR, AGOSTO DE 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por

Docente Asesor (a)

Dra. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN

DEDICATORIA.

A Dios Todopoderoso, por darme la vida, salud, sabiduría, paciencia y perseverancia para iniciar y culminar satisfactoriamente con mis estudios de maestría.

A mis padres Manuela de Jesús Torres de Morán y Francisco Antonio Morán Quezada (Q.D.D.G.), quienes desde el primer momento me han brindado sus sabios consejos y todo su apoyo incondicional en cada una de las etapas de este proceso de formación personal y profesional.

A mi esposa e hijas, por su apoyo fraternal e incondicional en los momentos más duros de este proceso y sus palabras de aliento en todo momento para la culminación con éxito de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS.

A la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS), el Instituto de Geociencias y Georrecursos-Consejo Nacional de Investigación (IGG-CNR) y la Coordinación del Programa Agua Futura, por el auspicio de la tercera cohorte del programa de Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos.

A la Dirección de la Escuela de Posgrados de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES), por todas las gestiones y esfuerzos realizados para el buen desarrollo de todas las actividades a nivel local del programa de Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos.

A la Dra. Tania Torres Rivera, Coordinadora del Programa de Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos, por el compromiso y dedicación permanente en la administración y ejecución del programa académico de la maestría, así como por el apoyo que siempre mostró hacia los maestrantes, para solventar de manera oportuna todas las necesidades surgidas por parte de ellos en las diferentes cátedras y procesos de tesis como administrativas.

A la Dra. Marcia Lizeth Barrera de Calderón, asesora del presente trabajo de investigación, por su dedicación y tiempo en el seguimiento y revisión de los avances de este, como también por la orientación brindada para la redacción del documento final.

Al Señor Rodolfo Velásquez Rodríguez, por su amistad, por ser el guía en cada uno de los viajes de campo realizados durante el desarrollo de esta investigación; así mismo, por su apoyo y colaboración en cada una de las actividades realizadas en campo.

Al Señor Juan José Ortega Sosa (Q.D.D.G), motorista de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática por su amistad, apoyo y colaboración en cada uno de los viajes de campo realizados durante el desarrollo de esta investigación.

A la Ing. Kenny Bercián, Gerente de Investigación Hidrogeológica de ANDA, por la gestión y obtención de información bibliográfica necesaria para el desarrollo de la presente investigación que está contenida en los archivos de esa institución.

A los habitantes de los cantones y caseríos, cooperativas, empresas e instituciones localizados en el área de la cuenca del río Chimalapa, por permitirnos el acceso a sus terrenos o instalaciones y brindar información en algunas de las etapas de esta investigación.

RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la cuenca del río Chimalapa, situada entre los distritos de Nahulingo y Sonsonate, en el departamento de Sonsonate, El Salvador. Esta cuenca, con una extensión de 42.80 km², forma parte de una reserva natural en la Región Hidrográfica Grande de Sonsonate-Banderas. El estudio tuvo como objetivo analizar las características de los recursos hídricos en la cuenca mediante la evaluación de parámetros climáticos, geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.

Se examinaron tres metodologías para estimar el balance hídrico de la cuenca y se analizó la relación entre aguas superficiales y subterráneas. También se diseñó un modelo hidrogeológico conceptual para representar el acuífero superficial. Los resultados indicaron que la recarga potencial del acuífero es de aproximadamente 14.06 millones de m³ al año. Sin embargo, el balance de masas mostró un déficit del 42.77% del volumen total que entra al sistema. El cual podría corresponder a la escorrentía subterránea que descarga al mar tal como es mostrado en el mapa piezométrico.

La caracterización hidroquímica reveló que las aguas del acuífero son predominantemente bicarbonatadas cálcicas o magnésicas, con algunas muestras mostrando procesos de mezcla. Los análisis fisicoquímicos mostraron valores similares para parámetros como pH, TDS, CE y salinidad en toda la cuenca, aunque el pH más alto podría estar influenciado por actividades humanas o la disolución de minerales. Además, se observó un incipiente proceso de salinización cerca de la interacción entre el río y las aguas marinas, posiblemente causado por inundaciones, prácticas agrícolas y la infiltración de aguas del río.

El modelo hidrogeológico conceptual indica que el acuífero superficial es libre y no confinado, ubicado en planicie costera y suelos aluviales, con niveles de agua que varían entre 0.90 y 5.60 metros en diferentes áreas de la cuenca. El flujo subterráneo tiene dirección Norte-Sureste, siguiendo la pendiente del río Chimalapa. Se recomienda mantener un monitoreo constante para prevenir un aumento en la salinidad del recurso hídrico subterráneo, ya que actualmente no se explota intensivamente en la región.

CONTENIDO

1. ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 CONTEXTO.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 PREGUNTAS GENERADORAS.....	3
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.7. BENEFICIOS ESPERADOS.....	5
1.8 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.9. ANTECEDENTES.....	7
2. MARCO TEORICO.....	11
2.1. CLIMA.....	11
2.1.1 REGIONES CLIMÁTICAS.....	11
2.1.2. PRECIPITACIÓN.....	14
2.1.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	16
2.2. HIDROLOGÍA.....	18
2.2.1 CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA.....	18
2.2.2. LA CUENCA.....	20
2.2.3. ESCURRIMIENTO.....	23
2.2.4. CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL POR EL MÉTODO DE BALANCE HÍDRICO EDÁFICO.....	30
2.3. FACTORES RELEVANTES PARA EL ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	34
2.3.1 GEOLOGÍA.....	34
2.3.2. GEOMORFOLOGÍA.....	37
2.3.3. SUELOS.....	39
2.3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.....	39
2.4. HIDROGEOLOGÍA.....	43
2.4.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	43

2.4.2. MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	46
2.5. HIDROGEOQUÍMICA.	47
2.5.1 LA COMPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	47
2.6.2. DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS.	55
2.6.3. EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	58
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.	61
3.1 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE GABINETE.	61
3.1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	61
3.1.2 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL ÁREA.	62
3.1.3 INFORMACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, TOPOGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	64
3.2. DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CAMPO.	65
3.2.1 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.	65
3.2.2. AFOROS EN FUENTES DE AGUA.	73
3.2.3. LEVANTAMIENTO DE FUENTES DE AGUA.	75
3.2.4. MUESTREO DE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y DETERMINACIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN FUENTES DE AGUA.	77
4. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN.	85
4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.	85
4.1.1. PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.	85
4.2. HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.	87
4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.	87
4.2.2. AFOROS Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.	90
4.3. HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA.	97
4.3.1. FUENTES DE AGUA IDENTIFICADAS.	97
4.3.2. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO.	98
4.4. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.	102
4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA RAS-FORGAES.	102
4.4.2. BALANCE HÍDRICO EDÁFICO DE THORNTHWAITE-MATHER.	104
4.4.3. BALANCE HÍDRICO DE SCHOSINSKY.	109
4.4.4. EVALUACIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DE BALANCES HÍDRICOS.	115
4.5. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICA DE LA CUENCA.	118
4.5.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO.	118
4.5.2. QUÍMICA DEL AGUA EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.	125
4.6. MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO.	141

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
5.1. CONCLUSIONES.....	144
5.2. RECOMENDACIONES.....	150
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
ANEXOS	156

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1.1. Ubicación de la cuenca del río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1.2. Mapa de localización de los distritos de Nahulingo y Sonsonate, Depto. de Sonsonate.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.3. Mapa de ubicación de la cuenca del río Las Marías.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.4. Mapa de localización de puntos de muestreo en los ríos Grande de Sonsonate y Cenizas.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.1 Mapa de Clasificación Climática de El Salvador.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.2. Mapa de Precipitación Total Promedio Multianual periodo 1965/2012.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.3. Mapa de ETP' Promedio Multianual periodo 1965/2012.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.4. El ciclo hidrológico de la cuenca..</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.5. Interacción de los cauces y las aguas subterráneas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.6. Ilustración de una cuenca hidrográfica.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.7. Ilustración cuando una cuenca hidrográfica es a) hidrogeológica, b) no es hidrogeológica. 21</i>	
<i>Figura 2.8. Características de una cuenca.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.9. Clasificación de la edad de una cuenca.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.10. Representación de un Hidrograma.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.11. Muestra las partes de un hidrograma típico.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.12 Diferentes métodos gráficos para la separación de componentes de un hidrograma.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.13. Regiones Hidrológicamente Homogéneas para determinación de caudales medios.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.14. Mapa para aplicación de la metodología de relación Precipitación – Escorrentía.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.15. Mapa Geológico de El Salvador.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2.16. Geología existente en cuenca del Río Chimalapa.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.17. Mapa de Unidades Geomorfológicas de El Salvador.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.18. Mapa Pedológico de El Salvador (1974).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.19. Pedología existente en la Cuenca del Río Chimalapa.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.20. Mapa de uso/cobertura de Suelo de El Salvador (2016)..</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.21. Uso / Cobertura de Suelo en la Cuenca del Río Chimalapa.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.22. Mapa Hidrogeológico de El Salvador</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.23. Unidades hidrogeológicas existentes en la cuenca del río Chimalapa,</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.24. Masas de agua subterráneas de El Salvador.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.25. Diferencias en concentración de TDS en función del tipo de roca y escorrentía anual.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.26. Diferentes procesos de sorción</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.27 Diagrama de Stiff clásico.....</i>	<i>56</i>

<i>Figura 2.28. Ejemplo de Diagrama de Piper .</i>	57
<i>Figura 2.29. Ejemplo de Diagrama triangular</i>	58
<i>Figura 2.30. Secuencia de Chevotareb</i>	59
<i>Figura 2.31 Esquema del proceso de evolución hidroquímica a escala regional</i>	60
<i>Figura 3.1. Área de la Cuenca del Río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo,</i>	62
<i>Figura 3.2. Polígonos de Thiessen e Isoyetas, cuenca río Chimalapa.</i>	63
<i>Figura 3.3. Polígonos de Thiessen para ETP, cuenca del río Chimalapa.</i>	64
<i>Figura 3.4 Izq.Toma de medidas de permeabilidad. Der. Kit para montaje de Permeámetro de Guelph.</i>	66
<i>Figura 3.5 Establecimiento de la cabeza constante en el pozo.</i>	67
<i>Figura 3.6. Ubicación de sitios de muestreo para pruebas de permeabilidad, cuenca río Chimalapa.</i>	73
<i>Figura 3.7. Equipo utilizado para la realización de aforos en cuenca río Chimalapa.</i>	74
<i>Figura 3.8 Ubicación de sitios de aforos en el cauce principal del río Chimalapa.</i>	74
<i>Figura 3.9.Ejemplo de sección transversal modelada en EXCEL, cuenca baja del río Chimalapa.</i>	75
<i>Figura 3.10. Fuentes de agua ubicadas dentro de la cuenca del río Chimalapa.</i>	76
<i>Figura 3.11. Ubicación de los pozos muestreados in situ y los registrados en bibliografía.</i>	77
<i>Figura 3.12 Muestreo de parámetros FQ en fuentes de agua dentro de la cuenca del Río Chimalapa.</i>	78
<i>Figura 3.13. Pozos de muestreo de agua cruda para análisis de laboratorio, octubre–noviembre 2022.</i>	81
<i>Figura 3.14. Equipo utilizado para a) medición de parámetros FQ, b) medición de niveles de pozos</i>	83
<i>Figura 4.1. Perfil longitudinal de elevación del cauce principal, cuenca del río Chimalapa.</i>	88
<i>Figura 4.2. Distribución de elevaciones dentro de la cuenca del río Chimalapa.</i>	88
<i>Figura 4.3. Distribución de pendientes dentro de la cuenca del río Chimalapa.</i>	89
<i>Figura 4.4. Curva hipsométrica obtenida para la cuenca del río Chimalapa.</i>	90
<i>Figura 4.5. Secciones transversales modeladas para aforos hechos en cauce de río Chimalapa</i>	91
<i>Figura 4.5.(Cont.) Secciones transversales modeladas para aforos hechos en cauce de río Chimalapa.</i>	92
<i>Figura 4.6. Distribución de aforos y represas a lo largo del río Chimalapa.</i>	93
<i>Figura 4.7 Hidrograma del río Chimalapa</i>	96
<i>Figura 4.8. Isofreáticas y dirección de flujo en cuenca del río Chimalapa.</i>	100
<i>Figura 4.9. Recarga acuífera determinada por medio de metodología RAS, cuenca río Chimalapa.</i>	103
<i>Figura 4.10 Precipitación (P) y Evapotranspiración mensual corregida ETP, cuenca río Chimalapa.</i>	105
<i>Figura 4.11 Curvas anuales de precipitación P(barras) y escorrentía R(línea roja).</i>	107
<i>Figura 4.12. Coeficientes de infiltración determinados para cuenca del río Chimalapa.</i>	112
<i>Figura 4.13. Recarga potencial determinada por medio de BHS, cuenca del río Chimalapa.</i>	114
<i>Figura 4.14. Escorrentía superficial determinada por medio de BHS, cuenca del río Chimalapa.</i>	115
<i>Figura 4.15 Comparación de los valores de pH obtenidos con límites permitidos por el RTS.</i>	119

<i>Figura 4.16. Comparación de valores de TDS para agua subterránea de pozos con el límite del RTS. .</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.17. CE de agua subterránea de pozos muestreados en septiembre – noviembre de 2022.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.18. Isoconductividad Eléctrica, cuenca del río Chimalapa.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4.19. Resultados de laboratorio para nitratos, sulfatos, calcio, magnesio y bicarbonatos.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.20. Pozos de muestreo de agua cruda para análisis de laboratorio, junio de 2023.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 4.21. Diagrama de Piper obtenido para los sitios muestreados durante junio de 2023.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 4.22. Diagramas de Stiff para la campaña de muestreo de junio de 2023.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 4.23. Corte hidrogeoquímico 1 de CE en el área de Cooperativa Barra Ciega.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4.24. Corte hidrogeoquímico 2 de CE en el área de Cooperativa Barra Ciega.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 4.25. Corte hidrogeoquímico 3 de CE en el área cercana a la costa.....</i>	<i>141</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Regiones Climáticas según Köppen y Sapper-Lauer.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2.2. Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2.2. (Continuación) Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2.3. Precipitación total mensual multianual en El Salvador para el periodo 1965/2012..</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2.4. ETP mensual promedio multianual en El Salvador para el periodo 1965/2012.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2.5. Ecuaciones de Caudales medios anuales y factores de distribución mensual</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2.6. Factores de relación Precipitación - Escorrentía. BHID (UNESCO, 2006).</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2.7. Distribución de uso / cobertura de suelo dentro de la cuenca del Río Chimalapa.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2.8. Clasificación Simplificada del agua subterránea basada en los TDS</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2.9. Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2.9. (Continuación) Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 2.10 Características impartidas por la litología en el agua subterránea.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 2.11. Valores de CEC para arcillas y materia orgánica según diferentes autores.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2.12: Error admisible de balance iónico en función de CE.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3.1. Fórmulas relacionadas con el cálculo del factor de forma (C).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3.2. Fórmulas relacionadas con el cálculo del factor Q, K_{fs} y ϕ_m.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 3.3. Usos de suelo y miembros geológicos identificados dentro de la Cuenca del Río Chimalapa. 71</i>	
<i>Tabla 3.4. Coordenadas y elevación de los sitios donde se realizaron ensayos de permeabilidad.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3.5. Sitios de aforo realizados en el cauce del Río Chimalapa.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 3.6. Resultados del muestreo “in situ” de parámetros FQ, septiembre – noviembre de 2022. ..</i>	<i>78-79</i>
<i>Tabla 3.7. Tipos de fuente utilizada para recolección de muestras de agua cruda (época lluviosa 2022)</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 3.8. Tipos de fuente utilizada para recolección de muestras de agua cruda (junio de 2023).....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3.9. Clasificación de medidas realizadas “in situ” y por medio de análisis de laboratorio.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3.10. Error aceptable en balance iónico según la conductividad eléctrica.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3.11. Error aceptable en balance iónico según sumatoria de aniones.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas con registros de precipitación y ETP anual,</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 4.2. Precipitación mensual de estaciones meteorológicas cercanas a cuenca del río Chimalapa. .</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4.3. Precipitación media mensual dentro de la cuenca del río Chimalapa.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4.4. ETP mensual en estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Chimalapa... 86</i>	
<i>Tabla 4.5. ETP media mensual dentro de la cuenca del río Chimalapa.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4.6. Características fisiográficas de la cuenca del río Chimalapa.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4.7. Resultados de los aforos realizados en el cauce del río Chimalapa, marzo de 2023.....</i>	<i>91</i>

<i>Tabla 4.8. Caudal mensual y anual para río Chimalapa aplicando relación precipitación–escorrentía.</i>	95
<i>Tabla 4.9. Caudales medios y caudales base mensuales, estimados para el río Chimalapa.</i>	95
<i>Tabla 4.10. Inventario de Pozos excavados y perforados dentro de la cuenca del río Chimalapa.</i>	97
<i>Tabla 4.11. Resultados de R obtenidos por medio del Método RAS – FORGAES.</i>	102
<i>Tabla 4.12. Balance hídrico mensual realizado por el método de Thornthwaite-Mather.</i>	106
<i>Tabla 4.13. Escorrentía superficial, recarga y volúmenes anuales del ciclo hidrológico.</i>	108
<i>Tabla 4.14. Parámetros necesarios para el cálculo del B.H.S.</i>	109
<i>Tabla 4.15. Factores de pendiente (Kp), determinados para cuenca del río Chimalapa.</i>	110
<i>Tabla 4.16. Factor Kv y PR determinados para cuenca del río Chimalapa.</i>	110
<i>Tabla 4.17. Textura, fc, Factor Kfc y parámetros DS, CC y PM, para cuenca del río Chimalapa.</i>	111
<i>Tabla 4.18. Resultados de los BH de Schosinsky obtenidos para la cuenca río Chimalapa.</i>	112
<i>Tabla 4.19. Comparación de resultados de recarga acuífera para la cuenca del río Chimalapa.</i>	116
<i>Tabla 4.20. Balance de masas determinado para cuenca del río Chimalapa.</i>	117
<i>Tabla 4.21. Suma de Aniones y Cationes y errores del Balance Iónico para muestras de junio 2023.</i>	126
<i>Tabla 4.22. Resultados de la relación magnesio-calcio.</i>	133
<i>Tabla 4.23. Resultados de la relación cloruro - bicarbonatos.</i>	134
<i>Tabla 4.24. Resultados de la relación sodio - potasio.</i>	135
<i>Tabla 4.25. Resultados de la relación sulfatos - cloruros.</i>	136
<i>Tabla 4.26. Resultados del índice de cambio de base.</i>	138

NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS.

%	Porcentaje
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
ANP	Área Natural Protegida
APWL	Pérdida Potencial de Agua Acumulada
AWC	Capacidad de Agua Disponible
BARO	Presión Barométrica
BC	Balance Climático
BH	Balance Hídrico
BHID	Balance Hídrico Integrado y Dinámico
BHS	Balance Hídrico de Schosinsky
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
Br.	Bachiller
C	Coefficiente de Infiltración
CC	Capacidad de Campo
°C	Grados Celsius
Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , Fe ²⁺ , PO ₃ ⁺⁴	Cationes: Calcio, Potasio, Magnesio, Sodio, Ferroso, Fosfato
CaCO ₃	Dureza Total
CE	Conductividad Eléctrica
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻	Aniones: Cloruro, Bicarbonato, Nitrato, Sulfato, Fluoruro, Nitrito
CNR	Centro Nacional de Registro
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Salvadoreña
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
D	Déficit de agua
DEM	Modelo de Elevación Digital
Depto.	Departamento
DIGESTYC	Dirección General de Estadísticas y Censos
DO	Demanda de Oxígeno

DS	Densidad del Suelo
E	Escorrentía Superficial
EIQIA	Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos
ENA	Escuela Nacional de Agricultura Roberto Quiñónez
ENOS	El Niño – Oscilación del Sur
E.S.	El Salvador
etc.	Etcétera
E.P.	Escuela de Postgrado
ETP	Evapotranspiración Potencial o de Referencia
AE; ETR	Evapotranspiración Real
EVTP	Evapotranspiración Mensual Corregida
fc.	Conductividad Hidráulica
FIA	Facultad de Ingeniería y Arquitectura
FORGAES	Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador
FQ	Fisicoquímico
FRPEsc.	Factor de Relación Precipitación - Escorrentía
g/m ³	Gramos por metro cúbico
Hab	Habitantes
HCO ₃ ⁻	Anión bicarbonato
HNO ₃	Ácido Nítrico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
IF	Infiltración
Kg	Kilogramo
Km, Km ²	Kilómetro, Kilómetro cuadrado
Kv, Kp, Kfc de textura de suelo	Coefficiente de uso de suelo, Coeficiente de pendiente y Coeficiente
Hab/ Km ²	Habitantes por kilómetro cuadrado
LEIQIA – FIA – UES	Laboratorios de la EIQA – FIA – UES
LECC	Laboratorio Especializado en Control de Calidad
L/s	Litro por segundo
LI U	Lluvia Útil
m, mm, cm, m ² , m ³	Metro, Milímetro, Centímetro, Metro cuadrado, Metro cúbico
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería

MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MASub	Masa de Agua Subterránea
MGRH	Maestría en Gestión de los Recursos Hidrogeológicos
m ³ /s, m ³ /año	Metros cúbicos por segundo, Metros Cúbicos por Año
min/cm	minuto por centímetro
μS/cm	Micro Siemens por Centímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
mg/L	Miligramo por cada litro (medida de concentración)
mol/L	Mol por cada litro (medida de concentración)
M.Sc.	Master of Science
NO	Noroeste
NTU	Turbidez
OD	Oxígeno Disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
ORP	Potencial REDOX
P	Precipitación
Pex	Pozo excavado
PCHI	Pozo Chimalapa
pH	Potencial de Hidrógeno
PR	Profundidad de Raíces
PM	Punto de Marchitez
PNGIRH	Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Q	Caudal
Qbase	Caudal Base
Qmedio	Caudal Medio
Qdas.	Quebradas
R	Recarga Acuífera; Escorrentía
RAS	Recarga Acuífera Subterránea
RHH	Regiones Hidrológicamente Homogéneas
RTS	Reglamento Técnico Salvadoreño

RU	Reserva Útil del Suelo
S	Excedente de Agua
SE	Sureste
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIHI-MARN	Sistema de Información Hídrica del MARN
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
ST	Almacenamiento de Humedad del Suelo
Δ ST	Potencial de Pérdida de Agua
SW	Suroeste
TDS	Sólidos Totales Disueltos
UES	Universidad de El Salvador
UNESCO y la Cultura,	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

1. ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. INTRODUCCIÓN.

El agua subterránea en el territorio nacional es de mejor calidad en comparación a las aguas superficiales, su alta calidad se debe a que han sufrido una larga y lenta filtración por el subsuelo hasta llegar al acuífero, a la vez que han adquirido de la tierra sales y minerales esenciales para la vida. Es por esta razón que el agua subterránea se ha convertido en un recurso estratégico debido a la amplia gama de utilidades que se le pueden dar, por ejemplo, estas sirven para riego agrícola, como también para el abastecimiento urbano e industrial, por lo que deben mantener una calidad apropiada en función del uso al que se destinen, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas para el consumo humano deben ser tratadas correctamente. (Anaya Meléndez, Linárez López, & Méndez Lucero, 2017)

El agua subterránea además de ser un recurso importante para la vida, la industria, entre otros, también es de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación. Por tanto, es de gran importancia generar investigaciones que proporcionen criterios que sirvan de base para la elaboración de normativas ambientales preventivas, encaminadas u orientadas a la preservación y sostenibilidad de los recursos hídricos.

El Salvador está dividido en diez regiones o cuencas hidrográficas, cuya división ha sido realizada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). De acuerdo con el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias (PNGIRH), cada región hidrográfica se ha identificado con el nombre de los principales ríos dentro de ella, desde la región A hasta la región J; las cuales han sido determinadas por medio de la delimitación de las cuencas de los principales ríos de país, dentro de las diez regiones se pueden mencionar la Región Hidrográfica Grande de Sonsonate – Banderas (MARN., 2017), dentro de la cual se encuentra la Cuenca del Río Chimalapa, de cuyo sistema de agua subterránea se conoce muy poco .

En la presente investigación se realizó el estudio de las características de los recursos hídricos subterráneos existentes en la Cuenca del Río Chimalapa, como el de las características geológicas, hidrogeológica e hidrogeoquímicas principales de las fuentes de agua; así mismo, la relación que existe entre las aguas superficiales y subterráneas dentro de dicha cuenca. Finalmente

se diseñó un modelo hidrogeológico conceptual, a partir de la síntesis de toda la información anterior, que representa las características del sistema hídrico antes mencionado.

El presente documento está constituido por siete capítulos: el Capítulo 1 contiene los alcances y el planteamiento del problema de investigación. En el Capítulo 2 se desarrolla el marco teórico general en el cual se fundamentan los métodos y/o técnicas utilizadas para la presente investigación; así como, la información básica del área de estudio. El Capítulo 3 describe las diferentes metodologías y/o técnicas empleadas para el trabajo de investigación propiamente dicho. En cambio, el Capítulo 4 describe y analizan los resultados obtenidos producto de la aplicación de las diferentes metodologías y/o técnicas empleadas para la investigación. En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de los resultados de la investigación; finalizando con las referencias bibliográficas empleadas y anexos respectivamente.

1.2 CONTEXTO.

El Salvador es uno de los países más pequeños del continente americano (21,040.79 km² de superficie) y al mismo tiempo, uno de los más densamente poblados (273 Hab/km²) (DIGESTYC, 2008). La existencia de estos extremos, sumado a otras problemáticas sociohistóricas, han provocado que exista una enorme presión en el uso de los recursos naturales en general y del recurso hídrico en particular.

El caso del recurso hídrico es especialmente paradójico, ya que, a pesar de que los promedios de precipitación anual están por encima de los 1,700 mm en el país, existen amplias zonas a nivel nacional con serias limitantes en cuanto a disponibilidad en cantidad y calidad de agua potable para usos tanto de consumo humano como productivos. A todo lo anterior, se le suman las falencias históricas en cuanto a gestión técnica, científica y administrativa-legal de los recursos hídricos.

El área de interés para la presente investigación es la cuenca del río Chimalapa, la cual se localiza en la Región Hidrográfica Grande de Sonsonate – Banderas. El río nace en el distrito de Nahulingo, pero su mayor recorrido lo realiza en el distrito de Sonsonate, ambos pertenecientes al departamento de Sonsonate. Se trata de un área geográfica que ha experimentado notables cambios en cuanto a demografía y urbanización en los últimos 10 años, concentrando a la fecha una gran actividad comercial, agropecuaria, industrial y residencial especialmente el distrito de Sonsonate,

el cual posee una superficie de 232.53 km², una altitud media de 220 msnm y posee una población estimada de 72,158 habitantes para el año 2013 (USAID, 2009).

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Por lo general el agua subterránea presenta una mejor calidad que el agua superficial, cuando no está sometida a procesos de contaminación directa, como por ejemplo la contaminación por lixiviados. A pesar de esta ventaja que posee el agua subterránea sobre el agua superficial, es importante aclarar que ésta sigue siendo vulnerable a cualquier tipo de contaminación (vulnerabilidad de acuíferos); por tanto, se deben establecer mecanismos de gestión que garanticen la protección, calidad y disponibilidad de este recurso a futuro; porque en comparación con el agua superficial, el tratamiento de descontaminación del agua subterránea es por lo general más complejo y por ende más costoso (remediación de acuíferos) (MARN M. d., 2015).

En este sentido es importante generar investigaciones geológicas, hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, geofísicas, entre otras, que proporcionen información que sirvan de base para la elaboración de políticas comunales, municipales y de país encaminadas a la protección del recurso hídrico, tanto subterráneo como superficial.

Por ello, es necesaria la caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Chimalapa perteneciente a la Región Hídrica Grande de Sonsonate – Banderas, ubicada entre los distritos de Nahulingo y Sonsonate, departamento de Sonsonate, especialmente porque esta cuenca se encuentra localizada dentro de un área de reserva natural protegida, que permita conocer el estado actual en el que se encuentran los recursos hídricos de esta zona por medio de la evaluación de la mayor cantidad posible de parámetros hidrogeológicos, hidrogeoquímicos y geofísicos, con el fin de generar un modelo en el cual se representen las características de las fuentes de agua ubicadas dentro de la cuenca y las posibles interacciones entre estas fuentes.

1.4 PREGUNTAS GENERADORAS.

- ¿Cómo es la composición hidrogeoquímica de las aguas subterráneas y superficiales en la cuenca del río Chimalapa?
- ¿Está interactuando el agua del sistema acuífero localizado en la cuenca del río Chimalapa con el agua marina proveniente del Océano Pacífico?

- ¿Cómo será la distribución espacial de la recarga hídrica potencial en la cuenca del río Chimalapa, localizada en la Región Hidrográfica río Grande de Sonsonate – Banderas, ubicada entre los distritos de Nahulingo y Sonsonate, departamento de Sonsonate?
- ¿Cuál es el modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca del río Chimalapa que podrían utilizar las autoridades correspondientes para desarrollar acciones sostenibles de gestión hídrica para el sistema acuífero localizado en esta área?

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el sistema acuífero que se localiza en la cuenca del río Chimalapa por medio de herramientas hidrogeoquímicas, información geológica, litológica, estructural, climática, hidrogeológica y de registros de pozos perforados que existan de esta zona, la cual pertenece a la Región Hidrográfica río Grande de Sonsonate – Banderas, distritos de Sonsonate y Nahulingo, departamento de Sonsonate.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Efectuar la clasificación de las aguas subterráneas y superficiales en la cuenca del río Chimalapa, a través de las características hidrogeoquímicas registradas en fuentes de agua.
- Descartar la presencia de intrusión salina en el sistema acuífero localizado en la zona de estudio por medio de los resultados hidrogeoquímicos obtenidos para el área de estudio.
- Estimar la recarga hídrica potencial por medio de diferentes metodologías de balance hídrico para la cuenca del río Chimalapa localizada entre los distritos de Sonsonate y Nahulingo, departamento de Sonsonate.
- Elaborar un modelo hidrogeológico conceptual que pueda utilizarse por los tomadores de decisión para implementar acciones sostenibles de gestión hídrica para el sistema acuífero localizado en la cuenca del río Chimalapa.

1.6. JUSTIFICACIÓN.

En el caso de comunidades que habitan en el área de la cuenca del río Chimalapa que pertenece a la Región Hidrográfica río Grande de Sonsonate – Banderas (Región Hidrográfica D), en el distrito de Sonsonate, algunos estudios de calidad de agua realizados a ríos cercanos a esta cuenca por ejemplo: Grande de Sonsonate (MARN, 2017), Las Marías (Monge, Vargas, & Arévalo, 2016) y Ceniza (MARN, 2017); como a pozos perforados que pertenecen a esta región

hidrográfica, han demostrado que la calidad del agua extraída de estos ríos es de regular a mala, haciendo notar que la calidad de los ríos monitoreados en esta región muestran una mejor calidad de agua en su curso inicial, con menor grado de afectación en comparación con otros tramos; en cambio, la calidad del agua de algunos de los pozos perforados que se han muestreados, se ve afectada porque estos presentan una contaminación puntual debido a la actividad antropogénica, ya que algunos de ellos se ubican en potreros, por lo que podría haber contaminación puntual asociada al mal manejo de aguas residuales o bien a actividades agropecuarias.

Además, la Región Hidrográfica D presenta un estado de deterioro avanzado (MARN, 2017), debido a que es una de las regiones más afectadas por la urbanización de las ciudades por donde transcurren los ríos que existen en esta zona.

Debido a lo anterior, es necesario elaborar estudios en las otras cuencas pertenecientes a la Región Hidrográfica D como lo es la cuenca del río Chimalapa, que permitan caracterizar el recurso hídrico con que cuenta esta área de estudio; para de esa manera, poder determinar si existen acuíferos explotables aptos para el consumo humano y otras actividades. Como también, el poder establecer las principales áreas de recarga, que sirvan de base en los planes de gestión, desarrollo urbano e industrial y manejo de los recursos hídricos por parte de las autoridades correspondientes.

1.7. BENEFICIOS ESPERADOS.

Por medio de la presente investigación se pretende obtener productos que sean útiles como base para nuevos estudios que realicen en un futuro en el área de la cuenca del río Chimalapa; además, a partir de los resultados obtenidos en este estudio, sea posible proponer medidas que sirvan de base en los planes de gestión para un manejo adecuado de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) por parte de las comunidades que están dentro la cuenca, como también por parte de las autoridades de los distritos y centrales correspondientes.

Los resultados o productos que se espera generar por medio del presente estudio, se mencionan en los siguientes aspectos:

- Base de datos de pozos excavados y perforados de agua ubicados en la cuenca del río Chimalapa.
- Registro de las condiciones hidrometeorológicas existentes dentro de la cuenca del río Chimalapa.

- Clasificación hidroquímica de las fuentes de agua superficiales y subterráneas dentro de la cuenca del río Chimalapa.
- Balance hídrico de suelos, dentro de la cuenca del río Chimalapa.
- Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero bajo la cuenca del río Chimalapa.

1.8 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.

- **Geográfico:** El área de estudio de esta investigación fue delimitada con base en la hidrología superficial de la cuenca del río Chimalapa (Figura 1.1). Si bien es cierto se han realizado algunos estudios en ríos cercanos a esta cuenca, como por ejemplo Grande de Sonsonate (MARN, 2017), Las Marías (Monge, Vargas, & Arévalo, 2016) y Ceniza (MARN, 2017), no existen investigaciones (hidrogeológicas, geofísicas, entre otras) que han reportado actividades complementarias en la zona de interés. Además, no se cuenta con estudios previos sobre la calidad del agua dentro del área de estudio, tanto de las fuentes superficiales como de los acuíferos bajo el subsuelo.

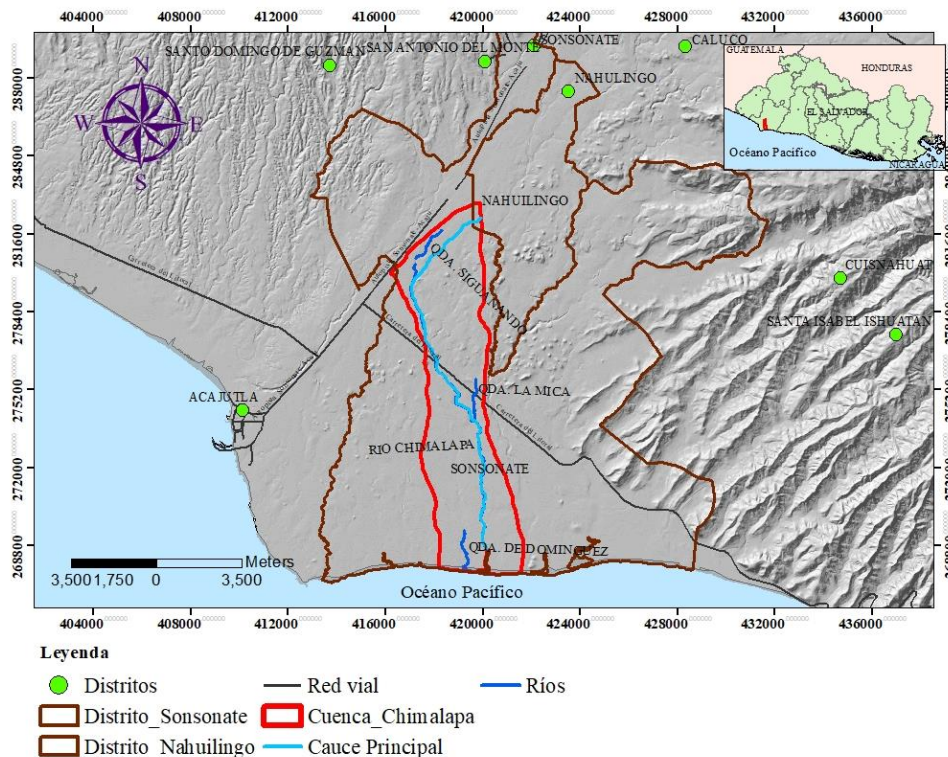


Figura 1.1. Ubicación de la cuenca del río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo.

- **Temporal:** el trabajo de investigación se realizó aproximadamente entre mayo de 2022 y octubre de 2023
- **Socioeconómico:** La estimación de los resultados obtenidos en esta investigación en los planes de gestión hídrica, ordenamiento territorial y desarrollo en la cuenca del río Chimalapa, permitirá que las diferentes actividades productivas presentes y futuras que se realizan dentro de esta zona, mantengan un equilibrio ambiental sostenible en el tiempo. Se estima que la población que reside dentro del área de investigación es de 22,412 habitantes (DIGESTYC, 2008).

1.9. ANTECEDENTES.

En la década de los 70, en el marco del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, El Salvador se organizó en diez regiones hidrográficas, división utilizada en trabajos posteriores (MAG-PNUD, 1982); (SNET, 2005) y que se mantiene actualmente (MARN., 2017). Dentro de esas diez regiones se pueden mencionar la Región Hidrográfica Grande de Sonsonate – Banderas, dentro de la cual se encuentra la cuenca del río Chimalapa.

El río Chimalapa nace en el distrito de Nahulingo, pero su mayor recorrido lo realiza en el distrito de Sonsonate, ambos pertenecientes al departamento de Sonsonate. El distrito de Sonsonate posee una superficie de 232.53 km² y una altitud media de 220 msnm. De acuerdo con datos del censo de población del año 2007 elaborado por la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC) en el año 2007, en el distrito de Sonsonate residían 49,129 personas en el área urbana (69%) y 22,412 en el área rural (31%) y ocupaba la 17^a posición en población por distrito en el país con 71,541 habitantes; se estima que para el año 2023 éste posea una población de 80,998 habitantes (BCR, 2022) (Figura 1.2).

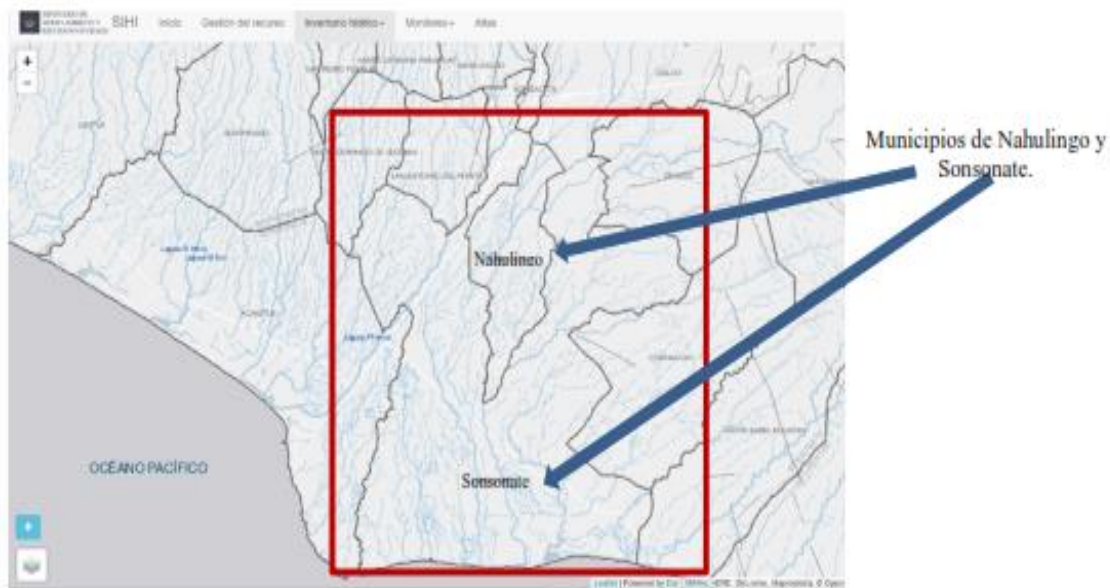


Figura 1.2. Mapa de localización de los distritos de Nahulingo y Sonsonate, Depto. de Sonsonate, <http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/inventario/hidrogeo>

En la región Hidrográfica río Grande de Sonsonate – Banderas se han realizado varias investigaciones hidrogeológicas e hidrológicas; como, por ejemplo, para el año 2015 se realizó la **“Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Las Marías, Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador.”**, por Monge, Vargas, & Arévalo (2016) (figura 1.3). Con el objetivo de evaluar el sistema acuífero. El análisis incluyó el uso de herramientas hidrogeoquímicas, geofísicas y la información litológica disponible en la zona de estudio, todo ello les permitió a los investigadores plantear un modelo conceptual del acuífero y descartar la presencia de intrusión salina; además, se logró determinar la existencia de dos acuíferos en el área de investigación, el primero es un acuífero somero de mediana producción, con un espesor variable de 0 m a 20m, el cual es el que utiliza la población que habita la zona como fuente de abastecimiento de agua por medio de pozos excavados, con profundidades que no superan los 6m y diámetros de hasta 1,5 m. A través de los análisis químicos que los investigadores realizaron en el área, se identificó la calidad que posee el agua del área y la influencia de fuentes de contaminación antropogénica en ella. El segundo acuífero fue identificado por medio de sondeos eléctricos verticales, el cual posiblemente esté siendo captado por pozos perforados privados que se ubican fuera del área de investigación. Además, elaboraron un balance hídrico el cual determinó que, de los 1,739 mm de precipitación anual en la zona, el 70,6% de ésta (equivalente a 1,217 mm) corresponde a evapotranspiración

real, el 13% (226mm) pertenece a la retención por la vegetación y el restante 16,4% (278mm) representa la recarga acuífera de la zona.



Figura 1.3. Mapa de ubicación de la cuenca del río Las Marías, tomado de Monge (2016).

Durante el periodo de marzo de 2014 y febrero de 2016 se realizó el trabajo de grado **“Análisis Hidrológico de la Cuenca del Río Sensunapán, como Alternativa para el Fortalecimiento de la Gestión de Riesgos y Reducción de la Vulnerabilidad, en el Departamento de Sonsonate, El Salvador”**, por parte del Br. José Heriberto Ramos Peñate; entre las conclusiones obtenidas en este trabajo se puede mencionar, que desde el punto de vista hidrológico, la parte alta de la cuenca posee una condición hidrológica buena, conformada por áreas de cultivos de café y bosques, y un tipo de suelo cuyas propiedades físicas con tasas moderadas de infiltración y transmisión de agua, definen una condición de moderado potencial de escorrentía; sin embargo, los caudales de diseño bajo estas características biofísicas, indican una amenaza, debido a las características de los asentamientos humanos en la parte baja de la cuenca. También, las características morfométricas del cauce del río Sensunapán, específicamente en las comunidades Vega del Río y El Palmar, indican su baja capacidad hidráulica con relación a los caudales de diseño, para periodos de retorno corto, indicando la permanente susceptibilidad a inundaciones durante toda la época lluviosa.

Según informe del MARN (2017) “*Clasificación de Ríos por Calidad del Agua. Zonas de protección, mantenimiento y remediación*”, la Región Hidrográfica Grande de Sonsonate-Banderas a la cual pertenece la cuenca del río Chimalapa, presenta un estado de deterioro avanzado; haciendo notar que la calidad de los dos ríos monitoreados (río Grande de Sonsonate y río Cenizas) en esta región presenta menos afectación de la calidad del agua en su recorrido inicial; pero en los puntos de muestreo de los ríos monitoreados (figura 1.4), estos tienen mala calidad de agua al menos el 80% de los mismos, lo cual hace que sea considerada una región con necesidad de procesos que mejoren la calidad de agua. Además, esta región es una de las más afectadas por la urbanización de las ciudades por donde transcurren los ríos.



Figura 1.4. Mapa de localización de puntos de muestreo en los ríos Grande de Sonsonate y Cenizas localizados en la Región Hidrográfica D. Grande de Sonsonate y Banderas. MARN (2017).

2. MARCO TEORICO.

2.1. CLIMA.

Según el Balance Hídrico Integrado y Dinámico (BHID) publicado por el MARN en el año 2006, El Salvador se localiza entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, en el cinturón climático tropical, caracterizado por presentar condiciones térmicas similares a lo largo del año, con variaciones diurnas y nocturnas que son más importantes que las mensuales. Se producen oscilaciones de las precipitaciones a nivel mensual, existiendo dos épocas climáticas marcadas: la época lluviosa y la época seca. La primera, se presenta entre los meses de noviembre a mayo a octubre con un intervalo de reducción de las lluvias ente julio y agosto llamado canícula. El mes más lluvioso es septiembre, seguido por el mes de junio, y la segunda se presenta entre los meses de noviembre a abril.

Los factores que condicionan el régimen climático del país son:

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

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

2.1.1 REGIONES CLIMÁTICAS.

El factor orográfico juega un papel muy importante en la definición de las regiones climáticas de El Salvador. De acuerdo con la clasificación de Köppen y Sapper-Lauer, se distinguen cuatro regiones climáticas en el país (UNESCO, 2006) (Tabla 2.1):

Tabla 2.1. Regiones Climáticas según Köppen y Sapper-Lauer. (UNESCO, 2006)

Altura sobre el nivel del mar (msnm)	REGIONES CLIMÁTICAS	
	KOPPEN	SAPPER-LAUER
0 - 800	Sabanas Tropicales Calientes	Tierra Caliente
800 - 1.200	Sabanas Tropicales Calurosas	Tierra Templada
1.200 – 1.800	Clima Tropical de las Alturas	Tierra Fría
1.800 - 2.700		

A partir del Mapa de Clasificación Climática de El Salvador (FCAS-MARN, 2015), se observa que el clima predominante en la mayor parte del país es de tipo sabana tropical caliente (Figura 2.1). En la Tabla 2.2, se dan a conocer algunos datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador.

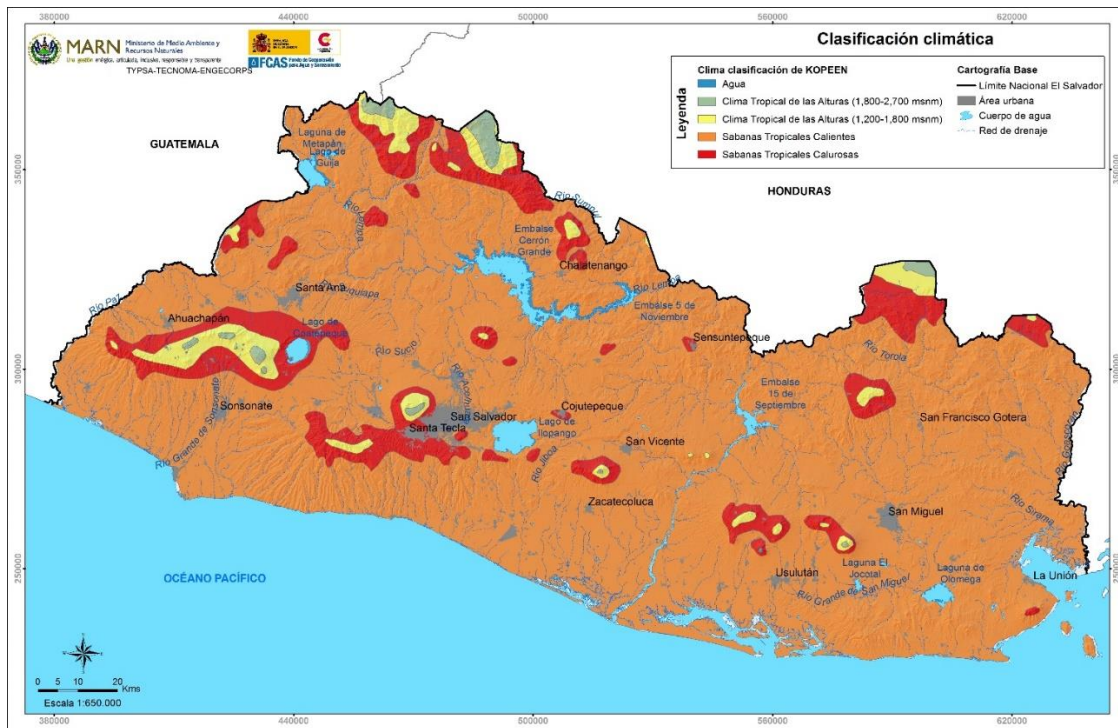


Figura 2.1 Mapa de Clasificación Climática de El Salvador. PNGIRH (FCAS-MARN, 2015).

Tabla 2.2. Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador. (PNUD-OPS/OMS-ANDA-OEDA, 1989)

REGION CLIMATICA SABANA TROPICAL CALIENTE (TIERRA CALIENTE O ZONATROPICAL ARIDA BAJA)	
Superficie del País	90%
Altura sobre el nivel del mar	0 - 800 msnm
Temperatura media	Oscila entre los 22-27°C y 22-28°C, en función de la elevación, en las planicies interiores. Extremos absolutos de 38°C en la región hidrográfica H y 35°C en la zona costera de las regiones hidrográficas F, E y C.
Precipitación media mensual	Oscila entre los 150-200 mm (excepto el entorno del lago Guija y sectores del oriente de la República).
Humedad relativa	70% en la estación seca 84% en la estación lluviosa
REGION CLIMATICA SABANA TROPICAL CALUROSA (TIERRA TEMPLADA)	
Superficie del país	6%
Altura sobre el nivel del mar	800 - 1.200 msnm
Temperatura media	Oscila entre los 17-21°C. Se distinguen dos zonas: Planicie alta y valles: 20-22°C; Faldas de las montañas: 17-21°C
REGION CLIMATICA CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA TEMPLADA	
Superficie del país	3%
Altura sobre el nivel del mar	1.200 - 1.800 msnm
Temperatura media	Inferior a 22°C en el mes más caluroso. Esta región afecta a: Las planicies altas y valles, en donde son posibles las heladas, fundamentalmente en los meses de diciembre, enero y febrero por la incidencia de los vientos del norte (vientos fríos que pueden llegar a tener una duración de 15 días) y la disminución de la temperatura. Faldas de las montañas: sin peligro de heladas.

Tabla 2.2. (Continuación) Datos básicos de las regiones climáticas de El Salvador. (PNUD-OPS/OMS-ANDA-OEDA, 1989)

REGION CLIMATICA CLIMA TROPICAL DE LAS ALTURAS O TIERRA FRIA	
Superficie del país	1.5 %
Altura sobre el nivel del mar	1.800 -2.700 msnm
Temperatura media	Superficies cacuminales o culminantes de montañas y volcanes. La variación anual de la temperatura oscila entre 10-16°C.

2.1.2. PRECIPITACIÓN.

De acuerdo con los resultados del Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador con énfasis en Zonas Prioritarias (PNGIRH) (FCAS-MARN, 2015), la precipitación histórica anual sobre el territorio salvadoreño, de acuerdo con el análisis de información pluviométrica realizado en el marco de los trabajos del PNGIRH, oscila entre 1526 a 2341 mm/año, siendo el promedio multianual de la serie comprendida entre los años 1965 a 2012 de 1785 mm/año (Figura 2.2). Las zonas más lluviosas se encuentran en las montañas de Santa Ana (al suroeste), Cerrón Grande (al norte), Perquín (noreste) y Usulután (al sur). Estos valores descienden hacia el centro del país y hacia el este, donde se dan los valores más bajos en Santa Cruz.

Como se mencionó anteriormente se distinguen dos periodos claramente diferenciados, el lluvioso de mayo a octubre y el seco de noviembre a abril; según el análisis de la información pluviométrica realizada en los trabajos del PNGIRH, el primer período presenta una precipitación media de 1657 mm, el equivalente al 93 % de la lluvia total anual, en cambio el segundo período posee una precipitación de 128 mm que representa el 7 % (Tabla 2.3).

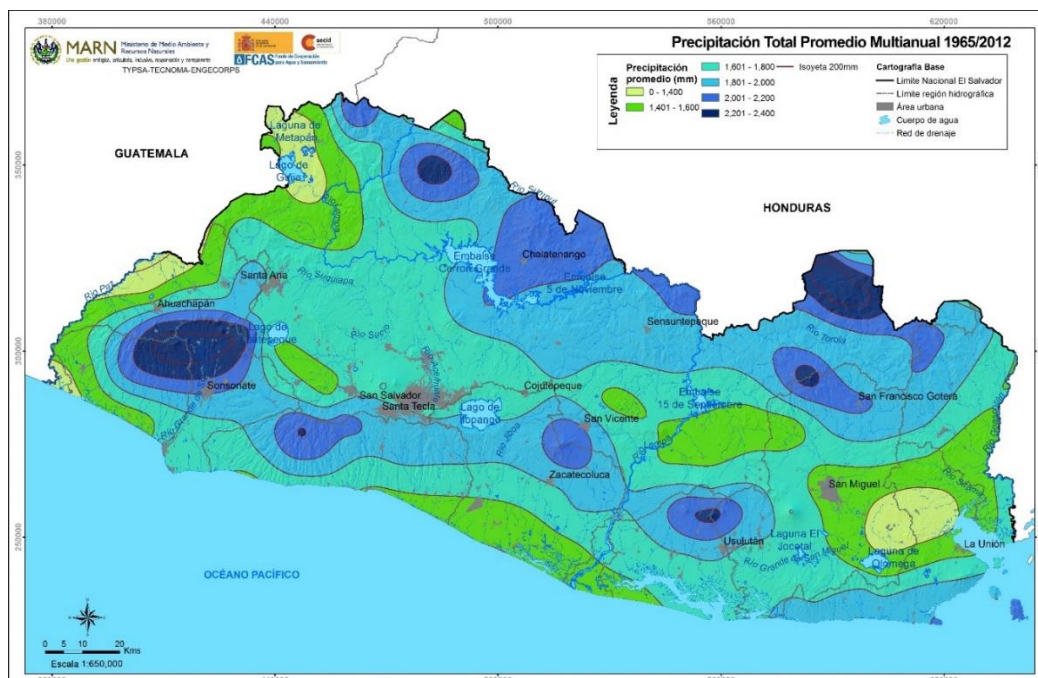


Figura 2.2. Mapa de Precipitación Total Promedio Multianual periodo 1965/2012. PNGIRH FCAS-MARN, 2015.

Tabla 2.3. Precipitación total mensual multianual en El Salvador para el periodo 1965/2012. PNGIRH (FCAS-MARN, 2015).

Precipitación Total Mensual (mm).														
Período	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	mm	%
Año	2	2	13	60	211	305	268	305	344	224	45	6	1785	
%	0	0	1	3	12	17	15	17	19	13	3	0		100
Húmedo					x	x	x	x	x	x			1657	93
Seco	x	x	x	x							x	x	128	7

De acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 2.3, la estación lluviosa, por lo general, presenta dos picos máximos de lluvia y un mínimo entre éstos, siendo septiembre el mes más lluvioso seguido de junio y agosto. El valor máximo que presenta septiembre es asociado a una mayor ocurrencia de “temporales”, consecuencia de alteraciones en las condiciones atmosféricas y climáticas en el Océano Pacífico que producen dos o tres días con lluvias persistentes e intensas,

que acumulan por lo menos 100 mm en 24 horas. La estación seca (de noviembre a abril) es determinada por la confluencia de factores orográficos, atmosféricos y oceanográficos que producen una disminución o ausencia de lluvias, constituyendo así el clima característico de la vertiente del Pacífico de América Central.

A nivel anual, las precipitaciones se distribuyen de la siguiente manera (MARN, 2006):

- >2,000 mm en las zonas altas (Cordillera Fronteriza, Cadena Volcánica, Cadena Costera)
- 1,500 - 1,900 mm en los valles interiores (Depresión Central)
- 1,300 - 1,500 mm en la zona sur oriental y noroccidental del país (Corredor Seco).

2.1.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Los resultados obtenidos por el PNGIRH muestran una evapotranspiración potencial o de referencia (ETP' o ETo) anual en el territorio de El Salvador, sin considerar las cuencas transfronterizas, de 1682 mm/año (Figura 2.3). En la tabla 2.4 se muestra la distribución mensual de la ETP' a escala nacional para el periodo 1965/2012.

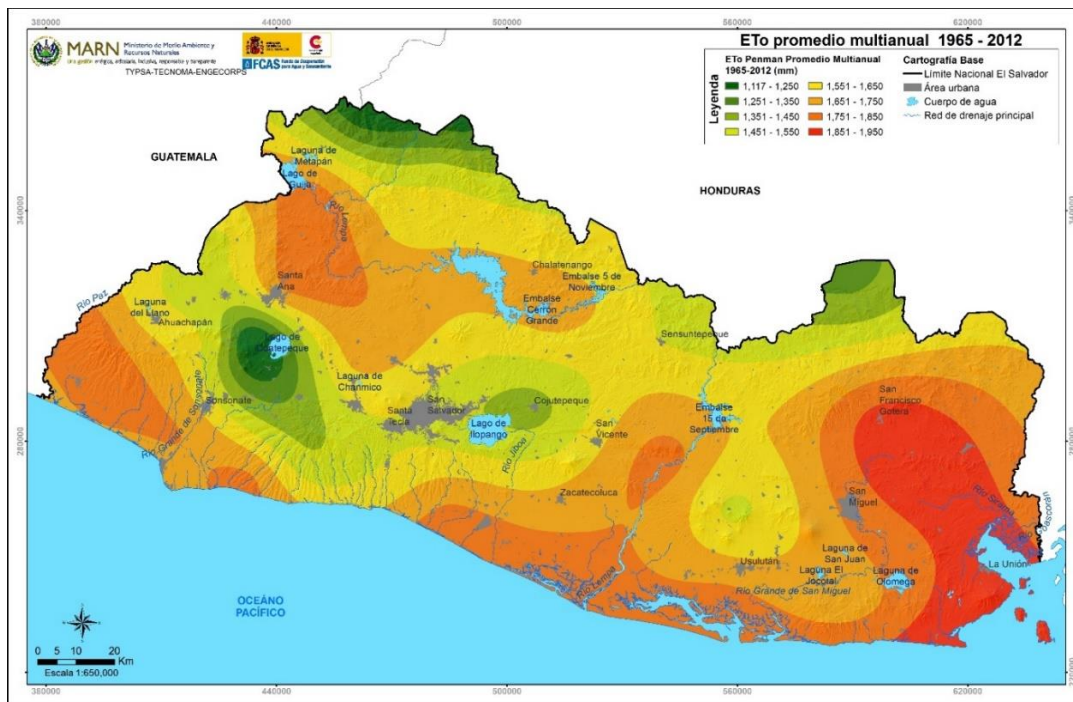


Figura 2.3. Mapa de ETP' Promedio Multianual periodo 1965/2012. PNGIRH (FCAS-MARN, 2015).

En la tabla 2.4 se muestra la distribución mensual de la ETP' a escala nacional para el periodo 1965/2012.

Tabla 2.4. ETP mensual promedio multianual en El Salvador para el periodo 1965/2012. PNGIRH (FCAS-MARN, 2015).

Evapotranspiración potencial mensual promedio multianual (mm)														
Período	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	mm	%
Año 1965/2012	147	146	176	169	149	129	144	138	117	117	118	132	1682	
%	9	9	10	10	9	8	9	8	7	7	7	8		100
Húmedo					x	x	x	x	x	x			794	47
Seco	x	x	x	x							x	x	888	53

De acuerdo con los valores mostrados en la tabla 2.4, el valor de la ETP' en el periodo lluvioso, de mayo a octubre, es de 794 mm equivalente al 47 % de la evapotranspiración total anual y en el periodo seco, de noviembre a abril, es de 888 mm que representa el 53%.

Según el BHID (UNESCO, 2006) se detalla que la ETP, no presenta una diferenciación tan marcada en su variación a nivel mensual como en el caso de la precipitación, la mayor incidencia de ETP ocurre en los meses de abril y marzo, en los cuales se registran valores del orden de 180 - 200 mm en las zonas oriental, suroccidental y noroccidental; mientras que las zonas que presentan menores valores son las zonas ubicadas en altura (Cadenas Volcánicas y Cordillera Fronteriza). El mes donde se registra la menor ETP es diciembre, fluctuando entre 120 - 140 mm en la mayor parte del país, con valores menores de 80 - 100 mm en las zonas montañosas. A nivel anual, los valores de ETP fluctúan de la siguiente manera (UNESCO, 2006):

- 1,250 - 1,550 mm en las zonas altas.
- 1,750 - 2,050 mm en las zonas bajas de oriente, sur occidente, noroccidente y la zona costera.

2.2. HIDROLOGÍA.

Hidrología es la ciencia que estudia la distribución espacial, temporal y propiedades del agua existente en la atmosfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

2.2.1 CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA.

Se denomina ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.) (Béjar, 2004). Ello demanda la evaluación de la interacción agua superficial – agua subterránea.

El ciclo hidrológico, es completamente irregular y es precisamente ante estas irregularidades que lucha el hombre. Ejemplo de ello son los periodos de satisfacción con los requerimientos del agua, para las diferentes actividades en las cuales es utilizada (uso poblacional, industrial, generación de energía eléctrica, agrícola, etc.), los períodos de sequía, de inundaciones, grandes nevadas, entre otros.

Como todo ciclo, el hidrológico, no posee un principio y un fin, por tanto, su descripción puede iniciar en cualquier punto. Una forma de visualizar este ciclo es representando las entradas y salidas de agua a escala de cuenca (Figura 2.4), donde la precipitación se toma como entrada y la evaporación, la transpiración o su combinación conocida como evapotranspiración y la escorrentía de los arroyos son tomadas como las salidas. El componente de la escorrentía de los arroyos, denominado flujo superficial, puede verse incrementado por el Inter flujo, un proceso que opera por debajo de la superficie, pero por encima de la zona en la que las rocas están saturadas de agua y por el flujo de base, un componente directo de la descarga a los arroyos desde la parte saturada del sistema. La infiltración del agua en el subsuelo es la fuente última del Inter flujo y de la recarga de las aguas subterráneas (Domenico & Schwart, 1998).

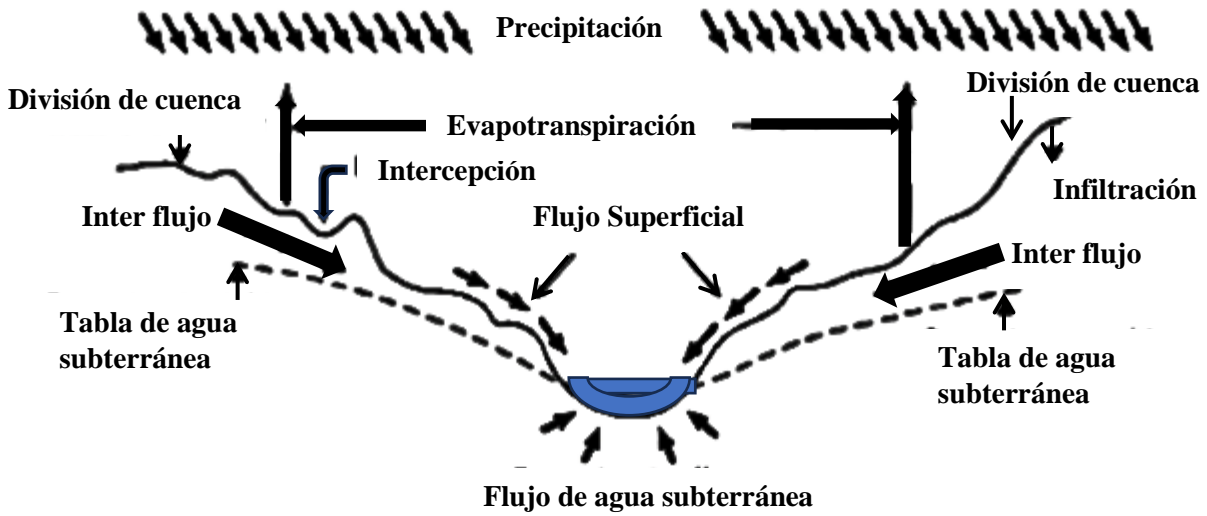


Figura 2.4. El ciclo hidrológico de la cuenca. Recuperado de Molina Duarte (2022).

A partir de la figura 2.4, puede deducirse que el ciclo hidrológico posee una relación entre las aguas superficiales y subterráneas, por medio de la salida de estas últimas hacia los cauces (ríos, quebradas, manantiales, etc.). No obstante, la afluencia de agua subterránea a los cauces no siempre se produce y el sentido del flujo puede ser inverso, es decir, del río al acuífero. Así, se puede hablar de ríos efluentes e influentes (o ganadores y perdedores). (Sánchez, 2022)

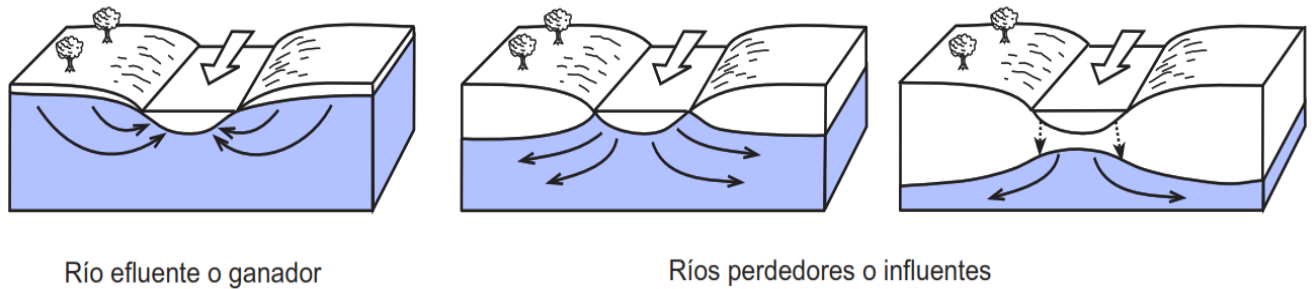


Figura 2.5. Interacción de los cauces y las aguas subterráneas. Recuperada de Sánchez (2022).

Cuando existen tiempos en los cuales no se producen precipitaciones sobre una cuenca, el río puede continuar llevando agua por las siguientes causas (Sánchez, 2022):

- Nieve o hielo que se está fundiendo;
- Almacenamiento superficial de agua: lagos, lagunas, embalses;
- Almacenamiento subterráneo de agua: Acuíferos.

2.2.2. LA CUENCA.

La cuenca de drenaje de una corriente es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Béjar, 2004)

Una cuenca hidrográfica, es la definida por la topografía, fácilmente delimitable sobre un mapa topográfico siguiendo las líneas del *divortium acuarum* (parteaguas, el cual está formado por los puntos de mayor nivel topográfico; en otras palabras, debe de unir todos los puntos con mayor valor de altitud), la cual es una línea imaginaria que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por las precipitaciones, que en cada sistema de corriente fluyen hacia el punto de salida de la cuenca. (Figura 2.6).

En cambio, una cuenca hidrogeológica es un concepto que engloba tanto a las aguas subterráneas como a las superficiales; una cuenca hidrográfica constituirá también una cuenca hidrogeológica cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que divides a la esorrentía superficial constituyen también divisorias de la esorrentía subterránea entre cuencas adyacentes. (Sánchez, 2022) (Figura 2.7)

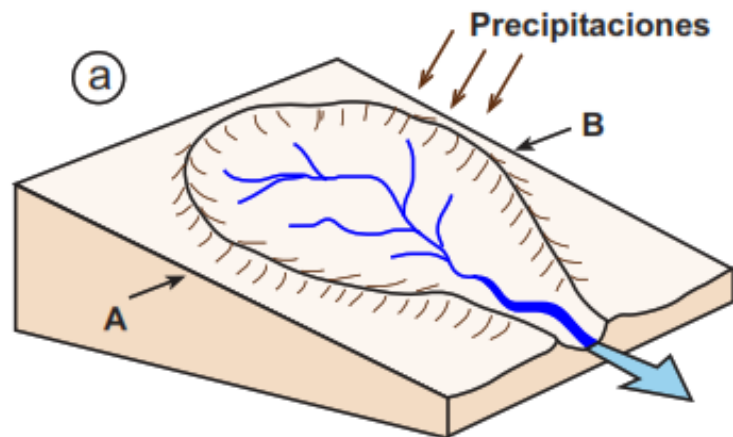


Figura 2.6. Ilustración de una cuenca hidrográfica. Recuperado de Sánchez (2022)

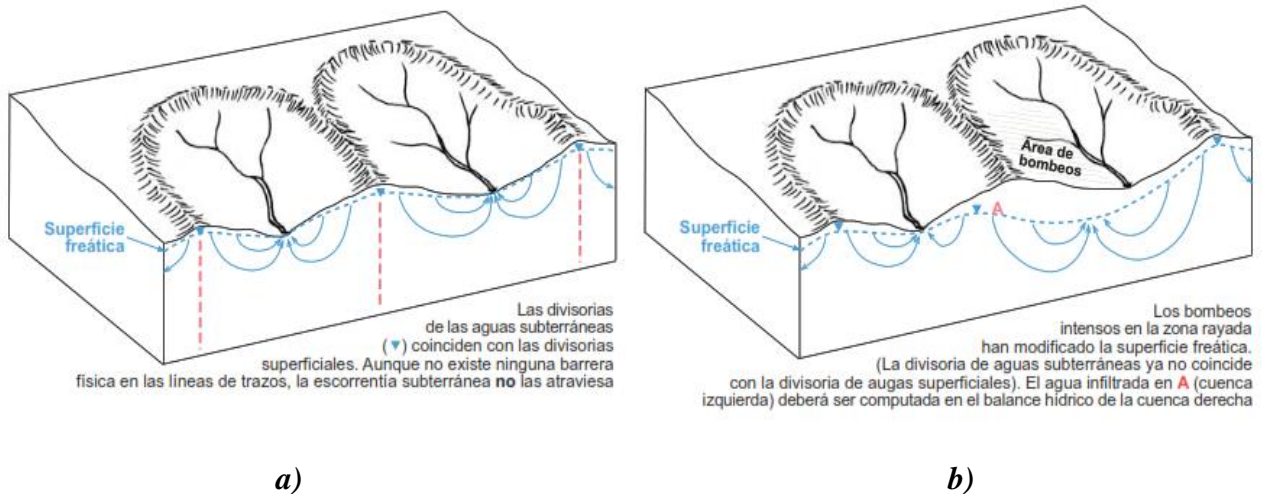


Figura 2.7. Ilustración cuando una cuenca hidrográfica es a) hidrogeológica, b) no es hidrogeológica. Recuperado de Sánchez (2022)

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña. **Cuenca grande**, es aquella donde predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación área y cauce), Para fines prácticos una cuenca se considera grande, cuando el área es mayor de 250 km². En cambio, una cuenca se considera **pequeña** cuando responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, donde las características físicas (tipo suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce; una cuenca es calificada como pequeña cuando el área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite de 250 km² para propósitos prácticos (Béjar, 2004).

Debido a lo anterior, no necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca pequeña que una grande. Para una cuenca grande el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por tanto, deberá dársele mucha importancia las características de este último. En cambio, en una cuenca pequeña la forma y la cantidad de escurrimiento están influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo; esto implica que un estudio hidrológico debe enfocarse con más atención a la cuenca misma.

También por las características, tamaño y ramificación de la red de drenaje, se ha establecido la siguiente clasificación de una cuenca:

- **Cuenca:** Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.
- **Subcuenca:** Conjunto de microcuencas que drenan a un cauce principal con caudal fluctuante pero permanente.

- **Microcuenca:** Área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca.
- **Quebrada:** Área en la que su drenaje escurre hacia la corriente principal de una microcuenca.

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización. Dichas características se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, etc. A continuación, se describen las características de la cuenca y los cauces de mayor importancia por sus efectos en la relación precipitación-escurrimiento (Mijares, 1992):

- **El parteaguas:** es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas (véase figura 2.8).
- **El área de la cuenca:** se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas (véase figura 2,8).

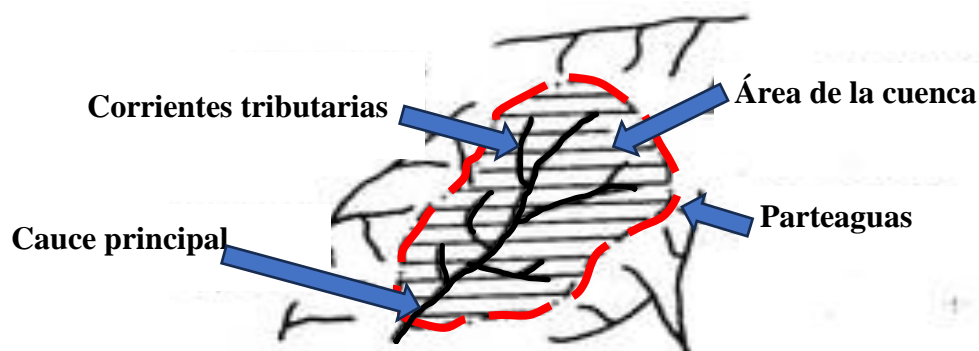


Figura 2.8. Características de una cuenca. Recuperado de Mijares (1992)

- **La corriente principal:** de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de esta.
- **Pendiente de la cuenca:** Indicador del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta, teniendo una importancia directa en relación con la magnitud de las crecidas.
- **Curva hipsométrica:** Representación gráfica del relieve de la cuenca, relaciona el valor de la elevación (cota) en el eje vertical y el valor del área acumulada en el eje horizontal. Su forma puede asociarse con la edad o etapa de desarrollo de la cuenca (ver Figura 2.9).

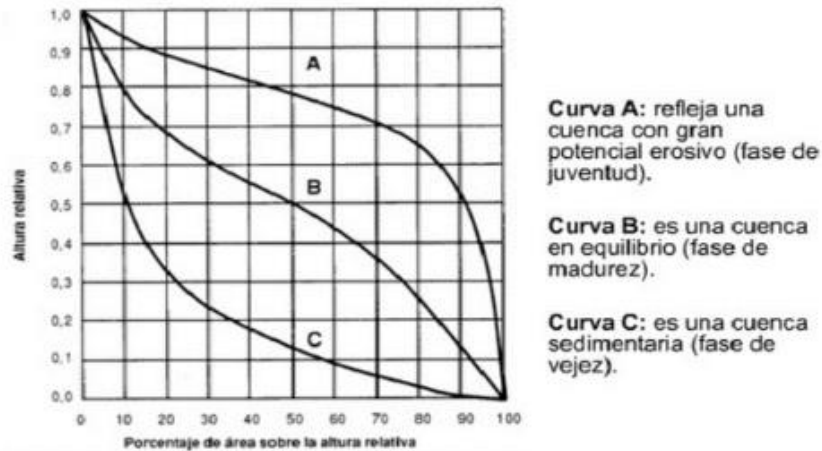


Figura 2.9. Clasificación de la edad de una cuenca. Recuperada de Molina Duarte (2022)

2.2.3. ESCURRIMIENTO.

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado *flujo en la superficie del terreno*, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos (es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas). En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte *en escurrimiento en corrientes* (Mijares, 1992).

De acuerdo con Mijares (1992) el flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma *el escurrimiento superficial*. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del

escurrimiento se le llama *escurrimiento subsuperficial*; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina *escurrimiento subterráneo*.

De los tres tipos de escurrimiento antes mencionados, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca, estando relacionado directamente con una tormenta particular, por lo que se dice que proviene de la precipitación efectiva y que constituye el *escurrimiento directo*. Por otra parte, el escurrimiento subterráneo es el que más lentamente alcanza la salida de la cuenca y debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay precipitación, por lo cual se dice que forma el *escurrimiento base* (Mijares, 1992).

La representación gráfica del caudal que pasa de manera continua, durante un periodo de tiempo, por una sección transversal de un río se denomina *Hidrograma* (Mijares, 1992). (Figura 2.10)

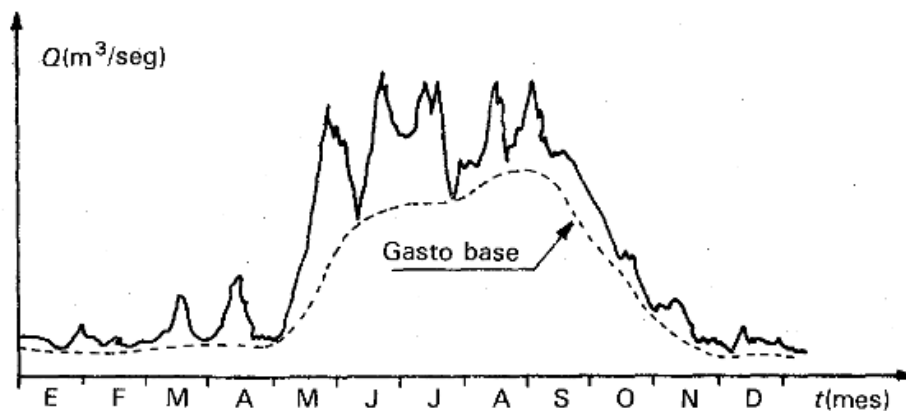


Figura 2.10. Representación de un Hidrograma. Recuperado de Mijares (1992)

En un hidrograma como el mostrado en la figura 2.10, donde se relacione el gasto contra el tiempo, representa un *hidrograma anual*; si la escala del tiempo se amplía de tal manera que pueda observarse el escurrimiento producido por una sola tormenta, obtendríamos una gráfica como la mostrada en la figura 2.11. Aunque la forma de los hidrogramas producidos por tormentas particulares varía no sólo de una cuenca a otra sino también de tormenta a tormenta, es posible, en general, distinguir las partes de un hidrograma según se muestra en la Figura 2.11.

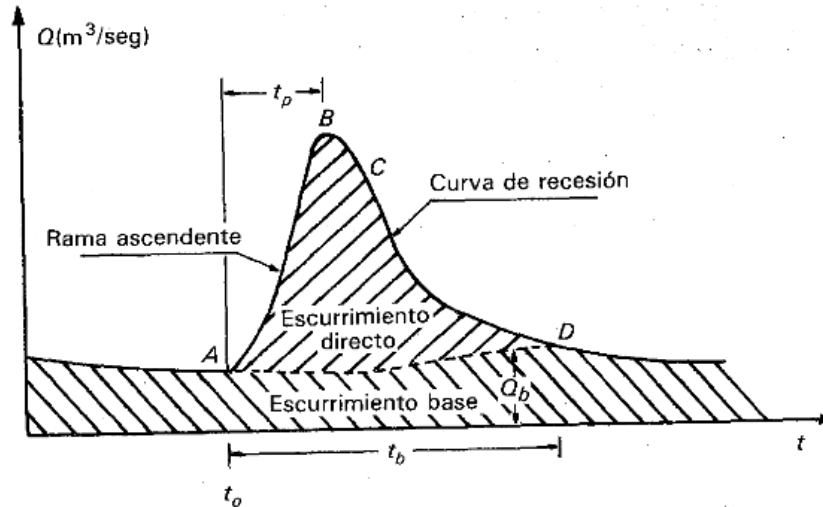


Figura 2.11. Muestra las partes de un hidrograma típico. Recuperado de Mijares (1992)

- **Punto de levantamiento (A).** En este punto, el agua proveniente de la tormenta bajo análisis comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que cesó de llover, dependiendo de varios factores, entre los que se pueden mencionar el tamaño de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia, etc.
- **Pico (B):** caudal máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.
- **Punto de inflexión (C).** En este punto es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y, de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.
- **Final del escurrimiento directo (D).** De este punto en adelante el escurrimiento es sólo de origen subterráneo. Normalmente se acepta como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión, aunque pocas veces se distingue de fácil manera.
- **Tiempo de pico (t_p).** Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.
- **Tiempo base (t_b).** Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el punto final del escurrimiento directo. Es, entonces, el tiempo que dura el escurrimiento directo.

- **Rama ascendente.** Es la parte del hidrograma que va desde el punto de levantamiento hasta el pico.
- **Rama descendente o curva de recesión.** Es la parte del hidrograma que va desde el pico hasta el final del escurrimiento directo. Tomada a partir del punto de inflexión, es una curva de vaciado de la cuenca.

El área bajo el hidrograma, $\int_{t_0}^t Q dt$, es el volumen total escurrido; el área Q lo bajo el hidrograma y arriba de la línea de separación entre gasto base y directo, $\int_{t_0}^t (Q - Q_b) dt$, es el volumen de escurrimiento directo.

Por medio de un hidrograma como el mostrado en la figura 2.11, puede diferenciarse el escurrimiento directo y el escurrimiento base, conocido como *separación de los componentes del hidrograma*; Sánchez (2022) propone varias opciones para realizar este procedimiento (ver figura 2.12):

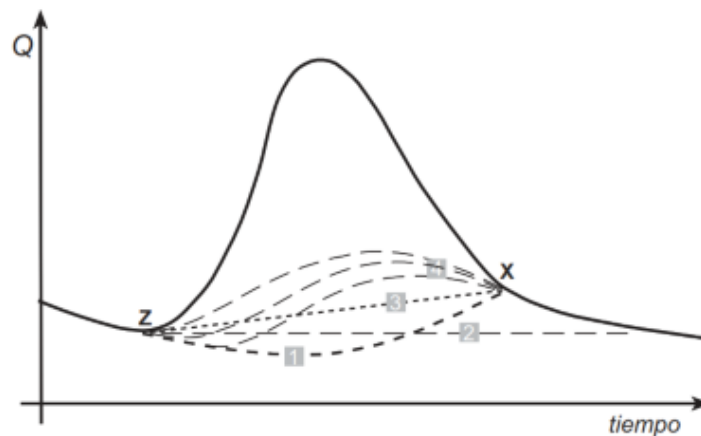


Figura 2.12 Diferentes métodos gráficos para la separación de componentes de un hidrograma. (Sánchez, 2022).

- Prolongar la curva de agotamiento desde el punto Z, previa a la crecida, hasta la vertical de la punta del hidrograma y luego se continúa la curva de modo ascendente hasta el punto X, donde se supone que se encuentra el comienzo de la curva de agotamiento posterior a la crecida (opción 1).
- Para una evaluación aproximada o cuando el tiempo de crecida es pequeño, puede ser suficiente trazar una línea horizontal desde el comienzo de la crecida (opción 2).

- La opción 3 es trazar una recta desde el comienzo hasta el final de la crecida (desde Z hasta X). Aunque se trata de una aproximación, en muchos casos el error es aceptable.
- Cualquiera de las opciones indicadas como 4 puede ser adecuada en cuencas donde se produzca una rápida respuesta de la escorrentía básica tras el comienzo de la precipitación, probablemente por la poca profundidad de la superficie freática.

Realizada la separación de escorrentías (directa y base), pueden determinarse los volúmenes que corresponden a cada una de ellas, por medio de la estimación de las áreas comprendidas bajo las curvas de cada una. Esto logra efectuarse gráficamente utilizando planimetría de la superficie comprendida bajo la curva o analíticamente calculando la integral de la ecuación que se ajusta a la curva).

Para el caso de El Salvador, en el año 2004 el Servicio Hidrológico del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) (MARN, 2006) desarrolló la Regionalización de caudales medios y máximos a nivel nacional, a través de ella se establecieron relaciones entre caudales medios (y también máximos) con el área de la cuenca aportante, y factores de distribución mensual para caudales medios (o de ajuste para diferentes periodos de retorno para caudales máximos) de acuerdo a regiones hidrológicamente homogéneas. En la Tabla 2.5 se presentan las ecuaciones para la estimación de caudales medios anuales de acuerdo con las regiones hidrológicamente homogéneas definidas en la Figura 2.13, y los factores de distribución mensual de los caudales anuales.

Tabla 2.5. Ecuaciones de Caudales medios anuales y factores de distribución mensual.

Molina Duarte (2022)

Región	CPA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	$0.0127*A + 1.4954$	0.397	0.361	0.352	0.411	0.701	1.436	1.347	1.603	2.35	1.893	0.721	0.429
2	$0.0103*A + 0.4433$	0.278	0.216	0.197	0.196	0.363	1.031	1.175	1.898	2.985	2.441	0.788	0.389
3	$0.0151*A + 0.4752$	0.156	0.117	0.104	0.13	0.511	1.658	1.052	1.315	3.089	2.982	0.651	0.234
4	$0.0109*A + 0.545$	0.127	0.121	0.116	0.129	0.374	1.879	1.68	1.963	2.951	2.096	0.373	0.192
5	$0.0304*A - 0.3231$	0.113	0.084	0.079	0.115	0.4	1.874	1.516	1.815	3.24	2.1	0.444	0.166
6	$2E-06*A + 0.0156*A + 0.0944$	0.496	0.47	0.45	0.479	0.671	1.235	1.517	1.718	2.186	1.537	0.7	0.541
7	$-0.00001*A^2 + 0.0214*A - 0.2529$	0.273	0.237	0.226	0.251	0.421	1.471	1.303	1.646	2.97	2.201	0.67	0.331
8	$0.0176*A - 10.123$	0.381	0.333	0.312	0.291	0.429	1.418	1.549	1.615	2.483	2.121	0.601	0.466

Donde:

A = área de la cuenca en km^2 ; CPA = Caudal Promedio anual en m^3/s

Es de mencionar que las ecuaciones de regionalización presentan un rango de validez en cuanto al área de las cuencas, de acuerdo con la información a partir de la cual se generaron, por lo que para cuencas que están por fuera del rango de área en las cuales no es válida la ecuación, no era posible aplicar esta metodología.

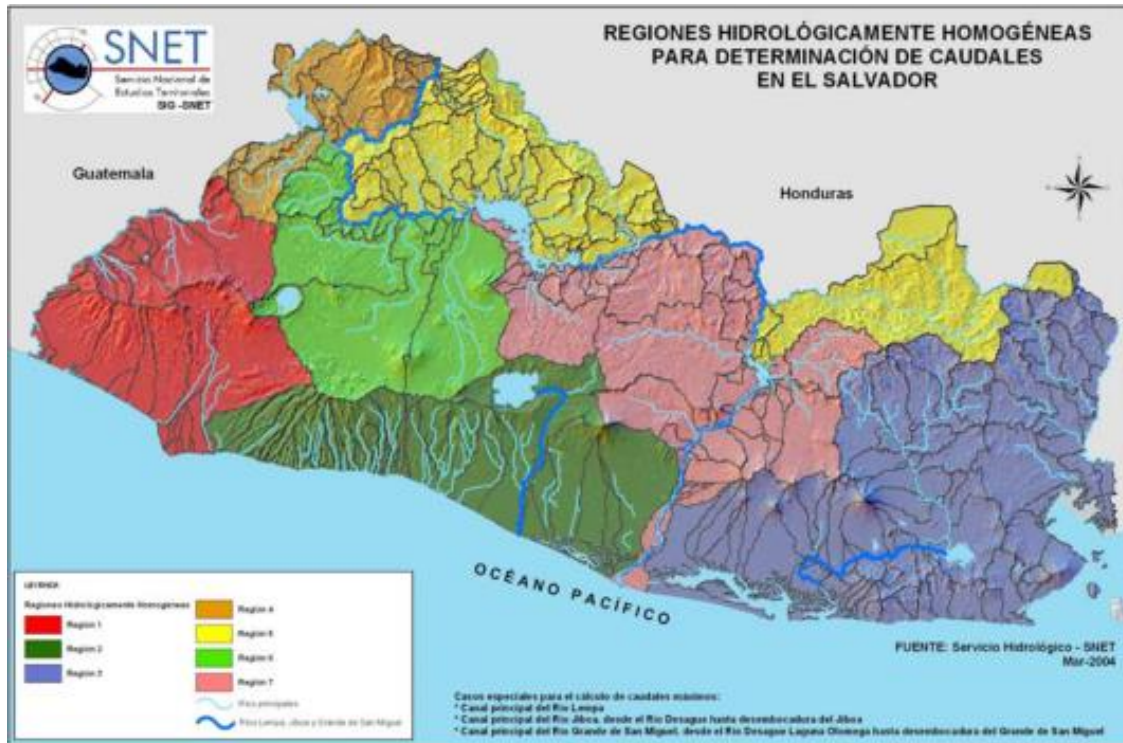


Figura 2.13. Regiones Hidrológicamente Homogéneas para determinación de caudales medios. Recuperada de BHID (UNESCO, 2006).

Cuando no es posible aplicar la metodología descrita anteriormente, es posible aplicar la metodología de relación Precipitación – Escorrentía, la cual permite obtener un estimado de los caudales medios mensuales y anuales en una cuenca en particular; la metodología se basa en la aplicación de factores estimados, que relacionan la lluvia media mensual o anual con las escorrentías generadas (ver Figura 2.14 y Tabla 2.6). Para la determinación de dichos factores, se analizan los datos de la precipitación media mensual y anual y la escorrentía de las estaciones hidrométricas existentes dentro de la cuenca a analizar o cercanas a ella, con todo el periodo de registros que estas poseen, pero en unidades de mm.

Para el caso de la presente investigación, no es posible aplicar la metodología de regionalización de caudales medios y máximos debido a que el área de la cuenca del río Chimalapa es menor a 100 km²; por consiguiente, para la estimación de los caudales medios mensuales y anuales se aplicará la metodología de relación Precipitación – Escorrentía, la cual si es aplicable a cuencas que poseen menos de 100 km² de área.

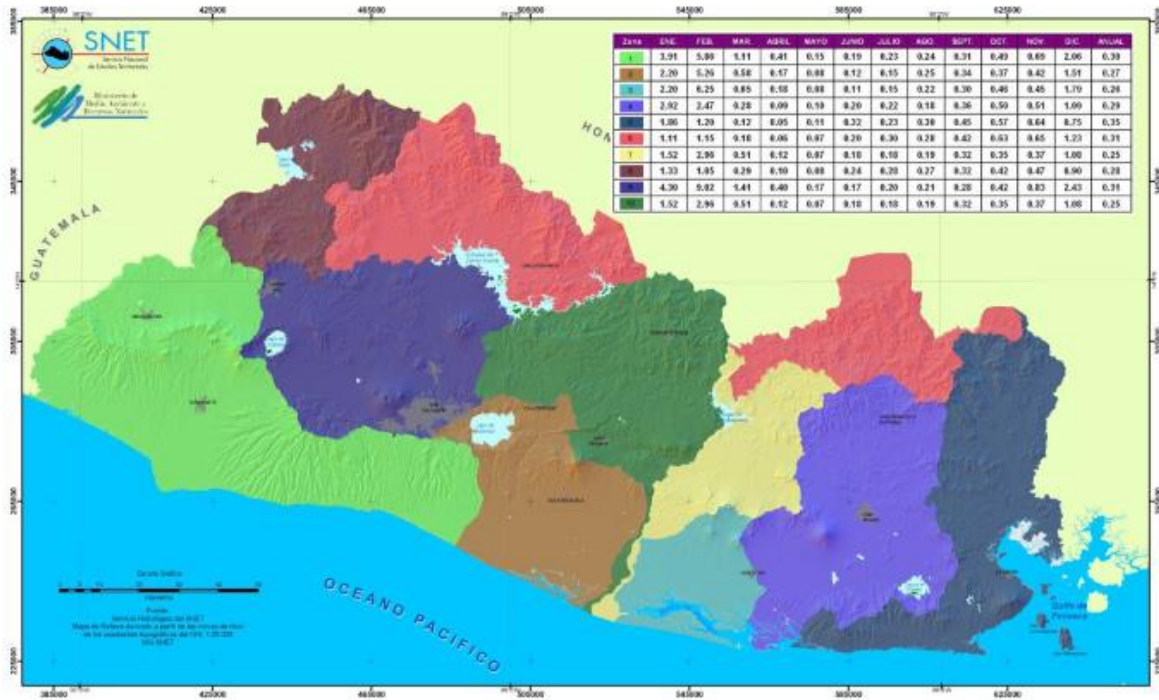


Figura 2.14. Mapa para aplicación de la metodología de relación Precipitación – Escorrentía. Recuperada de BHID (UNESCO, 2006).

Tabla 2.6. Factores de relación Precipitación - Escorrentía. BHID (UNESCO, 2006).

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

2.2.4. CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL POR EL MÉTODO DE BALANCE HÍDRICO EDÁFICO.

El agua del subsuelo se alimenta de las lluvias, ya sea directa o indirectamente a través de las *corrientes superficiales y subterráneas*. La recarga natural de estas aguas es un *proceso irregular e intermitente*, donde intervienen la geología y el perfil del terreno, entre otros factores. Por eso, la recarga de un acuífero puede definirse como el agua que se infiltra desde la superficie proveniente principalmente de la lluvia que alcanza las reservas subterráneas.

Es importante prestar atención en la estimación de la recarga de los acuíferos, ya que es necesario determinar la cantidad de agua que llega a ellos, su calidad, procedencia y las zonas donde se presenta recarga o descarga del flujo subterráneo, por este motivo su cuantificación es un aspecto incluido dentro de estudios referentes a los recursos de agua subterránea, al transporte de contaminantes, a la subsidencia o al diseño de campos de pozos (Issar & Passchier, 1990; Anaya Meléndez, Linárez López, & Méndez Lucero, 2017).

Al ocurrir una precipitación, parte de esta logra infiltrarse llenando los poros del suelo, al llegar a su capacidad máxima de acumulación de agua, el suelo está en capacidad de campo, mencionando que se parte de que el suelo no está saturado al inicio de la lluvia. Al terminar la precipitación, comienza la evapotranspiración, que es cuando las raíces comienzan a tomar el agua que se encuentran en los poros del suelo. Si la cantidad de agua lluvia es suficiente como para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante de agua que infiltra, percola para recargar potencialmente el acuífero, dicha recarga se conoce como *recarga potencial del acuífero* (Anaya Meléndez, Linárez López, & Méndez Lucero, 2017).

La recarga a un acuífero también puede darse por medio de las aguas superficiales, es decir, a través de ríos, lagunas y lagos, por transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos, de manera artificial debido a actividades como por ejemplo la irrigación, a fugas de redes de abastecimiento de agua o por infiltraciones de embalses y depósitos, entre otros (Balek, 1988; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Custodio, 1997; Samper, 1997; Anaya Meléndez, Linárez López, & Méndez Lucero, 2017).

Debido a lo anterior es importante determinar de cuánto es la recarga que puede darse en un acuífero, para ello existen varios métodos entre los cuales tenemos el método de **balance hídrico**, el cual es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico,

como del consumo de agua realizado por los diferentes sectores de usuarios, en un área o cuenca determinada y la interrelación existente entre ellos; dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha zona. Permitiendo, tomar medidas, lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, garantizando de esta manera su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad (MARN, 2006). El balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

De acuerdo con Montaner Salas, Sánchez, & Serrano (1988), un ejemplo de balance es el **balance hídrico edáfico según el método de Thornwaite y Matter**, el cual permite estimar el valor mensual de la humedad del suelo, la ETR y la escorrentía a partir de registros de precipitación y evapotranspiración potencial; considerando como única entrada al sistema la precipitación y como salidas la evapotranspiración y la escorrentía.

Este método relaciona la temperatura media mensual y la evapotranspiración potencial para un mes de 30 días y 12 horas de luz mediante la expresión:

$$ETP = Fc \times 16(10 t / I)^a \quad (1)$$

Siendo:

ETP: Evapotranspiración potencial mensual,

t: Temperatura media mensual,

I: Índice térmico anual, donde I es la suma de los valores de i (índice mensual de calor) para los doce meses del año.

$$i = (t/5)^{1.514} \quad (2)$$

Fc: Factor de corrección en función de la latitud y mes,

a: Coeficientes que varían de un lugar a otro. El valor de a se calcula mediante la expresión:

$$a = 0.00000000675I^3 - 0.000000771I^2 + 0.01792I + 0.49239 \quad (3)$$

El valor de la ETP mensual debe ser corregido en función del número de días del mes y del número de horas de insolación teórica. Variables en relación con la latitud en que se encuentra la estación meteorológica que ha suministrado los datos. La ecuación que se utiliza para realizar esta corrección es la siguiente:

$$EVTP = ETP (d/12)(N/30) \quad (4)$$

Donde:

EVTP es la evapotranspiración potencial mensual corregida,

ETP es Evapotranspiración potencial mensual,

d es la duración de la luz solar en horas, y

N es el número de días en un mes.

La EVTP calculada constituye el valor máximo de agua que estaría sometida a este proceso de existir cantidad suficiente en el terreno.

La Evapotranspiración Real (ETR), se calcula a partir de tres factores, dos ya conocidos, la ETP y la pluviometría y uno nuevo que se denomina reserva útil del suelo (RU). Dicha reserva es el volumen de agua útil que puede retener un terreno por unidad de superficie y hasta la profundidad en que el fenómeno de capilaridad es posible. Su valor se expresa en milímetros por metro de profundidad y por unidad de superficie, varía según el tipo de suelo. Constituye el dato más débil del cálculo, al no disponer de suficientes medidas de campo que permitan asignar valores representativos a cada zona en donde se aplique el método.

Una vez calculada la ETR podemos conocer la lluvia útil (Ll U) mediante la ecuación:

$$Ll U = P - ETR \quad (5)$$

Que posee dos componentes, escorrentía (E) – superficial e hipodérmica e infiltración (IF). La escorrentía pasa a formar parte de los cursos de agua superficial y la infiltración a engrosar la reserva útil (agua eficaz) y completada ésta, sigue su recorrido hasta alcanzar un acuífero (agua profunda).

Análisis de los supuestos básicos en la aplicación del método.

El método de Thornwaite parte para su cálculo, de los siguientes supuestos:

- El periodo considerado es el año hidrogeológico; que para nuestro país El Salvador es de mayo a abril.
- La temperatura y la precipitación se aplican como valores medios mensuales.

- La reserva útil del suelo, al comienzo del año hidrogeológico, es cero y las variaciones de dicha reserva se deben exclusivamente al resultado del balance:

$$P - ETR = \pm RU \quad (6)$$

La extrapolación de este método al cálculo de los recursos de un acuífero no tiene en cuenta una serie de hechos de cierta trascendencia:

- Las zonas climáticas áridas o con cierta tendencia a la aridez se caracterizan por temperaturas normalmente altas y un régimen pluviométrico irregular con lluvias de mediana y fuerte intensidad en corto espacio de tiempo.

Por ello, al utilizar valores medios mensuales las precipitaciones acaecidas en pocos días a lo largo del mes quedan difumadas dentro de dicho valor medio y sometidas, en el cálculo, a una temperatura media normalmente elevada cuyo efecto es considerar evapotranspirables cantidades de agua que ya se han infiltrado. Hay que tener en cuenta, además, que las precipitaciones traen consigo, generalmente, un descenso de la temperatura.

- Durante el ciclo vegetativo los cultivos están recibiendo periódicamente volúmenes de agua por riego que tienden a satisfacer sus necesidades hídricas. En consecuencia, las lluvias coincidentes con épocas de riego pueden encontrar en su caída un terreno cuyo valor de RU estaría más próximo a la capacidad de campo que al coeficiente de marchitez. Lo que pone de manifiesto que la variación de la reserva útil del suelo no obedece exclusivamente al balance determinado por la Ecuación 6.

Por tanto, se daría la paradoja de que lluvias supuestamente evapotranspirables, en su práctica total, estarían contribuyendo a completar la capacidad de campo y a partir de ese momento, a la infiltración.

De hecho, salvo en el caso de fuertes precipitaciones que dan lugar a avenidas y que hacen innecesario el riego en fechas posteriores, la mayor parte de la lluvia caída con mediana y baja intensidad no provoca los mismos efectos sobre cultivos, por lo que el agricultor en general les sigue suministrando las dotaciones habituales.

2.3. FACTORES RELEVANTES PARA EL ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

2.3.1 GEOLOGÍA.

Desde el punto de vista geológico, El Salvador es un país extremadamente joven. Una cuarta parte de su territorio es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica. Los materiales más antiguos se encuentran al noroeste del país y pertenecen a los denominados estratos de Metapán, que incluyen al Grupo Yojoa, Formaciones Valle de Ángeles y Todos Santos.

Desde el Terciario Inferior predomina en el territorio nacional un abundante vulcanismo terrestre con numerosos centros de erupción. Paralela a toda la frontera norte del país se dispone una franja de materiales pertenecientes tanto a las Formaciones Morazán (Oligoceno) y Chalatenango (Mioceno), como a plutonista extruidas en un periodo de tiempo comprendido entre la deposición de las dos formaciones anteriores.

En posiciones más meridionales, la Formación Bálsamo de edad Pliocena cubre grandes superficies del país (sierra Tacuba, Cordillera del Bálsamo, Cordillera Jucuarán - Intipucá y algunas zonas del norte de Santa Ana). Esta formación se dispone mayoritariamente en una franja de unos 90 km de ancho, asociada a una importante actividad volcánica. El resto de las formaciones identificadas están originadas, en su mayoría, por fenómenos volcánicos. La figura 2.15 muestra la distribución espacial de las formaciones y grupos que componen la geología del país, así como los principales sistemas de fracturas (MARN., 2017).

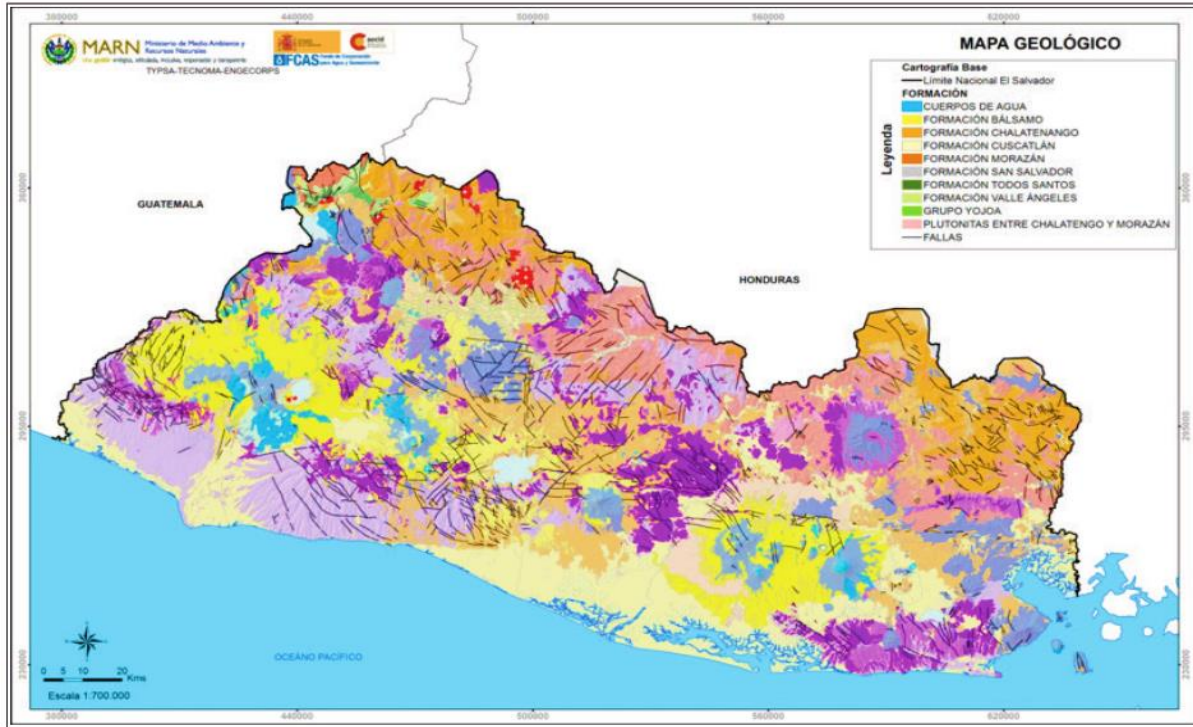


Figura 2.15. Mapa Geológico de El Salvador. (Webber, 1978; MARN, 2017)-

Para el caso que corresponde a esta investigación, que es la cuenca del río Chimalapa localizada entre los distritos de Nahulingo y Sonsonate en el departamento de Sonsonate, se ha logrado establecer que la secuencia geológica en orden de aparición está compuesta por las Formaciones Bálsamo (Mioceno Tardío al Plioceno), y San Salvador (Pleistoceno Superior a Holoceno) como se muestran en la Figura 2.16, las cuales se describen de la más antigua a las más recientes:

- Formación Bálsamo (b1): está constituida por epiclástitas volcánicas, piroclástitas y corrientes de lavas intercaladas.
- Formación San Salvador (Q'f): está formado por aluviones, localmente con intercalaciones de piroclástitas (USAID, septiembre 2009).

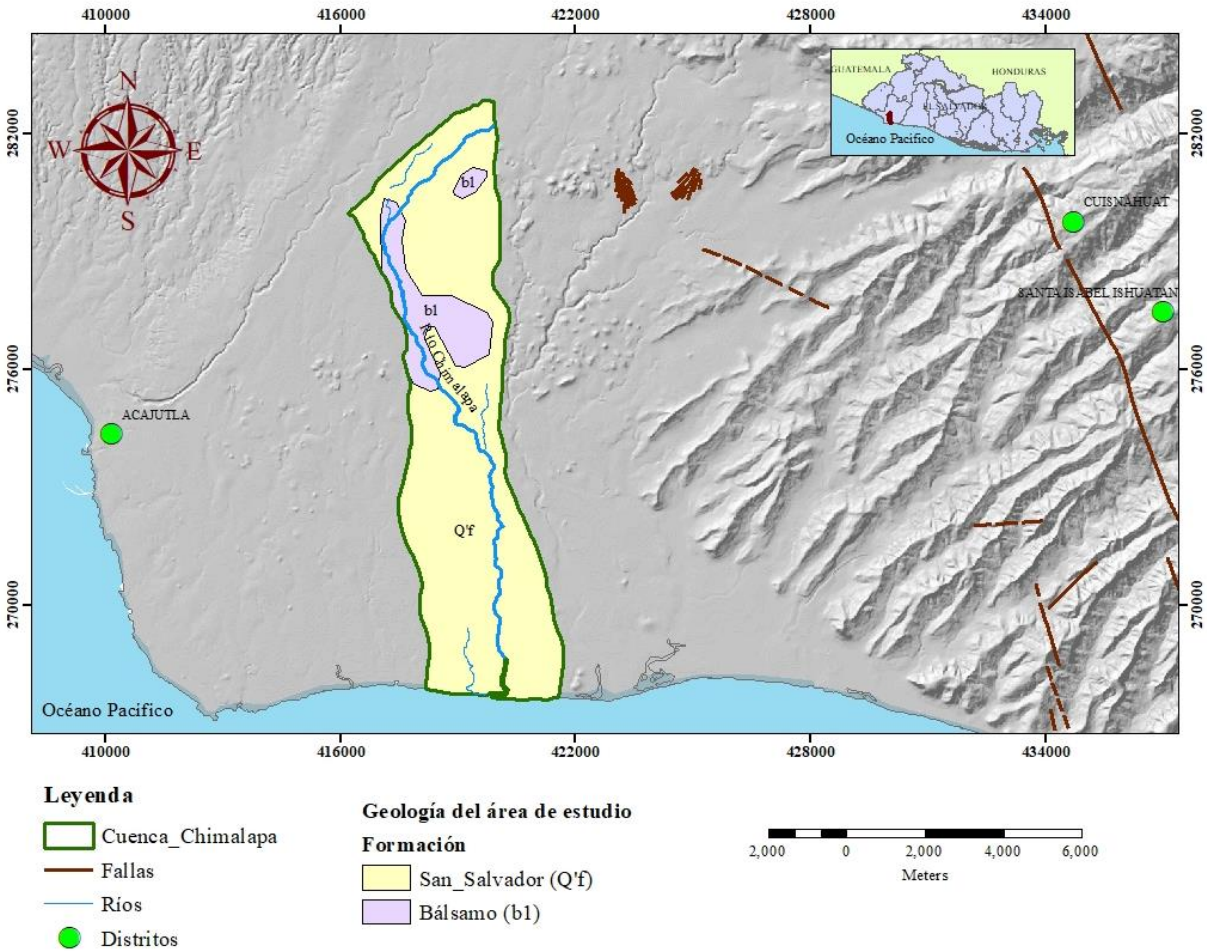


Figura 2.16. Geología existente en cuenca del Río Chimalapa.

La distribución espacial que poseen los materiales geológicos que constituyen las formaciones y grupos geológicos en el área de la cuenca del río Chimalapa, así como las propiedades hidráulicas, discontinuidades estructurales existentes en ellos y la influencia de heterogeneidades en las propiedades geológicas y/o de las estructuras locales (Carreón Freyre, Cerca, González, & Gámez González, 2005), influyen sobre la trayectoria que puede poseer el flujo de agua subterránea en el sistema acuífero. Por ejemplo Carrillo-Rivera (2000) como Mayo y Koontz (2000), demostraron que las fallas y fracturas pueden actuar como fronteras hidráulicas para separar sistemas acuíferos en compartimentos diferentes, tanto a nivel regional como en cuencas sedimentarias bien diferenciadas considerando las heterogeneidades del medio geológico para hacer evaluaciones confiables del recurso hídrico. En cambio Barrera de Calderón, Garfias, Martel, & García, (2021), dan a conocer la influencia que poseen las fallas en el flujo de agua subterránea de un acuífero volcánico en San Salvador, como también proporcionan nuevos

elementos al conocimiento de la distribución espacial y aprovechamiento de los materiales permeables en el acuífero de San Salvador y podría respaldar algunas decisiones para el manejo sostenible del agua subterránea, especialmente aquellas orientadas a las zonas de nuevos aprovechamientos .

Así mismo se debe de considerar el papel que tiene el flujo de agua subterránea en una gran variedad de procesos y fenómenos naturales, entre los cuales se puede mencionar: salinización de suelos, depósitos salinos continentales, composición geoquímica a escala regional, licuefacción de suelos, acarvamientos, corrimientos de tierras, geiseres, anomalías geotérmicas, eutrofización de lagos, flujo de base en manantiales, humedales, pantanos, tipo y calidad de la cubierta vegetal, diagénesis de algunos minerales arcillosos, depósitos de minerales sulfurosos, entre otros (Tóth, 2000), debido a que el flujo de agua subterránea es considerado como uno de los agentes geológicos más importantes que existe en la naturaleza.

Con base a lo descrito previamente, el conocimiento de la distribución de los materiales geológicos, la geología estructural y del flujo de agua subterránea es de suma importancia para la planificación sostenible de los recursos hídricos, especialmente en regiones con demandas crecientes de agua.

2.3.2. GEOMORFOLOGÍA.

El relieve actual del territorio salvadoreño es producto tanto de los movimientos orogénicos como de la actividad volcánica. Estos procesos han dado origen a la diversidad de unidades geomorfológicas del país. Alrededor del 13% del total del territorio, está conformado por planicies costeras, el 49% por áreas montañosas, y el 38% consiste en zonas de relieves bajos, pequeñas lomas y valles. Las principales regiones geomorfológicas del territorio salvadoreño se pueden observar en la figura 2.17 (MARN, 2006; Molina Duarte, 2022)

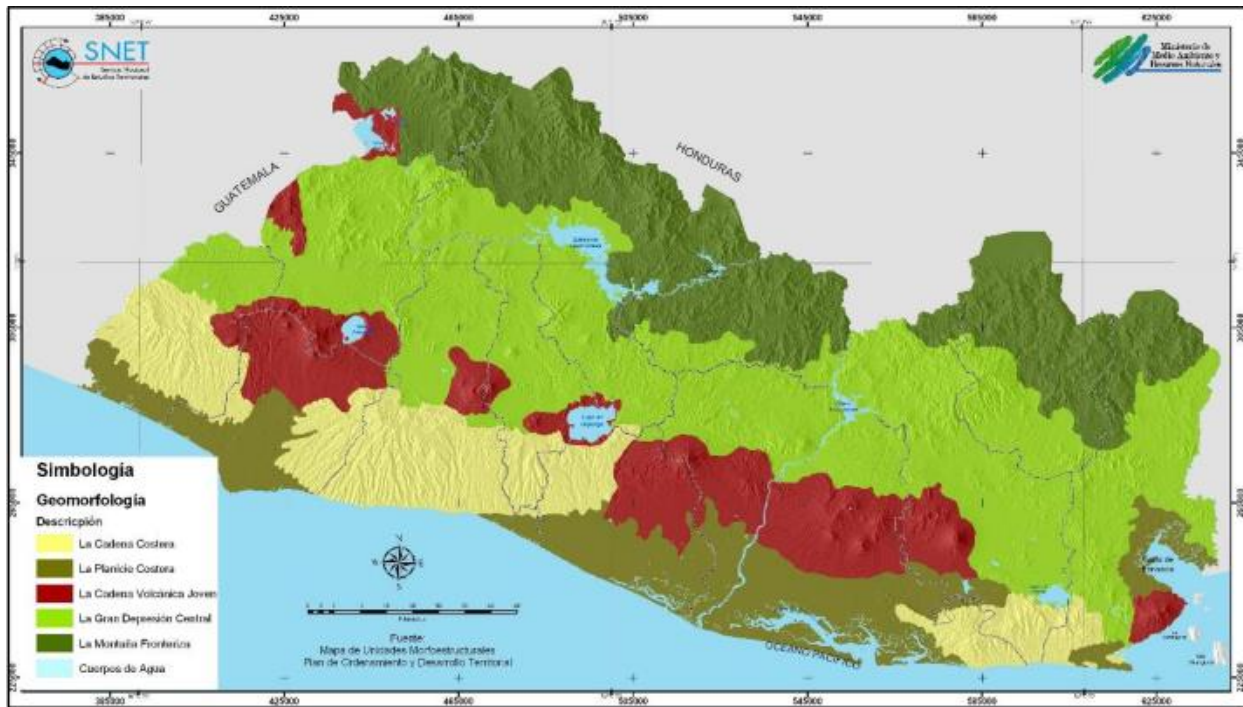


Figura 2.17. Mapa de Unidades Geomorfológicas de El Salvador. (MARN, 2006; Molina Duarte, 2022)

Con base a la figura 2.17, se ha determinado que las zonas geomorfológicas de la cuenca del Río Chimalapa comprenden dos unidades estructurales geológicas - tectónicas. que son: Planicie Costera y Cadena Costera.

a. Cadena Costera.

El ancho de la Cadena Costera cambia por las deformaciones tectónicas. Se hace más estrecha en los puntos bajos y se ensancha en las elevaciones hasta alcanzar en dos sitios el mar. La estratigrafía de la Cadena Costera está conocida únicamente por sus aspectos generales. El elemento formativo son aglomerados gruesos y densos de edad pliocénica, junto con capas delgadas de lava andesítica, y estratos e intercalaciones de ignimbritas, formando una serie con un espesor de más de 1,500 m. Su rango de elevación es a partir de 31 a los 600 msnm. (USAID, septiembre 2009)

b. Planicie Costera.

Esta planicie se extiende entre la Cadena Costera y el Océano Pacífico y tiene un declive del 1 % hacia el océano. Geológicamente, la formación de la Planicie Costera no es uniforme, ni en su petrografía ni en su origen. Muchas veces los productos volcánicos pleistocénicos han

penetrado extensamente en esta llanura, constituyendo otro componente importante en la formación de ella. Su rango de elevación es a partir de los 0 hasta los 30 msnm. (USAID, septiembre 2009)

Geomorfológicamente, la llamada Planicie Costera de Sonsonate, principalmente está formada por rocas volcánicas del Cuaternario provenientes de los centros volcánicos ubicados al norte del área, también existen en la zona lahares y depósitos aluviales compuestos de gravas, arenas, limos y arcillas que han sido transportados por las corrientes de agua de las partes altas a las bajas donde han sido depositados (PNUD, 1981). En menor medida se observan depósitos volcánicos del Terciario, esencialmente lavas andesíticas y basálticas (PNUD, 1981)

La región presenta características morfológicas propias de los fenómenos tectónicos volcánico como levantamientos, erupciones volcánicas y hundimientos que han sucedido a través de diferentes tiempos geológicos (PNUD, 1981), esto puede observarse en toda la región y principalmente a lo largo de la carretera del litoral. En la zona existe un sistema de fallas tectónicas transversales que ha dado origen a una amplia extensión de hundimiento y separación de la continuidad de la unidad geomorfológica denominada Cadena Costera. (Estévez, 2007).

2.3.3. SUELOS.

2.3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS.

De acuerdo con el Mapa Pedológico de El Salvador (MAG-UES, 1974), citado en el PNGIRH (MARN., 2017), en el país se logran identificar los siguientes tipos de suelo: aluviales, andisoles, grumosoles, latosoles arcillo – rojizos, latosoles arcillosos ácidos, litosoles y rigosoles y holomórficos (Figura 2.18).

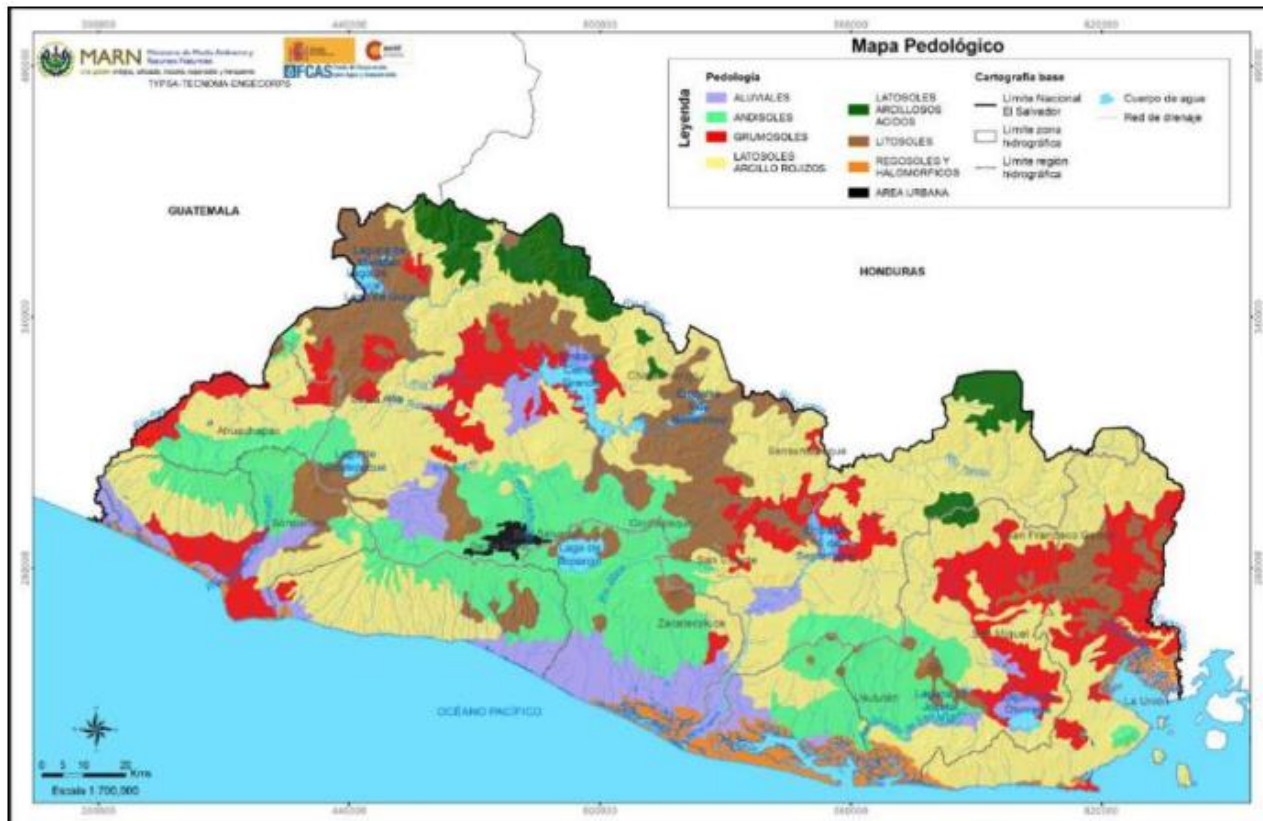


Figura 2.18. Mapa Pedológico de El Salvador (1974). (Molina Duarte, 2022)

A partir de la clasificación pedológica mostrada en la Figura 2.18, para el área de la cuenca del Río Chimalapa se ha determinado la existencia de cuatro tipos de suelo dentro (Mapa 2.2) los cuales son:

- **Aluviales:** Cubren el 26.80 % del área de la cuenca, de los cuales 16.30 % se extienden por la parte Noroeste de la cuenca alta, incluyendo la zona del nacimiento del río Chimalapa; el otro 10.50 % está localizado en la zona Sureste de la parte media de la cuenca.
- **Latosoles Arcillo Rojizo:** son el 28.60 % del área de investigación, están localizados en la zona alta y en menor medida en la parte media de la cuenca del río.
- **Grumosoles:** Conforman el 41.50 % del área de la cuenca del río, una pequeña parte de ellos está en la parte alta de la cuenca y el resto se encuentra distribuidos en la parte media y baja (en mayor parte) de ella, hasta llegar a la zona de la playa Miravalle.

- **Regosoles y Holomórficos:** Se encuentran localizados en la parte baja de la cuenca, cercanos a la zona de costa e incluye la desembocadura del Río Chimalapa, estos solamente abarcan el 3.10% del área total de investigación.

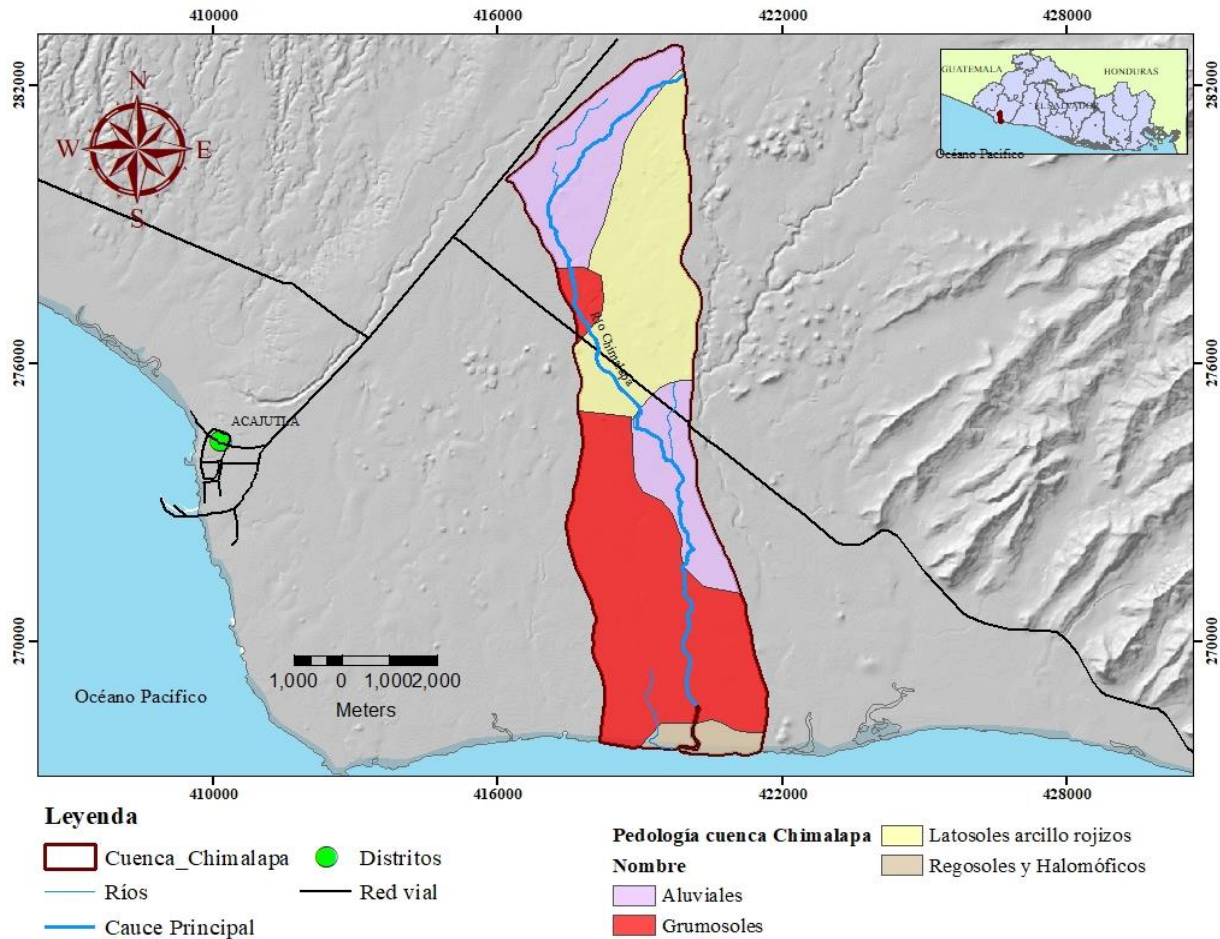


Figura 2.19. Pedología existente en la Cuenca del Río Chimalapa.

Por medio del Mapa de uso del Suelo / Cobertura de El Salvador 2016 y de acuerdo con las estadísticas de ocupación en 2016 (Brenes C, 2018), el paisaje de nuestro país está dominado por los cultivos y el bosque latifoliado, que representan alrededor de un 60% de la superficie total, y en menor grado por el pasto (13%). El restante 27% se encuentra ocupado mayoritariamente por los cafetales, matorrales y caña de azúcar. Por otro lado, las categorías netamente forestales (latifoliado, mangle y coníferas) representan el 29.5% de la superficie en el territorio nacional (Figura 2.20):

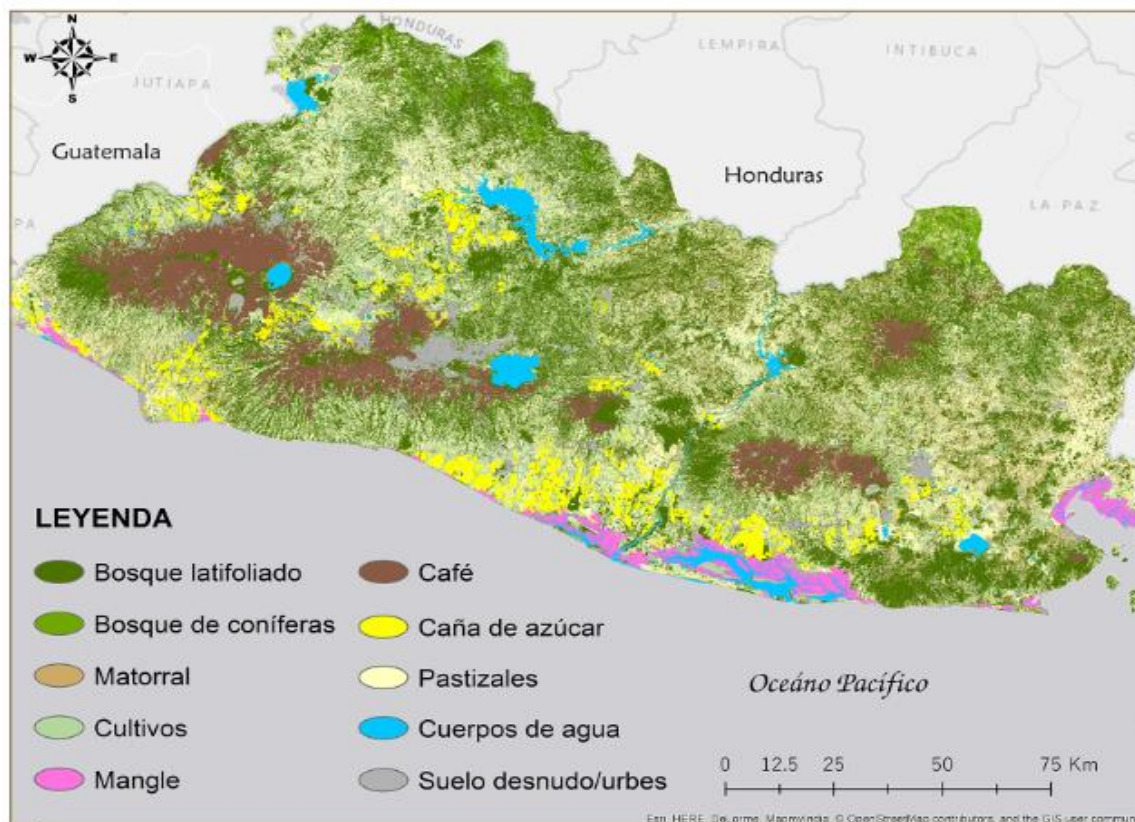


Figura 2.20. Mapa de uso/cobertura de Suelo de El Salvador (2016). (Brenes C, 2018).

De acuerdo con la Figura 2.20, en el área de la cuenca del río Chimalapa se ha conseguido identificar los siguientes usos/cobertura de suelo (ver Tabla 2.7 y Figura 2.21):

Tabla 2.7. Distribución de uso / cobertura de suelo dentro de la cuenca del Río Chimalapa.

No.	Uso / Cobertura de Suelo	Distribución del área utilizable en la zona de la cuenca de acuerdo con el uso / cobertura de suelo (m ²)	% Área de Cuenca
1	Caña de Azúcar	131 007, 983.61	30.39
2	Pastos y cultivos	281 942, 973.73	67.63
3	Suelos desnudos urbe	546, 793.94	1.28
4	Mangle	300, 255.81	0.70
		Área Total = 421 798,007.12	% Total = 100

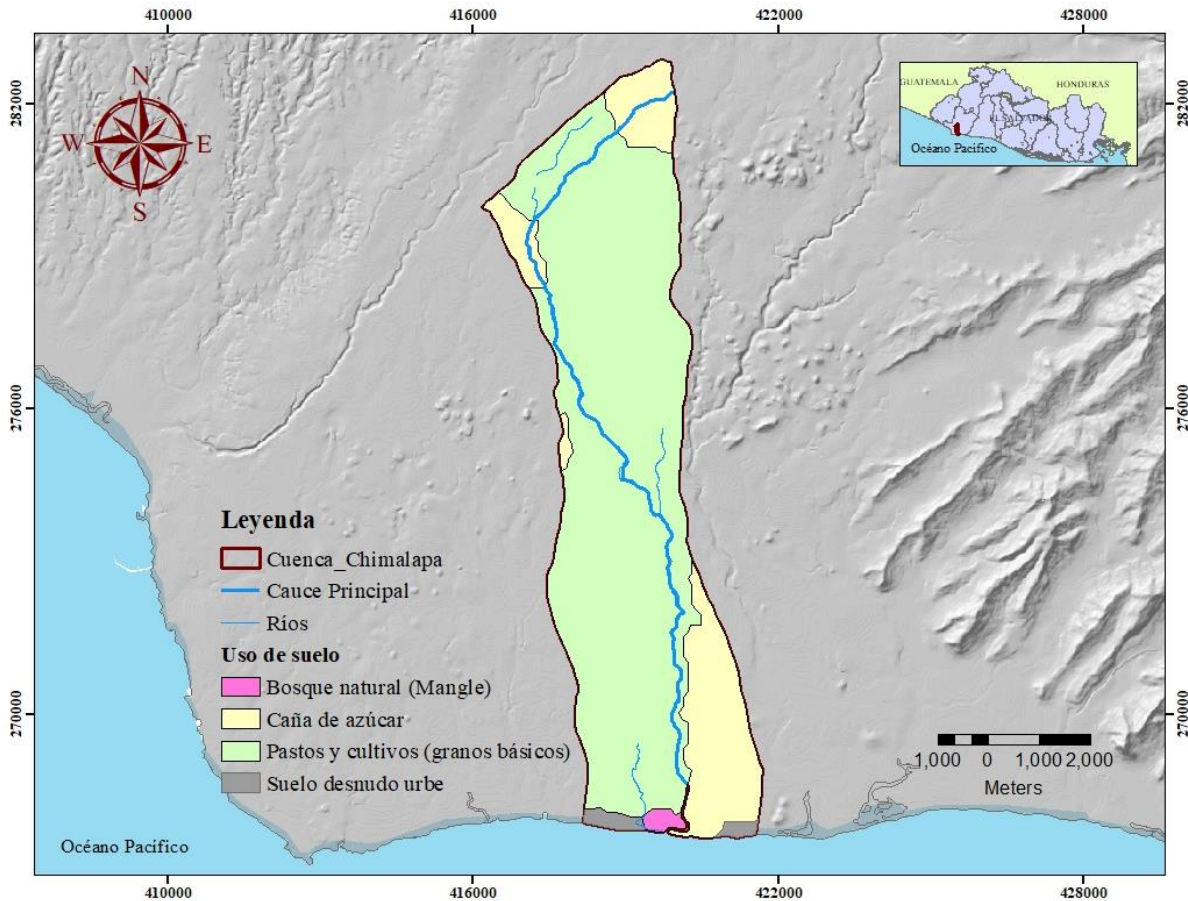


Figura 2.21. Uso / Cobertura de Suelo en la Cuenca del Río Chimalapa.

2.4. HIDROGEOLOGÍA.

2.4.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.

Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro de la unidad podrá haber uno o varios acuíferos y quizá acuitardos o acuicludos entre ellos. Se consideran una unidad porque están conectados de modo que su funcionamiento (entradas, salidas, balance) hay que estudiarlo de un modo conjunto. Esta agrupación de formaciones es relativamente subjetiva, depende de la escala y de los objetivos del trabajo. Una unidad puede subdividirse en unidades menores (Sánchez, 2022).

La descripción completa de las unidades hidrogeológicas identificadas en el territorio nacional se encuentra en el Mapa Hidrogeológico de El Salvador (Figura 2.22), elaborado mediante un convenio entre la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) entre los años 1998 - 2008 y

publicado en 2008 (MARN., 2017). De acuerdo con este mapa, las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en el territorio salvadoreño son: Acuífero Volcánico Fisurado de Gran Extensión y Posiblemente Alta Producción, Acuífero Volcánico Fisurado de Extensión Limitada y Productividad Media, Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media, Acuíferos Locales de Extensión Limitada y de Productividad Mediana a Baja, Acuíferos Locales Generados por Sistemas de Fallas y Rocas No Acuíferas (Molina Duarte, 2022):

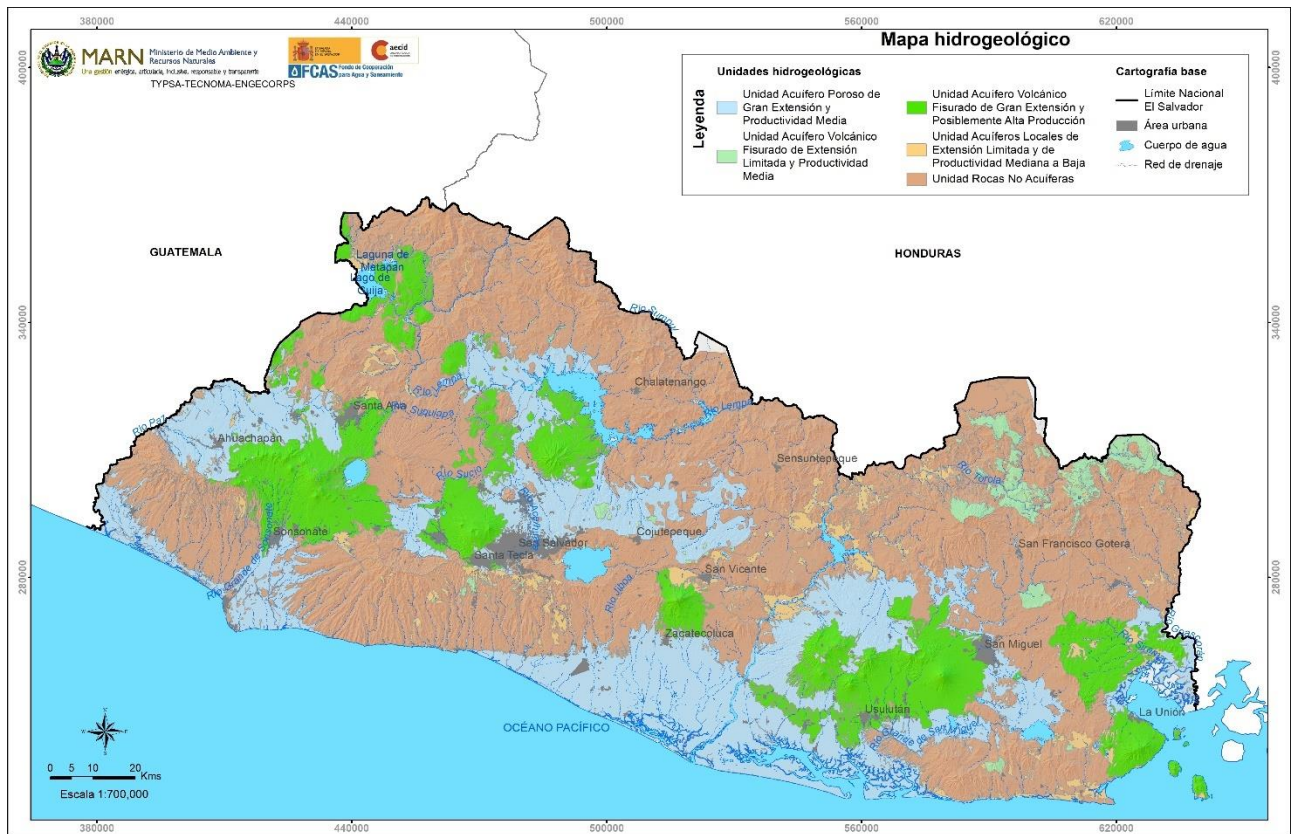


Figura 2.22. Mapa Hidrogeológico de El Salvador (MARN., 2017)

Con base a la Figura 2.22 se ha determinado que las características hidrogeológicas existentes en el área de la cuenca del río Chimalapa son dos unidades hidrogeológicas, cuya diferenciación de estas unidades, es debido a las características hidráulicas que poseen los diferentes materiales que constituyen cada una de las formaciones geológicas identificadas. Las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de investigación son las siguientes (Figura 2.23):

- a) **Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media**, caracterizada por materiales aluviales (gravas, arenas, cantos rodados, etc.), además de rocas piroclásticas aglomerados y retrabajados (pómez, lapilli, tobas), con una distribución granulométrica

que varía de fina a gruesa. La dirección del flujo del agua subterránea en esta unidad varía del NW al SE, mientras que las conductividades hidráulicas pueden variar de medianas a bajas, como consecuencia al grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituye. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor;

b) **Unidad de Rocas No Acuíferas**, la cual está constituida por flujos macizos de lavas, intercalados con tobas aglomeradas y brechosas, además de lahares cementados, tienen 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 (Monge et al, 2016).

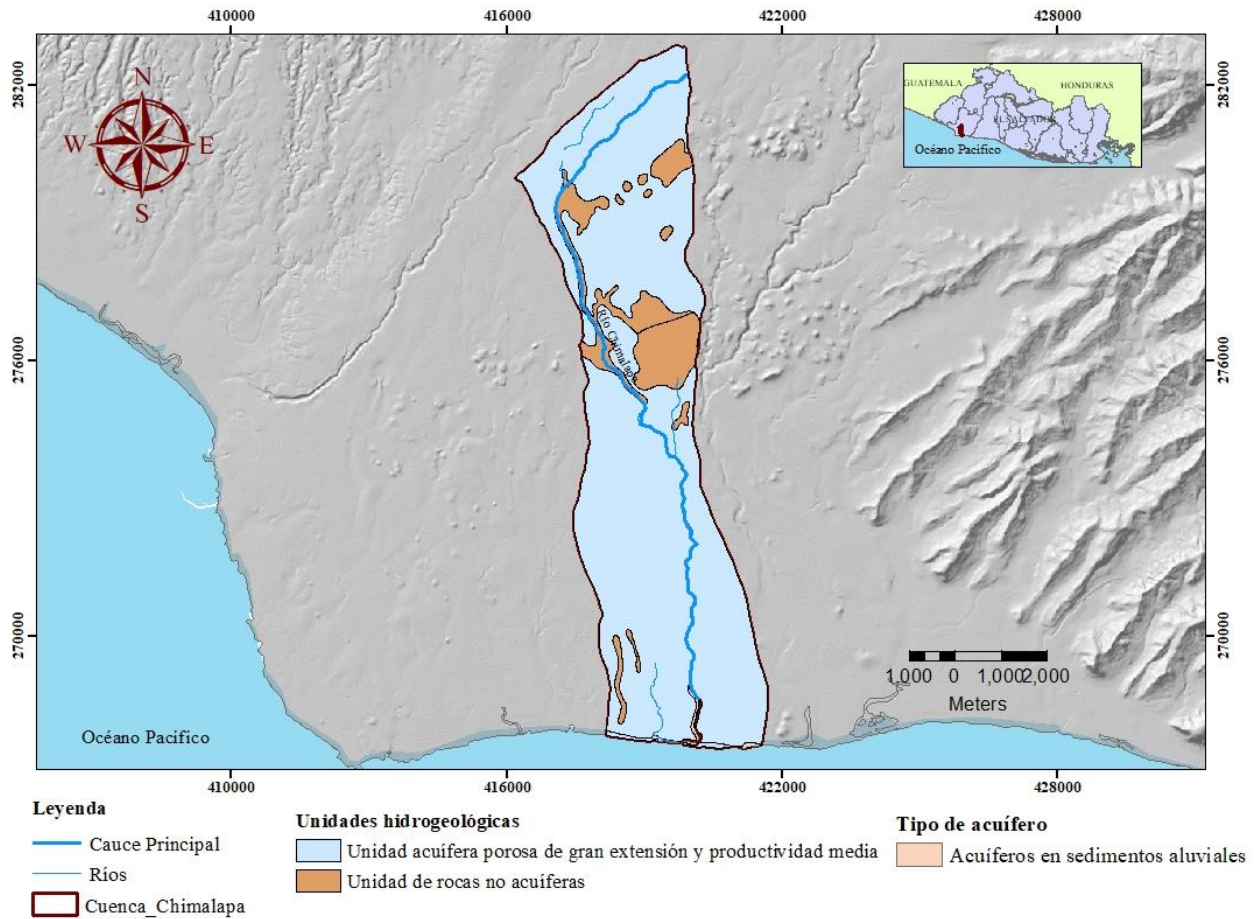


Figura 2.23. Unidades hidrogeológicas existentes en la cuenca del río Chimalapa,

2.4.2. MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Los acuíferos pueden reunirse en grupos de dos o más atendiendo a sus comportamientos hidrogeológicos e hidroquímicos. Dichas agrupaciones reciben el nombre de masas de agua subterránea (MASub). Como resultado de esta delimitación, se han obtenido 72 acuíferos agrupados en un total de 21 MASub (MARN., 2017) (Figura 2.24).

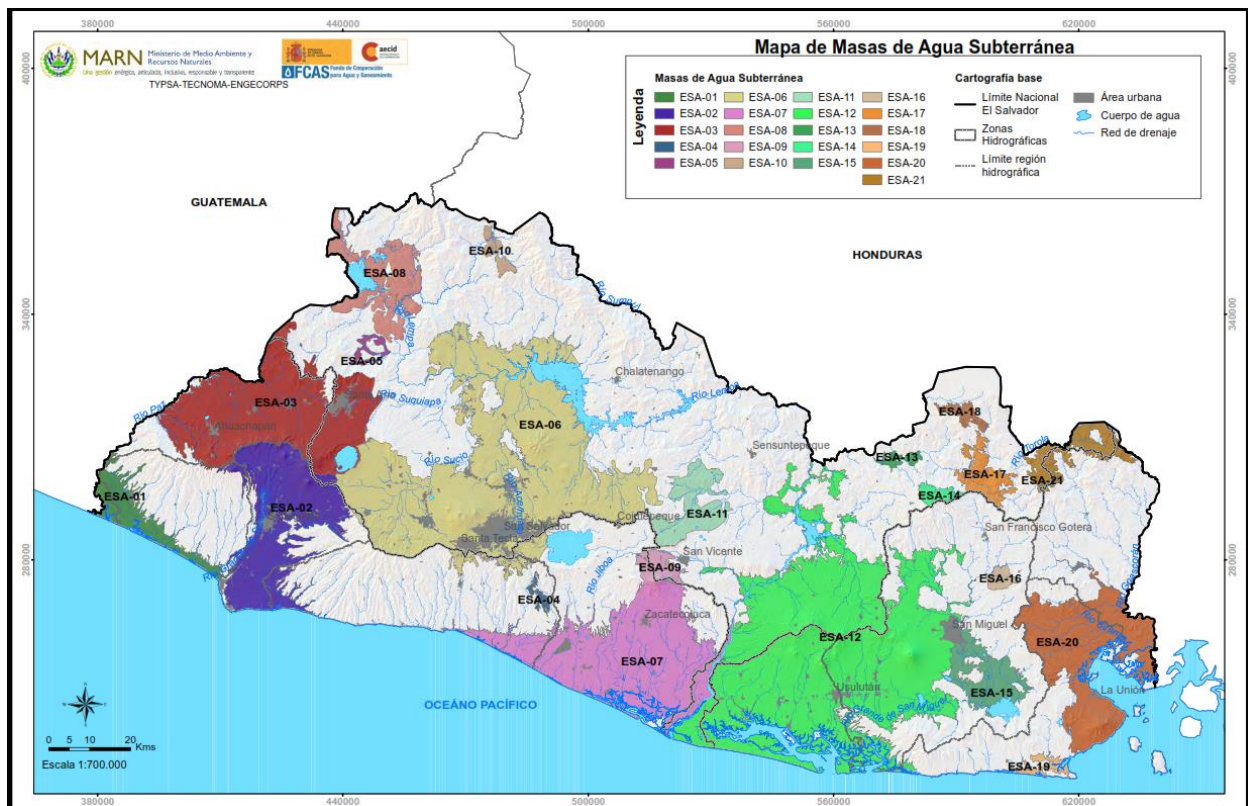


Figura 2.24. Masas de agua subterráneas de El Salvador (MARN., 2017).

A partir de la Figura 2.24, se ha determinado que la cuenca del río Chimalapa se ubica sobre el sector sur de la MASub ESA-02 y del acuífero ESA-02-01, el cual es un acuífero en planicie costera y otros suelos aluviales, que presenta de moderadas a grandes cantidades de agua dulce de aluviones no consolidados; además, es considerado un acuífero no confinado donde los niveles estáticos de agua se encuentran entre 2 y 50 metros de profundidad (UNESCO, 2006).

De acuerdo con informes técnicos de estudios hidrogeológicos realizados por ANDA en marzo de 2016, la dirección del flujo subterráneo en la cuenca del río Chimalapa y cercanas a ella están relacionadas con la topografía existente en la zona, siendo esta dirección del flujo de Norte a Sursureste, siguiendo parcialmente el rumbo de los ríos Chimalapa y Banderas, esto

también es debido a la disminución de las elevaciones topográficas en dirección Sur, desde las cotas más altas en la cuenca y sus alrededores.

En uno de los informes se menciona, que el drenaje subterráneo en la cuenca del río Chimalapa y cercanas a ella, es muy probable que sea proveniente de la cadena volcánica como de las partes altas de la cuenca, el cual inicia cuando parte del agua lluvia se infiltra en el suelo y se almacena en las formaciones geológicas presente en el área de estudio, originando un drenaje gravitacional subterráneo en forma radial el cual converge por medio de las formaciones geológicas más profundas de la región.

Es importante mencionar que en dichos informes se aclara, que el alto porcentaje del agua que se infiltra profundamente se almacena y circula en las capas porosas de mayor espesor, implicando que la capacidad de absorción y permeabilidad de ellas dependa de las características físicas y propiedades hidráulicas del o los acuíferos que componen la zona de saturación propia del área de la cuenca.

2.5. HIDROGEOQUÍMICA.

2.5.1 LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

El viaje del agua a través del ciclo hidrológico contiene importante información codificada en sus procesos. La composición química del agua lluvia que precipite en cierta región, adicionada a otros componentes que se encuentren en el ambiente, llámese suelo- aire, y que puedan ser disueltos por esta agua serán la base de la química del agua que se infiltre; posteriormente, en su viaje por las formaciones geológicas, en un inicio por la zona no saturada y luego por la zona saturada, esta agua disolverá en alguna medida y dependiendo del tipo de roca, disolverá especies presentes en la misma, brindando la facilidad de poder caracterizarla químicamente y deducir a partir de esa información, en alguna manera cuáles podrían ser los procesos involucrados en el viaje de dicha agua hasta el punto de muestreo y análisis. (Barrera, M. 2010)

Se considera que el agua lluvia en su viaje inicial desde las masas oceánicas consiste en un agua de mar diluida (Appelo & Postma, 2005). Durante su transporte sobre la tierra, las masas de aire y las nubes llevarán polvos y gases continentales de origen natural y/o industrial que modificarán la composición del agua lluvia, aumentando las concentraciones de tales especies a medida que se aleja de las costas.

Estudios citados por Appelo & Postma (2005), han demostrado que las concentraciones de Na^+ , K^+ y Mg^{2+} , son en un principio provenientes del agua de mar, mientras que el Ca^{2+} , es proveniente del polvo contenido en la atmósfera. Por otra parte, los NO_3^- y SO_4^{2-} , son provenientes de gases disueltos procedentes de la industria y el tráfico terrestre, produciendo fuertes ácidos como el ácido nítrico (HNO_3) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4), cuya disociación baja el pH del agua lluvia a valores de 4 causando la llamada “lluvia ácida”. Es importante mencionar, el hecho de que cada zona podría presentar variaciones en cuanto a los aportes de las diferentes especies al agua lluvia, por tanto, la información mostrada o descubierta debe de tomar en cuenta las limitaciones de cada sitio.

Cuando el agua alcanza la superficie del terreno e inicia su proceso de infiltración, inicialmente dependiendo de la acidez que lleve, reaccionará con algunas especies depositadas en el suelo mediante la deposición seca, tales como Cloruro (asociado con altas tasas en los aerosoles), Aluminio, Cadmio, Plomo, Cobre, Zinc y otros elementos traza (Appelo & Postma, 2005) de mucha importancia en el estudio de la contaminación de aguas subterráneas.

Adicionalmente, el agua en su contacto inicial con el suelo interactúa con el CO_2 producto de la respiración de las plantas y de la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo, este CO_2 biogénico se disuelve en el agua infiltrada, produciendo ácido carbónico que lenta y continuamente disuelve minerales contenidos en la roca, repitiendo el proceso hasta agotar dicho CO_2 (Mazor, 2004), siguiendo su viaje hasta alcanzar la zona saturada.

El agua subterránea puede tener una diversidad de especies disueltas en ella como resultado de su interacción química y bioquímica con el medio. La concentración de los sólidos totales disueltos (TDS, por sus siglas en inglés) en el agua subterránea es determinada por el peso del residuo sólido obtenido por evaporación de la medida del volumen de una muestra filtrada y secada. Una clasificación del agua subterránea utilizando los TDS es presentada en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Clasificación Simplificada del agua subterránea basada en los TDS (Freeze & Cherry, 1979 pág. 84); Ruppe & Ginn, 2008; Barrera, M. 2010).

Categoría	Sólidos Totales Disueltos (mg/L o gr/m³)
Agua dulce	0 – 1,000
Agua salobre	1,000 – 10,000
Agua Salina	10,000 - 100,000
Salmuera	Más de 100,000
Agua potable	< 500
Agua de mar	35,000

A lo largo del tiempo se han logrado identificar las especies que comprenden más del 90% del total de sólidos disueltos en el agua, estos ocurren principalmente en forma iónica (Freeze & Cherry, 1979), y son obtenidos de los diferentes procesos que sigue el agua a lo largo del ciclo hidrológico (Tabla 2.9).

Tabla 2.9. Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea (Fetter, 1980; Appelo & Postma, 2005; Barrera, M. 2010).

Constituyentes mayoritarios (Concentraciones > 5mg/L)	
<i>Bicarbonato (HCO⁻³)</i>	<i>Calcio (Ca⁺²)</i>
<i>Sulfato (SO₄⁻²)</i>	<i>Sodio (Na⁺)</i>
<i>Cloruro (Cl⁻)</i>	<i>Magnesio (Mg⁺²)</i>
<i>Nitratos (NO₃⁻)</i>	<i>Ácido carbónico (CO_{2(aq)})</i>
<i>Sílice (SiO₂)</i>	
Constituyentes minoritarios (0.01 – 10 mg/L)	
<i>Boro (B)</i>	<i>Potasio (K⁺)</i>
<i>Carbonato (CO₃⁻²)</i>	<i>Estroncio (Sr⁺²)</i>
<i>Fluoruro (F⁻)</i>	<i>Hierro (Fe⁺²)</i>

Tabla 2.9. (Continuación) Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea (Fetter, 1980; Appelo & Postma, 2005; Barrera, M. 2010).

<i>Algunos elementos traza (< 0.1 mg/L)</i>	
<i>Aluminio (Al⁺³)</i>	<i>Plomo (Pb⁺²)</i>
<i>Arsénico (As)</i>	<i>Manganeso (Mn⁺²)</i>
<i>Bromo (Br⁻)</i>	<i>Fosfato (FO₄⁻³)</i>
<i>Cromo (Cr)</i>	<i>Zinc (Zn⁺²)</i>
<i>Cobre (Cu⁺)</i>	

El análisis químico de las aguas por lo general se realiza mediante un laboratorio de alta credibilidad en el medio, para verificar la credibilidad de los resultados siempre es necesario presentar el correspondiente valor de la Electroneutralidad o Balance Iónico, se recomienda en la literatura hidrogeológica valores máximos de 5% (Appelo & Postma, 2005 y Mazor, 2004), aunque hasta un 10% puede ser discutido y justificado. Sin embargo, dependerá de cada estudio los valores máximos que se acepten como válidos.

Los principales procesos que pueden disolver especies químicas en el agua subterránea son: disolución mineral y precipitación, reacciones de oxidación y reducción, intercambio iónico y adsorción e hidrólisis (Ruppe & Ginn, 2008). Por considerarse de mayor influencia en el presente estudio, serán tratados en este documento solamente la disolución mineral y precipitación, así como el intercambio iónico.

2.6.1.1 DISOLUCIÓN DE MINERALES.

El agua lluvia llega a la superficie del terreno con cierta acidez causada por su misma naturaleza y acentuada por los gases producto de la contaminación antropogénica, en su proceso de percolación en la zona no saturada y viaje a través de la zona saturada entra en contacto con diferentes tipos de roca que imparten una caracterización de acuerdo con los minerales disueltos contenidos en la misma y de acuerdo con el grado de disolución que estos tengan al contacto con el agua. La Tabla 2.10 presenta las características que la litología imprime en la composición del agua subterránea.

Tabla 2.10 Características impartidas por la litología en el agua subterránea. (Mazor, 2004, pág. 51; Barrera, M. 2010)

Roca	Composición del agua subterránea
Arenisca	Baja salinidad (300-500 mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ en cantidades similares; buen sabor.
Caliza	Baja salinidad (500-800 mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Ca ²⁺ , catión dominante; buen sabor.
Dolomita	Baja salinidad (500-800 mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Ca ²⁺ igual a Mg ²⁺ ; buen sabor.
Granito	Muy baja salinidad (300 mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Na ⁺ y Ca ²⁺ cationes mayores, muy buen sabor.
Basalto	Baja salinidad (400 mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ igualmente importantes; buen sabor.
Esquistos	Baja salinidad (300mg/L); HCO ₃ ⁻ anión mayor, Na ⁺ , Ca ²⁺ cationes mayores; buen sabor.
Marga	Salinidad media (1200 mg/L) HCO ₃ ⁻ y Cl ⁻ aniones mayores, Na ⁺ y Ca ²⁺ cationes mayores; sabor pobre pero potable
Arcillas y rocas sedimentarias de arcilla	Con frecuencia contienen rocas de sal y yeso. Alta salinidad (900-2000 mg/L); Cl ⁻ es el anión mayor; sabor pobre, ocasionalmente no potables.
Yeso	Alta salinidad (2000-4000 mg/L); SO ₄ ²⁻ es el anión dominante; seguido por Na ⁺ y Mg ²⁺ sabor amargo, no potables.

Un estudio realizado por Wallin (1980), presentado en Appelo & Postma (2005) en el cual se relaciona la escorrentía media anual en cauces para pequeñas cuencas, con los sólidos totales disueltos en el agua (TDS), permite observar el comportamiento que los diferentes tipos de acuíferos tienen en su interacción con el agua subterránea en el tiempo (Figura 2.25).

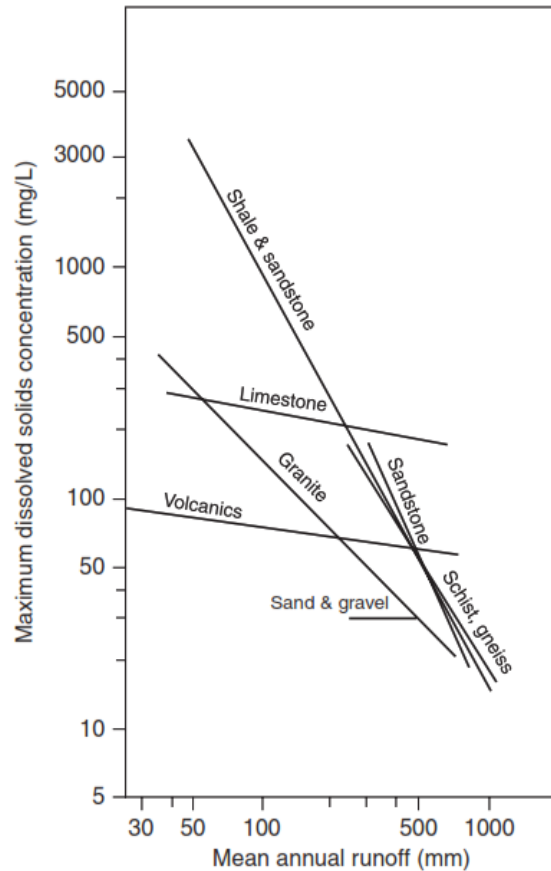


Figura 2.25. Diferencias en concentración de los TDS en función del tipo de roca y la escorrentía anual. (Appelo & Postma, 2005)

Considerando la proporcionalidad inversa entre la escorrentía media anual y el tiempo de residencia, dos tendencias pueden apreciarse de la gráfica, la primera muestra que las calizas, el granito, la arena y la grava tienen muy poca influencia de la cantidad de escorrentía y por lo tanto del tiempo de residencia del agua en el acuífero, lo contrario sucede con las arcillas mezcladas con areniscas, calizas, areniscas, esquistos y gneis, los cuales muestran una fuerte dependencia de la cantidad de escorrentía, es decir, a mayores tiempos de residencia, la cantidad de minerales disueltos aumenta. (Appelo & Postma, 2005)

Las diferencias se relacionan con la tasa de disolución de estos minerales. Las gravas se caracterizan por estar formadas de rocas de cuarzo insoluble altamente resistente a la disolución, lo cual imparte características químicas al agua subterránea, con pocos minerales disueltos a partir de la roca principalmente controlados por la química del agua lluvia y la evapotranspiración. Las calizas y las rocas volcánicas contienen más minerales solubles con la disminución de la

escorrentía y por lo tanto con el aumento del tiempo de residencia, aunque solamente es ligeramente superior a la de las arenas y gravas, indicando que la tasa de disolución es rápida comparada con el tiempo de residencia (Appelo & Postma, 2005).

2.6.1.2 INTERCAMBIO IÓNICO.

Ciertas sustancias solidas se caracterizan por tener un desbalance eléctrico, el equilibrio lo alcanzan rodeándose de cationes o aniones según sea la carga faltante; ya que los iones retenidos lo están débilmente, cuando entran en contacto con el medio acuoso, puede darse el reemplazo valencia a valencia, por otros iones del mismo signo, a este proceso se le denomina intercambio iónico. Se dice que los iones están adsorbidos por un sólido cuando la adherencia se da a la superficie del sólido, mientras que el término absorbido es referido para denotar que el ión está dentro de la superficie del sólido; los procesos anteriormente descritos pueden entenderse mejor mediante la Figura 2.26. Para que el intercambio iónico se lleve a cabo, deben existir iones adsorbidos en el sólido.

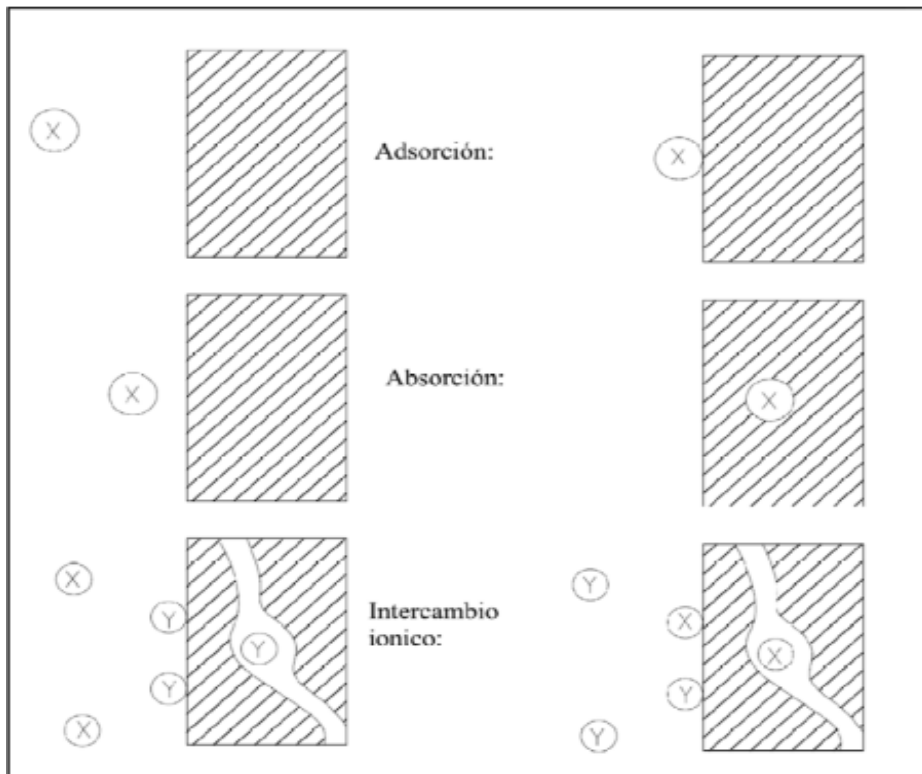


Figura 2.26. Diferentes procesos de sorción (Appelo & Postma, 2005).

En el ambiente de las aguas subterráneas los coloides que característicamente exhiben un comportamiento de intercambio iónico acentuado son las arcillas, lo cual está relacionado con su gran área superficial de contacto con el medio, siendo mayor el intercambio cuando se encuentran en tamaño coloidal (10^{-3} a 10^{-6} mm). Por lo general las arcillas presentan carga negativa, y los materiales adsorbidos son positivos, intercambiando cationes. Otros minerales de grano más grueso son envueltos por una película de materia orgánica y oxihidroxidos de hierro, y pueden cambiar aniones o cationes.

La naturaleza de la carga superficial es una función del pH. A bajos pH prevalece la carga positiva, mientras que a pH altos la superficie está cargada negativamente. En valores intermedios, la carga será cero, esta condición se conoce como el punto de carga cero concluyéndose que la tendencia de la adsorción de cationes o aniones depende del pH (Freeze & Cherry, 1979)

La teoría y cálculos del intercambio iónico y su influencia en el agua subterránea es desarrollado por Appelo & Postma (2005) y Freeze & Cherry (1979). Además, William M. White (2009) discute ampliamente la mineralogía de las arcillas y los procesos de intercambio iónico en el medio acuático.

Tabla 2.11. Valores de CEC para arcillas y materia orgánica según diferentes autores (Barrera, M. 2010).

Mineral o sedimento	CEC meq/100 g		
	Custodio, E.; Llamas, M.R., 2001	Appelo, C.A.J.; Postma, D., 2005	White, 2009
Caolinita	3-15	3-15	1-10
Halloysita		5-10	
Montmorillonita	80-150	80-120	
Vermiculita	100-150	100-200	120-200
Glauconita		5-40	
Illita	10-40	20-50	10-40
Clorita		10-40	< 10
Goethita y Hematita		Hasta 100 (pH > 3)	
Bentonita	Aprox. 100		
Esmectita			80-150
Materia orgánica (C)		150-400 (pH = 8)	

En el agua subterránea, los procesos de intercambio catiónico son de interés para deducir lo que sucederá cuando cierta concentración catiónica se mueva hacia zonas con una capacidad significativa de intercambio. Los estratos que pueden alterar la química del agua subterránea por intercambio catiónico pueden poseer otras importantes propiedades geoquímicas (Freeze & Cherry, 1979). Las concentraciones de equilibrio catiónico dependen tanto de las concentraciones catiónicas del agua que entra en contacto con los espacios entre poros donde el intercambio ocurre y de la fracción mol adsorbida por las superficies de los poros antes de entrar en contacto con nuevos poros. Cada vez que el agua se moviliza cambia sus condiciones de equilibrio como respuesta a la nueva condición inicial.

Las reacciones de intercambio catiónico más importantes en sistemas de agua subterránea son aquellos que involucran cationes, tales como $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$, $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$, $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+}$ y $\text{K}^+ - \text{Mg}^{2+}$ (Freeze & Cherry, 1979), en zonas donde se da el contacto agua dulce – agua salada, el catión intercambiable que domina en agua dulce es Ca^{2+} , mientras que en agua salada domina el catión Na^+ .

Los procesos de intercambio iónico tienen una serie de aplicaciones prácticas en el campo de la hidrogeología, dado que regulan el transporte de contaminantes químicos en acuíferos y suelos (Appelo & Postma, 2005), adicionalmente puede dar aportes importantes en investigaciones sobre intrusión salina, reducción de la permeabilidad por arrastre de coloides e incluso es utilizada en el sistema de tratamiento de aguas contaminadas para potabilizarlas.

2.6.2. DIAGRAMAS HIDROQUÍMICOS.

Para la caracterización físico-química del agua subterránea procedente de las muestras provenientes de pozos ya sean excavados o perforados, se analiza la composición físico-química de la misma a través de las concentraciones de los iones mayoritarios, así como con los valores de pH y los sólidos disueltos totales; posteriormente, se utilizan herramientas graficas tales como los diagramas Stiff y Piper entre otras, para poder clasificar el tipo de agua subterránea que se tiene en el acuífero en estudio.

Los resultados que se obtienen por medio del análisis de iones mayoritarios de las muestras tomadas en los pozos seleccionados, es evaluada a partir del balance iónico basado en la ecuación de electroneutralidad. La confiabilidad de los resultados es obtenida a través de la relación existente entre la conductividad eléctrica y el error admisible como se muestra en la tabla 2.12.

Una vez conocida la composición fisicoquímica, a través de las concentraciones de los iones mayoritarios, así como con los valores de pH y los sólidos disueltos totales; se procede a hacer uso de las herramientas graficas tales como los diagramas Stiff y Piper entre otros, para poder clasificar el tipo de agua subterránea que se tiene en el acuífero en estudio.

Tabla 2.12: Error admisible de balance iónico en función de CE (Custodio & Llamas, 2001).

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

A continuación, se describe el uso de algunos de estos diagramas:

- Diagrama de Stiff:** El diagrama de Stiff es una gráfica compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de estos ejes está uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama y los aniones al derecho de él. Siempre el Sodio (Na^{+1}) se confronta con el Cloro (Cl^{-1}), el Calcio (Ca^{+2}) con el Bicarbonato (HCO_3^{-1}) y el Magnesio (Mg^{+2}) con el Sulfato (SO_4^{-2}). Todos los ejes horizontales están a la misma escala lineal y las concentraciones están dadas en miliequivalentes por litro (meq/l). En la figura 2.27 se muestran algunas apreciaciones de este diagrama que caracterizan varios tipos de agua.

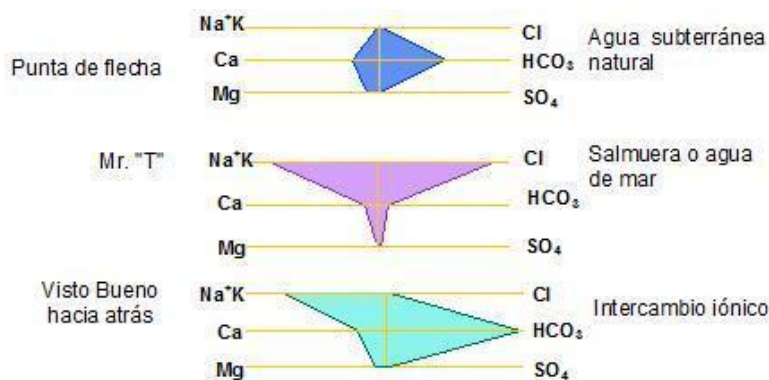


Figura 2.27 Diagrama de Stiff clásico (Anaya Meléndez, Linárez López, & Méndez Lucero, 2017).

Algunas características sobresalen en este tipo de diagrama:

- i. Por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular); en forma simultánea,
 - ii. Permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica),
 - iii. Además, permite apreciar los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y aniones de una muestra y,
 - iv. También pueden representarse en un mapa, con lo que se visualiza rápidamente la variación espacial de la mineralización del agua en el acuífero.
- **Diagrama de Piper- Hill- Langellier:** Formados por dos triángulos, con un rombo que recoge la información de ambos. En uno de los triángulos se representan los cationes y en el otro los aniones principales (ver Figura 2.28). Cada análisis queda representado por tres puntos (los dos triángulos y el rombo). Se parte de la concentración en meq/L de cada ion, y es preciso calcular los porcentajes de un modo similar al del diagrama triangular, considerando separadamente: (Sánchez, 2022)

Σ cationes = 100 para el triángulo izquierdo.

Σ aniones = 100 para el triángulo derecho.

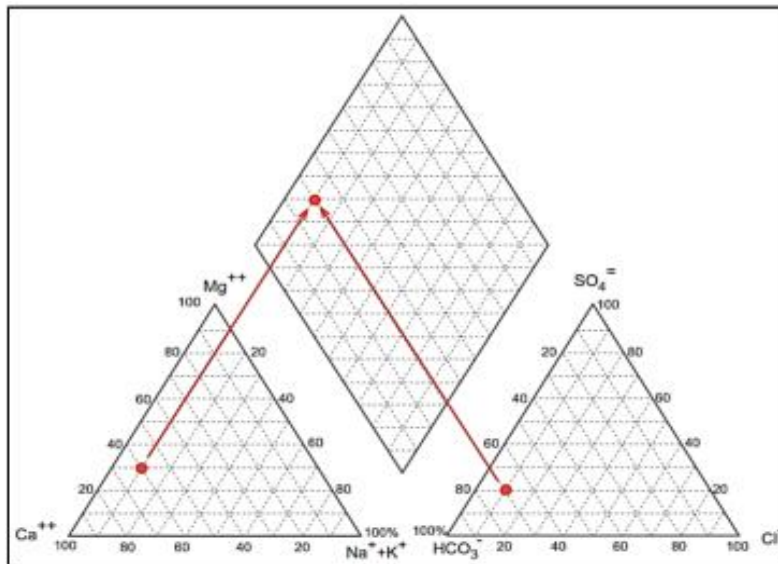


Figura 2.28. Ejemplo de Diagrama de Piper (Molina, A., 2022).

- **Diagramas Triangulares:** Representan la proporción de tres componentes en la composición de una sustancia, donde la suma de ellos representa el 100% de la composición considerada. Se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones. Un vértice representa el 100% de ese componente, mientras que los puntos que contengan 0% de ese componente están en el lado opuesto al vértice correspondiente como se observa en la Figura 2.29 (Sánchez, 2022).

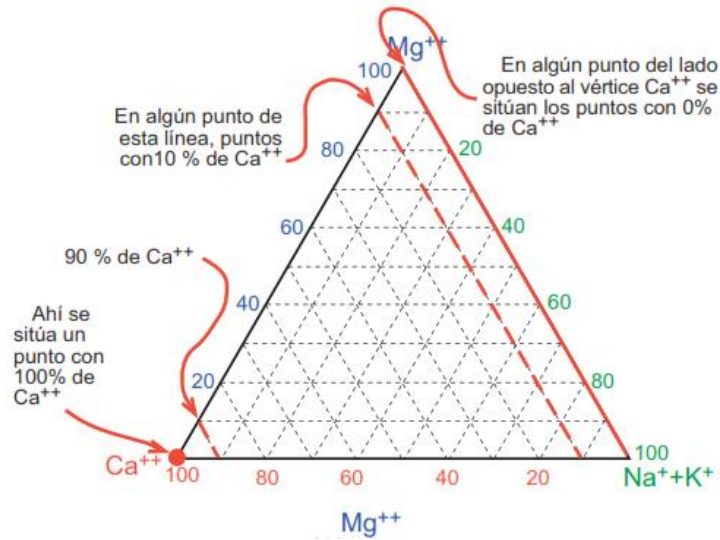


Figura 2.29. Ejemplo de Diagrama triangular (Sánchez, 2022; Molina, A. 2022)

2.6.3. EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Cuando se observa el análisis químico del agua extraída de un río, pozo o tomada de un manantial, nos planteamos cómo se ha conseguido esa composición, los procesos producidos para llegar a ella. Muchas veces la respuesta puede ser obvia, un agua sulfatada cálcica; pero en ocasiones, es difícil explicar la presencia de algunos elementos o concentraciones aparentemente anómalas. (Sánchez, 2022)

El estudio de la química del agua es muy importante en dos aspectos (Sánchez, 2022):

1. Calidad del Agua. Determinación de la potabilidad del agua por medio del estudio de la composición de ella, comprendiendo los procesos que provocan la adquisición de elementos indeseables o, permitiendo que ellos salgan del agua, por medio de precipitación química, adsorción, etc.

2. Estudio del flujo Subterráneo regional. El investigar una cuenca o un sistema acuífero permite entender el sistema regional de flujo, áreas de recarga y descarga, etc. Así mismo, la composición química de las aguas subterráneas proporciona información muy valiosa acerca del comportamiento hidrogeológico regional, éste es como el curriculum vitae del agua, si se sabe explicar.

Desde el momento en que el agua alcanza la superficie freática hasta que regresa al exterior a través de un río, manantial o pozo, pueden transcurrir días o miles de años y el recorrido puede ser corto o de varios kilómetros. Por tanto, la evolución química del agua dependerá de los minerales con los que entre en contacto y del tiempo de duración de esta. Como norma general, a mayor tiempo de permanencia en el terreno, mayor será la salinidad del agua.

Para Sánchez (2022) las reacciones y procesos químicos que se desarrollan son muy variados, por lo cual es común observar que las aguas subterráneas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo son principalmente bicarbonatadas, después predomina el sulfato y las aguas más salinas son cloruradas. Esta evolución se denomina *Secuencia de Chevotareb* (Figura 2.30). Esta secuencia es debida a dos causas: a) **solubilidad** de los carbonatos, que es mucho más baja que la de los sulfatos, que al mismo tiempo es menos soluble que los cloruros; por tanto, primero se alcanza el tope de los bicarbonatos, después (raramente) para los sulfatos y finalmente (casi nunca: la solubilidad es muy elevada) para los cloruros; b) **abundancia**, que se refiere a la diferente probabilidad que existe de que un agua encuentre minerales que le aporten bicarbonatos, sulfatos o cloruros.

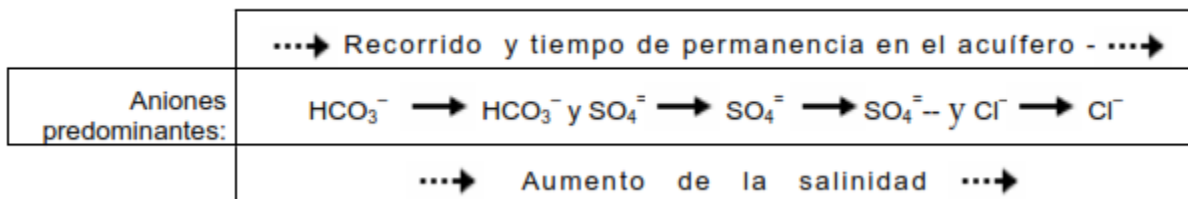


Figura 2.30. Secuencia de Chevotareb (Sánchez, 2022).

A partir de lo anterior Sánchez (2022) propone que la secuencia de Chevotareb plantea la evolución geoquímica del agua subterránea como un proceso lineal. No obstante, al analizar estos procesos a una escala regional, el autor sugiere utilizar el esquema trazado por Domenico (1972), que propone un esquema que distingue tres zonas representativas, en función de la profundidad: (Figura 2.31).

- **Zona superior:** Flujo activo, generalmente con recorridos cortos y tiempos de permanencia de años o decenas de años. Con aguas bicarbonatadas y poco salinas.
- **Zona intermedia:** Flujo menos activo, recorridos más largos y tiempos de permanencia de cientos a miles de años. Con aguas más salinas y el sulfato como anión predominante.
- **Zona inferior:** Flujo muy lento, cuando no estancado, largos recorridos y tiempos de miles a millones de años. La salinidad es elevada y el agua es clorurada.



Figura 2.31 Esquema del proceso de evolución hidroquímica a escala regional (Doménico, 1972; Sánchez, 2022).

Esto logra explicar porque en una misma área puedan extraerse aguas de composiciones muy distintas, aunque la litología de la zona sea relativamente homogénea; por ejemplo, en la figura 2.31 el sondeo A capta un flujo regional, mientras que el sondeo B intercepta un flujo local, lo cual indica que su química puede ser muy diferente (Sánchez, 2022).

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

En este capítulo, se da a conocer la metodología empleada para llevar a cabo la investigación. Las actividades realizadas para cumplir con los objetivos planteados se agrupan en dos categorías:

- a) Actividades de gabinete.
- b) Actividades de campo

3.1 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE GABINETE.

3.1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Utilizando el mapa topográfico de El Salvador escala 1: 25,000, el Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución 10 x 10 e imágenes satelitales de Google Earth, se logró delimitar el área de interés, comprendida por la cuenca del Río Chimalapa. La cuenca está entre los Municipios de Nahulingo y Sonsonate, ambos pertenecientes al Departamento de Sonsonate en la Zona Occidental de El Salvador, su desembocadura es en el Océano Pacífico. Esta cuenca pertenece a la Región Hidrográfica Río Grande de Sonsonate – Banderas. (ver Figura 3.1).

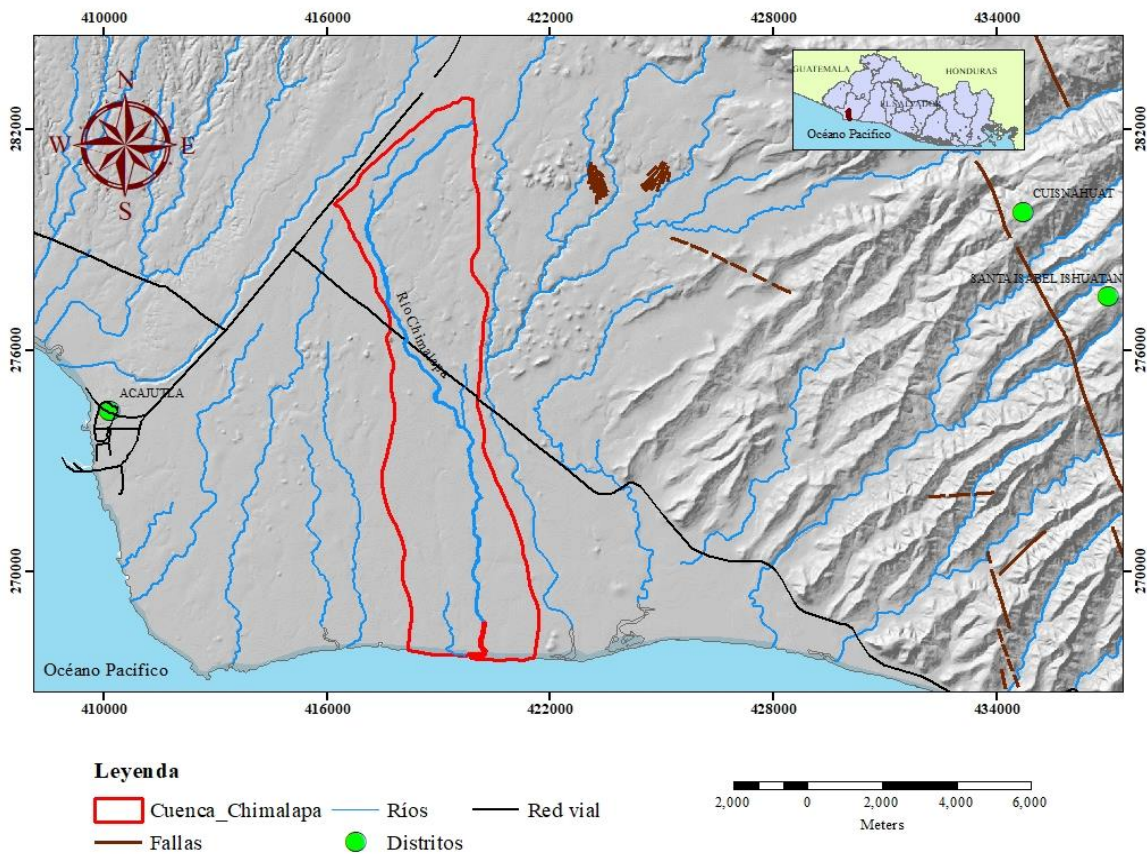


Figura 3.1. Área de la Cuenca del Río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo, Depto. de Sonsonate.

3.1.2 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL ÁREA.

Para el desarrollo de esta parte de la investigación, se necesitó el análisis de las series históricas de precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) a nivel nacional, de acuerdo con la información incluida en el Balance Hídrico Dinámico e Integrado de El Salvador (BHID) (MARN, 2006), como parte de los insumos para la elaboración del balance hídrico de suelos del país. Estas series históricas fueron facilitadas durante el desarrollo de los cursos de la Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos, carrera impartida por la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) perteneciente a la Universidad de El Salvador (UES) y en informes de estudios hidrogeológicos pertenecientes a ANDA, estas series comprenden el período entre los años 1971 y 2001.

La evaluación de la precipitación media en la cuenca del río Chimalapa se realizó considerando 1 estación climatológica y 1 estación pluviométrica, ubicadas fuera de la cuenca del río, en cambio para la ETP, se utilizaron 2 estaciones cercanas al área de interés. Una vez

identificadas las estaciones meteorológicas de interés, se procedió a delimitar espacialmente la precipitación, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

- a) Trazado de Polígonos de Thiessen.
- b) Trazado de Isoyetas.
- c) Superposición de Isoyetas y Polígonos de Thiessen.

La disposición de Polígonos de Thiessen de precipitación e Isoyetas, se muestran en la Figura 3.2.

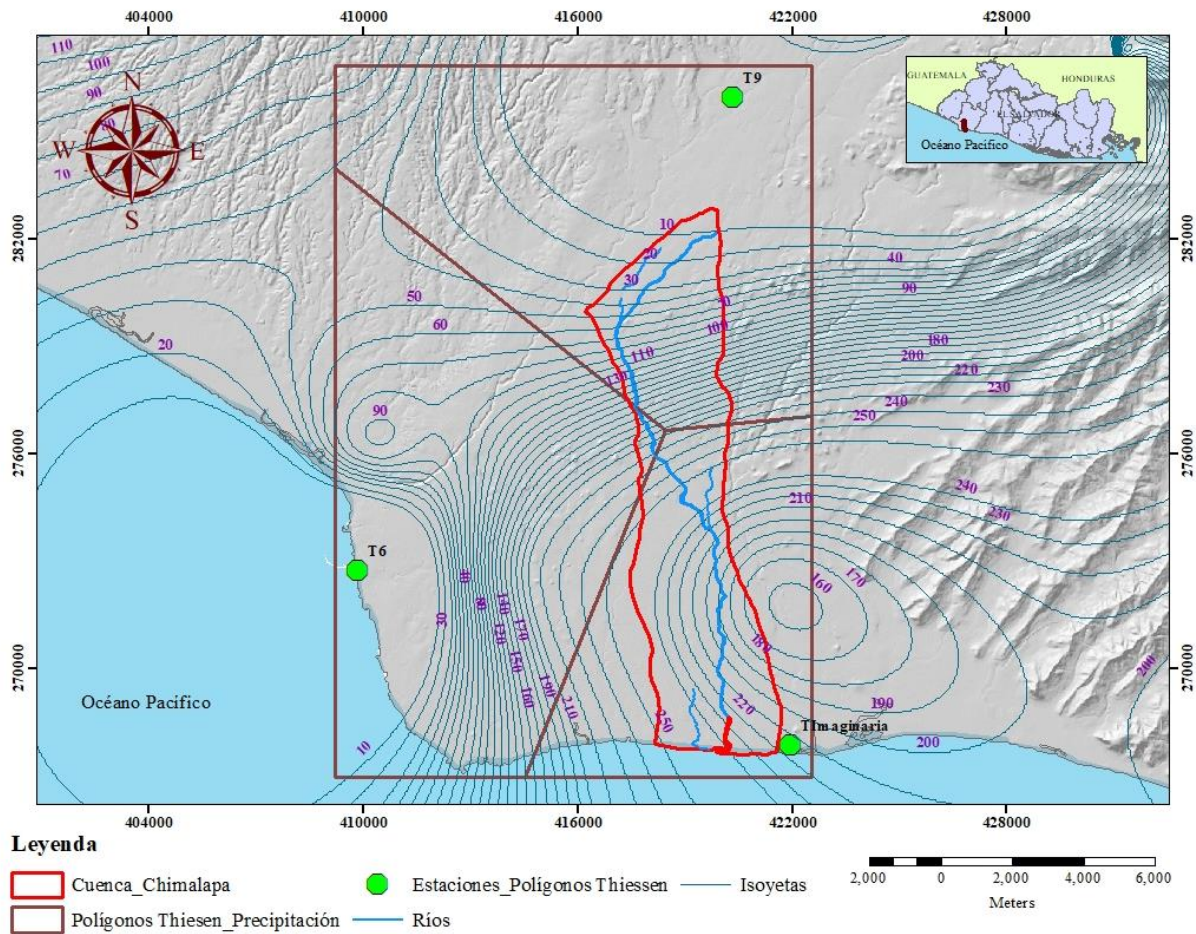


Figura 3.2. Polígonos de Thiessen e Isoyetas, Cuenca del Río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo, Depto. de Sonsonate.

Para el caso de la evapotranspiración debido a que sólo se identificaron 2 estaciones climatológicas cercanas a la cuenca, el análisis de la distribución espacial dentro de ella solamente fue realizado por medio del trazado de los polígonos de Thiessen, estos se muestran en el Mapa 3.3.

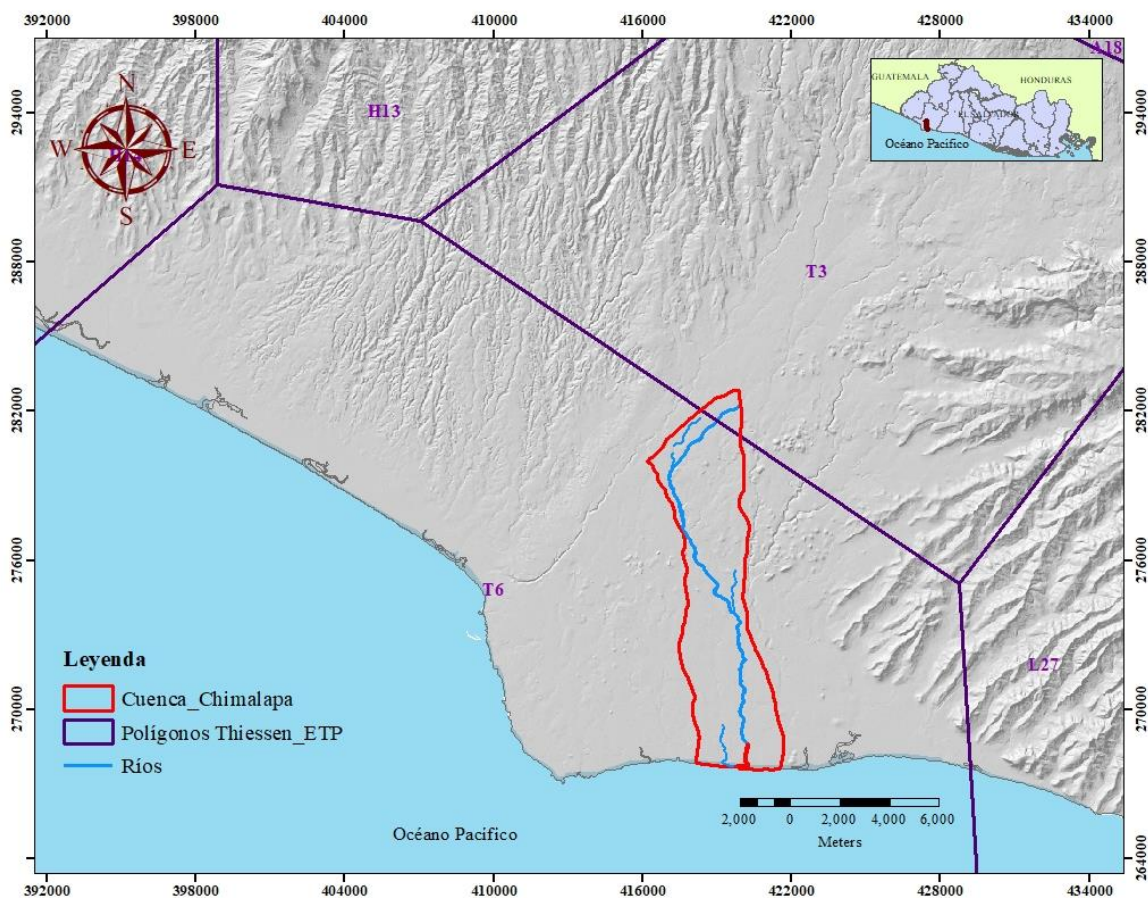


Figura 3.3. Polígonos de Thiessen para ETP, Cuenca del Río Chimalapa, distritos de Sonsonate y Nahulingo, Depto. de Sonsonate.

El diseño de los polígonos de Thiessen para precipitación y ETP como la determinación de las isoyetas, fue por medio de los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.8 y QGIS 3.10, los cuales contienen herramientas de interpolación para el procesamiento de este tipo de información.

3.1.3 INFORMACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, TOPOGRÁFICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La información geológica e hidrogeológica utilizadas para la presente investigación fue obtenida a partir de las siguientes fuentes:

- Mapa Geológico de El Salvador
- Informes de estudios geológicos, litológicos y estratigráficos

- Mapa Hidrogeológico de El Salvador
- Estudios Hidrogeológicos cercanos al área de estudio
- Léxico Estratigráfico de El Salvador
- Trabajos de tesis de grado y posgrado

A través de esa información, se logró obtener detalles acerca de columnas y perfiles litológicos, geomorfología, topografía de la zona entre otras cosas, que permitieran conocer de una mejor manera la geología y estratigrafía dentro de la cuenca del río Chimalapa; en cambio, a partir de la información hidrogeológica recolectada, se obtuvo algunas características de las formaciones acuíferas (piezometría, líneas de flujo, Transmisividad, Coeficiente de almacenamiento, etc.). Para la definición de la piezometría se utilizaron las herramientas de interpolación contenidas en los softwares ArcGIS 10.8 y QGIS 3.10. Toda esa información sería un insumo para la generación del modelo conceptual del acuífero que se localiza dentro del área de interés

3.2.DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CAMPO.

3.2.1 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

Como parte de los insumos necesarios para realizar el balance hídrico de suelo propuesto en esta investigación, se realizaron pruebas de permeabilidad en 13 sitios representativos de las condiciones existentes dentro de la cuenca del río Chimalapa. Las medidas fueron hechas utilizando el método del Permeámetro de Guelph (Reynolds, Elrick, & Clothier, 1985), mediante un equipo de la marca SOILMOISTURE© (Figura 3.4), el cual contiene: el permeámetro, un trípode de campo, un barreno de pozo, herramientas para la limpieza y preparación de la perforación, contenedor de agua plegable, bomba de mano para prueba de vacío, estuche durable para transporte y accesorios adicionales que permiten extender la capacidad de medición del permeámetro y aumentar la profundidad máxima de funcionamiento hasta los 315cm, realizar medidas bajo condiciones tensionales y de muy baja tensión (cabeza negativa) y mediciones de infiltrómetros de anillo con anillos de 10 y 20 cm de diámetro.



Figura 3.4 Izq.: Toma de medidas de permeabilidad. Der. Kit para montaje de Permeámetro de Guelph.

El Permeámetro de Guelph consta básicamente de dos tubos (Figura 3.4) uno que actúa como depósito de agua y otro de menores dimensiones que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener la carga hidráulica constante (tubo Mariotte).

Para el desarrollo de tomas de medida se utilizó el método del pozo de nivel constante, el cual consiste en excavar un agujero cilíndrico de radio y profundidad constante por medio del kit de herramientas para perforación que trae el permeámetro, se perforó un agujero de 6 cm de diámetro y de 30 - 40 cm de profundidad aproximadamente, luego sobre el agujero perforado se procede a instalar el permeámetro sobre el trípode que posee, con el cual se realizan ensayos de infiltración manteniendo la profundidad (cabeza) del agua dentro del agujero constante lo cual se lograba mediante la regulación de la posición del fondo del tubo de aire, el cual está localizado dentro del permeámetro; observando que debido a que el nivel del agua dentro del tubo comenzaba a descender producto de la infiltración del agua en el suelo, se producía un vacío en el espacio de aire que estaba por encima del agua. Este vacío era liberado cuando el aire de la presión atmosférica del ambiente (el cual entra por la parte superior del tubo de aire), sale burbujeando de la punta interna de aire, burbujas emergían de la punta y se elevaban hacia el espacio de aire del depósito. Entonces el vacío era liberado parcialmente y el agua del depósito reponía el agua dentro del pozo. El tamaño de las burbujas que se producen era controlado por la geometría y el tamaño de la

apertura de la punta de aire interna, diseñados con el fin de prevenir fluctuaciones en el nivel de agua del pozo (ver Figura 3.5)

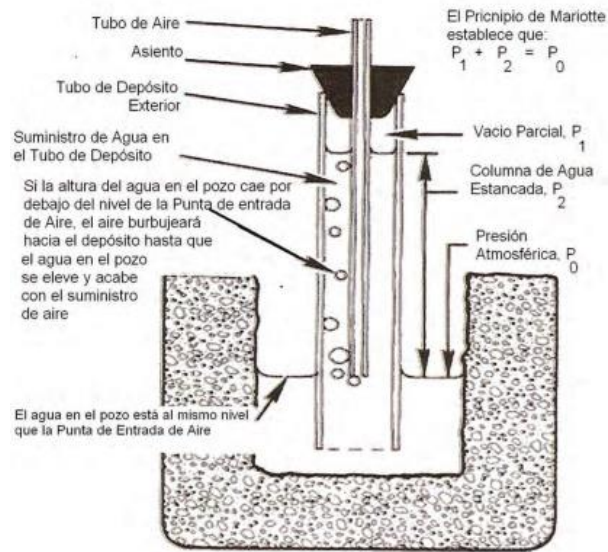


Figura 3.5 Establecimiento de la cabeza constante en el pozo.

La altura a la cual se levantaba el Tubo de Mariotte para mantener el nivel deseado y que permitía llenar el agujero al mismo nivel indicado por la regleta superior del permeámetro para poder fijar la carga hidráulica H , fue de 5 a 10 cm en la mayoría de estaciones; en algunas ocasiones debido a las condiciones de muy baja permeabilidad que presentaba el suelo, lo cual ocasionaba que el agua que contenía el agujero demorara mucho tiempo en infiltrar, la altura H que se utilizó para lograr realizar las medidas del nivel de agua fue de 7 a 12 cm. Además, para todas las pruebas de infiltración realizadas se utilizó doble recámara

Una vez el permeámetro se encontraba ya instalado y el nivel del agua dentro de los tubos comenzaba a descender producto de la infiltración del agua en el suelo, se logró determinar la tasa o velocidad de infiltración R (en este caso sus unidades son cm/min.), por medio de una escala en cm con la cual ya cuenta el equipo para medir el nivel de agua que desciende dentro del reservorio. La tasa de infiltración normalmente varía en el tiempo (en la mayoría de las estaciones de medición para cuando H tenía un valor de 5 cm de altura, el intervalo de tiempo entre medidas era de 1 min.; en cambio cuando H era igual a 10 cm, el intervalo de tiempo fue de 2 min.), debido a las características del flujo en un suelo no saturado (se van llenando gradualmente los poros con agua). De manera que la cantidad de medidas de la tasa de flujo que se lograron realizar, dependieron de

cuán rápido se alcanzó el régimen permanente. Se consideraba que el régimen permanente era alcanzado cuando existían al menos 3 o 4 lecturas iguales de manera sucesiva.

Es de mencionar que para no vaciar el reservorio interior, se abría la válvula que conecta a los dos recipientes; la cual se volvía a colocar en su posición original, cuando se subía el Tubo de Mariotte.

Una vez finalizada las mediciones en campo, se procedió a realizar los cálculos de la tasa de infiltración en cm/min. ($R = \Delta h / \Delta t$) para las alturas de carga de agua utilizadas (H_1 y H_2) por medio del programa Excel; los resultados obtenidos de R así como los datos de H_1 y H_2 , el radio del agujero hecho en cada uno de los sitios de muestreo, la categoría de la textura – estructura del suelo y el tipo de reservorio que se utilizó para cada una de las pruebas (1 = reservorio combinado y 2 = reservorio interno), se introducían en la hoja electrónica “Calculador del Permeámetro Guelph (Guelph Permeameter Calculator.xls) (anexo 1), el cual es un archivo Excel (puede descargarse desde el sitio web de Soilmoisture www.soilmoisture.com) para la determinación de la conductividad hidráulica K_{fs} y el potencial de flujo de agua, a partir de la relación que realiza esta hoja electrónica entre el caudal infiltrado y el nivel de agua en el agujero, el potencial de flujo mátrico α^* y la capacidad de absorción del suelo.

Las ecuaciones que están involucradas en el cálculo de K_{fs} en la hoja electrónica de Excel de acuerdo con la categoría de textura y estructura de suelo, α^* (cm^{-1}) y factor de forma utilizado en cada una de las pruebas realizadas se presentan en la tabla 3.1:

Es de aclarar, para el método de una cabeza hidráulica solamente es necesario calcular C_1 , mientras que para el método de dos cabezas hidráulicas, se calculan C_1 y C_2 . (Zang et al., 1998).

Las ecuaciones que utiliza la hoja electrónica de Excel en el cálculo de K_{fs} de acuerdo con el Método (una o dos cabezas hidráulicas) y al tipo de depósito utilizado en cada una de las mediciones (interno o combinado se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.1. Fórmulas relacionadas con el cálculo del factor de forma (C).

Categoría de textura y estructura de suelo	α^* (cm ⁻¹)	Factor de forma
Compactado, menos estructura, arcilloso o materiales limosos como tapas de rellenos sanitarios y revestimientos, sedimentos lacustres o marinos, etc.	0.01	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{2.102 + 0.118 [H_1/a]} \right)^{0.655}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{2.102 + 0.118 [H_2/a]} \right)^{0.655}$
Suelos que son tanto de textura fina (arcillosos o limosos) como sin estructura, puede incluir algunas arenas finas.	0.04	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{1.992 + 0.091 [H_1/a]} \right)^{0.683}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{1.992 + 0.091 [H_2/a]} \right)^{0.683}$
Mayoría de los suelos estructurados, desde arcillas hasta barros; se pueden incluir arenas finas y medias sin estructura. Esta es la categoría más frecuentemente aplicable a suelos utilizados para agricultura.	0.12	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{2.074 + 0.093 [H_1/a]} \right)^{0.754}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{2.074 + 0.093 [H_2/a]} \right)^{0.754}$
Arenas gruesas y de grava, puede incluir altamente estructurados con grandes y/o numerosas grietas, macro poros, etc.	0.36	$C_1 = \left(\frac{H_1/a}{2.074 + 0.093 [H_1/a]} \right)^{0.754}$ $C_2 = \left(\frac{H_2/a}{2.074 + 0.093 [H_2/a]} \right)^{0.754}$
<p>Donde:</p> <p>H₁ es la altura de la primera cabeza de agua en cm</p> <p>H₂ es la altura de la segunda cabeza de agua en cm</p> <p>a es el radio del agujero perforado para cada prueba realizada en cm</p> <p>α^* es el factor de la longitud capilar microscópica el cual se decide de acuerdo con la categoría de la estructura y textura del suelo.</p>		

Tabla 3.2. Fórmulas relacionadas con el cálculo del factor Q , K_{fs} y ϕ_m .

Método y tipo de depósito	Factor Q	Fórmula de K_{fs} y ϕ_m
Una cabeza, combinación de depósitos	$Q_1 = \bar{R}_1 \times 35.22$	$K_{fs} = \frac{C_1 \times Q_1}{2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_1 + 2\pi \left(\frac{H_1}{\alpha^*}\right)}$
Una cabeza, depósito interno	$Q_1 = \bar{R}_1 \times 2.16$	$\phi_m = \frac{C_1 \times Q_1}{(2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_1)\alpha^* + 2\pi H_1}$
Dos cabezas, combinación de depósitos	$Q_1 = \bar{R}_1 \times 35.22$ $Q_2 = \bar{R}_2 \times 35.22$	$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi(2H_1 H_2 [H_2 - H_1] + a^2 [H_1 C_2 - H_2 C_1])}$ $G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi(2H_1 H_2 [H_2 - H_1] + a^2 [H_1 C_2 - H_2 C_1])}$ $K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1$ $\phi_m = G_1 Q_1 - G_2 Q_2$
Dos cabezas, depósito interno	$Q_1 = \bar{R}_1 \times 2.16$ $Q_2 = \bar{R}_2 \times 2.16$	$G_1 = \frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1}{2\pi(2H_1 H_2 [H_2 - H_1] + a^2 [H_1 C_2 - H_2 C_1])}$ $G_2 = \frac{(2H_1^2 + a^2 C_1) C_2}{\pi(2H_1 H_2 [H_2 - H_1] + a^2 [H_1 C_2 - H_2 C_1])}$ $K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1$ $\phi_m = G_1 Q_1 - G_2 Q_2$
<p>Donde:</p> <p>R es la tasa de infiltración en estado estacionario (cm/s)</p> <p>K_{fs} es la conductividad hidráulica saturada del suelo (cm/s)</p> <p>ϕ_m es el potencial de flujo mátrico (cm²)</p> <p>α^* es el parámetro de la longitud capilar macroscópica</p> <p>H_1 es la altura de la primera cabeza de agua en cm</p> <p>H_2 es la altura de la segunda cabeza de agua en cm</p> <p>a es el radio del agujero perforado para cada prueba realizada en cm</p> <p>C es el factor de forma.</p>		

Con base a los datos medidos y notas de campo realizadas en el área de estudio, se utilizó la categoría aplicable a suelos empleados para agricultura, el método de dos cabezas hidráulicas y la combinación de depósitos para los cálculos de K_{fs} realizados en el “Calculador del Permeámetro Guelph”. Una vez ingresado todos los campos requeridos, el calculador reportó los valores de la conductividad hidráulica del suelo y el potencial de flujo de agua para H_1 , H_2 y el valor promedio de ellos en las celdas correspondientes. Por conveniencia, el valor K_{fs} es presentado en varias unidades y en notación científica.

Los sitios adecuados para realizar las medidas de permeabilidad descritas anteriormente fueron determinados a partir de los siguientes criterios:

- ◆ **Uso de suelo en el área de estudio:** Esto de acuerdo con Mapa de uso del Suelo/Cobertura de El Salvador 2016.
- ◆ **Geología de la Cuenca:** Según el Mapa Geológico de El Salvador.

Se realizó la superposición de las capas de uso de suelo y miembros geológicos presentes en la cuenca del río Chimalapa, por medio de las herramientas de geoprocésamiento contenidas en un software SIG. Como resultado se lograron identificar los siguientes pares combinados de uso de suelo - geología, dentro de la cuenca (ver tabla 3.3)

Tabla 3.3. Usos de suelo y miembros geológicos identificados dentro de la cuenca del río Chimalapa.

No.	Uso de Suelo	Miembro geológico	Distribución de área de la cuenca de acuerdo con el uso de suelo y geología (m ²)	% Área de Cuenca
1	Caña de Azúcar	b1	5238861.08	12.24
2	Caña de Azúcar	Q'f	7769122.53	18.15
3	Pastos y granos básicos	b1	411676.31	0.96
4	Pastos y granos básicos	Q'f	28531297.45	66.67
5	Centros turísticos	Q'f	546793.94	1.28
6	Bosques naturales	Q'f	300255.81	0.70
			Área Total = 42798007.12	% Total = 100

A partir del análisis de los resultados mostrados en la Tabla 3.3, se evidenció que de los 6 polígonos de uso de suelo - geología identificados, 3 poseen extensiones menores del 1.5 % del área total de la cuenca evaluada y en conjunto representan aproximadamente el 2.94 % del área total de dicha cuenca; los 3 polígonos restantes, en conjunto representan aproximadamente el 97.06 % de la extensión total de la misma cuenca. Con esas consideraciones, el análisis de la permeabilidad dentro de la cuenca del Río Chimalapa se enfocó en los polígonos de uso de suelo-

geología representativos del 97.06 % de la superficie total de la cuenca de interés. Este criterio de exclusión permitió, una mayor eficiencia en el uso de los recursos disponibles para esta etapa de la investigación.

Una vez seleccionadas las áreas de uso de suelo-geología más representativas de la cuenca del río Chimalapa y tomando en cuenta la accesibilidad de ellas, se procedió a la selección de los sitios donde realizar los ensayos de permeabilidad; en algunos casos, durante las giras de campo realizadas no pudo accederse a los lugares elegidos debido al mal estado de las calles de acceso. Por tanto, se procedió de inmediato a buscar sitios de reemplazo que tuvieran las mismas características de uso de suelo-geología. que fueran accesible y cercanos a las zonas seleccionadas originalmente dentro de las áreas más representativas. La ubicación de los 13 sitios seleccionados donde se realizaron los ensayos de permeabilidad se muestra en la Tabla 3.4 y la Figura 3.6.

Tabla 3.4. *Coordenadas y elevación de los sitios donde se realizaron ensayos de permeabilidad.*

Punto	COORDENADAS LAMBERT		Elevación (msnm)
	Norte (m)	Oeste (m)	
P1	268801.33	419993.89	7
P2	269104.28	419814.41	11
P3	269734.6	419908.36	14
P4	271036.69	419807.74	22
P5	271178.47	419873.12	23
P6	273076.46	419669.72	35
P7	280187.23	417659.38	106
P8	279654.56	417012.11	96
P9	281471.22	418629.95	124
P10	273960.62	419365.82	41
P11	275510.67	418393.07	60
P12	277278.07	417504.09	78
P13	278391.08	417145.14	88

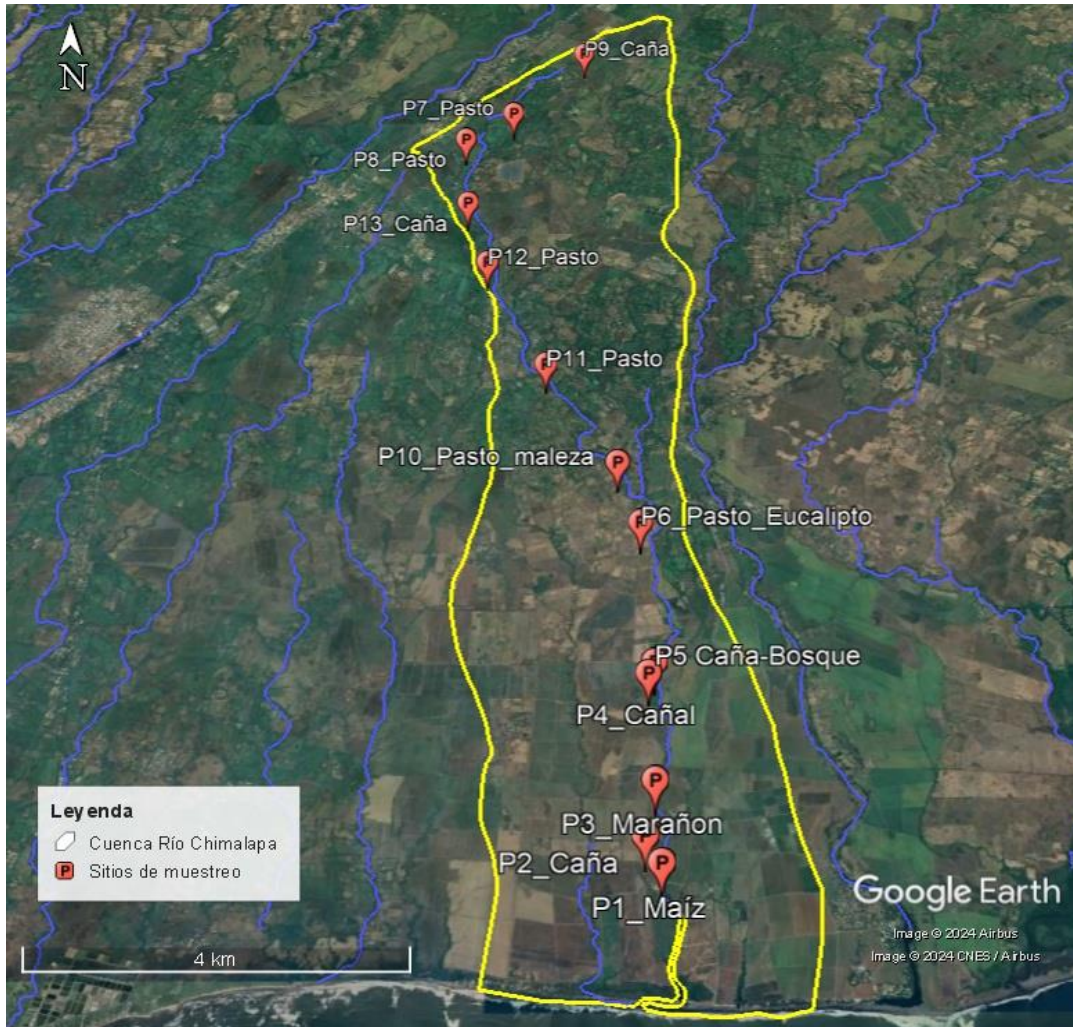


Figura 3.6. Ubicación de los sitios de muestreo para pruebas de permeabilidad en la cuenca del río Chimalapa.

3.2.2. AFOROS EN FUENTES DE AGUA.

Con el objetivo de conocer cuál es el caudal que circula por el cauce principal del río Chimalapa, el cual sería utilizado en el cálculo del balance de masas final de la cuenca, se realizó una campaña de aforo por vadeo durante el mes de marzo de 2023 (época seca); con dicha campaña, también se buscaba determinar la posible relación río-acuífero dentro de la cuenca en estudio.

Para ello, se realizaron 7 aforos distribuidos en la parte alta, media y baja de la cuenca del río (figura 3.7), utilizando un equipo AA CURRENT METER Precision Hydrological Tool For Water Current Measurement junto con su lector digital AquaCMD Digitizing Computer 102-003 (Figura 3.8 y Tabla 3.5).



Figura 3.7. Equipo utilizado para la realización de aforos en cuenca río Chimalapa.

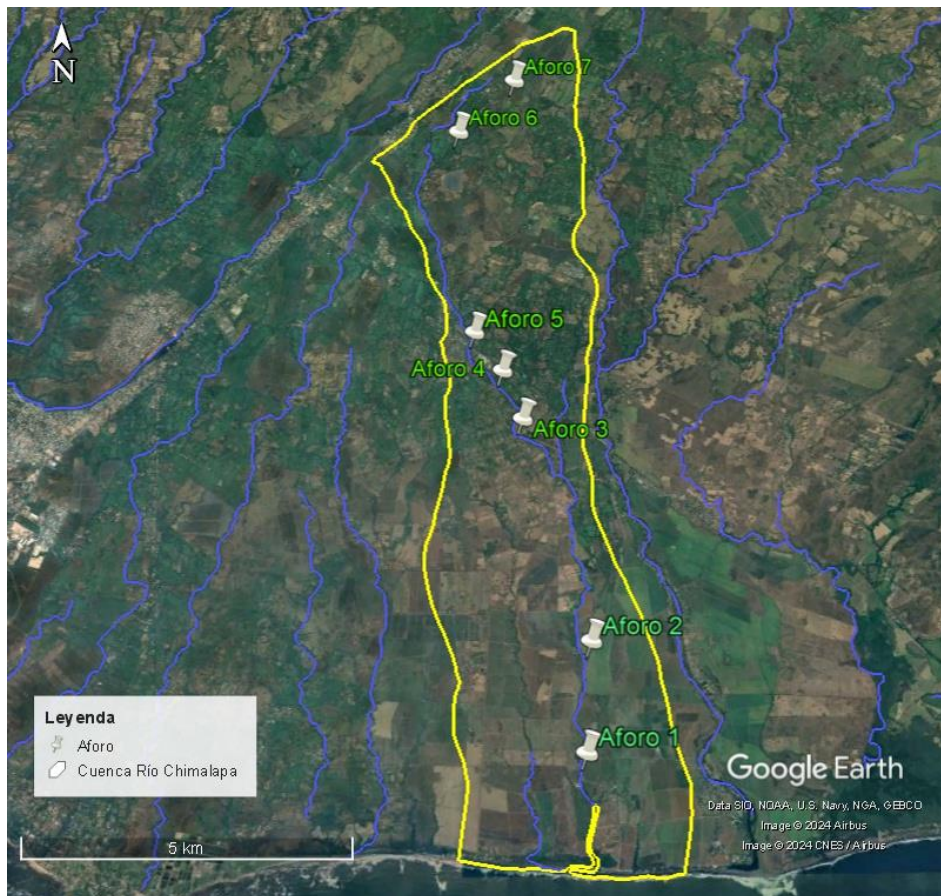


Figura 3.8 Ubicación de sitios de aforos en el cauce principal del Río Chimalapa.

Tabla 3.5. Sitios de aforo realizados en el cauce del Río Chimalapa.

No.	Localidad	Coordenadas Lambert		Elevación (msnm)	Distancia entre sitios de aforo aproximadamente (m)
		X	Y		
1	Coop. Barra Ciega	420001.52	269132.29	22	---
2	El Obraje	420078.96	270852.7	27	1763
3	Caserío El Jocotillo	418939.15	274605.46	74	4000
4	Caserío El Tigre	418581.18	275488.57	79	1065
5	Cantón Miravalle	418084.44	276206.17	90	1019
6	Hacienda La Campana	417670.37	280239.44	111	4227
7	Caserío El Sigüanango	418677.65	281345.68	131	1510

El equipo permitió realizar mediciones a lo ancho de secciones transversales (estaciones) del río, obteniendo como resultado el número de vueltas y el tiempo empleado en dar las vueltas en cada una de las estaciones. Posteriormente, en el programa Excel se ingresaron los datos de cada estación, profundidad, número de vueltas y tiempo; calculándose luego el área, el número de revoluciones por segundo, la velocidad de la corriente de agua a partir de la fórmula proporcionada por el fabricante y el caudal por cada estación, obteniéndose como producto final el caudal promedio del río en esa sección transversal y la representación gráfica (Figura 3.9 y Anexo 2).

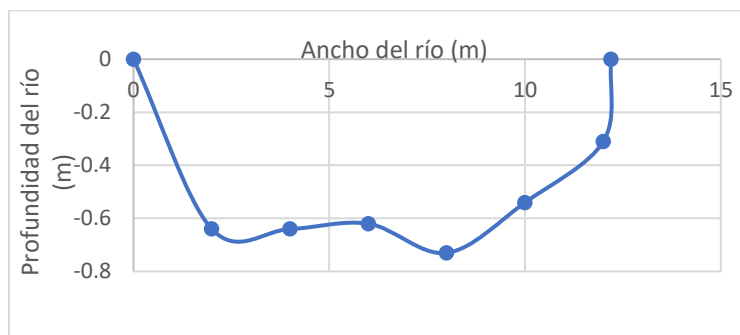


Figura 3.9. Ejemplo de sección transversal modelada en EXCEL, cuenca baja del Río Chimalapa.

3.2.3. LEVANTAMIENTO DE FUENTES DE AGUA.

A partir de la información contenida en estudios hidrogeológicos, trabajos de tesis, Mapa Hidrogeológico de El Salvador, entre otros, se realizó una identificación preliminar de las fuentes de agua ubicadas dentro y en las cercanías de la cuenca del río Chimalapa. La razón para considerar algunas fuentes de agua localizadas fuera de la zona de estudio es la necesidad, de mejorar el

diseño final de las zonas límite o frontera del modelo conceptual del sistema acuífero que se encuentra ubicado en esta área.

Las fuentes de agua identificadas en el área pueden agruparse de la siguiente forma:

- Pozos perforados;
- Pozos excavados;
- Cauce principal río Chimalapa.

Luego en campo, se verificó la ubicación y algunas características de estas fuentes de agua (Figura 3.10 y Figura 3.11).



a) Pozo excavado



b) Pozo perforado



c) Pozo excavado con bomba adaptada



d) Cauce del río Chimalapa

Figura 3.10. Fuentes de agua ubicadas dentro de la cuenca del río Chimalapa.

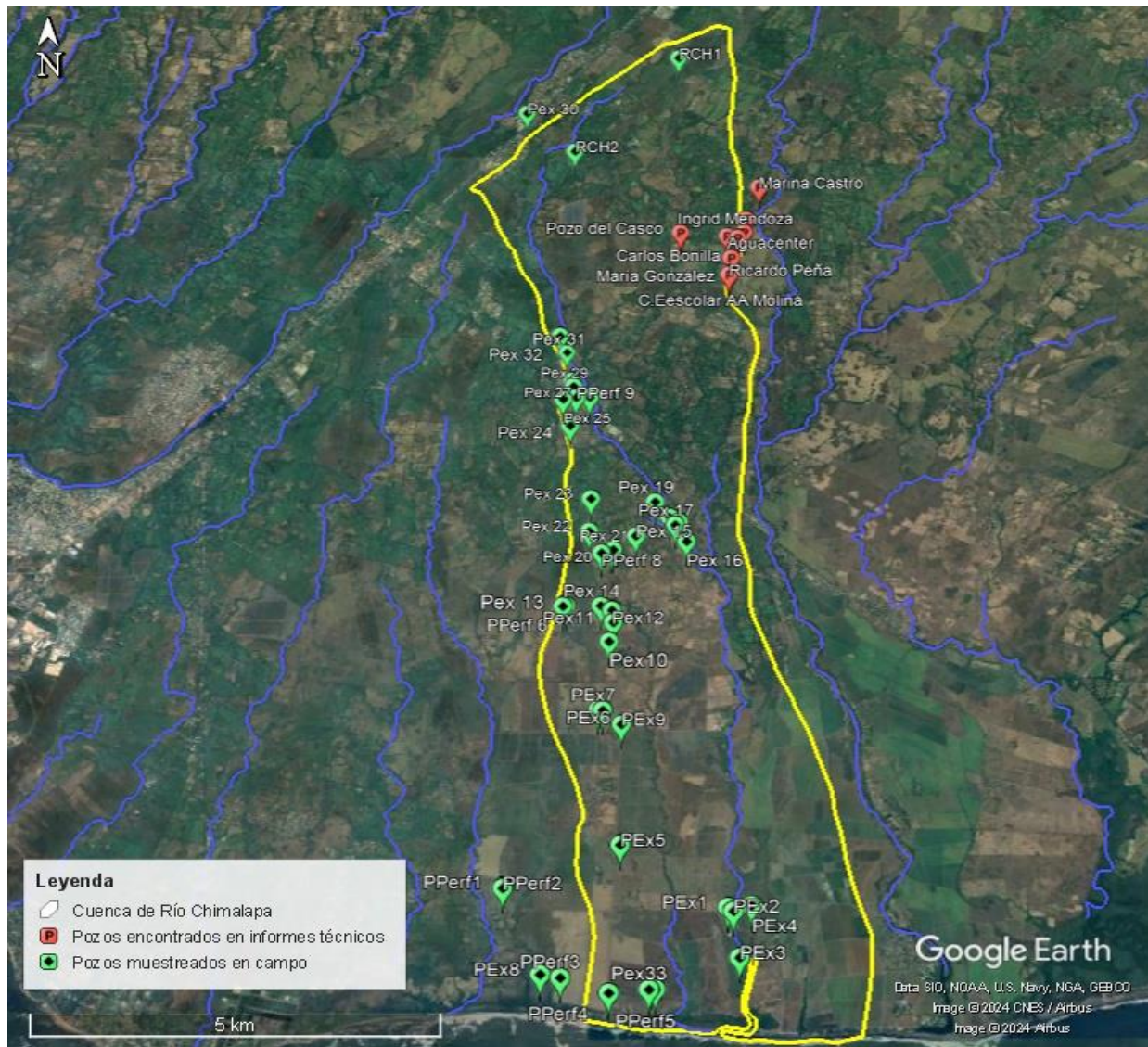


Figura 3.11. Ubicación de los pozos muestreados in situ y los registrados en bibliografía, cuenca del río Chimalapa.

3.2.4. MUESTREO DE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y DETERMINACIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN FUENTES DE AGUA.

Una vez realizado el levantamiento de fuentes de agua, se efectuó un muestreo fisicoquímico tanto en pozos y cauce principal del río Chimalapa, con el propósito de clasificar las aguas superficiales y subterráneas del área de interés (Figura 3.12); así mismo, se efectuó la determinación de niveles piezométricos en pozos excavados y perforados localizados dentro de la cuenca del río Chimalapa y cercanos a ella.



a) Pozo excavado



b) Pozo perforado



c) Pozo excavado con bomba adaptada



d) Cauce de río Chimalapa

Figura 3.12 Muestreo de parámetros FQ en fuentes de agua dentro de la cuenca del río Chimalapa.

En total fueron realizados 42 muestreos “in situ” de parámetros físico – químico (Tabla 3.6 y Figura 3.11) y 16 muestras de agua cruda de pozos para su análisis en laboratorio, durante los meses de octubre – noviembre de 2022 (época lluviosa) (Tabla 3.7 y Figura 3.13); también, se obtuvieron otras 15 muestras de agua cruda de pozos para su análisis en laboratorio, en el mes de junio de 2023 a inicios de la época lluviosa (Tabla 3.8 y Figura 3.13).

Tabla 3.6. Resultados del muestreo “in situ” de parámetros FQ, septiembre – noviembre de 2022.

No	Código	Fecha	T (°C)	BARO (mm Hg)	ORP (mV)	pH	DO %	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	CE (μS/cm)	Salinidad ‰
1	Pex1	22/9/2022	28.3	758	52.3	4.75	55	4.19	1070	1645	0.81
2	Pex2	22/9/2022	29.1	758.3	48.5	4.46	78	5.97	783	1209	0.57
3	Pex3	22/9/2022	28.8	757.5	57.2	4.53	81	6.13	1328	2041	1.03
4	Pex4	22/9/2022	28.2	756.8	50.2	4.78	69	5.24	618	900.51	40
5	PP1	22/9/2022	29	754.5	62.7	5.8	76	5.8	241	371	12
6	PP2	22/9/2022	27	754.5	52.3	4.9	82	6.42	249	385	12

Tabla 3.6. (Continuación) Resultados del muestreo “in situ” de parámetros FQ, septiembre – noviembre de 2022.

No	Código	Fecha	T (°C)	BARO (mm Hg)	ORP (mV)	pH	DO %	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	CE (µS/cm)	Salinidad ‰
7	Pex5	22/9/2022	27.7	753.8	51.6	4.87	74	5.7	194	299	0.9
8	Pex6	22/9/2022	28.5	753	60.8	4.15	45	3.46	222	343	0.11
9	Pex7	22/9/2022	27.1	753	53.4	4.24	33	2.54	221	342	0.11
10	Pex8	6/10/2022	29.1	758.3	64.3	4.51	71	5.45	287	443	0.14
11	PPerf3	6/10/2022	29.9	758.3	54	4.57	69	5.21	254	393	0.12
12	PPerf4	6/10/2022	28.4	758.3	51.8	4.39	89	6.92	250	388	0.12
13	PPerf5	6/10/2022	30.6	758.3	57	4.63	89	6.67	371	572	0.24
14	Pex 9	6/10/2022	29	754.5	68.2	6.15	23	1.76	299	461	0.15
15	Pex 10	21/10/2022	27.9	756.8	89.1	5.18	53	4.1	246	378	0.12
16	Pex 11	21/10/2022	29.8	756.8	79.2	5.6	56	4.22	225	345	0.11
17	Pex 12	21/10/2022	28.8	756	72	5.23	24	1.76	523	805	0.34
18	PPerf 6	21/10/2022	29.1	754.5	70.4	5.11	81	6.12	365	562	0.24
19	Pex 13	21/10/2022	27.3	753.8	66.9	5.7	25	1.93	310	479	0.15
20	Pex 14	21/10/2022	28.5	754.5	65.9	5.29	63	4.83	264	409	0.13
21	Pex 15	21/10/2022	28.8	753	76.6	5.39	73	5.58	256	396	0.13
22	Pex 16	21/10/2022	28.3	753	70.9	5.51	25	1.91	178	274	0.9
23	Pex 17	21/10/2022	28.8	753	68.7	5.62	44	3.34	265	409	0.13
24	Pex 18	21/10/2022	28.8	753	66	5.67	38	2.91	178	272	0.9
25	PPerf 7	21/10/2022	29.8	752.3	67.5	5.72	78	5.86	224	344	0.11
26	Pex 19	21/10/2022	29.1	752.3	73.8	5.68	67	5.8	315	485	0.15
27	PPerf 8	27/10/2022	29.3	754.5	90.1	5.7	82	6.2	291	448	0.14
28	Pex 20	27/10/2022	30.3	755.3	79.7	5.8	67	4.98	288	443	0.14
29	Pex 21	27/10/2022	28.7	754.5	72.7	4.62	74	5.64	182	278	0.09
30	Pex 22	27/10/2022	29.3	753.8	78.1	6.06	59	4.46	271	417	0.13
31	Pex 23	27/10/2022	28.7	753	76.2	5.83	64	4.88	419	649	0.27
32	Pex 24	27/10/2022	27.5	752.3	73.8	5.79	51	3.94	294	453	0.14
33	Pex 25	27/10/2022	30.9	751.5	66.1	5.29	41	3.03	291	449	0.14
34	Pex 26	27/10/2022	32.2	750.8	70.9	5.24	90	6.44	241	370	0.12
35	Pex 27	27/10/2022	28.9	750.8	70.8	4.66	81	6.15	323	499	0.16
36	PPerf 9	27/10/2022	29.6	750.8	88.8	6.9	55	4.12	295	453	0.14
37	Pex 28	27/10/2022	29.7	750.8	75.3	5	80	6.01	759	1171.5	0.55
38	Pex 29	27/10/2022	27.7	750.8	74.5	4.79	12	0.9	316	488	0.15
39	RCH2	3/11/2022	28.7	750	74.9	6.31	84	6.37	248	382	0.12
40	Pex 30	3/11/2022	27.9	749.3	72.4	6.3	25	1.92	233	360	0.11
41	Pex 31	3/11/2022	28	750.8	72.8	6.28	66	5.12	274	421	0.13
42	Pex 32	3/11/2022	27.7	750.8	69.5	6.41	40	3.12	494	758	0.32

Tabla 3.7. Tipos de fuente utilizada para recolección de muestras de agua cruda (época lluviosa 2022).

No.	Código	Coordenadas Lambert		Elevación (m)	Tipo de fuente	Lugar
		Norte (m)	Oeste (m)			
1	Pex2	268889.29	419973.41	12	Pozo excavado	Coop. Barra Ciega
2	Pex3	268302.08	420050.08	12	Pozo excavado	Coop. Barra Ciega
3	Pex4	268962.36	420196.44	9	Pozo excavado	Coop. Barra Ciega
4	Pex5	269748.01	418557.21	13	Pozo excavado	Terrenos de Industrias DIANA
5	Pex8	268100.69	417619.93	13	Pozo excavado con bomba adaptada	Rancho de playa privado en Playa Portezuelo
6	PPerf3	268056.88	417866.35	14	Pozo excavado con bomba adaptada	Rancho de playa privado en Playa Portezuelo
7	PPerf4	267867.55	418461.12	6	Pozo excavado con bomba adaptada	Rancho de playa privado en Playa Miravalle
8	PPerf5	267911.88	419026.55	17	Pozo excavado con bomba adaptada	Rancho de playa privado en Playa Miravalle
9	Pex9	271361.48	418535.2	38	Pozo excavado	Coop. El Obraje
10	Pex 28	276416.22	417742.43	79	Pozo excavado con bomba adaptada	Caserío el Progreso / Cantón Miravalle
11	RCh1	281894.32	419145.18	141	Nacimiento de río	Nacimiento del Río Chimalapa, Cantón Sigüanango, Nahulingo
12	RCH2	280239.45	417667.36	103	Río Chimalapa	Hda. La Campana
13	Pex 30	280911.68	416951.2	125	Pozo excavado con bomba adaptada	Hda. La Campana 2
14	Pex 32	277132.85	417558.34	91	Pozo excavado con bomba adaptada	Hda. Sta. Bárbara
15	Pex 26	276172.59	418012.2	65	Pozo excavado con bomba adaptada	Caserío el Progreso
16	Pex 24	275718.62	417743.23	62	Pozo excavado con bomba adaptada	Cantón Miravalle

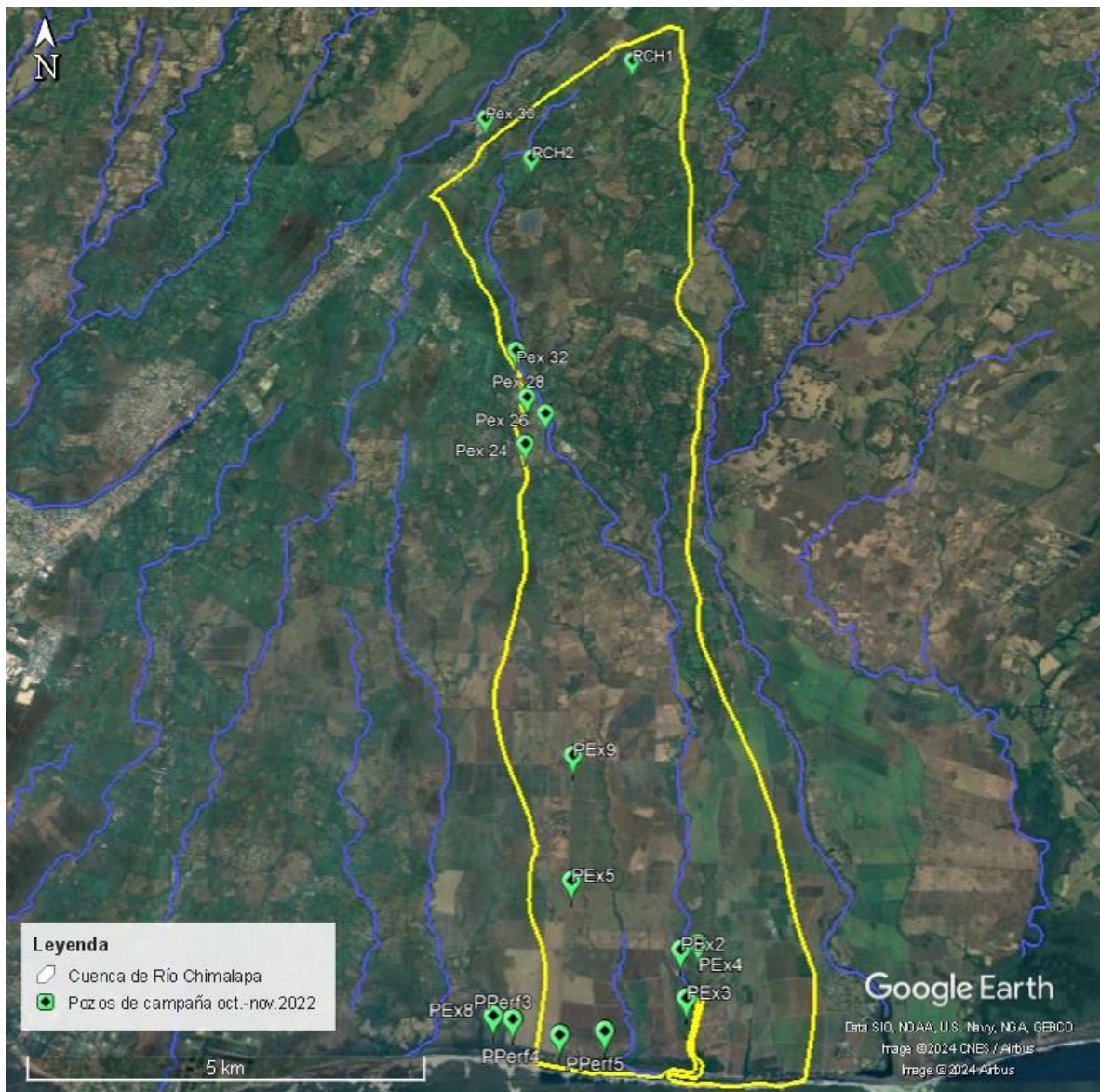


Figura 3.13. Pozos de muestreo de agua cruda para análisis de laboratorio, octubre – noviembre 2022.

Tabla 3.8. Tipos de fuente de utilizada para recolección de muestras de agua cruda (junio de 2023).

No.	Código	Coordenadas Lambert		Elevación (msnm)	Tipo de fuente	Lugar
		X	Y			
1	PCHI 1	416957.18	280899.36	104	Pozo excavado con bomba adaptada	La Campana 2
2	PCHI 2	417337.82	281518.93	122	Pozo Excavado	San Juan 1
3	PCHI 3	417481.79	281429.35	113	Pozo Excavado	San Juan 2
4	PCHI 4	416721.14	280393.05	101	Pozo Excavado	La Campana 1
5	PCHI 5	416873.41	280079.1	96	Pozo Excavado	La Campana 3

Tabla 3.8. (Continuación) Tipos de fuente de utilizada para recolección de muestras de agua cruda (junio de 2023).

No.	Código	Coordenadas Lambert		Elevación (msnm)	Tipo de fuente	Lugar
		X	Y			
6	PCHI 6	418461.37	267947.45	8	Pozo excavado con bomba adaptada	Playa Miravalle 1
7	PCHI 7	418942.34	267906	0	Pozo excavado con bomba adaptada	Playa Miravalle2
8	PCHI 8	420050.06	268295.94	7	Pozo Excavado	Barra Ciega 3
9	PCHI 9	419973.73	268895.43	8	Pozo Excavado	Barra Ciega 2
10	PCHI 10	420199.44	268962.35	10	Pozo Excavado	Barra Ciega 4
11	PCHI 11	419904.72	268941.74	10	Pozo Excavado	Barra Ciega 1
12	PCHI 12	418232.18	271565.26	31	Pozo excavado con bomba adaptada	Terrenos Industrias DIANA
13	PCHI 13	418398.36	272784.77	39	Pozo excavado con bomba adaptada	La Aguja
14	PCHI 14	418380.85	272953.85	44	Pozo Excavado	Ceiba de Agua, El Jocotillo
15	PCHI 15	417725.17	275709.45	63	Pozo excavado con bomba adaptada	Cantón. Miravalle

Los parámetros muestreados en cada sitio seleccionado se pueden clasificar cómo se muestran en la siguiente Tabla 3.9:

Tabla 3.9. Clasificación de medidas a realizadas “in situ” y por medio análisis de laboratorio.

a) Mediciones in-situ:	b) Mediciones para análisis en laboratorio
pH, Sólidos Totales Disueltos (TDS)	Cationes: Na ⁺¹ , K ⁺¹ , Mg ⁺² , Ca ⁺²
Temperatura, Salinidad	Aniones: Cl ⁻¹ , , HCO ⁻³ , SO ₄ ⁻² , NO ⁻³
Conductividad Eléctrica (CE)	pH, CE, TDS, DO (mg / L)
Potencial REDOX (ORP)	Turbidez (NTU)
Presión Barométrica (BARO) Oxígeno Disuelto DO(%) y DO(mg/L)	Dureza Total expresada como CaCO3

Las mediciones in – situ, fueron analizadas mediante un medidor multiparámetro marca AQUAREAD modelo AP – 5000 (Figura 3.14), las primeras muestras para análisis de laboratorio colectadas durante octubre – noviembre de 2022, fueron analizadas en los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos perteneciente a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (LEIQIA – FIA – UES); las segundas muestras colectadas en el mes de junio de 2023 fueron analizadas en el Laboratorio Especializado en Control de Calidad (LECC) propiedad de ESEBESA S.A de C.V. Para la interpretación de los análisis de laboratorio (diagramas hidroquímicos y mapas), se utilizaron las herramientas Qualigraf, Easy-Quim.5.0 y Golden Surfer v.18.

Para la determinación de los niveles piezométricos en pozos excavados, se utilizó un medidor de nivel de agua marca SOLIST modelo 102 de 50 m de largo; la piezometría de los pozos perforados de registros bibliográficos de pozos cercanos a la zona de estudio.



a) Medidor multiparámetros de datos FQ marca AQUAREAD modelo AP – 5000.

b) Medidor de nivel de pozos marca SOLINST modelo 102

Figura 3.14. Equipo utilizado para a) medición de parámetros FQ, b) medición de niveles de pozos.

La precisión del análisis de los resultados obtenidos para los iones principales fue estimada por medio del Balance Iónico o Eléctrico, en el cual se debe cumplir la condición de electroneutralidad, es decir, que la suma de las cargas positivas y negativas en el agua debe ser igual (Appelo & Postma, 2005):

$$Error (\%) = \frac{\sum Cationes - \sum Aniones}{\sum Aniones + \sum Cationes} \times 100 \quad (7)$$

Para la utilización de la ecuación anterior, los cationes y aniones fueron expresados en meq/L, con su respectivo signo de carga. Las sumas de cationes incluyeron: Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y

Mg⁺², la de los aniones: HCO⁻³, SO₄⁻², Cl⁻¹ y NO⁻³. Para este tipo de balances los rangos de error para aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen según la literatura, suelen admitirse errores <10% en aguas poco salinas y <1 o 2% en aguas con más de 1000 mg/L (Appelo & Postma, 2005), según el valor de conductividad eléctrica (Custodio y Llamas, 1976), o de la sumatoria de aniones (Crites y Tchobanoglous, 2000). La Tabla 3.10 y Tabla 3.11 presentan los valores para dos de estos criterios respectivamente.

Tabla 3.10. Error aceptable en balance iónico según la conductividad eléctrica.

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

Tabla 3.11. Error aceptable en balance iónico según sumatoria de aniones.

Σ Aniones (meq/L)	Error aceptable (%)
0 – 3	± 0.2
3 – 10	± 2
10 – 800	± 5

4. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo, se dan a conocer los resultados obtenidos en cada una de las actividades realizadas durante el desarrollo de la presente investigación, para lograr cumplir con los objetivos planteados al inicio de ella.

4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.

De acuerdo con la clasificación de Koppen y Sapper-Lauer (MARN, 2006) y del Mapa de Clasificación Climática de El Salvador (FCAS-MARN, 2015), en el área de estudio donde las elevaciones son entre 0 y 150 msnm aproximadamente, se distingue solamente una región climática que es la *Sabanas tropical caliente o tierra caliente*, la cual corresponde a la zona calurosa con temperaturas promedio anual de 27.6 °C (USAID, 2009).

4.1.1. PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Partiendo de la información plasmada en el BHID (MARN, 2006) y aplicando la metodología descrita en la sección 3.1.2, se lograron identificar las estaciones meteorológicas con registros de precipitación y ETP que más influencia tienen en la cuenca del río Chimalapa (ver Tabla 4.1, Mapa 3.2 y Mapa 3.3):

Tabla 4.1. Estaciones meteorológicas con registros de precipitación y ETP anual.

Nombre de la Estación	Código de Estación	Coordenadas Lambert		Elevación (msnm)	Precipitación Anual (mm)	ETP Anual (mm)	Años de registro	Período de registro
		Norte (m)	Oeste (m)					
Acajutla	T6	272734	409809	610	1713.6	1902.5	27	1959/2002
Hacienda El Jobo Sonsonate	T9	285975	420312	15	1676	-----	20	1955/1989
Izalco	T3	293524	423760	390	2182	1692.8	26	1953/1984

Debido a que las estaciones descritas en las Tabla 4.1 no poseen registros completos de lluvia para los periodos de años indicados en ella, para el análisis de la precipitación dentro de la cuenca se ha utilizado únicamente el número de años que poseen registros continuos mensuales de las estaciones T6 (posee un periodo de registro de 43 años, de los cuales 27 tienen registro continuo mensual de precipitación) y T9 (tiene registros de precipitación de 34 años, de ellos 20 poseen registro continuo mensual) en el período indicado en cada estación; los cuales forman parte de los insumos utilizados para la elaboración del BHID (MARN, 2006) (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Precipitación mensual de estaciones meteorológicas cercanas a cuenca del río Chimalapa.

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Anual (mm)
T6	1.2	1	11.5	52.2	162.6	305.8	263.1	306.8	358.5	189.3	55.8	5.8	1713.6
T9	2	2	21	69	129	280	271	281	365	199	62	7	1676

Aplicando el método de los polígonos de Thiessen (sección 3.1.2) se tiene la siguiente distribución media mensual de Precipitación dentro de la cuenca del río Chimalapa (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Precipitación media mensual dentro de la cuenca del río Chimalapa.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Anual (mm)
P(mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.3	192	57.51	6.13	1706.56

De la misma manera, para el caso de las estaciones de ETP consideradas en las Tabla 4.1 estas no poseen registros completos de ETP para los periodos de años indicados en ella. Para el análisis de la evapotranspiración dentro de la cuenca, fueron utilizados únicamente el número de años que poseen registros continuos mensuales de ETP en las estaciones T6 (posee un periodo de registro de 43 años, de los cuales 27 tienen registro continuo mensual de evapotranspiración) y T3 (tiene registros de evapotranspiración de 31 años, de ellos 26 poseen registro continuo mensual) en el período indicado en cada estación; los cuales forman parte de los insumos utilizados para la elaboración del BHID (MARN, 2006) (ver Tabla 4.4).

Tabla 4.4. ETP mensual en estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Chimalapa.

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual (mm)
T3	163.9	173.7	175.9	151.9	127.1	117.6	133.1	128.3	110.4	114.1	141.0	155.7	1692.8
T6	162.0	177.9	183.3	178.7	157.6	145.7	156.5	153.4	140.2	138.0	152.7	156.4	1902.5

Aplicando nuevamente el método de los polígonos de Thiessen (sección 3.1.2) se tiene la siguiente distribución media mensual de ETP dentro de la cuenca del río Chimalapa (ver Tabla 4.5).

Tabla 4.5. ETP media mensual dentro de la cuenca del río Chimalapa.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual (mm)
ETP(mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05

La secuencia de cálculos y resultados empleados en la aplicación del método de Thiessen, se muestran en el Anexo 4.

4.2. HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.

Por medio de un DEM de resolución 10 x 10 m cada celda, se lograron obtener algunas características fisiográficas de la cuenca del río Chimalapa (ver Tabla 4.6); además, de determinar la distribución espacial de las mismas, estas pueden apreciarse a continuación (ver Figura 4.1, Figura 4.2 y Figura 4.3).

Tabla 4.6. Características fisiográficas de la cuenca del río Chimalapa.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Área (km ²)	42.80	Pendiente del cauce principal (%)	0.74 %
Perímetro (km)	39.57	Elevación mínima (msnm)	0
Pendiente mínima (%)	0	Elevación máxima (msnm)	143
Pendiente media de la cuenca (%)	2.63	Factor de forma	0.22
Pendiente máxima (%)	67.08	Coefficiente de compacidad	1.71
Longitud del cauce principal (km)	17.67		

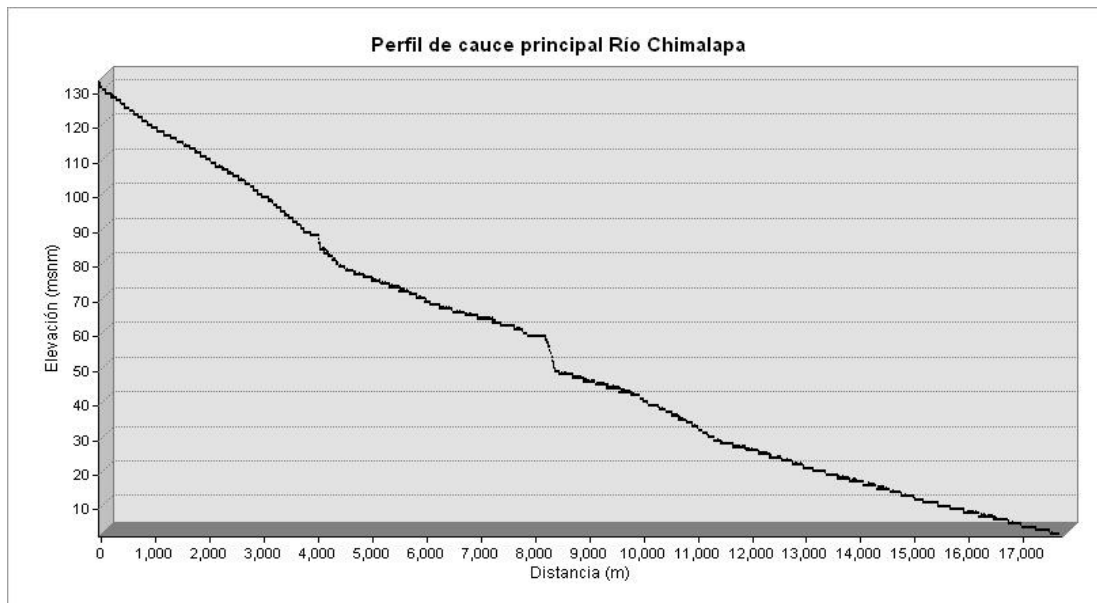


Figura 4.1. Perfil longitudinal de elevación del cauce principal, cuenca del río Chimalapa.

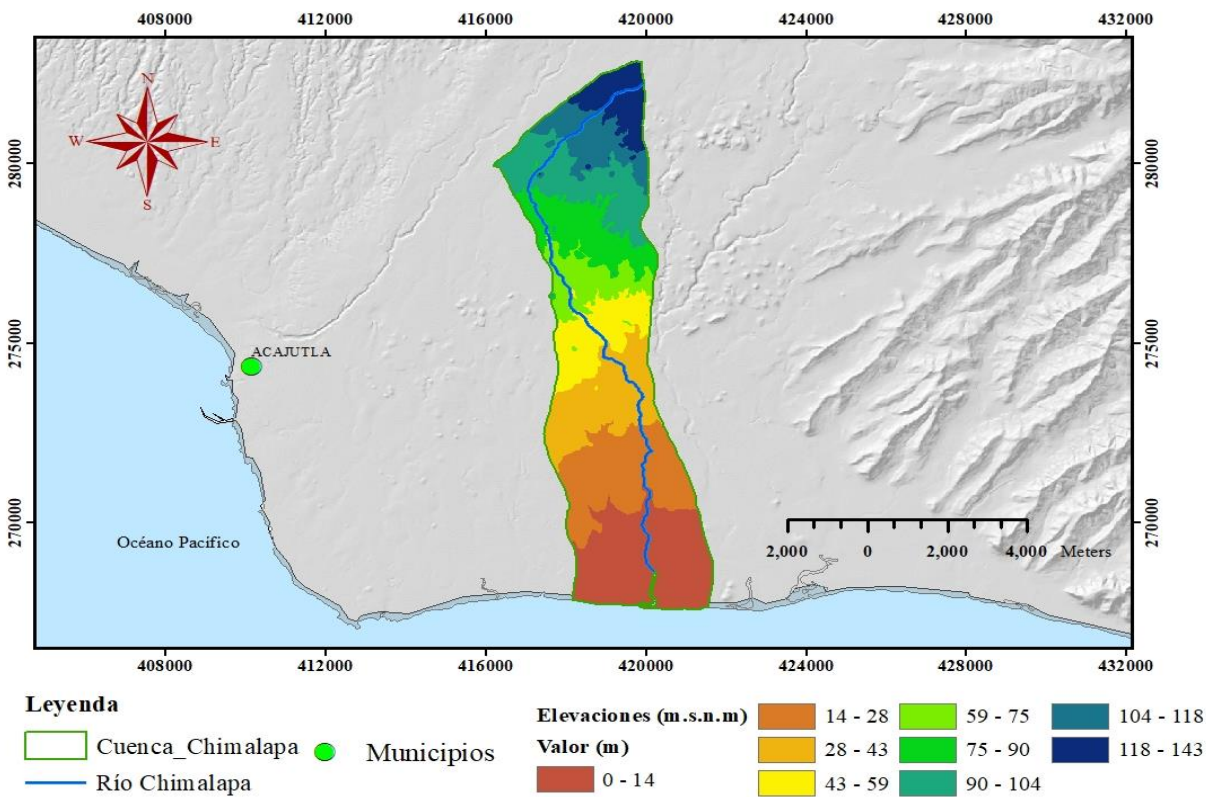


Figura 4.2. Distribución de elevaciones dentro de la cuenca del río Chimalapa.

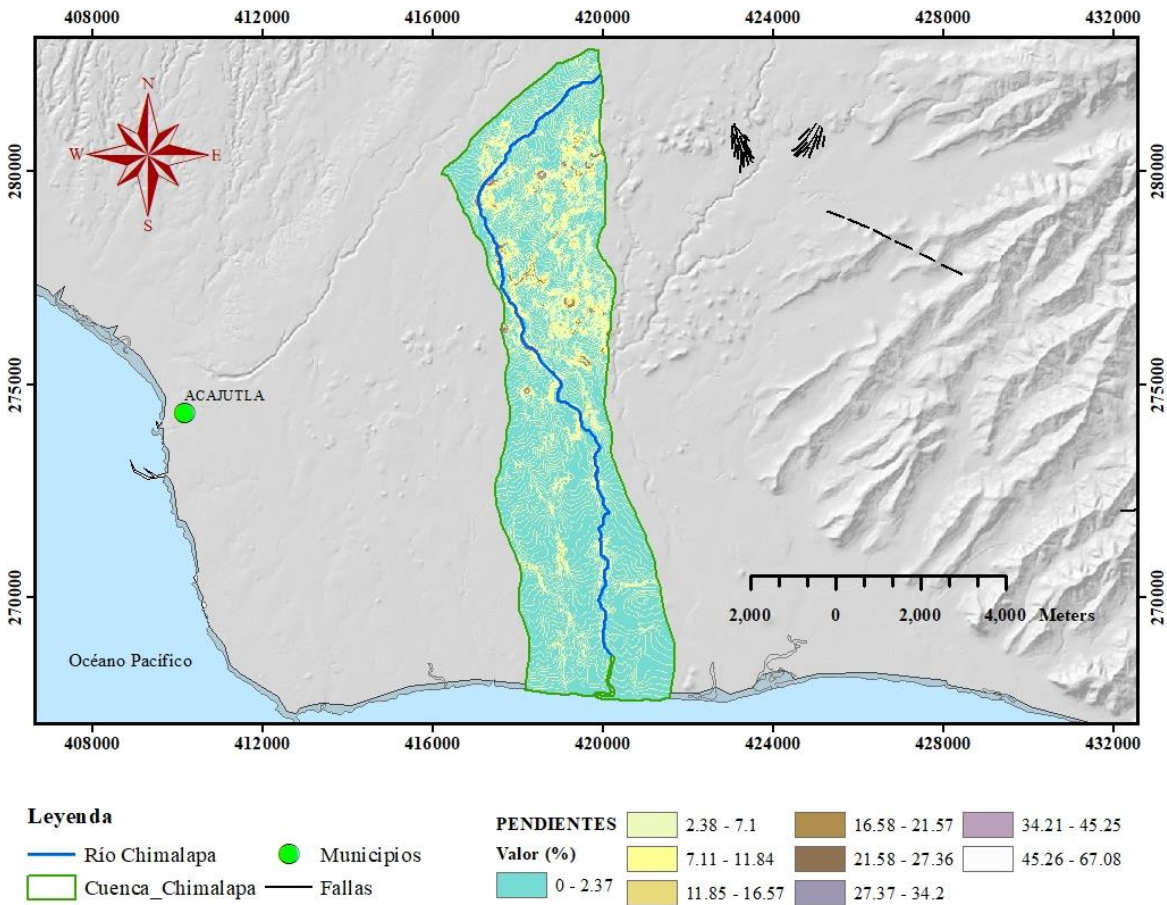


Figura 4.3. Distribución de pendientes dentro de la cuenca del río Chimalapa.

De acuerdo con la Figura 4.3 la topografía del área de estudio presenta en su gran mayoría de territorio, pendientes entre 0 y 7% aproximadamente, conformando valles aluviales. Los terrenos son desde muy planos hasta algo planos, con relieves moderados. Además, existen pequeñas áreas conformando cerros o pequeños domos, que tienen pendientes mayores al 15%. Las quebradas y ríos en el área adyacente se encuentran en terrenos con pocas pendientes. (USAID septiembre 2009).

Además, por medio del programa EXCEL se obtuvo la curva hipsométrica de la cuenca del río Chimalapa, obteniéndose el perfil que se muestra en la Figura 4.4. De acuerdo con la forma de la curva obtenida y con lo descrito en la Figura 2.9, se considera que esta cuenca se puede clasificar como una Curva tipo C, es decir, una Cuenca Sedimentaria (fase de vejez).

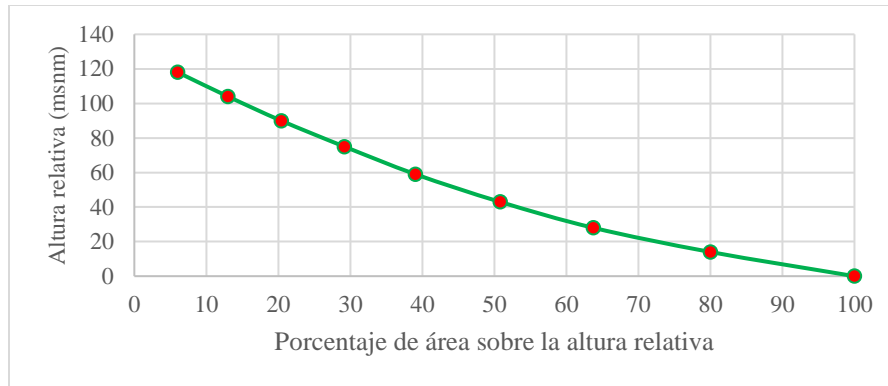


Figura 4.4. Curva hipsométrica obtenida para la cuenca del río Chimalapa.

4.2.2. AFOROS Y ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.

Primeramente hay que mencionar que solo se realizaron aforos durante la época seca (marzo de 2023), debido a las condiciones particulares de acceso que presentan algunos de los sitios donde se realizaron los aforos; durante esta época el problema que se presenta es que algunas de las represas que posee el río están cerradas, porque el río es utilizado para el riego de cultivos y de caña de azúcar, por ello algunos puntos donde se planteaba realizar aforo fueron trasladados hacia otros lugares relativamente cercanos, por ejemplo en las cercanías de la zona de la desembocadura existen dos represas muy cercanas entre sí, por tanto, no se logró realizar el aforo del río en esa zona porque el caudal era muy bajo para realizar la medida con el equipo utilizado durante la campaña. También, es muy recomendable tener mucha precaución al intentar realizar los aforos durante el mes más intenso de la época lluviosa (septiembre), porque el río sube su nivel y puede casi cubrir a la persona que realiza las medidas en ciertas zonas (por ejemplo en las cercanías de la desembocadura).

Los resultados obtenidos de los aforos para cada uno de los sitios seleccionados a lo largo del cauce principal del río Chimalapa (ver Figura 3.8 y Tabla 3.5) se muestran en la Tabla 4.7, Figura 4.5 y el Anexo 2. Observándose que el caudal de descarga del río, en el punto más cercano a la desembocadura (Aforo 1), es de aproximadamente $0.082 \text{ m}^3/\text{s}$ (82 L/s).

Tabla 4.7. Resultados de los aforos realizados en el cauce del río Chimalapa, marzo de 2023.

No.	Localidad	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)	Cuenca
1	Coop. Barra Ciega	0.082	82	Baja
2	El Obraje	0.193	193	Baja
3	Caserío El Jocotillo	0.072	72	Media
4	Caserío El Tigre	0.119	119	Media
5	Cantón Miravalle	0.058	58	Media
6	Hacienda La Campana	0.117	117	Alta
7	Caserío El Sigüanango	0.015	15	Alta

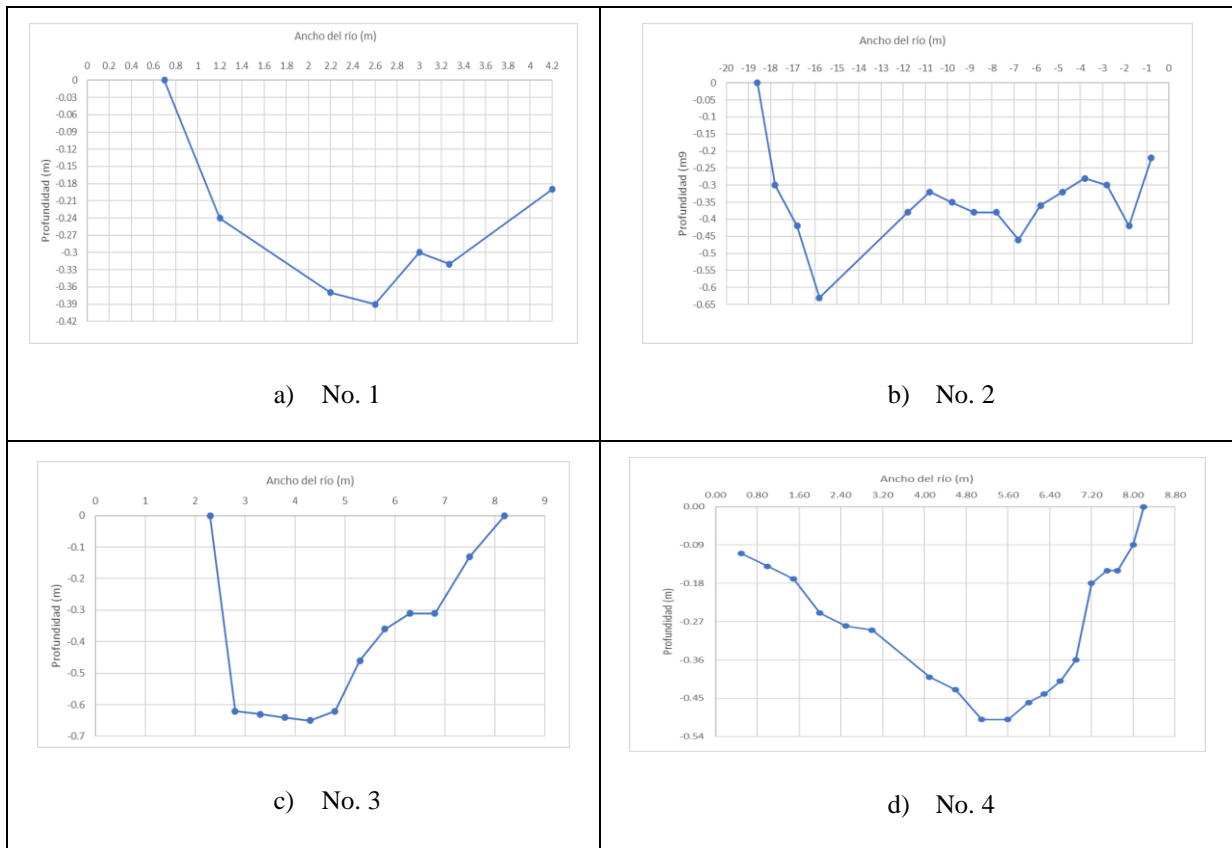


Figura 4.5. Secciones transversales modeladas para aforos hechos en cauce de río Chimalapa.

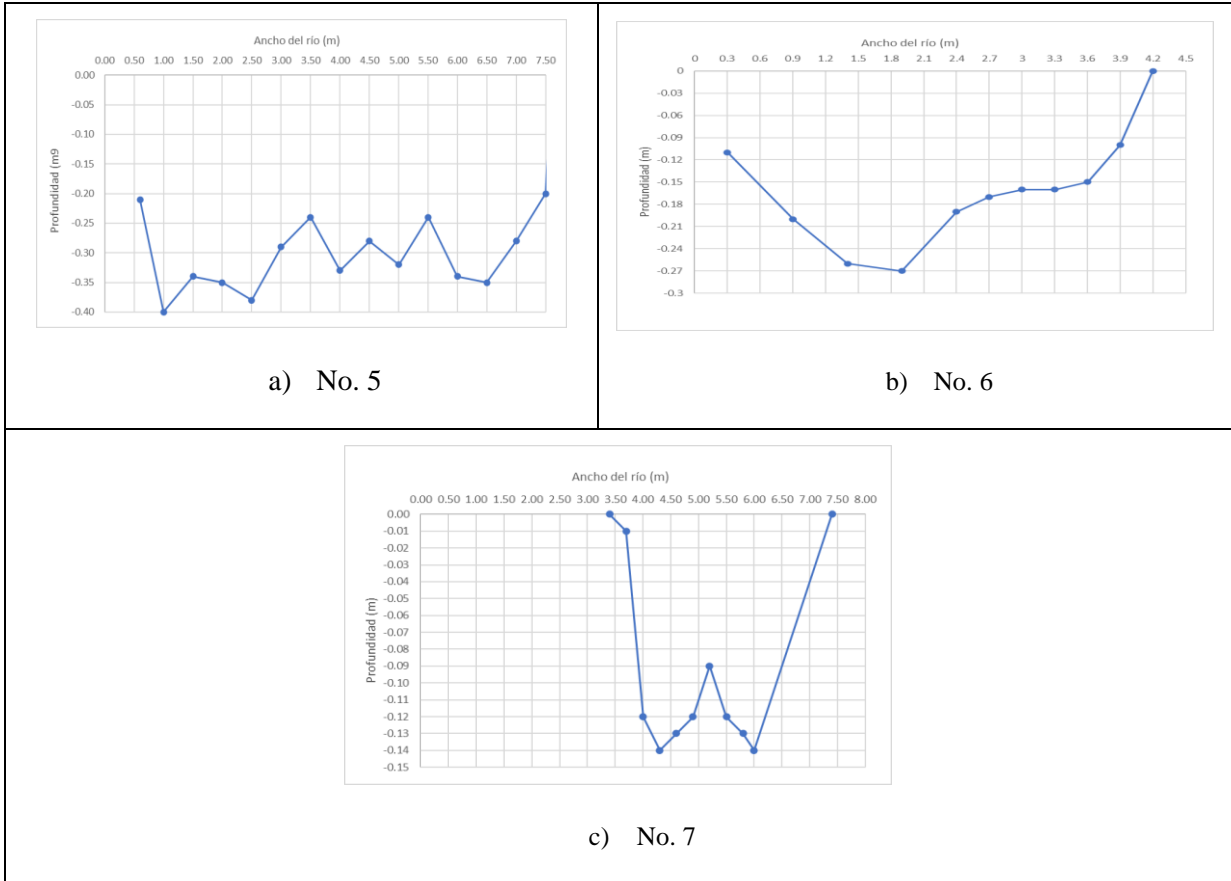


Figura 4.5. (Cont.) Secciones transversales modeladas para aforos hechos en el cauce de río Chimalapa

Es de mencionar que el aforo 1 (es el punto más cercano a la desembocadura del río Chimalapa según Figura 4.6), está ubicado entre dos represas que posee el río en la parte baja de la cuenca y utilizadas por la Cooperativa Barra Ciega para el riego de cultivos y caña de azúcar; lo cual puede influir en la medida de caudal obtenida ($0.082 \text{ m}^3/\text{s}$), el cual se incrementó a $0.193 \text{ m}^3/\text{s}$ en el aforo 2, siempre en la parte baja de la cuenca pero aproximadamente a 1763 m aguas arriba del río. Esto es esperable, ya que, en esta zona no hay represas que afecten el caudal del río y hasta este punto, el río ha recibido los aportes de otras quebradas (Qdas. La Mica, la Jutera entre otras) y acequias provenientes de la parte alta y media de la cuenca.

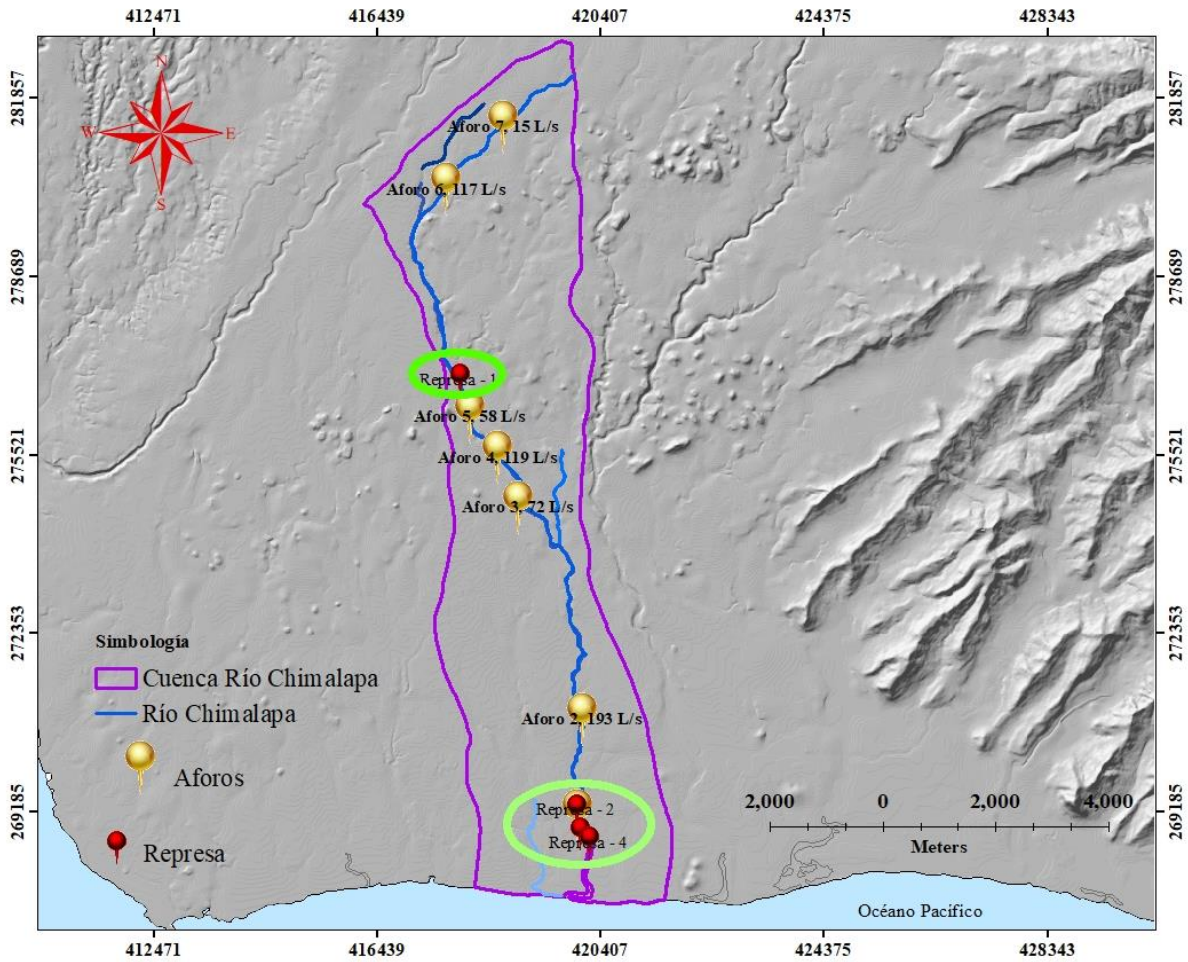


Figura 4.6. Distribución de aforos y represas a lo largo del río Chimalapa.

El aforo 3 fue realizado en el Cantón El Jocotillo, parte media de la cuenca, donde se midió un caudal de $0.072 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor representa una disminución del caudal de $0.121 \text{ m}^3/\text{s}$ con respecto al sitio anterior; en esta zona no hay ninguna represa localizada que puede estar afectando directamente, esto indicaría que probablemente en esta zona el río posee un comportamiento influente; en cambio, el aforo en el sitio 4 (Caserío El Tigre) indica que el caudal del río es de $0.119 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual representa un aumento de $0.047 \text{ m}^3/\text{s}$ con respecto al valor obtenido en el punto anterior, este resultado puede estar indicando que el río en este lugar se comporta como efluente. En cambio en el quinto punto de medición (Cantón Miravalle) siempre en la parte media del río, el valor del caudal calculado ($0.058 \text{ m}^3/\text{s}$) posee una disminución de $0.061 \text{ m}^3/\text{s}$ en comparación con el resultado obtenido en el anterior punto, aunque en este caso el valor obtenido para el caudal puede estar influenciado, por una represa localizada a unos 350 m del lugar donde se realizó la medida. Durante la gira de reconocimiento del área se observó que

esta represa disminuye considerablemente el flujo de agua del río hacia la zona del Cantón Miravalle, porque la mayor parte de ella es desviada por dos acequias para zonas de cultivos. Por tanto, no es posible deducir que el río es influente o efluente en esta zona.

El punto 6 localizado en la Hacienda La Campana, ya en la parte alta de la cuenca del río y a 4227 m aproximadamente del punto anterior, el caudal obtenido es de 0.117 m³/s por lo cual se observa un incremento de 0.059 m³/s con respecto al valor obtenido anteriormente y por las características geomorfológica e hidrogeológicas observadas en el lugar de medición, se puede inferir que el río se comporta como efluente en esta zona; finalmente, el punto localizado en el Caserío El Sigüanango (siempre en la parte alta de la cuenca) es el sitio más cercano al nacimiento del río Chimalapa, el caudal obtenido fue de 0.015 m³/s observándose una disminución de 0.102 m³/s en comparación con el obtenido en la Hacienda La Campana, un valor probablemente esperado debido a que en esta zona no hay otros ríos o quebradas que contribuyan al aumento del caudal.

Determinado el caudal del río cercano a su desembocadura (0.082 m³/s) y presumiendo que el comportamiento del río en su mayor parte es efluente, se procedió a calcular la escorrentía superficial dentro de la cuenca por medio de la metodología de relación Precipitación – Escorrentía (ver Sección 2.2.3). De acuerdo con la Figura 2.14, la cuenca del río Chimalapa está localizada dentro de la Zona 1 y los factores de relación Precipitación – Escorrentía para determinar el caudal medio del área en estudio, están ubicados en la primera fila de la Tabla 2.6. Dichos factores multiplicados con la precipitación media mensual y/o anual (en mm), teniendo en cuenta el área de la cuenca analizada (42.80 km²) y realizando las conversiones necesarias, proporcionaron los valores de caudal (m³/s) mensual y anual (ver Tabla 4.8); para la realización de los cálculos de estos se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Para } Q \text{ medios mensuales} = \left[\frac{(P \times FRPEs.)}{1000} \right] \times \text{Área}(m^2) / (\text{No. de días del mes} \times 86,400) \quad \text{Ec. 8}$$

$$\text{Para } Q \text{ medios anuales} = \left[\frac{(P \times FRPEs.)}{1000} \right] \times \text{Área}(m^2) / (365 \times 86,400) \quad \text{Ec. 9}$$

Tabla 4.8. Caudal mensual y anual para río Chimalapa aplicando relación precipitación – escorrentía.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic	Anual (mm)
P(mm)	1.48	1.35	14.78	58.01	150.99	296.88	265.83	297.88	360.75	192.65	57.94	6.21	1704.75
Factor de Relación Precipitación -Escorrentía.	3.91	5.86	1.11	0.41	0.15	0.19	0.23	0.24	0.31	0.49	0.69	2.06	0.30
P*FRPEsc. (mm)	5.79	7.91	16.41	23.78	22.65	56.41	61.14	71.49	111.83	94.4	39.98	12.79	511.43
Q (m³/s)	0.093	0.140	0.262	0.393	0.362	0.931	0.977	1.142	1.846	1.508	0.660	0.204	0.694
Área de cuenca (m²)	42798007.12												

De acuerdo con la Tabla 4.8, el caudal promedio anual del río Chimalapa es estimado en 0.694 m³/s (694 L/s), con un mínimo de 0.0925 m³/s (92.5 L/s) en el mes de enero y un máximo de 1.846 m³/s (1,846 L/s) en el mes de septiembre.

A partir de los resultados obtenidos sobre la distribución de caudales, se procedió a determinar un hidrograma del río Chimalapa, por medio del cual se identificó el flujo base del río utilizando una de las técnicas propuestas por Sánchez (2022) (ver Sección 2.2.3), específicamente, prolongando la curva de agotamiento previa a la crecida hasta la vertical del pico del hidrograma y luego continuando la curva de modo ascendente hasta el punto de inicio de la curva de agotamiento. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.9 y Figura 4.7.

Tabla 4.9. Caudales medios y caudales base mensuales, estimados para el río Chimalapa.

Mes	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic
Caudal medio (m³/s)	0.093	0.140	0.262	0.393	0.362	0.931	0.977	1.142	1.846	1.508	0.660	0.204
Caudal Base (m³/s)	0.093	0.135	0.170	0.175	0.175	0.180	0.185	0.190	0.195	0.200	0.660	0.200

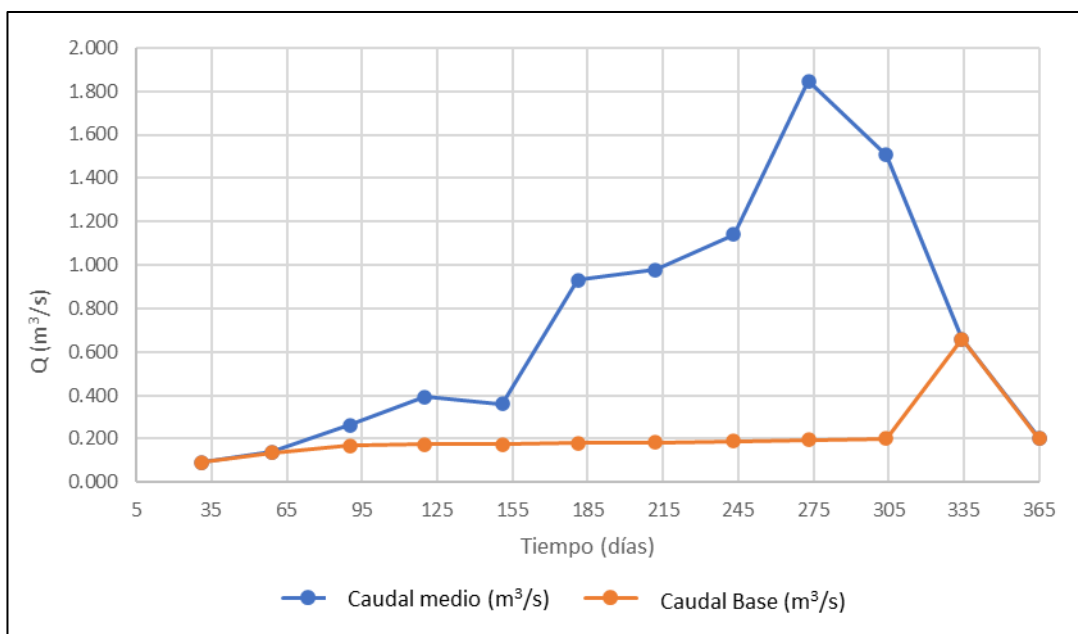


Figura 4.7 Hidrograma del río Chimalapa

Con base a los resultados mostrados en la Tabla 4.9 y Figura 4.7, se calculó que el caudal medio total del río Chimalapa es de $0.694 \text{ m}^3/\text{s}$ que es igual a $21,885,984 \text{ m}^3/\text{año}$, de los cuales $0.213 \text{ m}^3/\text{s}$ que equivalen a $6,722,424 \text{ m}^3/\text{año}$ corresponden al caudal base promedio, esto equivale al 30.72% del caudal medio total.

Finalmente, realizando una comparación de los caudales obtenidos por medio de los aforos realizados en el mes de marzo, el caudal medio determinado para ese mes por medio del método de relación Precipitación – Escorrentía y el caudal base para el mes de marzo calculado a través del hidrograma unitario para el río Chimalapa, se observa que el valor de Q más alto alcanzado por medio de los aforos es igual a 193 L/s , el cual es inferior al valor del Q_{medio} que es 262 L/s y superior al Q_{base} que es 170 L/s , por tanto, los resultados determinados por medio de los aforos son coherentes, a pesar de que el intervalo de tiempo utilizado en el registro de precipitaciones para el método de relación Precipitación – Escorrentía es de 1955 – 2002 y cuyos resultados son la base para obtener los Q_{base} por medio del hidrograma unitario.

4.3. HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA.

4.3.1. FUENTES DE AGUA IDENTIFICADAS.

De acuerdo con la información disponible y a las mediciones verificada in-situ, se han identificado las siguientes fuentes de agua dentro de la cuenca del río Chimalapa (ver Tabla 4.10 Figura 3.11)

Tabla 4.10. Inventario de Pozos excavados y perforados dentro de la cuenca del río Chimalapa.

No.	Código	Coordenadas Lambert		Elevación (msnm)	Profundidad (m)	NE (msnm)	Propietario
		X	Y				
1	Pex1	419902.31	268939.91	13	4.25	9.3	Privado
2	Pex2	419973.41	268889.29	12	3	9.45	Privado
3	Pex3	420050.08	268302.08	12	2.18	10.43	Privado
4	Pex4	420196.44	268962.36	9	3.31	6.1	Privado
5	PPerf1	417109.26	269202.49	24	14	10	Privado
6	PPerf2	417115.24	269190.18	23	6	17	Privado
7	Pex5	418557.21	269748.01	13	4.58	9.5	Privado
8	Pex6	418229.16	271558.82	38	2.88	35.67	Privado
9	Pex7	418412.54	271555.47	29	1.75	27.73	Privado
10	Pex8	417619.93	268100.69	13	3.23	10.17	Privado
11	PPerf 3	417866.35	268056.88	14	5	9	Privado
12	PPerf 4	418461.12	267867.55	6	4	2	Privado
13	PPerf5	419026.55	267911.88	17	5	12	Privado
14	Pex9	418535.2	271361.48	38	3.26	35.36	Privado
15	Pex 10	418349.42	272517.57	41	1.53	39.94	Privado
16	Pex 11	418398.36	272787.85	41	2	39.61	Privado
17	Pex 12	418377.85	272956.94	49	1.97	47.52	Privado
18	PPerf 6	417776.81	273026.44	58	35	23	Privado
19	Pex 13	417731.7	273020.43	54	2.14	52.34	Privado
20	Pex 14	418227.76	273028.09	48	1.22	47.28	Privado
21	Pex 15	418666.86	274047	61	2.16	59.36	Privado
22	Pex 16	419342.99	273964.99	49	1.05	48.47	Privado
23	Pex 17	419187.42	274208.25	48	2.7	45.93	Privado
24	Pex 18	419238.66	274251.12	50	1.86	48.61	Privado
25	PPerf 7	419112.62	274322.19	55	30	25	Privado
26	Pex 19	418914.94	274553.29	59	1.74	57.91	Privado
27	PPerf 8	418218.14	273793.33	60	7	53	Privado
28	Pex 20	418335.54	273845.21	52	3.4	49.04	Privado
29	Pex 21	418371.61	273842.02	45	3.87	41.6	Privado
30	Pex 22	418044.79	274113.48	49	6	43.46	Privado
31	Pex 23	418055.35	274602.08	61	3.18	58.61	Privado
32	Pex 24	417743.23	275718.62	62	2.93	59.57	Privado

Tabla 4.10. (Continuación) Inventario de Pozos excavados y perforados dentro de la cuenca del río Chimalapa.

33	Pex 25	417633.31	276127.69	53	5	48.63	Privado
34	Pex 26	418012.2	276172.59	65	6	59.4	Privado
35	Pex 27	417994.11	276157.28	66	7.11	59.44	Privado
36	PPerf 9	417810.73	276151.72	77	17	60	Privado
37	Pex 28	417742.43	276416.22	79	7	72	Privado
38	Pex 29	417769.2	276327.02	86	7.65	78.91	Privado
39	RCH2	417667.36	280239.45	103	17	86	Privado
40	Pex 30	416951.2	280911.68	125	12	114.12	Privado
41	Pex 31	417659.82	276905.11	85	4.5	81.24	Privado
42	Pex 32	417558.34	277132.85	91	3.6	87.83	Privado
43	Pp 1	419207.8	278833.27	98	17	81	Privado
44	Pp 2	419868.84	278769.76	104	2.00	102	Privado
45	Pp 3	419897	278155.05	101	2.00	99	Privado
46	Pp 4	419896.91	278124.31	101	2.00	99	Privado
47	Pp 5	419927.81	278400.8	101	2.20	98.8	Privado
48	Pp 6	420019.02	278738.57	107	0.90	106.1	Privado
49	Pp 7	420109.47	278830.48	108	1.00	107	Privado
50	Pp 8	420140.19	279045.51	109	1.70	107.3	Privado
51	Pp 9	420322.22	279598.12	113	1.00	112	Privado

4.3.2. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO.

De acuerdo con los informes técnicos de ANDA, las características física y las propiedades de los estratos acuíferos de la cuenca, influyen directamente en los coeficientes hidráulicos de almacenamiento y transmisividad, estos dependen al mismo tiempo de la magnitud de la recarga o reposición de los acuíferos; estas condiciones inciden en el aprovechamiento del agua subterránea y la capacidad de explotación de ellos por medio de pozos perforados. Por ello, por medio de informes técnicos se puede inferir que, en la parte alta de la cuenca del río Chimalapa, la transmisividad (capacidad del acuífero de transmitir agua en diferentes direcciones) del acuífero oscila entre 10.3 a 10.7 m²/día; al analizar los perfiles litológicos de algunos pozos localizados en esta zona, se observa que las formaciones acuíferas interceptadas se componen de arcilla mezclada con cenizas volcánica, arenas parcialmente cementadas, calizas con incrustaciones de ceniza, areniscas con estratos delgados de limo, conglomerados mezclados con roca basáltica, margocalizas con incrustaciones de pómez, margas con contenido de calcita y

arcillas, tobas color café y piroclastos andesíticos finos a medios con incrustaciones de material permeable.

En cambio el coeficiente de almacenamiento (indicador del volumen de agua absorbido o desalojado por unidad de área del acuífero) de acuerdo con Sánchez (2022) este puede variar desde 1×10^{-1} (acuíferos libres) hasta 1×10^{-5} (acuíferos confinados); según informes técnicos de ANDA, para la parte alta de la cuenca del río Chimalapa se puede inferir que el coeficiente de almacenamiento es aproximadamente 0.005467 (Centeno Lemus, J. E. y Contreras Monterroza, A.E.; 1989), lo que nos podría indicar que el tipo de acuífero a explotar es un acuífero libre o semiconfinado.

Además, considerando que la mayoría de los pozos dentro de la cuenca del río Chimalapa son excavados estos están captando el acuífero superficial de la cuenca, por tanto, la mayoría de los datos de niveles registrados in – situ muestran pequeñas variaciones en los niveles freáticos a lo largo de la formación acuífera identificada y los pocos pozos perforados localizados en la zona captan probablemente un segundo acuífero más profundo dentro de la cuenca.

En la parte alta de la cuenca, se lograron medir poca cantidad de pozos (no todas las personas proporcionaban permisos para realizar la medición o no se encontraban en sus hogares el día en el cual se realizó la gira de campo en esta zona), además, existe la mayor dispersión espacial de pozos perforados; por tanto, a partir de los niveles medidos y de informes técnicos sobre estudios realizados en este sector, se determinó que el nivel del acuífero superficial para esta parte de la cuenca del río Chimalapa oscila entre 0.90 y 5.60 m de profundidad. Para la parte media de la cuenca, correspondiente principalmente a los Caseríos El Progreso, Miravalle, El Tigre, El Jocotillo, y la Aguja todos pertenecientes al Cantón Miravalle, los niveles del acuífero en explotación a nivel superficial se encuentran a profundidades que van desde 0.53 y los 5.54 m. En cambio en la parte baja de la cuenca es donde se logró medir la menor cantidad de pozos y también existe mayor dispersión espacial de pozos; por tanto, a partir de los niveles medidos se identificó que los niveles del acuífero en esta área de la cuenca se encuentran entre 1.27 y 5.00 m de profundidad. Es de aclarar que ninguno de los pozos excavados cuenta con registros temporales para conocer su variación estacional de niveles.

Ahora considerando los pocos pozos perforados que se identificaron dentro de la cuenca del río Chimalapa tanto en su parte alta, media y baja, estos probablemente están captando las

aguas de un segundo acuífero (profundo) dentro de la cuenca, donde los datos de niveles freáticos muestran una variación entre 6.00 y 35.00 m de profundidad a lo largo de la probable formación acuífera. Al igual que en el caso de los pozos excavados, estos no cuentan con registros temporales para conocer su variación estacional de niveles.

Para el caso del acuífero superficial, considerando la información disponible, se observa una tendencia de flujo radial desde la parte alta de la cuenca del río Chimalapa hasta la parte baja; dentro de ese patrón destaca que el flujo subterráneo probablemente es en dirección Norte - Sursureste siguiendo parcialmente el rumbo del río Chimalapa (Figura 4.8). No obstante, para tener una mayor certeza acerca del comportamiento del acuífero superficial, es necesario contar con un monitoreo temporal, a fin de conocer la influencia de las variaciones estacionales sobre el mismo

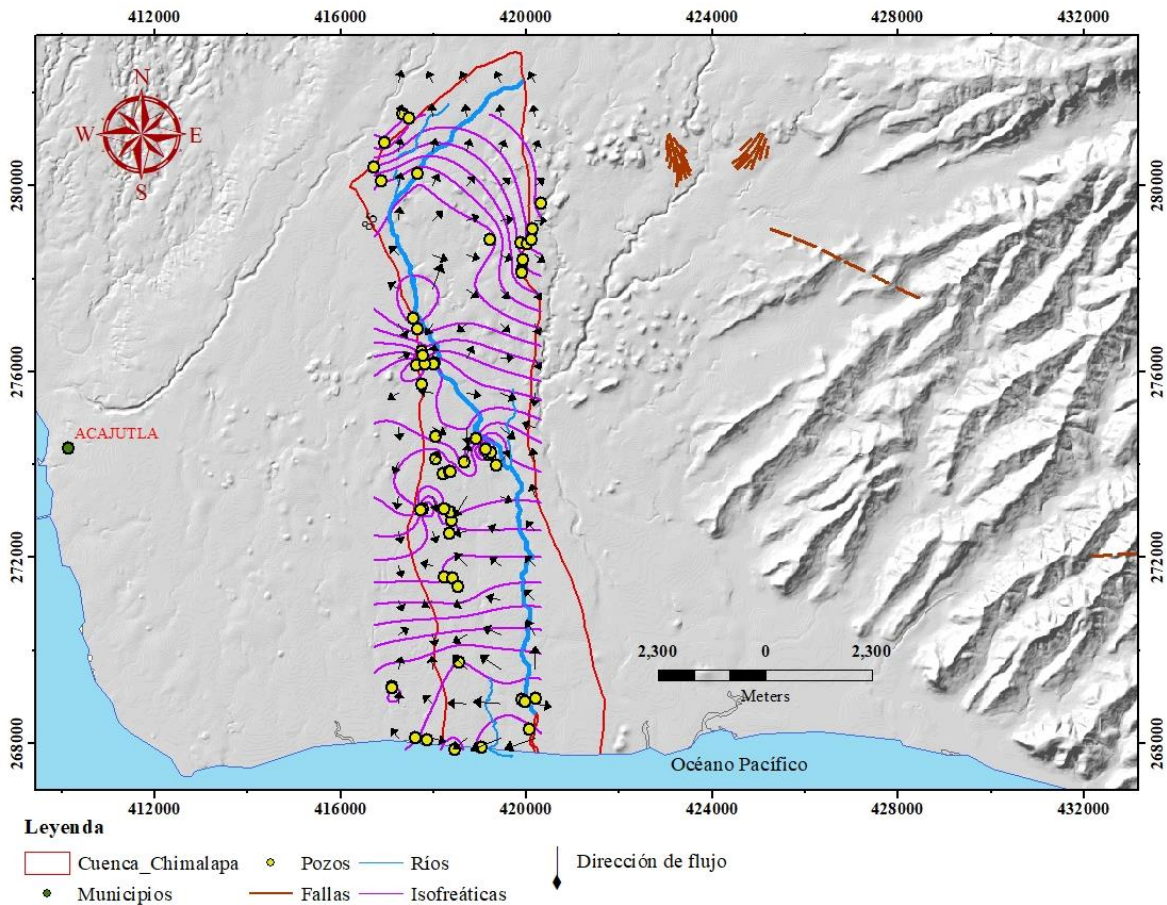


Figura 4.8. Isofreáticas y dirección de flujo en cuenca del río Chimalapa.

A partir del mapa de Isofreáticas y dirección de flujo (Figura 4.8), del mapa de distribución de aforos y represas (Figura 4.6) y de los resultados de los aforos realizados en la cuenca del río Chimalapa (Tabla 4.7), se pueden inferir las zonas influentes y efluentes en la zona de estudio. En la parte alta de la cuenca cercana al nacimiento del río Chimalapa esta probablemente posee un comportamiento efluente. Aunque el caudal determinado es pequeño en la zona del Caserío El Sigüanango ($0.015 \text{ m}^3/\text{s}$), el río comienza a fluir desde esta área y continúa su curso hacia abajo; sin embargo, el aforo realizado en Hacienda La Campana muestra un incremento del caudal a $0.117 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual sugiere que el río puede estar recibiendo agua del o los acuíferos y otras fuentes subterráneas. Pero esta parte alta de la cuenca, puede ser considerada como influente debido a que las aguas subterráneas del acuífero superficial (poseen un flujo radial hacia el sur) alimentan el río, convirtiéndose en la fuente primaria de agua para la cuenca.

En la parte media de la cuenca, las líneas isofreáticas y dirección de flujo, la localización de los aforos y el resultado de ellos, están sugiriendo que esta área probablemente posea un comportamiento mixto entre zonas influentes y efluentes; ya que en la zona del Caserío El Jocotillo, el río podría estar recibiendo menos agua de las fuentes cercanas y podría estar influyendo en el caudal hacia abajo. Pero en el Caserío El Tigre ($Q = 0.119 \text{ m}^3/\text{s}$), los resultados estarían indicando que el río en esta zona podría estar actuando como efluente. El aumento del caudal en esta área, sugiere que el río está recibiendo aportes de afluentes (acequias o quebradas cercanas a él) y del acuífero subterráneo; en cambio, en la zona del Caserío Miravalle los resultados obtenidos muestran una disminución en el caudal ($Q = 0.058 \text{ m}^3/\text{s}$), que posiblemente se deba a la presencia de una represa que está cercana al caserío que desvía el río por medio de acequias hacia zonas de cultivos, afectando probablemente el flujo del agua subterránea hacia la zona. Por tanto, no se puede deducir un comportamiento claro de si el río es influente o efluente en esta zona.

Finalmente en la zona baja del río, al correlacionar los datos del caudal determinado por los aforos (muestran un aumento desde $0.082 \text{ m}^3/\text{s}$ [Coop. Barra Ciega] hasta $0.193 \text{ m}^3/\text{s}$ [El Obraje]), con las líneas isofreáticas y de flujo de agua subterránea del área, se puede inferir que la parte baja de la cuenca del río Chimalapa podría actuar como una zona efluente, debido a que el río ya ha recibido los aportes de los acuíferos y de todos los afluentes (Qdas. El Sigüanango, La Mica, La Jutera y Los Domínguez) y acequias provenientes de las áreas superiores de la cuenca, y su flujo se dirige hacia la desembocadura.

4.4. BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA.

4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA RAS-FORGAES.

Una primera aproximación sobre la distribución de la infiltración vertical dentro de la cuenca del río Chimalapa se inició, determinando inicialmente el Mapa de uso del Suelo / Cobertura del área en estudio (Figura 2.21), el cual fue obtenido a partir de la Figura 2.20 por medio de un software SIG; luego a cada polígono del mapa (utilizando el software SIG) manualmente se asignó los valores de Coeficiente de uso de suelo (Kv), Coeficiente de pendiente (Kp), Coeficiente de textura de suelo (Kfc), Coeficiente de infiltración (CI), Balance Climático (BC) y Recarga acuífera (R) (Tabla 4.11). Obteniéndose como resultado el **Mapa de Recarga Acuífera**, para luego estimar un volumen de infiltración para la cuenca (ver Figura 4.9) (ver Anexo 3).

Tabla 4.11. Resultados de R obtenidos por medio del Método RAS – FORGAES.

Área	Uso de suelo	Pedología	Kv	Kp	Kfc	CI	BC	R (mm/año)
1020691.74	Caña de Azúcar	Aluviales	0.1	0.1	0.20	0.4	750	300
5172471.65	Caña de Azúcar	Aluviales/Grumosoles/Regosoles y Holomórficos	0.12	0.15	0.15	0.42	750	315
33739085.89	Pastos y granos básicos	Aluviales/Grumosoles/Latosoles arcillo rojizo	0.15	0.15	0.15	0.45	750	337.5
1848026.59	Caña de Azúcar	Aluviales/Latosoles arcillo rojizo	0.1	0.15	0.15	0.4	750	300
346167.88	Centro turístico	Grumosoles	0.18	0.09	0.1	0.29	750	217.5
172561.36	Caña de Azúcar	Latosoles arcillo rojizo	0.15	0.15	0.13	0.43	750	322.5
200648.97	Centro turístico	Regosoles y Holomórficos	0.18	0.05	0.1	0.33	750	247.5
300269.37	Bosque natural (Mangle)	Regosoles y Holomórficos	0.18	0.07	0.15	0.4	750	300

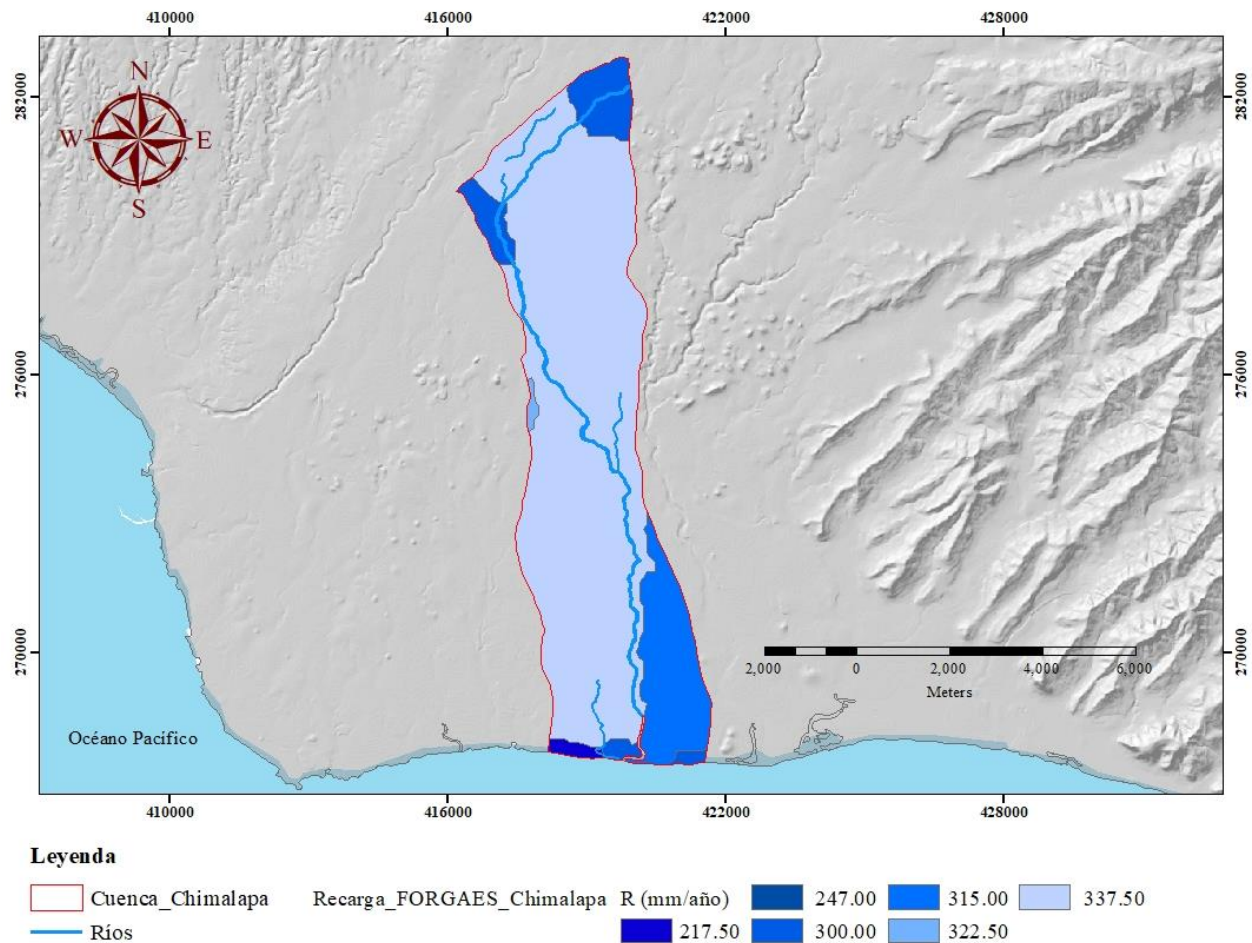


Figura 4.9. Recarga acuífera determinada por medio de metodología RAS, cuenca río Chimalapa.

Los resultados obtenidos a partir de esta metodología indican que dentro de la cuenca del río Chimalapa, probablemente se tiene un valor de recarga vertical promedio de 311.36 mm/año, con un volumen total de recarga, en toda el área de esta, de 13.7 Millones de m³/año, que son equivalentes a 434.42 L/s aproximadamente.

Al comparar el valor de recarga promedio de 311.36 mm/año obtenido por medio del método RAS – FORGAES para la cuenca del río Chimalapa, con el valor medio de recarga de 276 mm/año obtenido por medio del balance hídrico realizado a través de la metodología de Schosinsky, para la cuenca del río Las Marías en el año 2015 (Monge, Vargas, & Arévalo, 2016), se observa que los resultados de la recarga acuífera determinados son consistentes entre las dos metodologías en el mismo orden de magnitud; por consiguiente, puede inferirse que la recarga multianual entre la cuenca del río Las Marías y el río Chimalapa podría oscilar entre 276 y 311.36 mm/año aproximadamente.

4.4.2. BALANCE HÍDRICO EDÁFICO DE THORNTHWAITE-MATHER.

Como se explicó en la sección 2.6.1, una mejor estimación de la recarga hídrica potencial la proporciona el Método del Balance Hídrico Edáfico de Thornthwaite-Mather; para realizar dicho balance en la cuenca del río Chimalapa, se requirió de la estimación y/o cálculo de diversos parámetros climáticos, de las condiciones del uso de suelo, textura de terreno y profundidad de raíces (cultivos, pastos, caña de azúcar, árboles, etc.), entre otros.

De acuerdo con los datos de precipitación promedio entre los años de 1955 – 2002, los meses de enero y febrero se convierten en los meses más secos, con precipitaciones mensuales promedio por debajo de los 1.50 mm en el área; en cambio, grandes eventos de lluvia tienden a ocurrir a partir del mes de junio hasta finales de octubre, periodo en el cual las precipitaciones promedio pueden alcanzar los 360.29 mm en un mes. Estas condiciones de lluvia reflejan las típicas estaciones seca y lluviosa en El Salvador.

Los datos de temperatura promedio siempre para el periodo de 1955 – 2002, también reflejan las condiciones de estación seca y lluviosa de El Salvador. La temperatura promedio en la cuenca del río Chimalapa varía entre 23.4 °C y 28.7 °C durante el año, siendo el mes de enero donde se dan las temperaturas más baja en la zona y en abril las temperatura más alta. Sin embargo, hay una diferencia de temperatura de aproximadamente 3.0 °C entre la parte alta, media y baja respectivamente. La temperatura promedio anual de ellas es aproximadamente 24.2°C, 27.2°C y 30.1 respectivamente. La diferencia de temperatura sugerida se debe a las diferencias de elevación de las tres regiones fluviales: 90 -143 metros sobre el nivel del mar (msnm) para las regiones río arriba, 43 - 90 msnm para las regiones intermedias y 0 - 43 msnm para las regiones río abajo.

En algunas áreas tropicales del mundo donde existen distintas estaciones secas, la precipitación anual suele ser inferior a la evapotranspiración potencial anual (C. Santhi de Silva, 2007). Sin embargo, la cuenca del río Chimalapa solo tiene una estación seca y una lluviosa y posee una precipitación media anual de 1706.56 mm, unos 633.51 mm menos que su evapotranspiración potencial anual media que es de 1073.05 mm. Por otro lado, la evapotranspiración real anual promedio en toda la cuenca es de 931.20 mm, es decir 141.85 mm menor que la evapotranspiración potencial anual promedio. (Figura 4.10)

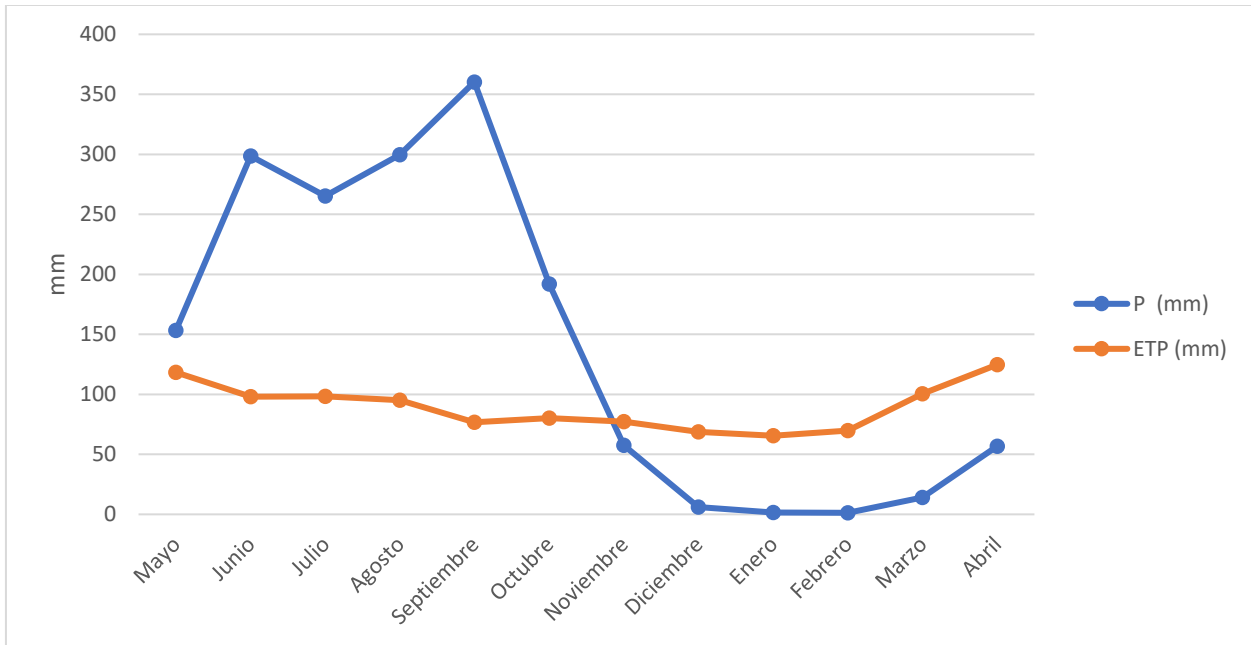


Figura 4.10 Precipitación (P) y Evapotranspiración mensual corregida ETP, cuenca río Chimalapa.

La diferencia de la condición hidrológica en la cuenca del río Chimalapa se puede observar por medio del valor calculado de pérdida potencial de agua acumulada (APWL). El valor de APWL obtenido es de 368.88 mm (abril), respectivamente. Este valor indica que el potencial del área para perder agua es mucho mayor en la estación seca; esto significa que los cantones y caseríos localizados dentro de la zona de estudio (parte alta, media y baja de la cuenca), necesitan cuidar y administrar de una mejor manera sus recursos hídricos para no padecer escases durante los meses más cálidos en la región. Además, el valor determinado de APWL advierte que la cuenca hidrográfica del río Chimalapa estaría perdiendo potencialmente alrededor de $15\,1787,328.87 \text{ m}^3$ de agua cada año.

En cambio, el valor promedio estimado para la capacidad de agua disponible (AWC) es de 346.60 mm, este se consideró igual para todos los meses del año. El análisis de este parámetro permite inferir que la capacidad de retención de agua del suelo es mayor en la parte baja de la cuenca. Este resultado es posible relacionarlo con el hecho de que hay un pequeño bosque salado (manglar) en esta parte del área de investigación, hecho que no se encuentra en las regiones media y alta del río. También se determinó que la cuenca del río Chimalapa posee un valor de almacenamiento de humedad del suelo (ST) alto en promedio durante el año, aunque es entre los meses de febrero y abril donde el potencial de pérdida de agua se encuentra en su punto más bajo.

La utilización de agua por parte de las plantas es representada por ΔST . El cambio más alto en el almacenamiento de humedad del suelo se produce en el mes de diciembre, alcanzando un valor de 54.1 mm para la cuenca.

Para el balance hídrico realizado por el método de Thornthwaite-Mather (Tabla 4.12), el exceso de agua es asumido como el agua que probablemente se convierte en escorrentía. Para esta investigación realizada en la cuenca del río Chimalapa, los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre fueron determinados como los meses con mayor excedente de agua, siendo septiembre el mes que presenta el mayor superávit con aproximadamente 283.5 mm. Además, el análisis del balance hídrico muestra que los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo son los que destacan como los meses de déficit de agua en la cuenca, marzo es el mes que destaca en el área de estudio con el mayor valor de déficit de humedad del suelo con aproximadamente 45.15 mm o $1,932,330.02 \text{ m}^3$, lo cual indicaría que es el mes más seco del año. Como abril – mayo es el final de los meses secos, la recarga hídrica del suelo inicia en mayo – junio (Figura 4.12).

Tabla 4.12. Balance hídrico mensual por medio del método de Thornthwaite - Mather.

Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05
P-ETP (mm)	-64.08	-68.39	-86.24	-67.87	35.07	200.70	166.97	204.52	283.47	111.66	-19.71	-62.59	
APWL (mm)	-146.38	-214.77	-301.01	-368.88							-19.71	-82.30	-368.88
AWC (mm)	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	
ST (mm)	227.2	186.52	145.43	119.57	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	346.60	327.44	273.34	
ΔST (mm)	-46.14	-40.68	-41.09	-25.86	227.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-19.16	-54.1	
AE (mm)	47.56	41.96	55.21	82.69	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	76.67	60.23	931.20
D (mm)	17.94	27.71	45.15	42.01	0	0	0	0	0	0	0.55	8.49	141.85
S (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.7	167.0	204.5	283.5	111.7	0.00	0.00	967
R (mm)	21.30	10.70	5.00	2.50	1.00	100.40	133.70	169.10	226.30	169.00	85.00	42.50	967
Q (m3/d)	29406.37	16355	6902.9	3566.5	1380.6	143231	184584	233456	322839.6	233318.2	121261	58674.7	1.35E+06

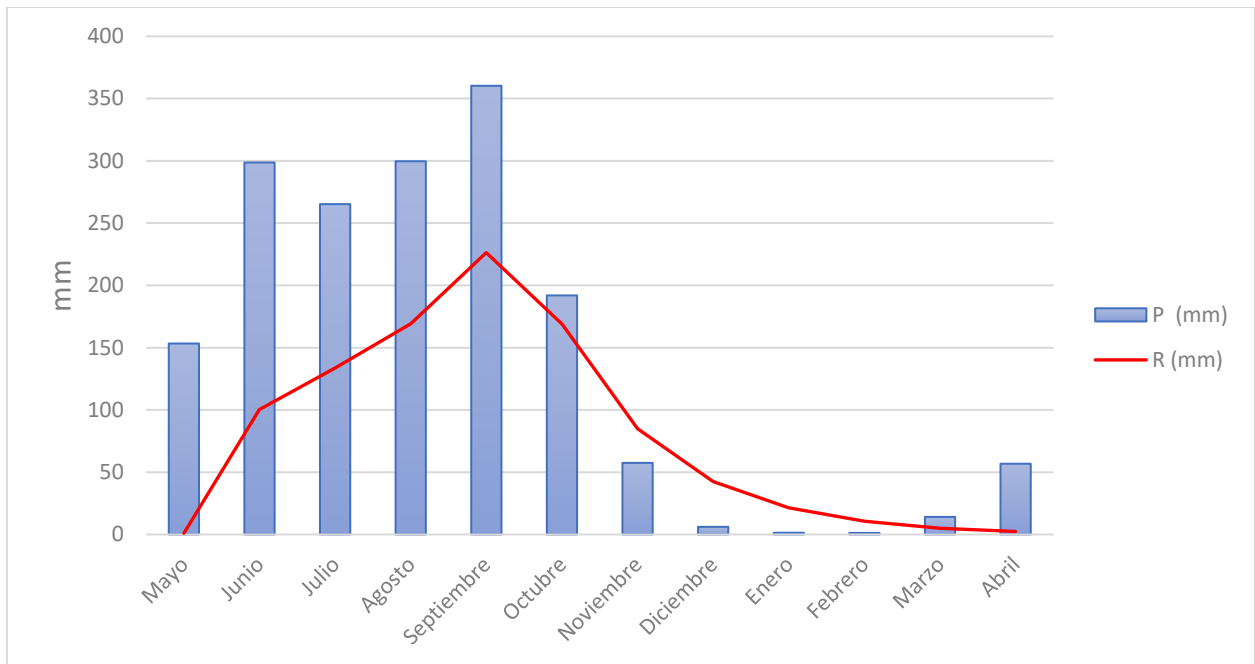


Figura 4.11 Curvas anuales de precipitación P(barras) y escorrentía R(línea roja).

Para el balance hídrico por el método de Thornthwaite-Mather el parámetro de escorrentía (R) no es una escorrentía en tiempo real, sino que es el exceso de agua que no solo se convierte en escorrentía directa sino también en escorrentía indirecta (flujo base). El análisis de los resultados indica que la escorrentía en el área es menor entre los meses de enero – mayo, el valor más bajo que se calculó es 1.00 mm que corresponde al mes de mayo; esto probablemente se debe a la menor capacidad de retención de agua y mayor evapotranspiración en la región de estudio. Esta menor capacidad de retención de agua puede sugerir que el coeficiente de escorrentía en la cuenca es afectado, por la diversidad de flora existente (cultivos, pastos, manglar, etc.) como también por las actividades agrícolas y ganaderas que existen en toda la región, provocando cambios en el almacenamiento de humedad del suelo.

Para el cálculo de la escorrentía superficial (E) e infiltración (IF) en la cuenca del río Chimalapa, se adoptó un convenio, frecuentemente utilizado en hidrogeología, en el cual se asigna el 75% a E y 25% a IF del excedente (S) que se produce una vez satisfecha la demanda de ETP y completada la AWC del suelo (Montaner Salas., Sánchez, & Serrano, 1988). Aplicando el criterio ya mencionado, se obtuvo que la escorrentía superficial es de 725.25 mm y la infiltración de 241.75 mm.

La descarga de agua (Q) se calculó multiplicando R por el área de la cuenca, lo que permitió estimar la disponibilidad de agua en la región tanto de manera mensual como total. El valor máximo de Q registrado para la cuenca del río Chimalapa es de 322,839.6 m³/día, que corresponde al mes de septiembre; mientras que el valor mínimo es de 1,380.6 m³/día, correspondiente a mayo. La descarga total de agua calculada es de 1,350,000 m³/día.

Finalmente, combinando las metodologías de Thornthwaite-Mather y RAS – FORGAES se obtiene los valores de escorrentía superficial y recarga de la zona de estudio; además, con base a los resultados obtenidos de la combinación de metodologías y considerando el área de la cuenca hidrográfica (42.8 km²), pueden determinarse los volúmenes anuales del ciclo hidrológico (Tabla 4.13):

Tabla 4.13. Valores de escorrentía superficial, recarga y volúmenes anuales del ciclo hidrológico.

Precipitación (P)	=	1,706.56 mm	73,037,367.03 m ³
Evapotranspiración Potencial (ETP)	=	1,073.75 mm	45,954,360.15 m ³
Evapotranspiración Real (AE)	=	931.20 mm	39,853,504.23 m ³
Escorrentía total (R)	=	967.00 mm	41,385,672.89 m ³
Escorrentía Superficial	=	655.64 mm	28,060,085.39 m ³
Infiltración	=	311.36 mm	13,325,587.50 m ³

Por tanto, a partir de los resultados obtenidos se estimó que a través de la cuenca del río Chimalapa, probablemente exista un caudal total de agua anual igual a 494.56 x 10⁶ m³/año, que es equivalente a 15,690 L/s; de los cuales aproximadamente 422.57 L/s estarían ingresando al acuífero.

4.4.3. BALANCE HÍDRICO DE SCHOSINSKY.

Para una mejor estimación de la recarga potencial hídrica de la zona de estudio, se empleó el método del Balance Hídrico de Schosinsky (BHS) el cual requiere de la estimación y/o cálculo de diversos parámetros climáticos como también de las condiciones del terreno (ver Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Parámetros necesarios para el cálculo del B.H.S (Schosinsky, 2006).

Nombre del parámetro	Simbología	Nombre del parámetro	Simbología
Conductividad Hidráulica	fc [mm/d]	Profundidad de raíces	PR (mm)
Factor por pendiente	Kp [0.01%]	Capacidad de Campo	CC [%]
Factor por vegetación	Kv [0.01%]	Punto de Marchitez	PM [%]
Factor por textura de suelo	Kfc [0.01%]	Precipitación media	P [mm/mes]
Densidad de Suelo	DS (g/cm ³)	Evapotranspiración potencial media	ETP [mm/mes]

Bajo estas consideraciones se elaboró un cálculo del BHS, utilizando los parámetros climáticos y geomorfológicos que se determinaron o calcularon específicamente para la cuenca del Río Chimalapa:

a) *Parámetros climáticos.*

En este apartado se utilizaron los resultados obtenidos del cálculo de la precipitación media y ETP mensual dentro de la cuenca del río Chimalapa (ver sección 4.1.1).

b) *Factor de pendiente (Kp).*

Por medio del mapa de pendientes de la cuenca del río Chimalapa (ver sección 4.2.1), fueron estimados los rangos de pendientes (%), asignando para cada rango un valor Kp de acuerdo con la clasificación establecida por Schosinsky (2006); esta categorización se realizó mediante las herramientas de procesamiento de un software SIG. Los resultados para este factor se presentan en la Tabla 4.15. Predominan las pendientes desde muy planas hasta algo planas, debido a la influencia en su gran mayoría por el relieve de la Cadena Costera.

Tabla 4.15. Factores de pendiente (K_p), para cuenca del río Chimalapa (Schosinsky, 2006).

Tipo de pendiente	Rangos de pendiente (%)	Valor de K_p	Área (Km^2)	% de área
Muy plana – Algo plana	0,02% - 2%	0,30 – 0.15	25.61	60.36
Promedio	2% - 7%	0.10	14.06	33.14
Fuerte	Mayor de 7%	0.06	2.76	6.50

c) *Factor de Vegetación (K_v) y Profundidad de Raíces (PR).*

Para determinar el factor K_v , se utilizó de referencia el mapa de uso/cobertura de suelo obtenido para la cuenca del río Chimalapa (ver sección 4.5.2), el cual está basado en el Mapa de Uso Suelo/Cobertura de Suelo de El Salvador 2016 (Brenes C, 2018); para cada una de las categoría de uso/cobertura identificadas, se le asignó un valor K_v según lo establecido por Schosinsky (2006) y Junker (2006). Los valores de PR se obtuvieron de Schosinsky (2006) y USDA-NRCS (2016). Los resultados para los factores mencionados son presentados en la Tabla 4.16. Los usos/coberturas de suelo predominantes en el área de estudio son Caña de azúcar y Pastos y cultivos.

Tabla 4.16. Factor K_v y PR , determinados para cuenca del río Chimalapa (Schosinsky 2006; Junker, 2006; USDA – NRCS, 2016).

No.	Uso / Cobertura de Suelo	Factor K_v	PR (m)	% Área de Cuenca
1	Caña de Azúcar	0.10	1.2 – 2.0	30.39
2	Pastos y cultivos	0.10	0.5 – 2.0	67.63
3	Suelos desnudos urbe	0.10	0.50	1.28
4	Mangle	0.20	2.0 – 3.0	0.70
				% Total de área = 100

d) *Textura, Conductividad Hidráulica (f_c), Factor de Textura de Suelo (K_{fc}), Densidad de Suelo (DS), Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez (PM).*

El factor K_{fc} fue calculado, utilizando los resultados de las pruebas de permeabilidad (conductividad hidráulica (f_c)) realizadas en los sitios representativos del área de estudio (ver

sección 3.2.1 y Anexo 4); determinándose un K_{fc} por cada ensayo de permeabilidad, por medio de la ecuación propuesta por Schosinsky (2006). En cambio, las texturas de suelo se identificaron visualmente “in situ” al momento de realizarse los ensayos de permeabilidad; los valores DS de las muestras fueron obtenidos en LEIQIA – FIA – UES, por medio del análisis de las muestras de suelo que se tomaron en cada uno de los sitios donde se realizaron pruebas de permeabilidad, los valores de CC y PM se tomaron de Schosinsky (2006) y Pérez (2021). Los resultados obtenidos para todos ellos se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17. Textura, fc, Factor K_{fc} y parámetros DS, CC y PM, para cuenca del río Chimalapa (Schosinsky, 2006*; Pérez, 2021**).

No.	Uso / Cobertura de Suelo	Textura	fc (mm/día)	Factor K _{fc}	DS (g/cm ³)	CC (%)	PM (%)
1	Caña de Azúcar	Arcillosos	2822.4	1.0	0.701	31	15
		Arcillosos	244.8	0.71	0.46	33	16
		Arcillosos	74.4	0.42	0.78	31	15
		Franco Arenosos	157.0	0.60	0.61	10	4
		Franco Arenosos	241.92	0.71	0.42	14	6
2	Pastos y cultivos	Arcillosos	152.54	0.60	0.67	31	15
		Arcillosos	416.2	0.82	0.86	31	15
		Franco Arenosos	201.6	0.66	0.57	18	8
		Franco Arenosos	554.4	0.88	0.73	12	6
		Franco Arenosos	1334.9	0.99	0.65	18	8
		Franco Arenosos	1113.1	0.98	0.84	18	8
		Franco Arcillosos	143.0	0.58	0.85	27	13
		Arcillosos	254.9	0.72	0.86	35	17
3	Suelos desnudos / urbe	Arcillosos	70**	0.40	1.2 – 1.3*	31	15
		Franco Limosos	80**	0.43	< 1.40 – 1.75 >*	30**	13**
4	Mangle	Franco Limosos	120**	0.54	< 1.40 – 1.75 >*	30**	17*

e) *Coefficiente de Infiltración (Ci).*

Una vez obtenidos los resultados de los factores K_p, K_v y K_{fc}, se calculó el coeficiente de infiltración (Ci), el cual es el resultado de la suma de los tres factores anteriores (Ci = K_p + K_v + K_{fc}); Ci es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para determinar el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo (Schosinsky, 2006). En la Figura 4.12 se indica la distribución de este coeficiente dentro de la microcuenca del río Chimalapa. Utilizando los resultados y consideraciones antes mencionados, se calcularon 16 balances hídricos, con base a la

clasificación de polígonos pedológicos presentes en la cuenca; los principales resultados de los balances se muestran en la Tabla 4.18.

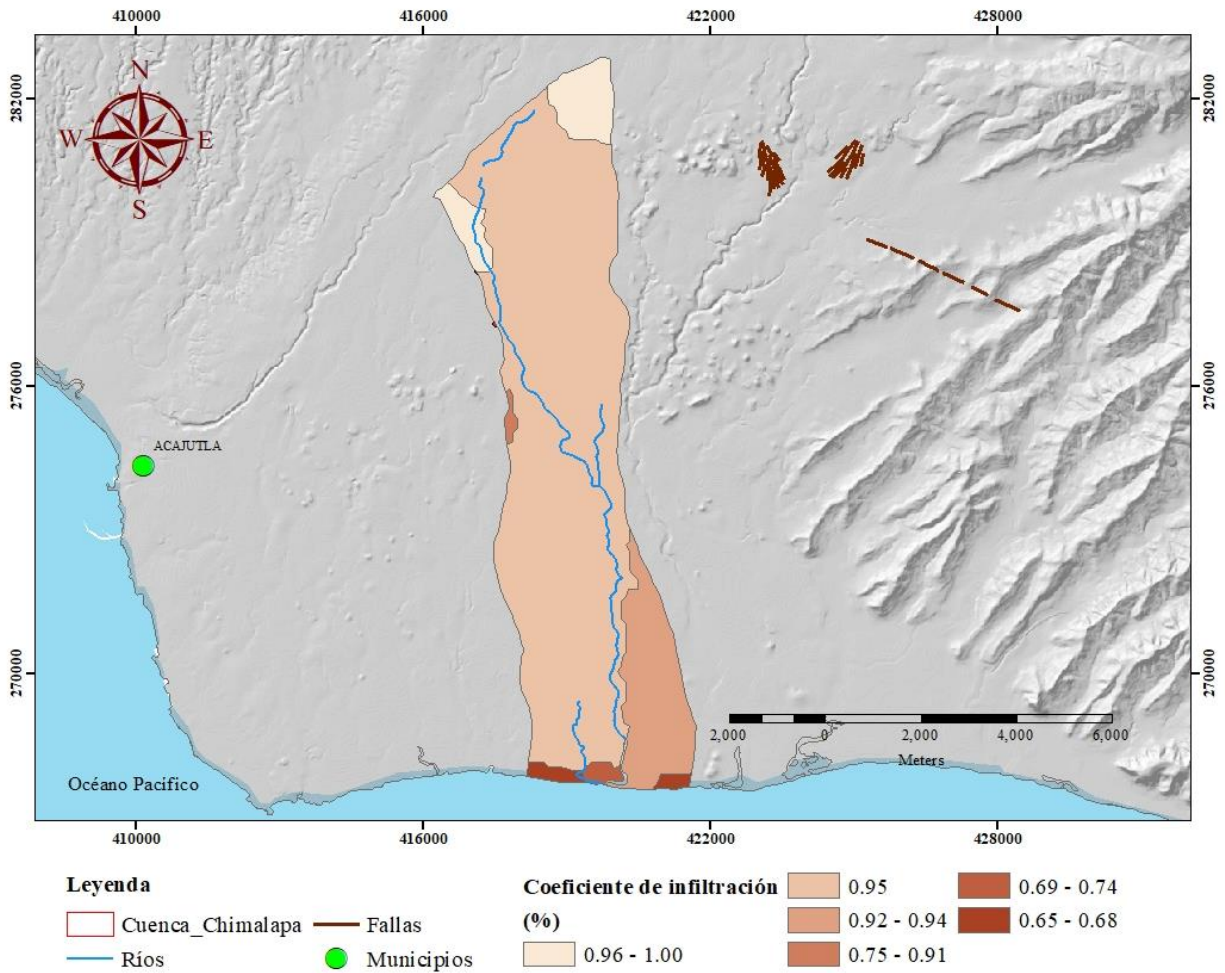


Figura 4.12. Coeficientes de infiltración determinados para cuenca del río Chimalapa.

Tabla 4.18. Resultados de los BH de Schosinsky obtenidos para la cuenca río Chimalapa.

No.	Uso / Cobertura de Suelo	Textura	RP (mm/año)	ESC. (mm/año)	Vol. RP (m ³ /año)	Vol. ESC. (m ³ /año)	Área (km ²)
1	Caña de Azúcar	Arcillosos (2)	495.17	0.00	1,089,374	0.00	2.20
		Arcillosos (4)	466.24	0.00	1,025,728	0.00	2.20
		Arcillosos (5)	110.35	572.37	242,720	1,259,214	2.20
		Franco Arenosos (9)	206.60	256.93	818,136	1,017,442.8	3.96
		Franco Arenosos (13)	222.81	104.13	91,352.1	42,693.3	0.41

Tabla 4.18. (Continuación) Resultados de los BH de Schosinsky obtenidos para la cuenca río Chimalapa.

No.	Uso / Cobertura de Suelo	Textura	RP (mm/año)	ESC. (mm/año)	Vol. RP (m ³ /año)	Vol. ESC. (m ³ /año)	Área (km ²)
2	Pastos y cultivos	Arcillosos (1)	369.12	118.11	812,064	259,842	2.20
		Arcillosos (3)	474.44	0.00	1,043,768	0.00	2.20
		Franco Arenosos (6)	404.82	10.60	255,036.6	6,678	0.63
		Franco Arenosos (7)	241.06	0.00	954,597.6	0.00	3.96
		Franco Arenosos (8)	357.67	0.00	203,871.9	0.00	0.57
		Franco Arenosos (10)	439.21	0.00	1,629,469.1	0.00	3.71
		Franco Arcillosos (11)	401.28	134.20	1,184,366	395,890	2.95
		Arcillosos (12)	478.63	4.22	454,698.5	4,009	0.95
3	Suelos desnudos/urbe	Arcillosos (14)	148.32	521.59	50,428.8	177,340.6	0.34
		Franco Limosos (15)	184.99	470.4	36,998	94,080	0.20
4	Mangle	Franco Limosos (16)	252.98	221.51	75,894	66,453	0.30

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 4.18, puede inferirse que el área de la cuenca del río Chimalapa posee un valor de recarga vertical promedio de 328.37 mm/año, con un volumen total de 9,968,552.60 m³/año (ver Figura 4.13). Además, las unidades “Caña de azúcar - Arcilloso” (495.17 mm/año) y “Pastos y cultivos - Arcillosos” (478.63 mm/año) son las que presentan la mayor capacidad de recarga de todas las clases evaluadas. Sin embargo, de las 16 extensiones espaciales evaluadas, se obtiene que la unidad de “Pastos y cultivos” es la que aporta mayor cantidad de volumen de recarga dentro del área de la cuenca (6,537,872 m³/año).

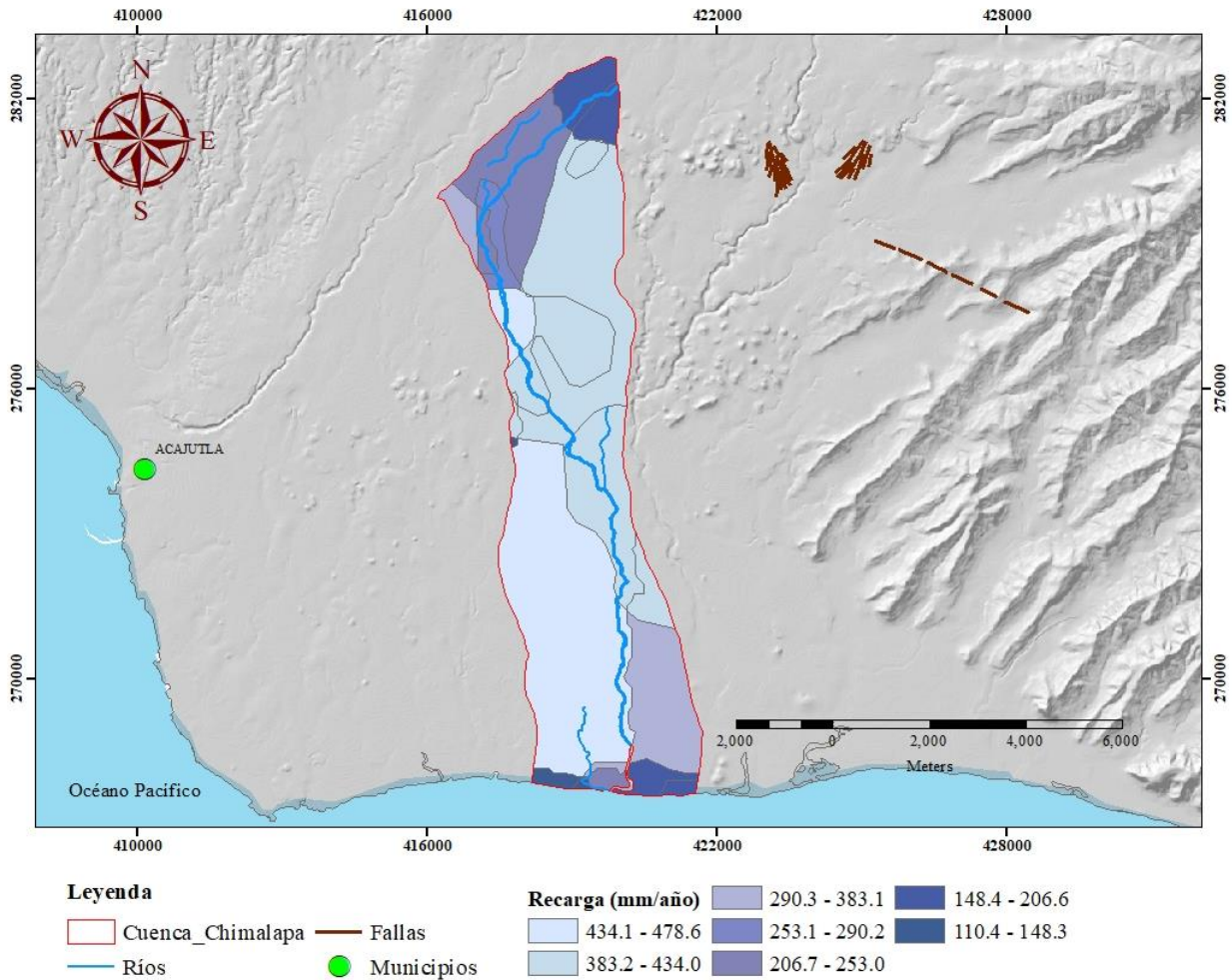


Figura 4.13. Recarga potencial determinada por medio de BHS, cuenca del río Chimalapa.

Al mismo tiempo se puede suponer, que dentro de la cuenca existe un valor de escurrimiento superficial de 150.88 mm/año en promedio, con un volumen total de 3, 323,642.7 m³/año, los cuales muy probablemente se incorporan al flujo base de las quebradas, acequias y ríos que drenan al cauce principal del río Chimalapa (ver Figura 4.14). También, las unidades “Caña de azúcar - Arcilloso” (572.37 mm/año) y “Suelos desnudos/urbe – Arcillosos” (521.59 mm/año) son las que aportan la mayor escorrentía de todas las clases evaluadas; sin embargo, de las 16 extensiones espaciales evaluadas, se observa que la unidad de “Caña de azúcar” es la que aporta mayor cantidad de volumen de escorrentía dentro del área de estudio (2, 319,350 m³/año).

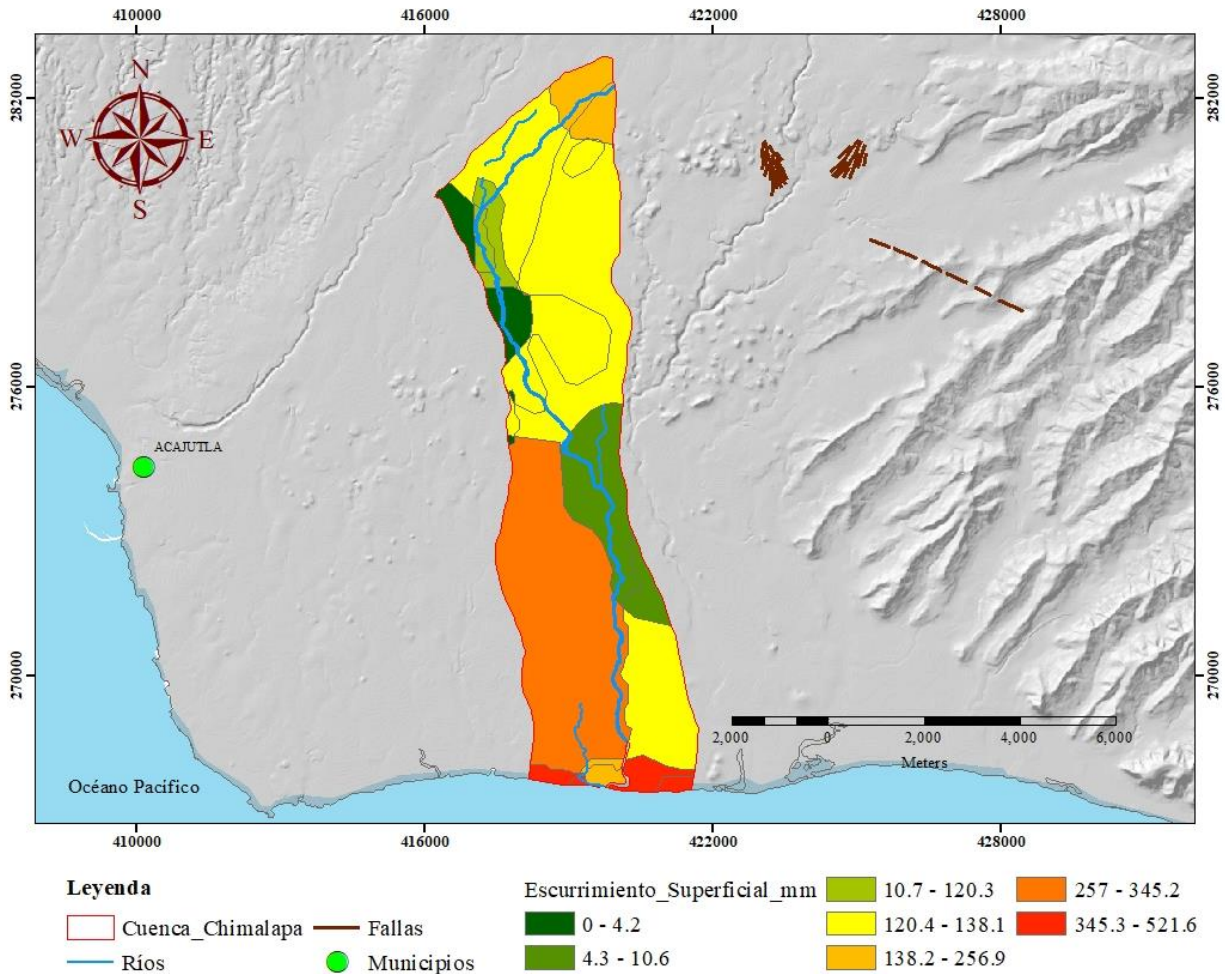


Figura 4.14. Escorrentía superficial determinada por medio de BHS, cuenca del río Chimalapa.

4.4.4. EVALUACIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DE BALANCES HÍDRICOS.

a) Comparación de metodologías.

En la Tabla 4.21, se comparan los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas para la evaluación de la recarga acuífera existente en el área de la cuenca del río Chimalapa: Método de Thornthwaite-Mather, Método RAS-FORGAES, Método de Recarga Acuífera por el BH Schosinsky.

Tabla 4.19. Comparación de resultados de recarga acuífera para la cuenca del río Chimalapa.

Recarga Anual	Método Thornthwaite-Mather	Método RAS - FORGAES	BH Schosinsky
mm/año	241.75	311.36	328.53
Mm ³ /año	10.30	13.32	14.05
L/s	328	422.57	445.63

Al no tenerse calibración de ninguno de los métodos de estimación de recarga utilizados, los resultados de la Tabla 4.19, muestra que los valores obtenidos para la recarga acuífera son consistentes en las tres metodologías en el mismo orden de magnitud, por consiguiente la recarga multianual en la cuenca del río Chimalapa podría oscilar entre 328 – 445.63 L/s, teniendo en cuenta que los valores estimados responden a los valores adoptados para los parámetros utilizados en el análisis de cada uno de los métodos utilizados.

De hecho, el Q_{base} del río que es de 170 L/s y que forma parte de la recarga, está por debajo del rango en el cual varía ella y considerando que existe un acuífero somero, el resto de la recarga estaría transitando por el resto de la zona en estudio. Por tanto, es posible asumir que la recarga local se refleja en el área de la cuenca del río Chimalapa, mientras que la recarga regional podría estar fluyendo en un acuífero más profundo.

b) Balance de masas

Para poder evaluar los resultados obtenidos con la aplicación del BHS, se aplicó la ecuación del balance de masas:

$$\mathbf{Entradas = Salidas \pm \Delta Almacenamiento.} \quad \text{Ec 10}$$

Esta ecuación es válida si se aplica en un sistema cerrado, donde puedan evaluarse las entradas y salidas del sistema, en este caso el sistema es la cuenca del río Chimalapa. Los términos de la ecuación de balance de masas para este caso están representados por:

1. Entradas al sistema:

- Valor de la Recarga potencial debido a la precipitación determinado por medio de (BHS): 14, 060,429.28 m³/año.

- Acequias: se desconoce el volumen de agua que se introduce a la cuenca del río por medio de ellas, el cual es utilizado para regadío de cultivos y dar de beber al ganado. Por tanto, no han sido consideradas para los fines de este estudio.

2. Salidas del sistema:

Considerando fuentes de salida dentro de la cuenca del río Chimalapa:

- Caudal base del Río Chimalapa: Asumiendo que el comportamiento del río es principalmente efluente y con base al hidrograma unitario del río, se consideró una descarga de: 61722,424 m³/año.
- Extracciones por fuentes de agua: se consideró que en promedio por medio de los pozos excavados (224,256 m³/año) y perforados (1, 100,256 m³/año) se extrae aproximadamente un caudal del acuífero de 1, 324,512 m³/año.
- Extracciones por medio de regadíos: no se tuvo acceso a información acerca del número de horas diarias que riegan los diferentes cultivos que se siembran en la zona, así como tampoco del volumen de agua que es extraído del río y de los pozos excavados para fines de riego.

Aplicando las consideraciones anteriormente mencionadas, se procedió a determinar el balance de masas mostrado en la Tabla 4.20:

Tabla 4.20. Balance de masas determinado para cuenca del río Chimalapa.

Consideraciones	Entradas al Sistema (m ³ /año)	Salidas del sistema (m ³ /año)
Recarga potencial.	14,060,429.28	
Extracción por bombeo de pozos excavados y perforados.		1,324,512
Extracciones por medio de regadíos.		
Flujo base del río principal.		61722,424
TOTAL	14,060,429.28	8,046,936
Escorrentía subterránea		6,013,493.28
Error (%)		42.77

De acuerdo con el resultado mostrado en la Tabla 4.20 se observa un excedente de 6, 013,493.28 m³/año, que es equivalente al 42.77% del volumen total que entra al sistema. El cual podría corresponder a la escorrentía subterránea que descarga al mar tal como se ha mostrado en el mapa piezométrico (Figura 4.8)

4.5. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICA DE LA CUENCA.

4.5.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO.

Como se mencionó en la sección 3.2.2, dentro de la cuenca del río Chimalapa, se realizaron 42 muestreos in – situ de parámetros fisicoquímicos, se recolectaron 16 muestras de agua cruda de pozo durante la campaña efectuada en los meses de septiembre – noviembre de 2022 (época lluviosa) y 15 en la campaña realizada el mes de junio de 2023 (inicios de época lluviosa) para su análisis en laboratorio; con el fin de determinar si existían variaciones estacionales en algunos de los parámetros medidos. Los resultados de la campañas de muestreo FQ in – situ y los análisis de laboratorio de las dos campañas realizadas respectivamente se muestran en el Anexo 5.

Con el objeto de poder contar con un valor de referencia u orientativo, los resultados del - muestreo in – situ se han comparado, en los casos que aplica, con los valores permitidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”, el cual establece los límites permisibles de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos que debe cumplir el agua para el consumo humano y es aplicable a toda persona natural o jurídica que administra, abastece y opera un sistema de abastecimiento de agua de consumo humano sea público, privado o mixto (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, 2018). Esto debido a que El Salvador, carece de Normas de calidad para Aguas Subterráneas que puedan ser aplicadas para evaluación de estas. Además, es importante hacer hincapié que el uso principal de las aguas en cada uno de los sitios de muestreados, el uso de ellas corresponde al doméstico, para riego y en algún caso para consumo humano; en la mayoría de los casos, los sitios evaluados conciernen a pozos excavados cuyos propietarios, adquieren el agua para consumo humano de otras fuentes dado que las condiciones de sus pozos, ellos consideran no son las idóneas para la ingesta humana.

A continuación, se detalla la comparación de la concentración de los elementos químicos más representativos obtenidos durante el muestreo de parámetros FQ en la cuenca del Río Chimalapa:

a) *Potencial de Hidrógeno (pH)*

El rango de valores que permite el RTS 13.02.01:14 para el pH del agua para consumo humano, es de 6.0 a 8.5; para el caso del agua subterránea de los pozos muestreados, se determinó que la mayoría de ellos no están dentro del rango permitido por el RTS; aunque, como fue aclarado anteriormente, el uso que algunos de los propietarios de dichos pozos le dan al agua, no es para el consumo humano, si no sólo para tareas doméstica o riego. Los valores de pH medidos en los pozos muestreados van de 4.15 a 6.9 como puede verse en la Figura 4.15. De acuerdo con estos valores el agua puede clasificarse entre moderadamente ácida y ligeramente ácida, y podría asociarse con agua de recarga reciente por su parecido con el pH de la lluvia natural (no contaminada) que es entre 5.0 y 5.6 (Castro, Dolores, & García Ruiz, 2005; Rodríguez Montellano & Sánchez Sejas).

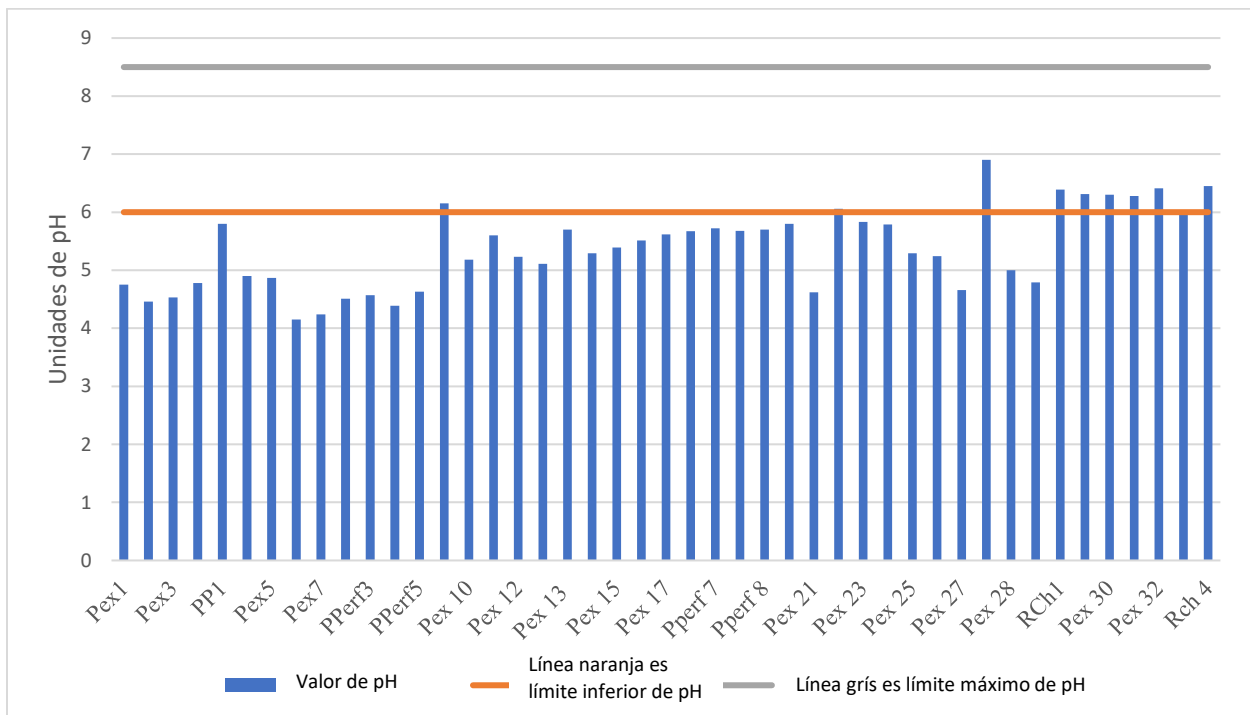


Figura 4.15 Comparación de los valores de pH obtenidos con límites permitidos por el RTS.

b) *Sólidos totales disueltos (TDS)*

De acuerdo con el RTS 13.02.01:14 límite máximo permitido para los TDS existentes en el agua para consumo humano, es de 1000 mg/l; para el caso del agua subterránea de los pozos muestreados en el área de investigación, la mayoría de ellos se encuentran por debajo del valor permitido por el RTS; llama la atención los pozos Pex 1 y Pex 3, debido a que ambos presentan valores arriba del límite permitido, lo cual podría estar relacionado a procesos de intrusión salina debido a su localización con respecto a la zona de playa o a una influencia de actividades antrópicas del lugar como es el caso del pozo Pex 3 (Figura 4.16)

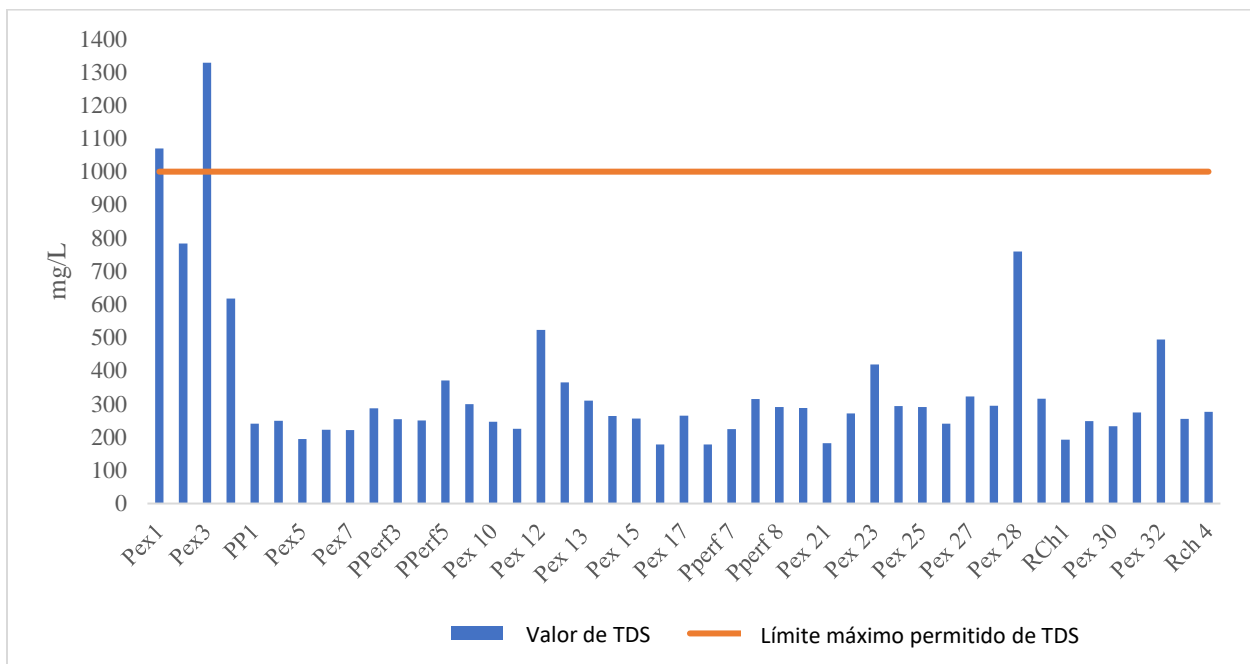


Figura 4.16. Comparación de valores de TDS para agua subterránea de pozos con límite permitido del RTS.

c) *Conductividad Eléctrica (CE).*

El análisis de las medidas de conductividad eléctrica obtenidas para diferentes puntos de la zona de estudio (Figura 4.17), presentan comportamientos diferentes pero de manera general se puede establecer que la mayoría de estos valores son bajos de conductividad eléctrica, lo cual podría indicar la presencia de agua fresca, algunos puntos que se localizan en la parte media de la cuenca presentan valores altos de conductividad, indicando posiblemente la presencia de agua con mayores contenidos de sales, esto probablemente podría estar asociado a las sales del ambiente que arrastra la lluvia en la zona donde estos se localizan; en cambio, en los pozos que se encuentran cerca de Barra Ciega, en la parte baja de la cuenca; los valores altos de CE probablemente estén

asociados a una posible intrusión salina o a la contaminación de agua salada, como consecuencia de inundaciones provocadas por grandes tormentas, cambios de marea, o de la mezcla del agua dulce del río y agua del mar, debido a que los pozos localizados en esta área presentan baja cota de elevación, por tanto se puede dar la penetración del agua de mar en el río (PRISMA, 2001).

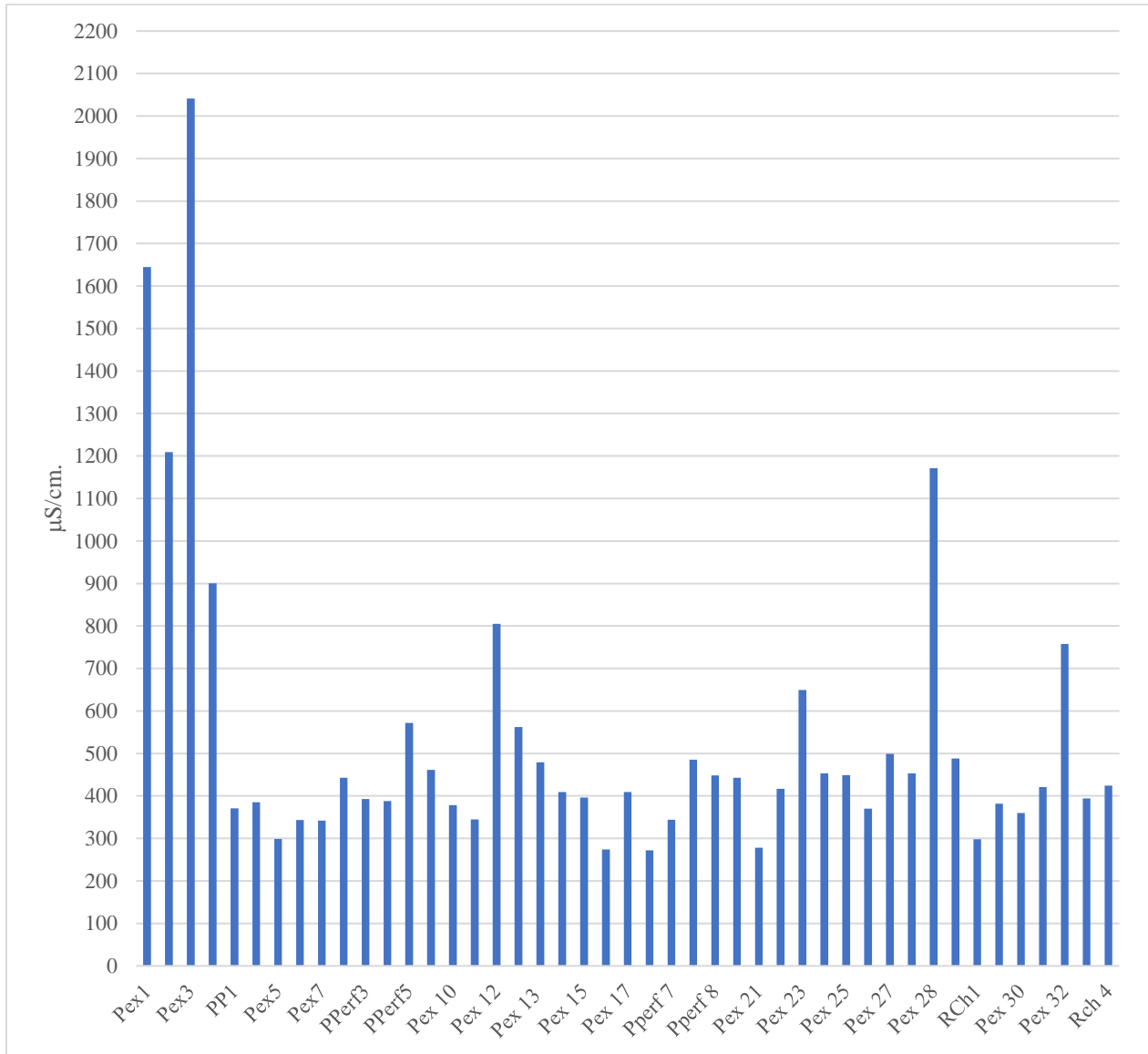


Figura 4.17. CE de agua subterránea de pozos muestreados en septiembre – noviembre de 2022.

Además, el RTS no establece un límite para el valor de CE; pero si comparamos los valores de conductividad obtenidos en los pozos Pex1 y Pex 3 (ambos localizados en la parte baja de la cuenca y cercanos a la zona de interacción del Río Chimalapa y el mar) con el valor establecido

por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Salvadoreña (CONACYT), citado en los Anexos del Informe Final Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, Contrato MARN-BID-1209/OC-ES.No.60/2006; la concentración máxima admisible para este parámetro es de 1,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observándose que dicho parámetro en los pozos citados supera este valor (Pex 1 = 1645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Pex 3 = 2041 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Por tanto, dichos valores superan los máximos permisibles para un estrato de agua superficial (aproximadamente 3.50 m como máximo). De acuerdo con lo anterior, es muy probable que la causa de salinización para estos casos se deba probablemente a una interface agua dulce - agua de mar.

Pero si comparamos los valores de CE obtenidos para los pozos Pex 1 y Pex 3 con el valor de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual fue utilizado en el estudio de intrusión de aguas salinas en la zona costera de la Bahía de Jiquilisco, como un probable indicador de la existencia de una interface agua dulce- agua salada (PRISMA, 2001); de acuerdo con los valores obtenidos se obtiene, un probable indicador de la presencia de la interface agua dulce – agua de mar.

A continuación se presenta el mapa de isoconductividades eléctricas (Figura 4.18) generado como parte de la información obtenida de la medición in – situ realizada en el área de investigación:

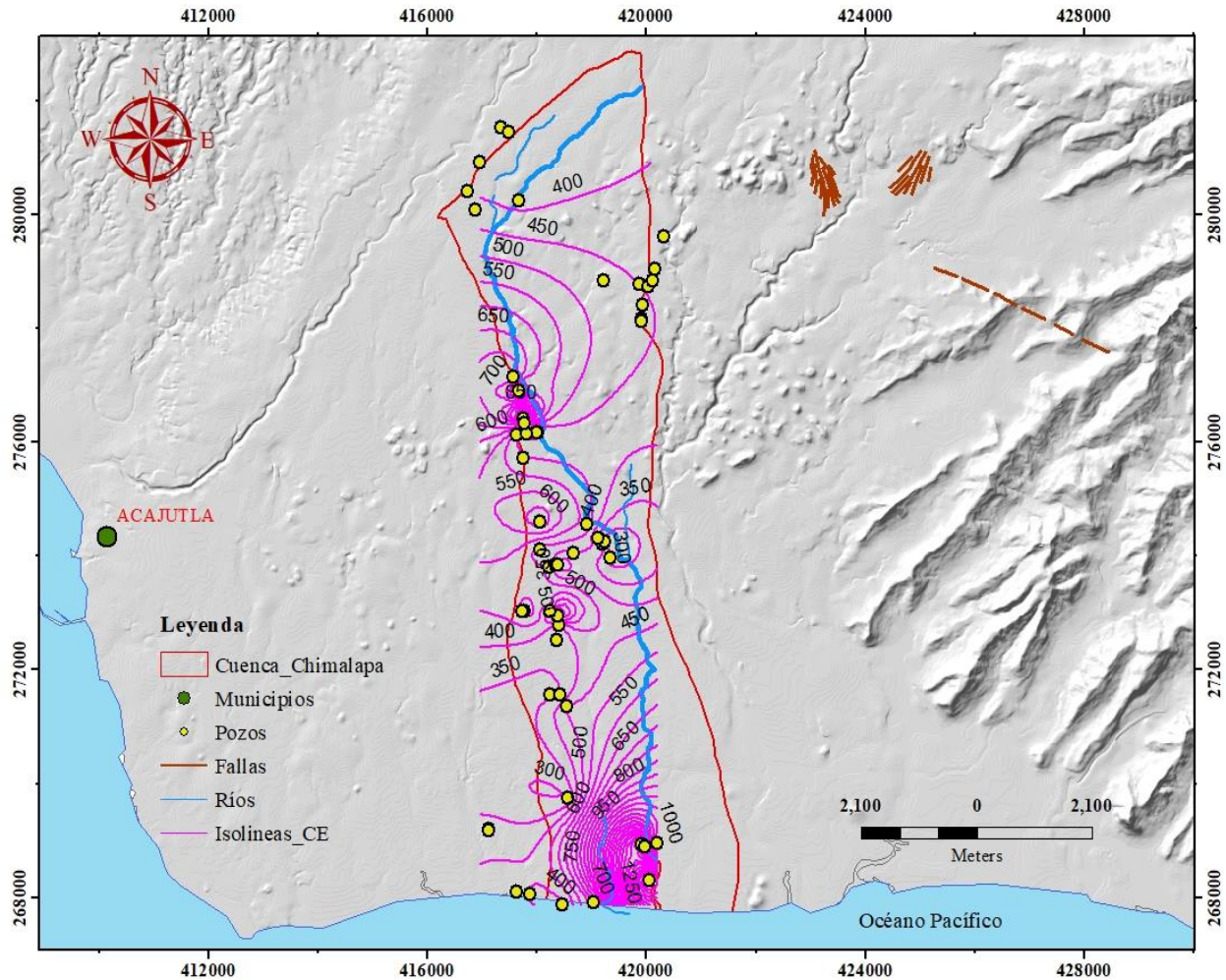


Figura 4.18. Isoconductividad Eléctrica, cuenca del río Chimalapa.

Con base en el Mapa de Isoconductividad Eléctrica, puede observarse que existen valores bajos de conductividad en áreas cercanas a la orilla del río Chimalapa, como en la parte alta y media de la cuenca, las cuales se encuentran alejadas de la costa, lo cual puede indicar la presencia de un acuífero superficial de agua dulce. Además, las variaciones más altas de CE recolectadas en pozos cercanos al río y a Barra Ciega en la parte baja de la cuenca, están aproximadamente a 2 km del Océano Pacífico y muestran un rápido incremento de conductividad eléctrica, esto puede tener varias explicaciones: una es que probablemente es debido a la entrada de las mareas y de la mezcla de agua dulce del río y agua del mar; asimismo, estos valores altos pueden estar relacionados con la intrusión de la cuña salina, y podrían asociarse más específicamente con una zona de influencia de la misma, donde los pozos han sido excavados a profundidades que alcanzan dicha zona de mezcla. Al mismo tiempo otra alternativa, es que estos valores altos de conductividad

probablemente sean debido a una contaminación antropogénica (desechos animales y humanos, fertilizantes agrícolas, entre otros) existente.

Finalmente, los valores de conductividad eléctrica medidos en pozos cercanos a la orilla del mar (Pex 8, Pperf.3, PPerf.4 y PPerf.5) los cuales están entre 388 y 572 $\mu\text{S}/\text{cm}$, podrían deberse a un flujo distinto en el cual la influencia de la cuña salina no surte efecto alguno, probablemente debido a que el flujo de agua subterráneo hacia la costa es mayor y por tanto se tiene un mayor espesor de agua dulce sobre la interface de agua dulce – agua salada.

d) Oxígeno Disuelto (OD).

Para este parámetro solamente pueden ser objeto de análisis los valores de oxígeno disuelto medido en las muestras de agua tomadas del río y en pozos excavados, porque fueron medidos directamente, sin sufrir alteración alguna en el momento de la medición. Los valores resultantes de las muestras de agua subterránea de los pozos perforados, no se consideran representativos de las condiciones del acuífero porque están influenciados por un aumento en el oxígeno disuelto debido al bombeo para extracción del agua y a la descarga en los grifos durante la toma de la muestra.

Los valores de oxígeno disuelto medidos en el río Chimalapa varían entre 6.08 a 8.11 mg/L, esto puede considerarse como un indicador de que el río todavía puede mantener la vida acuática, probablemente debido a que las descargas de vertidos que se producen en él actualmente no llevan un alto contenido de materia orgánica y nutrientes que conduzcan al descenso de la concentración de oxígeno, debido al incremento de la demanda para su degradación. En cambio en los pozos excavados la variación del OD es entre 0.9 y 6.44 mg/L, lo cual podría indicarnos que existen condiciones de reducción del oxígeno probablemente debidas a oxidación de materia orgánica, la cual podría estar presente durante el momento de infiltración de agua lluvia en los estratos geológicos existentes en la cuenca. Además, la materia orgánica también podría estar presente por la filtración de lixiviados provenientes de letrinas cercanas a los pozos, ya que en el área de estudio las comunidades existentes carecen del servicio de alcantarillado sanitario y disposición de aguas grises y negras, asimismo no están delimitadas en su mayoría las zonas mínimas de protección de pozos.

4.5.2. QUÍMICA DEL AGUA EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.

Siendo la química de relevante importancia para la presente investigación, los resultados que se analizan en esta sección corresponden a las muestras tomadas para análisis de laboratorio durante las campañas de octubre – noviembre de 2022 (época lluviosa) y de junio de 2023 (inicio de época lluviosa) tal y como fue explicado en el apartado 3.2.4 del capítulo 3; además se ha supuesto que el comportamiento químico de las aguas ha variado poco en el tiempo. El detalle de los resultados obtenidos para los muestreos realizados, pueden verse en el Anexo 5.

La Tabla 4.21 presenta la validez del análisis de los resultados obtenidos para los iones principales por medio del balance iónico utilizando la ecuación 7 y los diferentes rangos de error para aceptar o no el análisis de las muestras de agua colectadas en junio de 2023 según Appelo & Postma (2005), Custodio y Llamas (1976) y Crites y Tchobanoglous (2000). Además en ella se observa, que la suma de los cationes es mayor a la de los aniones en la mayoría de las muestras analizadas, También, que el porcentaje de error calculado en la mayoría de las muestras está en los rangos permisibles por el error esperado para aguas poco salinas excepto para 3 de ellas; sin embargo, si comparamos el error calculado del análisis de muestras con el error esperado de CE (entre el 4 - 8% de error), la mayoría de las muestras no superan el rango permisible, excepto nuevamente 3 de ellas que están fuera de los límites; pero para el error esperado según sus correspondientes sumas de aniones, solamente 8 análisis no superan el valor límite permitido por este criterio, las otros 7 superan el valor límite.

Por tanto, se infiere que el balance iónico es válido para la mayoría de las muestras analizadas en laboratorio, de acuerdo con el error esperado para aguas poco salinas y por CE, excepto para tres de ellas en las cuales se puede suponer que el análisis realizado, no está considerando la presencia de otros iones en general minoritarios, que probablemente se encuentran en una concentración similar a los iones mayoritarios analizados en el laboratorio; también, probablemente se ha cometido un error al momento de realizar el análisis químico de esas muestras o que las muestras han experimentado cambios químicos durante el tiempo de transporte desde campo a laboratorio.

Tabla 4.21. Suma de Aniones y Cationes y errores del Balance Iónico para muestras de junio 2023.

Aniones (meq/L)	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
HCO₃⁻	2.51	3.23	2.38	3.42	2.71	2.67	2.97	3.13	4.76	3.91	4.09	1.96	2.02	3.32	3.21
SO₄⁼	0.76	0.32	0.56	0.77	0.81	0.46	0.59	7.50	6.30	3.95	7.03	0.95	1.34	1.94	0.98
Cl⁻	0.83	0.69	0.61	0.80	0.83	0.86	2.27	35.71	29.06	2.16	4.46	1.11	0.93	2.56	1.05
NO₃⁻	0.21	0.02	0.03	0.19	0.24	0.35	0.61	1.26	1.55	1.29	1.79	0.44	0.19	0.68	0.15
Suma aniones	4.31	4.26	3.58	5.19	4.59	4.35	6.44	47.59	41.67	11.31	17.36	4.44	4.48	8.50	5.39
Cationes (meq/L)	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
Na⁺	1.00	1.38	0.89	1.00	1.37	1.54	3.30	14.17	9.46	4.23	4.57	1.09	1.10	0.56	1.26
K⁺	0.07	0.31	0.10	0.15	0.07	0.11	0.09	0.25	0.44	0.26	0.31	0.14	0.10	0.33	0.08
Ca⁺⁺	2.05	0.16	1.57	3.21	1.97	1.45	1.61	15.23	16.23	3.97	6.42	1.73	1.65	2.81	2.09
Mg⁺⁺	1.36	1.36	1.29	1.32	1.49	1.32	1.36	16.87	17.07	3.89	27.51	1.45	1.39	2.61	2.15
Suma cationes	4.48	3.23	3.84	5.68	4.89	4.42	6.37	46.51	43.21	12.36	38.80	4.40	4.23	6.31	5.57
Error (%) calculado	1.93	-13.75	3.50	4.50	3.17	0.80	-0.55	-1.14	1.81	4.44	38.17	-0.45	-2.87	-14.78	1.64
CE (microS/cm)	360	375	373	366	363	379	572	2897	1881	900	1645	343	345	805	453
Error esperado % en aguas poco salinas	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	<1 - 2	<1 - 2	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Error esperado ± % por CE	8 - 10	8 - 10	8 - 10	8 - 10	8 - 10	8 - 10	4 - 8	4	4 - 8	4 - 8	4 - 8	8 - 10	8 - 10	4 - 8	8 - 10
Error esperado ± % por ΣAniones	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	2	2	2	2

En la figura 4.19 se observa que el parámetro Nitratos refleja un aumento en su concentración durante la época de transición de seca a lluviosa, probablemente debida al ingreso de contaminantes provenientes de letrinas y otras actividades antrópicas; el cual, sufre una reducción al final de la época lluviosa, que puede ser debida a que la contaminación se ha diluido casi en su totalidad. En cuanto a la contaminación agrícola, esta podría ser otra fuente de aporte de nitratos al sistema pero como en el área de estudio se cultiva todo el año, se considera que el aporte debido a esta actividad es constante. Por tanto, la contaminación doméstica sería la principal causante de estos valores altos, que superan el límite máximo permisible de 50 mg/L.

Los sulfatos poseen un comportamiento similar al de los nitratos, solamente reducen su valor durante el periodo octubre – noviembre en los pozos Pex 2, Pex 3 y Pex 4, en los otros pozos la reducción se produce en el inicio de la época lluviosa; probablemente esto se deba a que estos suelen proceder del uso de detergentes, que se diluyen con la recarga que ocurre en la época lluviosa, al ser un acuífero somero, la recarga es más local y reciente, como lo demuestran los valores de pH y TDS discutidos anteriormente, produciéndose una rápida respuesta del sistema.

En el Calcio se visualiza un aumento durante el mes de junio de 2023 en los pozos Pex 2 y Pex 3, en los demás el aumento es durante la época de lluvias; en cambio, el Magnesio tiene un fuerte aumento durante el inicio de la época lluviosa en todos los pozos, también es de prestar atención, que en el periodo de octubre – noviembre hay pozos que no poseen valores de este parámetro; estos cambios probablemente estén asociados a intercambio iónico, los cuales ocasionarían aumento de sodio y potasio y esto sería reflejado en la reducción de calcio y magnesio. Finalmente, los niveles de Bicarbonatos en todos los pozos, son muy bajos durante la época de lluvia y sufren un fuerte aumento en el inicio de ella, esto probablemente este asociado a un proceso de dilución, al reducirse el aporte de carbonatos al acuífero por no encontrarse el sistema en periodo de recarga.

Los cambios que se presentan en los parámetros ya mencionados anteriormente, probablemente son producto de las diferentes actividades antrópicas (agrícolas, ganaderas, domesticas, entre otras) que se realizan dentro de la cuenca del río Chimalapa; también podrían ser debidos a la presencia de materiales arcillosos o minerales, que provocarían procesos de mineralización causados por la interacción agua – roca, por tanto, existirían procesos de dilución de materiales en diferentes épocas del año hidrogeológico.

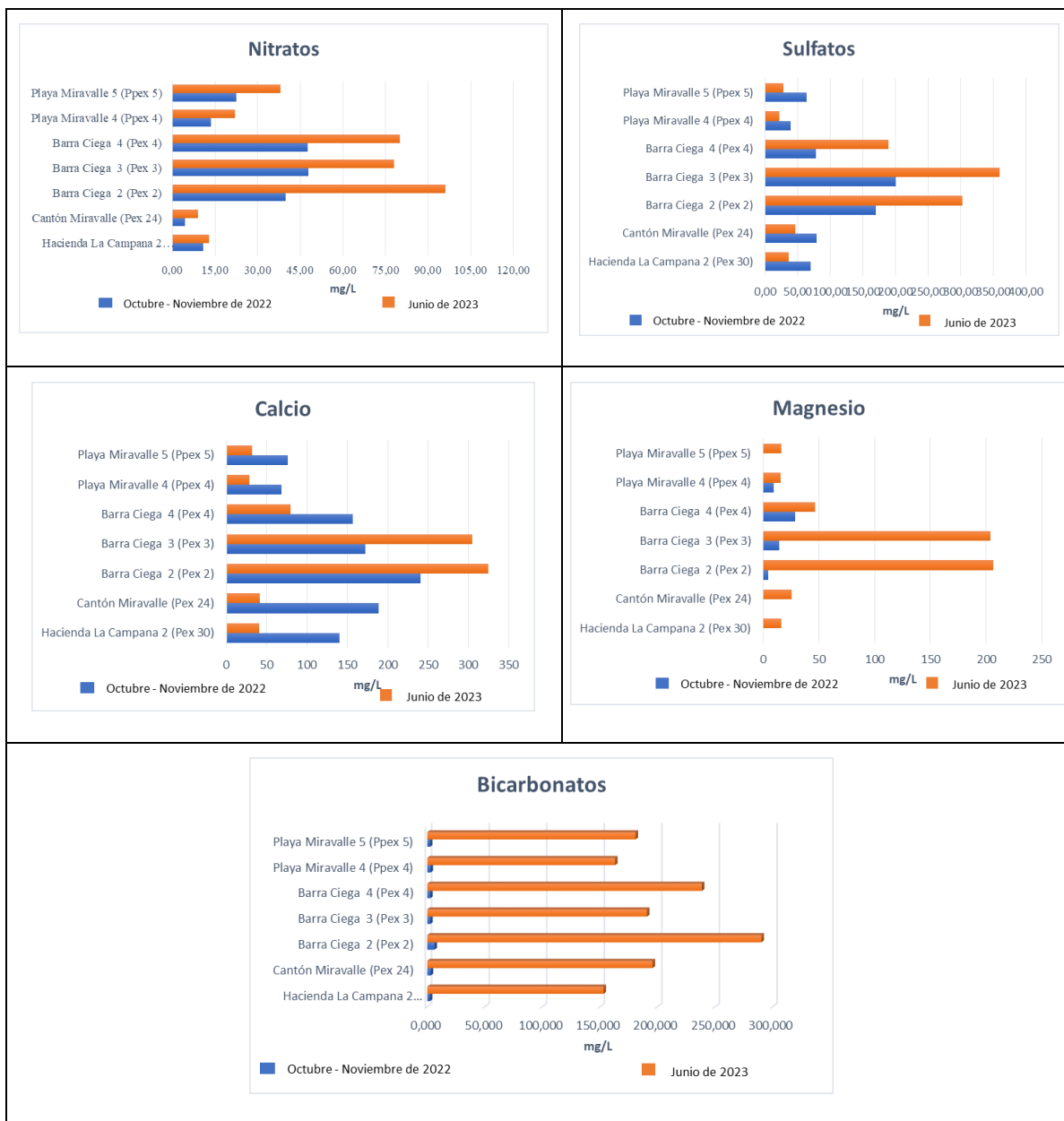


Figura 4.19. Resultados de laboratorio para nitratos, sulfatos, calcio, magnesio y bicarbonatos.

Por medio de un diagrama de Piper se clasificaron las aguas de las muestras recolectadas en la campaña de junio de 2023 (Figura 4.20 y Figura 4.21), obteniéndose que el 46.67% de las muestras analizadas (PCHI 1, PCHI 2, PCHI 3, PCHI 4, PC HI 5, PCHI 6 y PCHI 15) son aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas o magnésicas posiblemente con proporciones similares entre estos aniones, esto de acuerdo con la geología del área de la cuenca (sección 4.3.3), indicaría que su huella química probablemente corresponda a aluviones, localmente con intercalaciones de piroclastitas y que serían aguas de recarga reciente y poco tránsito; que un 26.67% de las muestras

(PCHI 10, PCHI 12, PCHI 13 y PCHI 14) son aguas que posiblemente presenten procesos de mezcla, lo cual indicaría la posible existencia de intercambio iónico en estas aguas; un 20.0% (PCHI 8, PCHI 9 y PCHI 11) serían aguas tipo cloruradas cálcicas o magnésicas, estas muestras fueron tomadas a unos 400 y 100 m aproximadamente al oeste de la zona de interacción río Chimalapa - Barra Ciega y finalmente un 6.66% de las muestras (PCHI 7) son aguas que pueden tipificarse como bicarbonatadas sódicas.

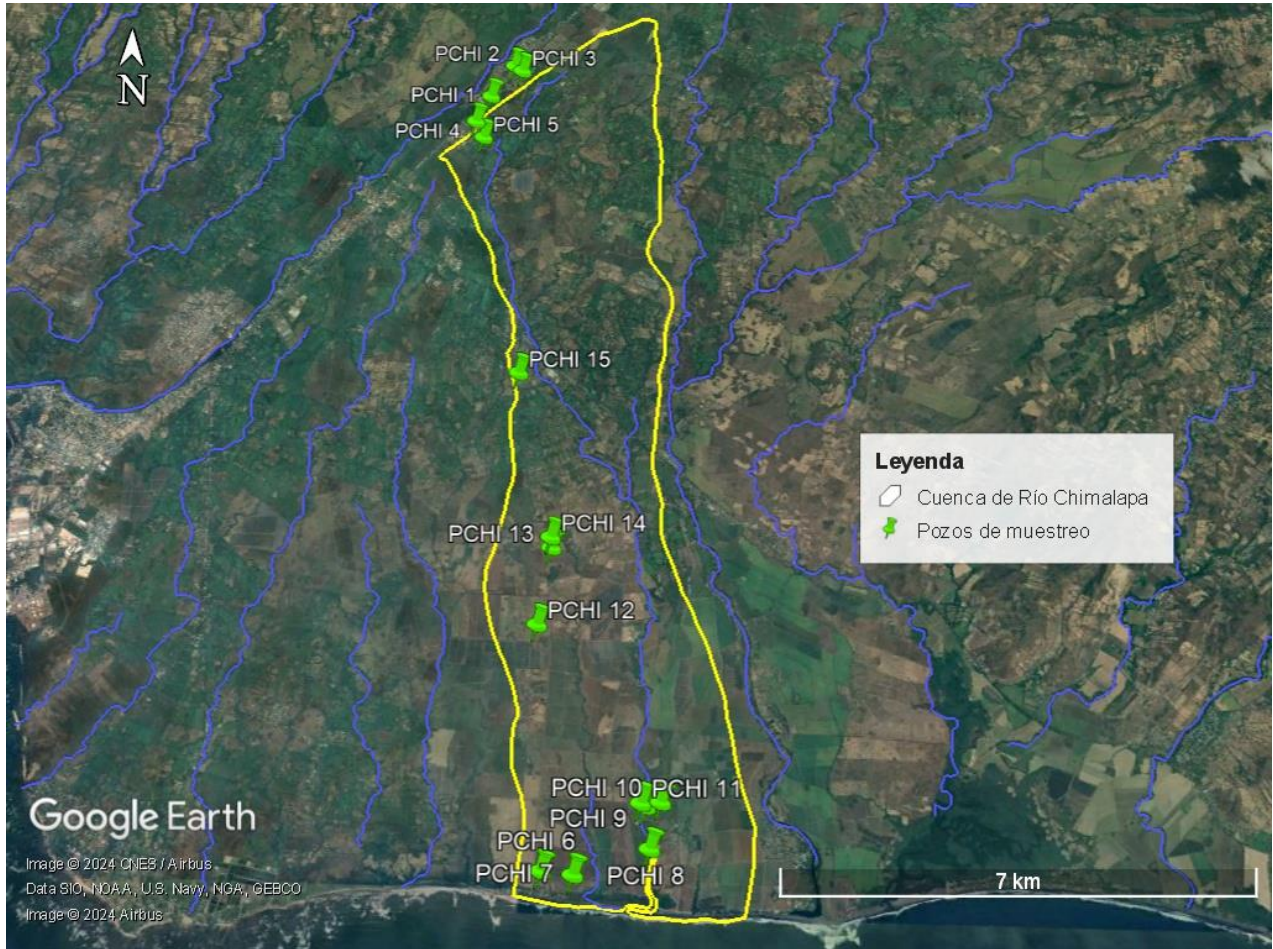


Figura 4.20. Pozos de muestreo de agua cruda para análisis de laboratorio, junio de 2023.

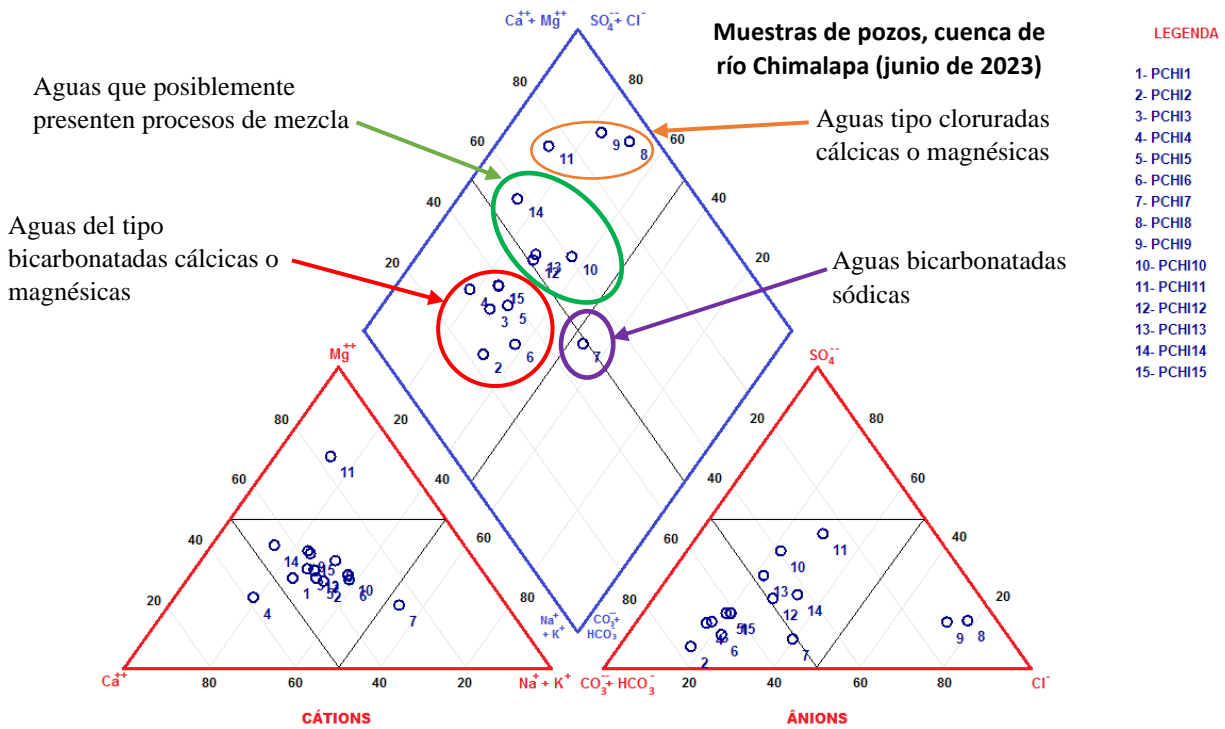


Figura 4.21. Diagrama de Piper obtenido para los sitios muestreados durante junio de 2023.

Los diagramas Stiff para la campaña de muestreo realizada en junio de 2023 son presentados en la Figura 4.22; por medio de ellos, se logra observar que las concentraciones iónicas de las aguas en los pozos PCHI 1, PCHI 2, PCHI 3, PCHI 4, PCHI 5 localizados en la parte alta y la de los pozos PCHI 15, PCHI 14, PCHI 13 y PCHI 12 ubicados en la parte media de la cuenca, poseen en común, altas concentraciones de bicarbonatos; pero en las muestras 1, 3, 4 y 5 puede apreciarse que el segundo ión que tiene más concentración es el calcio, esto indicaría que las aguas de estos pozos son del tipo bicarbonatadas cálcicas; sin embargo para la muestra PCHI 2, su segunda mayor concentración es la suma NA + K por lo cual el tipo de agua es bicarbonatada sódica.

Por el contrario, las muestras 15, 14, 13 y 12 no presentan una segunda alta concentración iónica bien definida, en estos casos de calcio o magnesio, posiblemente debido a procesos de mezcla o de intercambio iónico existentes en la parte media de la cuenca. Para el pozo PCHI 11 localizado en la parte baja de la cuenca aproximadamente a 90 m al oeste del Río Chimalapa, las concentraciones iónicas de mayor presencia en él son el magnesio y el sulfato, por tanto el tipo de agua sería sulfatada magnésica; esto podría ser el reflejo de la descarga de un acuífero profundo, el cual sería un sistema de aguas subterráneas regional debido a que la descarga de él

se localiza en la parte baja de la cuenca (Tóth, 1963). La muestra 10 (el pozo se localiza aproximadamente a unos 210 m al este del río) presenta altas concentraciones iónicas de HCO_3 y $\text{NA} + \text{K}$ en porcentajes casi idénticos, lo cual puede deberse a procesos de mezcla o intercambio iónico que se estén produciendo en esta zona

En cambio PCHI 9 (a 25 metros al oeste del río) y PCHI 8 (localizado a unos 100 metros al oeste de la zona de interacción río Chimalapa – Barra Ciega), poseen altas concentraciones de cloruros y probablemente de calcio o magnesio por lo cual pueden clasificarse como aguas cloruradas cálcicas o magnésicas. Por último las muestras de los pozos PCHI 6 y PCHI 7 que se encuentran cercanos a Playa Miravalle (aproximadamente a unos 60 m), de acuerdo a los diagrama de Stiff, se pueden clasificar como aguas del tipo bicarbonatadas sódicas.

Por tanto, se puede decir que en el área de estudio las concentraciones de los iones mayoritarios son muy diferentes de acuerdo con su ubicación geográfica, valorándose una tendencia general de mineralización del acuífero, a medida se proviene de la parte alta hacia la parte baja de la cuenca del río Chimalapa (ver Mapa 4.15); estos cambios en la composición química del agua subterránea probablemente sean debido, a la existencia de un acuífero superficial (sistema local) y uno más profundo (sistema regional) los cuales están distribuyendo las diferentes ubicaciones de las zonas de recarga y descarga en el área de estudio. Así mismo los cambios en las concentraciones químicas posiblemente sean ocasionados, por las diferentes longitudes de las rutas que poseen los flujos de agua subterránea para los diferentes sistemas acuíferos que se localizan en la cuenca; también pueda deberse, a una disminución de la velocidad en el flujo de agua subterránea, lo cual provocaría un aumento gradual de los componentes minerales disueltos con la profundidad (Tóth, 1963) o a cambios de presión y temperatura que afectan la solubilidad de ciertos componentes químicos en el agua (Tóth, 2000).

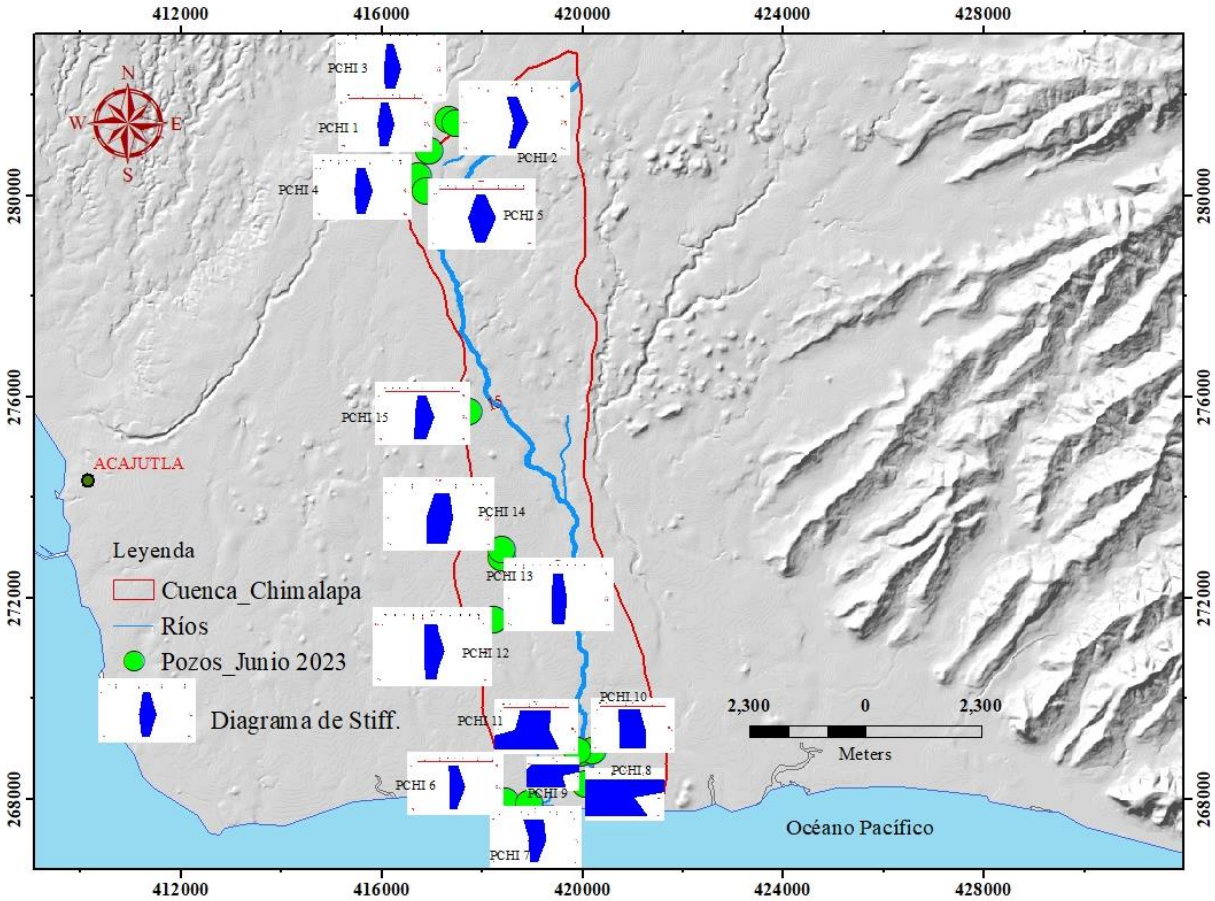


Figura 4.22. Diagramas de Stiff para la campaña de muestreo de junio de 2023, cuenca del río Chimalapa.

4.5.3. ÍNDICES Y CORTES HIDROGEOQUÍMICOS.

4.5.3.1. ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS.

Los índices hidrogeoquímicos no son simples relaciones iónicas sino que deben tener, algún sentido geoquímico. Por lo que las características litológicas e hidrogeológicas del acuífero, el análisis de los resultados ya obtenidos y el objetivo de determinar la existencia o no del fenómeno de intrusión salina en la parte baja de la cuenca del Río Chimalapa, permitieron seleccionar los índices de mayor importancia para lograr cumplir con el objetivo planteado. En cualquier caso, siempre será necesario considerar los probables fenómenos físico – químicos que puedan afectar el valor de los índices, es decir valores anómalos de ellos, los cuales pueden ayudar a detectar la existencia de los fenómenos modificadores.

En esta ocasión los índices a ser evaluados fueron: Relación Cloruro – Bicarbonato ($rCl/rHCO_3$), Relación Magnesio – Calcio (rMg/rCa), Relación Sodio – Potasio (rNa/rK), Relación Sulfatos – Cloruro (rSO_4/rCl) e Índice de Cambio de Base (icb).

- a) **Relación Magnesio-Calcio (rMg^{+2}/rCa^{+2})**. Se suele utilizar mucho para evidenciar la existencia de un proceso de intrusión salina, este índice posee un valor entre 0.2 y 1.0 en aguas continentales y valores cercanos a 5 en agua de mar; un rápido aumento de este índice es considerado como indicativo de contaminación por intrusión de agua de mar, en especial cuando es acompañado por el aumento del ión cloruro y de la relación $rCl/rHCO_3$. A veces ésta relación se ve afectado por las variaciones que pueda sufrir el ión calcio principalmente (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001)..

En la Tabla 4.22 se presentan los resultados obtenidos para las muestras recolectadas en junio de 2023 en la cuenca del río Chimalapa:

Tabla 4.22. Resultados de la relación magnesio-calcio.

Relaciones Iónicas	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
rMg/rCa	0.7	8.3	0.8	0.4	0.8	0.9	0.8	1.1	1.1	1.0	4.3	0.8	0.8	0.9	1.0

Leyenda:

- $0.2 < rMg^{+2}/rCa^{+2} < 1$ Aguas Continentales
- $1 < rMg^{+2}/rCa^{+2} < 5$ Aguas de Mar

A partir de los resultados de la tabla anterior, es posible identificar una probable afectación en las aguas de los pozos PCHI 8, PCHI 9, PCHI 10 y PCHI 11 por la incorporación de sales que generalmente provienen del mar, ya que estos están cercanos a la zona de interacción río Chimalapa – Barra Ciega, infiriéndose una posible intrusión salina o una salinización de las aguas debido a la contaminación de agua salada, como consecuencia de inundaciones provocadas por grandes tormentas, cambios de marea, o de la mezcla del agua dulce del río y agua del mar, debido a que estos pozos están localizados en una área que presenta baja cota de elevación, por tanto se puede dar la penetración del agua de mar en el río (PRISMA, 2001).

En cambio el pozo PCHI 2 (localizado en la parte alta de la cuenca) y el PCHI 15 (ubicado en parte media de la cuenca), que están alejados del mar, los valores altos que presenta esta

relación iónica probablemente se deban a variaciones que puede estar sufriendo el ión calcio, debido a procesos de interacción agua – roca, intercambio iónico, precipitación – disolución, haciendo que el ión calcio quede disuelto en el agua e incrementa su concentración. Esto es posible que se deba en mayor o menor medida a la intensidad con que esté ocurriendo el fenómeno en esas zonas de la cuenca, así mismo, dependerá fundamentalmente de la fracción arcillosa que esté presente en esas áreas y de su naturaleza misma, como también puede deberse al tipo de fertilizantes que se utilizan en los diferentes cultivos que siembran en estas zonas de la cuenca.




- b) **Relación Cloruro-Bicarbonatos ($rCl/rHCO_3$)**. Esta relación es una de las principales que permite realizar una clasificación, de acuerdo con la afección por incorporación de sales provenientes del mar. Pero debe ser manejada con precaución, debido a procesos físico – químicos (precipitación, disolución, saturación, subsaturación, entre otros) y factores como pH, temperatura, fuerza iónica y presión de CO_2 que pueden incidir en el ión bicarbonato.

En la Tabla 4.23 se presentan los resultados obtenidos para las muestras recolectadas en junio de 2023 en la cuenca del Río Chimalapa:

Tabla 4.23. Resultados de la relación cloruro - bicarbonatos.

Relaciones Iónicas	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
$rCl/rHCO_3$	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.8	11.4	6.1	0.6	1.1	0.6	0.5	0.8	0.3

Leyenda:

-  $0 < rCl/rHCO_3 < 5$ Aguas Continentales
-  $5 < rCl/rHCO_3 < 20$ Aguas Salobres
-  $rCl/rHCO_3 < 20$ Aguas Salinas

A partir de los resultados mostrados en la tabla 23, se observa que la mayoría de las muestras posee un comportamiento normal de contenido salino, atribuible a aguas continentales; excepto en el caso de las muestras PCHI 8 y PCHI 9, donde existe una diferencia en cuanto al comportamiento, porque estas se identifican como aguas salobres; esto posiblemente se deba a que estos pozos están cercanos a la zona de interacción río Chimalapa – Barra Ciega, por tanto, podría inferirse una influencia de la salinización

debida a la penetración de agua salada por el propio río y al efecto de los vientos de brisa marina.

- c) **Relación Sodio – Potasio (r_{Na}/r_K):** tiende a aumentar hacia la costa, los valores superiores a 40 pueden estar relacionados con la intrusión marina e indirectamente con la aridez climática; en el agua dulce los valores más frecuentes suelen estar comprendidos entre 3 y 250. En la Tabla 4.24 se presentan los resultados obtenidos para las muestras recolectadas en junio de 2023 en la cuenca del río Chimalapa:

Tabla 4.24. Resultados de la relación sodio - potasio.

Relaciones Iónicas	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
r_{Na}/r_K	13.8	4.4	8.8	6.6	19.4	13.8	35.2	57.7	21.5	16.2	14.8	8.1	10.8	1.7	16.1

Leyenda:

- $3 < r_{Na}/r_K < 250$ Aguas Dulces
- $40 < r_{Na}/r_K < 50$ Aguas Marinas

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla anterior, puede inferirse que la relación Sodio - Potasio indicaría que en el pozo PCHI 8, existiría la influencia del fenómeno de intrusión salina en las aguas muestreadas en junio de 2023. Lo cual sería consistente con los resultados de las relaciones iónicas anteriores.


- d) **Relación Sulfatos - Cloruros (r_{SO_4}/r_{Cl}):** Es otro de las relaciones iónicas que se utilizan regularmente en los estudios de acuíferos costeros; su utilidad radica en la posibilidad de caracterizar aportes suplementarios de ión sulfato, ajenos al aporte marino, o de detectar procesos de reducción de sulfatos. El valor de esta relación iónica correspondiente al agua de mar es de 0.11 (Herrera Lameli, 2001; Herrera y Custodio, 2003; Gómez Fontalva, Calvache, y Duque, 2010).

La Tabla 4.25 presenta los resultados obtenidos para las muestras recolectadas en junio de 2023 en la cuenca del río Chimalapa:

Tabla 4.25. Resultados de la relación sulfatos - cloruros.

Relaciones Iónicas	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
rSO ₄ /rCl	0.9	0.5	0.9	1.0	1.0	0.5	0.3	0.2	0.2	1.8	1.6	0.9	1.4	0.8	0.9

Leyenda:

 rSO₄/rCl = 0.11 Aguas Marinas

Por los resultados mostrados en la Tabla 4.25 se puede inferir que los pozos PCHI 1, PCHI 2, PCHI 3, PCHI 4 y PCHI 5 (ubicados en la parte alta de la cuenca), PCHI 12, PCHI 13, PCHI 14 y PCHI 15 (situados en la parte media), PCHI 10, PCHI 11, PCHI 6 y PCHI 7 (localizados en la parte baja), presentan posibles aportes suplementarios de sulfato por el alto valor que presenta la rSO₄/rCl en cada uno de ellos; este fenómeno podría estar relacionado a la influencia de las diferentes actividades antrópicas que se producen dentro de la zona de estudio, a procesos de interacción agua – roca que se produzcan en el área investigada, o bien al lavado de sales depositadas temporalmente en la parte superficial del terreno por lluvias antecedentes que se evaporan totalmente (Custodio, 1990).

Por consiguiente, si el aporte de sulfatos fuera tan elevado como para alterar la relación esperada entre sulfatos y cloruros, se produciría un aumento en los niveles de cloruros, dado que ambos componentes responden a actividades humanas. De esta manera, en un flujo de agua dulce que circule a través del acuífero, una disminución en la relación entre sulfatos y cloruros podría indicar un incremento en la concentración de cloruros dentro del sistema. Este cambio en la composición química del agua sería, por tanto, un indicador de la influencia humana sobre el flujo hídrico y sus características.

De acuerdo con Cruz-Falcón, Murillo-Jiménez y Fraga-Palomino (2023) los sulfatos mantienen una concentración constante en agua de mar, por tanto, mientras menor sea la relación rSO₄/rCl se puede considerar que existe una influencia del agua de mar. Con base a los resultados obtenidos, los pozos PCHI 8, PCHI 9 son los que poseen el valor más bajo en la relación sulfatos – cloruros (0.2), lo cual podría indicar un origen marino para el sulfato; posiblemente debido a la influencia del agua de mar que penetra por medio del propio río, ya que los pozos están cercanos a la zona de interacción río Chimalapa – Barra

Ciega. Este hallazgo refuerza la hipótesis de una posible influencia de la cuña de agua salada en la zona de interacción río Chimalapa – Barra Ciega.

- e) **Índice de cambio de base (icb):** Este índice es, en alguna medida, indicativo del sentido y la intensidad en que se producen fenómenos de intercambio iónico. Es necesario destacar que tiene mayor importancia la evolución espacial del índice que su propio valor absoluto, por lo que se muestra de utilidad para conocer comportamientos regionales. En general, el icb (entendido como la relación $rCl - r(Na + K) / rCl$) puede ser negativo, lo cual indicaría un cambio en las bases de ablandamiento, en cambio si es positivo indica un endurecimiento de las aguas; cuando se producen entradas de aguas saladas de origen marino o las aguas marinas se desplazan hacia el interior del continente se produce un déficit de Na y un exceso de Ca y Mg (endurecimiento), que se traduce en una elevación del índice i. c. b. , que con frecuencia supera el valor que corresponde al agua marina (+ 0.12).

Los resultados de las muestras que se tomaron en junio de 2023 (Tabla 4.26), indican en su mayoría valores visiblemente negativos, infiriéndose que existe un ablandamiento en las aguas de estos pozos, esto podría ser indicador de un intercambio catiónico, fenómeno que estaría asociado con la posible presencia de minerales de arcilla en la zona de estudio, que estarían afectando principalmente a los cationes Na^+ , Ca^+ , y Mg^{2+} , ya que el suelo cedería iones Na^+ y tomaría del agua iones Ca^+ , y Mg^{2+} ; como resultado, el agua se ablanda y tendría una tendencia a convertirse en sódica, situación que se puede apreciar en el diagrama de Piper (Figura 4.21).




Para la muestra colectada del pozo PCHI 14, el resultado muestra un probable endurecimiento de las aguas, porque existiría un déficit de Na^+ y un exceso de Ca^+ , y Mg^{2+} ; esto produciría que el agua no sea apta para el consumo humano (cuando se realizó el muestreo fue corroborado que el agua no era apta para consumo humano, porque presentaba mal sabor y no era cristalina); en cambio, los resultados de las muestras 8 y 9 están infiriendo un posible endurecimiento de las aguas, probablemente debido a que estos pozos están cercanos a la zona de interacción río Chimalapa – Barra Ciega, por tanto, puede existir una influencia de la salinización que se dé por la penetración de agua salada por medio del propio río. Reforzando la hipótesis que existe la presencia de mayor influencia

de la intrusión salina en la zona de barra ciega como se aprecia en el mapa de isoconductividad eléctrica para el área investigada (Figura 4.18).

Tabla 4.26. Resultados del índice de cambio de base.

Relaciones Iónicas	PCHI 1	PCHI 2	PCHI 3	PCHI 4	PCHI 5	PCHI 6	PCHI 7	PCHI 8	PCHI 9	PCHI 10	PCHI 11	PCHI 12	PCHI 13	PCHI 14	PCHI 15
icb	-0.3	-1.5	-0.6	-0.4	-0.7	-0.9	-0.5	0.6	0.7	-1.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.7	-0.3

Leyenda:

-  icb “-” Existe ablandamiento en las aguas dulces.
-  icb “+” Existe endurecimiento de las aguas dulces
-  icb > + 0.12 Posible intrusión de aguas marinas.

4.5.3.2. CORTES HIDROGEOQUÍMICOS.

Los cortes hidroquímicos se construyen a partir de varios sondeos o perfiles verticales, ya sea a partir de los valores de concentración de ión cloruro o por medio de los valores de conductividad eléctrica. Estos cortes, soportan datos suficientes y pueden ilustrar muy bien la posición de la interface agua dulce- agua salada.

Para esta investigación los sondeos se realizaron en siete pozos excavados en la zona baja de la cuenca del río Chimalapa, durante la época seca del año 2023; las profundidades de estos pozos oscilan entre los 0.60 y los 2.20 m. A partir de los datos de los sondeos de conductividad eléctrica se realizaron tres cortes hidrogeoquímicos, observándose una ligera estratificación del agua subterránea. Las mayores diferencias se registran en los sondeos realizados en los pozos PCHI 8, PCHI 9, PCHI 10 y PCHI 11, ubicados en la Cooperativa Barra Ciega, donde las aguas menos mineralizadas en la parte superior de la columna de agua poseen una conductividad eléctrica que varía entre los 931 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 3753 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras las aguas más profundas presentan valores entre los 940 y los 5109 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La Figura 4.23 presenta un corte de orientación aproximada O – E, realizado en terrenos de la Cooperativa Barra Ciega y en los cuales se representan estratificaciones del agua subterránea de acuerdo con las variaciones de la CE. En el corte se observan 3 estratificaciones de agua, la primera presenta una variación en la CE entre 931 y 2553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad que oscila entre 0.23 y 0.27 m; la segunda estratificación posee una conductividad mínima de 940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y

una máxima de 2600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la profundidad de este espesor de agua varía entre 0.60 y 1.40 m; el último estrato de agua solamente se observa en los pozos PCHI 11 y PCHI 9, los cuales se ubican en el lado Oeste del río y la conductividad eléctrica entre ellos oscila entre los 1506 y 2787 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad mínima de 1.37 m y máxima de 2.19 m aproximadamente. En este perfil es posible visualizar claramente la zona de interface agua dulce - agua salada, característica de las zonas costeras.

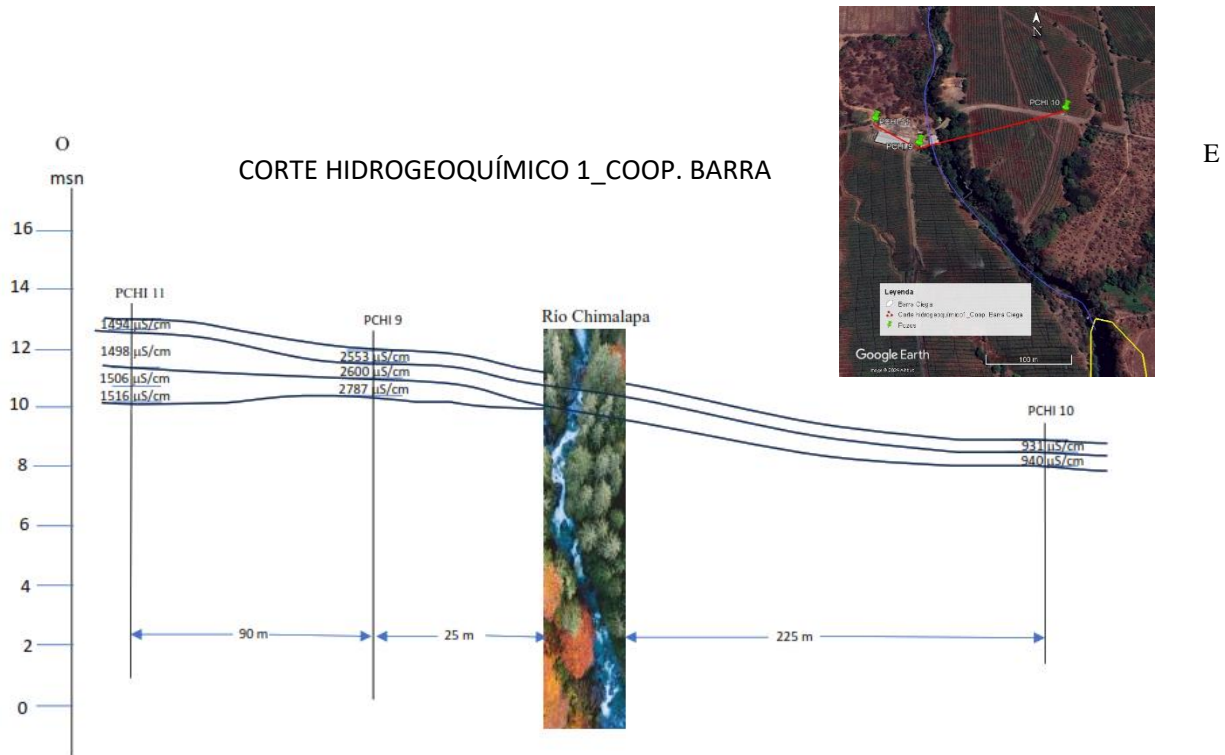


Figura 4.23. Corte hidrogeoquímico 1 de CE en el área de Cooperativa Barra Ciega.

El Segundo corte (Figura 4.24) realizado también en el área de la Cooperativa Barra Ciega, con orientación NO – SE, posee 3 estratificaciones de agua, la primera presenta una variación en la CE entre 1454 y 2553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad que oscila entre 0.23 y 0.27 m; este estrato de agua solamente se observa en los pozos PCHI 11 y PCHI 9, los cuales se ubican en el lado Oeste del río; la segunda estratificación posee una conductividad mínima de 1498 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una máxima de 3753 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la profundidad de este espesor de agua varía entre 0.28 y 1.40 m; en la última estratificación de agua la conductividad eléctrica oscila entre los 1506 y 5109 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad mínima de 1.25 m y máxima de 2.19 m aproximadamente. En este segundo corte también se observa, que las más altas conductividades eléctricas se localizan en el pozo PCHI 8 el

cual está ubicado a unos 100 m de Barra Ciega, lugar donde se produce la interacción del agua dulce del río Chimalapa y las aguas que provienen del mar. Por tanto, los altos valores de CE en este lugar pueden ser debidos a la influencia de la inundación mareal y fluvial que se produce en esta área.

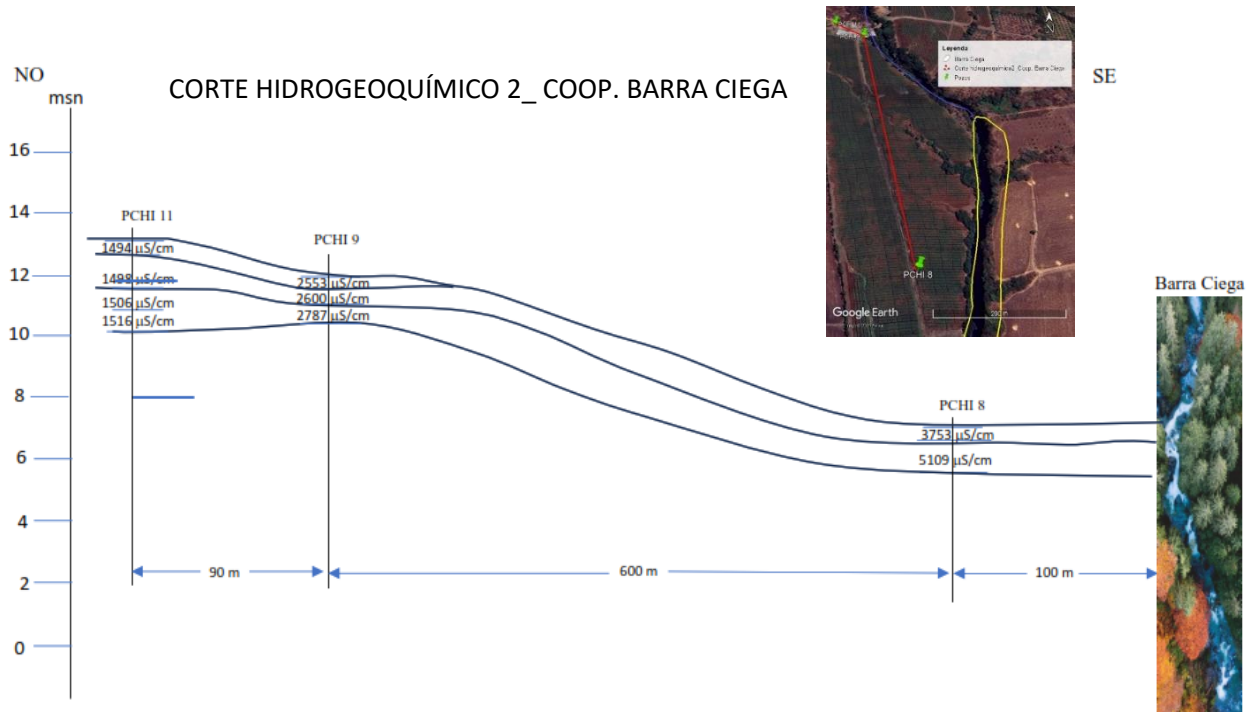


Figura 4.24. Corte hidrogeoquímico 2 de CE en el área de Cooperativa Barra Ciega.

Un tercer corte (Figura 4.25) realizado cerca de la costa (aproximadamente 80 m), con orientación O – E, posee 2 estratos de agua, el primero posee una variación en la CE entre 370 y 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una profundidad que oscila entre 0.39 y 0.58 m; en el segundo estrato hay una conductividad mínima de 383 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una máxima de 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la profundidad de este espesor de agua varía entre 0.28 y 1.40 m. En este tercer corte se observa, que las más altas conductividades eléctricas se localizan en el pozo Playa Miravalles 2. En esta zona, los valores de conductividad eléctrica son característicos de agua dulce, mostrando consistencia con la composición iónica reflejada en el diagrama de Piper (Figura 4.21) y diagramas de Stiff (Figura 4.22).

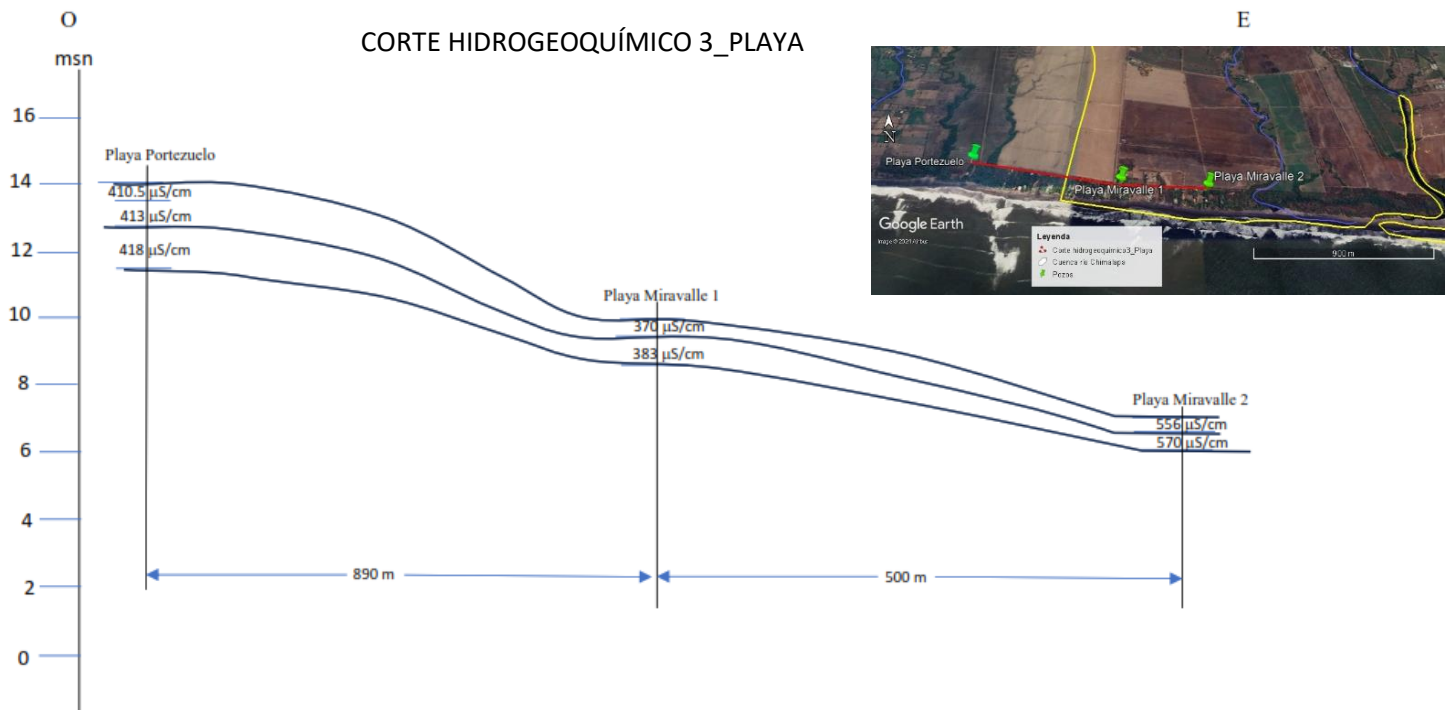


Figura 4.25. Corte hidrogeoquímico 3 de CE en el área cercana a la costa

4.6. MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO.

La ocurrencia del agua subterránea dentro del área de investigación podría estar asociado a dos grupos de capas geológicas, la más predominante de ellas estaría asociada al miembro geológico Q'f el cual está constituido por aluviones, localmente con intercalaciones de piroclastitas, perteneciente a la Formación San Salvador; la segunda capa estaría constituida por epiclástitas volcánicas, piroclastitas y corrientes de lavas intercaladas correspondiente al miembro geológico b1, perteneciente a la Formación Bálsamo. Este segundo estrato se localiza primordialmente en la parte alta de la cuenca y en menor medida en la parte media.

La topografía dentro de la cuenca posee en su gran mayoría pendientes entre 0 y 7% aproximadamente, conformando valles aluviales. Los terrenos en la zona son desde muy planos hasta algo planos, con relieves moderados. Además, existen pequeñas áreas conformando cerros o pequeños domos con pendientes mayores al 15%. Las quebradas y ríos en el área se encuentran en terrenos con pocas pendientes.

En el área de estudio existe un acuífero superficial libre considerado como no confinado, el cual es un acuífero en planicie costera y otros suelos aluviales, que presenta de moderadas a grandes cantidades de agua dulce de aluviones no consolidados; los niveles de profundidad del agua para este sistema oscilan entre 0.90 y 5.60 m en la parte alta de la cuenca, entre 0.53 y 5.54 m en la parte media y de 1.27 a 5.00 m en la parte baja. El flujo de agua subterránea en este acuífero probablemente es en dirección Norte – Sursureste, siguiendo parcialmente el rumbo del río Chimalapa y la pendiente del terreno, esto debido a la disminución de las elevaciones topográficas en dirección Sur, desde las cotas más altas en la cuenca y sus alrededores. El uso principal que se hace de él es doméstico, agrícola, ganadero y de riego, en menor medida es para consumo humano. Además, se cuenta con pozos perforados, probablemente captando aguas de un acuífero semiconfinado más profundo dentro de la cuenca, los datos de niveles freáticos en ellos muestran una variación entre 6.00 y 35.00 m de profundidad a lo largo de la probable formación acuífera. En este caso, el uso principal que se hace del mismo es para abastecimiento poblacional de los diferentes cantones y caseríos existentes en la zona.

Con base a la información recolectada, se logró inferir que en la parte alta de la cuenca del río Chimalapa, la transmisividad del acuífero superficial oscila entre 10.3 a 10.7 m²/día y que el coeficiente de almacenamiento para esta zona es aproximadamente (0.005467), lo cual podría indicar que el tipo de acuífero de la zona es libre o semiconfinado. Así mismo, algunos perfiles litológicos de pozos perforados y excavados localizados en esta zona, indican que los materiales que poseen las formaciones acuíferas interceptadas son: arcilla mezclada con cenizas volcánica, arenas parcialmente cementadas, calizas con incrustaciones de ceniza, areniscas con estratos delgados de limo, conglomerados mezclados con roca basáltica, margocalizas con incrustaciones de pómez, margas con contenido de calcita y arcillas, tobas color café y piroclastos andesíticos finos a medios con incrustaciones de material permeable.

Las entradas de agua a la cuenca están representadas principalmente por la recarga natural por precipitación, que haciende 14, 060,429.28 m³/año aproximadamente, sumándose la recarga de retorno de riego e ingreso a través de acequias, las cuales se consideran pequeñas comparadas con la primer recarga para este acuífero.

La descarga natural principal en la cuenca se encuentra determinada por el caudal base del río Chimalapa, el cual asciende a 6, 722,424 m³/año; así como posibles afloramientos de manantiales en las márgenes de los ríos que desembocan en el río principal. En cambio la descarga artificial está representada, por las extracciones de agua a través de los pozos excavados y perforados que se utilizan para consumo humano, uso doméstico, agrícola, ganadero y de riego, el cual es de aproximadamente 1, 324,512 m³/año. Finalmente el flujo subterráneo que descarga al mar es aproximadamente 6, 013,493.28 m³/año.

En la parte alta de la cuenca el agua es predominantemente producto de la recarga meteórica caracterizada por su composición bicarbonatada cálcica, que evoluciona hacia la parte baja a clorurada cálcica magnésica, afectada probablemente por procesos de intercambio iónico, por diferentes rutas que posiblemente poseen los flujos de agua subterránea en los diferentes sistemas acuíferos localizados en la cuenca; también la composición del agua puede verse afectada, debido a una probable disminución de la velocidad en el flujo de agua subterránea que provocaría un aumento gradual de los componentes minerales disueltos con la profundidad o a posibles cambios de presión y temperatura que afectarían la solubilidad de ciertos componentes químicos en el agua.

Además es de indicar que el sistema hidrogeológico en su descarga al mar posee una marcada influencia de salinidad generada por el accidente geográfico costero de Barra Ciega, en la parte superior del acuífero la CE aumenta desde valores de 931 μS/cm (característicos de agua dulce) a una profundidad que oscila entre 0.23 y 0.27 m, hasta los 5109 μS/cm a una profundidad que oscila entre 1.25 y 2.19 m, dejando constancia de la intersección de la cuña salina a esta profundidad. Sin embargo los pozos ubicados en la zona baja de la cuenca en el sector oeste no reflejan el efecto de la salinidad, esto posiblemente debido a un flujo distinto del presente en Barra Ciega, donde la descarga no recibe interferencia de la cuña, además posiblemente es debido a que los pozos tienen una menor profundidad. Pero también podría deberse a que estos pozos (los cuales no superan los 5 m de profundidad), aunque poseen equipo de bombeo, probablemente estén interceptando el espesor de agua dulce descargado al mar, esto seguramente se deba a que el volumen de agua dulce descargado en esta zona es mucho mayor al que se descarga en el área de Barra Ciega. Asimismo, en la parte baja desaparece el acuitardo y se refleja la unión de las aguas del acuífero profundo y el somero, cambiando la hidroquímica del agua.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- La cuenca del río Chimalapa se ubica entre los distritos de Sonsonate y Nahulingo en el departamento de Sonsonate, zona occidental de El Salvador, posee una superficie de 42.80 km² y un perímetro de 39.57 km aproximadamente, las elevaciones dentro del área varían entre 0 y 143 msnm presentando en su gran mayoría pendientes entre 0 y 7%, conformando valles aluviales; además, se distingue únicamente una sola región climática que es la *Sabanas tropical caliente o tierra caliente*, la cual corresponde a la zona calurosa con temperaturas promedio anual de 27.6 °C. Lo anterior implica que existan variaciones notables en las características climatológicas de la cuenca (Precipitación, ETP, etc.).
- A partir de los resultados de los aforos realizados y del análisis del hidrograma construido para el río Chimalapa, se obtiene que a través del cauce principal que posee la cuenca, se drena un caudal medio anual de 694 L/s, de estos 213 L/s, corresponden al caudal base promedio, es decir el 30.72% del caudal medio total. Además, la comparación del valor de caudal más alto obtenido por medio de aforos con el caudal medio determinado por el método de regionalización y el caudal base calculado a través del hidrograma del río, así como por las líneas isofreáticas y de flujo y las observaciones realizadas in-situ, indican que probablemente el río Chimalapa es efluente con respecto al sistema acuífero ubicado bajo la cuenca en la mayor parte de su cauce principal.
- El área de la cuenca del río Chimalapa (42.80 km²) está clasificada como una cuenca sedimentaria en fase de vejez, con base a su curva hipsométrica, su cauce principal tiene 17.67 km de longitud y una pendiente de 0.74%. Además, está caracterizada por dos formaciones principales: Bálamo (b1) y San Salvador (Q'f). La formación San Salvador predominante en aluviones y piroclastitas del Pleistoceno Superior al Holoceno, define dos características geomorfológicas distintas: la Planicie Costera, con una leve pendiente del 1% hacia el océano, compuesta por rocas volcánicas del Cuaternario, lahares y depósitos aluviales, elevándose entre 0 y 30 metros sobre el nivel del mar; y la Cadena Costera, que presenta aglomerados gruesos de edad pliocénica, capas delgadas de lava andesítica e ignimbritas, con elevaciones de 31 a 600 metros sobre el nivel del mar. Estas características han permitido identificar dos unidades hidrogeológicas principales en el área: la Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y

Productividad Media, compuesta por aluviales y piroclastitas con granulometría variable y conductividad hidráulica de mediana a baja, probablemente posee un espesor aproximado de entre 35 y 50 m y flujo de agua subterránea en dirección NW - SE; y la Unidad de Rocas No Acuíferas, formada por lavas macizas, tobas aglomeradas y lahares compactados, con conductividad hidráulica muy baja o nula, actuando como basamento de los acuíferos a profundidades superiores a 100 metros.

- El análisis del área de investigación revela que el sistema hidrogeológico ubicado en la cuenca del río Chimalapa, perteneciente al sector sur de la MASub ESA-02 y que forma parte del acuífero ESA-02-0 asociado a planicies costeras y suelos aluviales, estaría conformado primeramente por un acuífero superficial posiblemente no confinado o semiconfinado, el cual se confirmó por los niveles registrados “in situ” en la mayoría de los pozos excavados que extraen agua de él y que muestran pequeñas fluctuaciones en los niveles freáticos a lo largo del acuífero, estas varían entre 0.53 y 5.60 m; para la parte alta de la cuenca, informes técnicos indican que éste acuífero superficial tiene una transmisividad estimada entre 10.3 y 10.7 m²/día. Además, los perfiles litológicos de los pozos excavados que presentan estos informes indican una composición que incluye arcilla, cenizas volcánicas, arenas cementadas, calizas con ceniza, areniscas con limo, conglomerados con basalto, margocalizas con pómez, margas con calcita y arcillas, tobas café y piroclastos andesíticos con material permeable. En contraste, los pozos perforados en el área de investigación presumiblemente estén interceptando un acuífero profundo presuntamente confinado o semiconfinado, donde los niveles estáticos de agua oscilan entre 6.00 y 35 metros de profundidad. Además en ambos sistemas, se destaca la falta de registros temporales para evaluar las variaciones estacionales en los niveles de agua.
- Los niveles piezométricos en el acuífero y el mapa de isofreáticas y dirección de flujo, indican que la dirección del flujo subterráneo en el acuífero somero de la cuenca probablemente es de Norte a Sursureste siguiendo parcialmente el rumbo del río Chimalapa, que estaría relacionada con la topografía y la disminución de las elevaciones existentes en la zona y sus alrededores en dirección Sur. Además, el drenaje subterráneo en la cuenca es gravitacional el cual converge por medio de las formaciones geológicas más profundas de la región, es muy probable que este drenaje sea proveniente de la cadena volcánica como de las partes altas de la cuenca, el cual

inicia cuando parte del agua lluvia se infiltra en el suelo y se almacena en las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

- Para la estimación de la recarga vertical en la cuenca del río Chimalapa se utilizaron tres metodologías: RAS-FORGAES, Balance Hídrico Edáfico de Thornthwaite y Mather y Balance Hídrico de Schosinsky; determinándose que el menor valor de recarga acuífera es obtenido por medio del Balance de Thornthwaite y Mather ($10.30 \text{ Mm}^3/\text{año}$). El Balance Hídrico de Schosinsky es el que estima el mayor valor de recarga ($14.05 \text{ Mm}^3/\text{año}$), en cambio, la metodología RAS-FORGAES proporciona un valor intermedio entre las dos anteriores metodologías ($13.32 \text{ Mm}^3/\text{año}$). Las tres metodologías muestran consistencia en los resultados, no obstante, el Balance Hídrico de Schosinsky, es el que mejor manifiesta las condiciones de recarga acuífera en la cuenca, debido a que para determinar su valor se tomó en consideración la tasa de infiltración, parámetro que fue medido in-situ dentro del área de estudio. Con base a los resultados de este método, las áreas de mayor recarga se ubican primordialmente en la parte media y baja de la cuenca y en menor medida en la parte alta, en estas zonas el coeficiente de infiltración es alto probablemente debido a los materiales que se encuentran superficialmente en estas partes como también al uso del suelo que se les da a estos. En cambio los resultados obtenidos por medio de las metodologías de Thornthwaite-Mather y la de RAS - FORGAES, al encontrarse en el mismo orden de magnitud con respecto al método de Schosinsky, pueden ser considerad como una propuesta alternativa y válida para realizar una estimación teórica y rápida del balance hídrico dentro de la cuenca evaluada en la presente investigación.
- El análisis del Balance de Masas para la cuenca del río Chimalapa revela que las entradas al sistema, equivalentes a la recarga acuífera, ascienden a 14.06 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, mientras que las salidas, que incluyen extracciones de fuentes de agua por medio de pozos excavados y perforados con 1.32 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, extracción por medio de regadíos (se desconoce el caudal extraído) y el flujo base del río principal con 6.72 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, suman un total de 8.04 millones de $\text{m}^3/\text{año}$. Según estos datos probablemente existe un excedente de al menos 6.01 millones de $\text{m}^3/\text{año}$, equivalente al 42.77% del volumen total que ingresa al sistema el cual correspondería a la escorrentía subterránea que descarga al mar.

- Los resultados obtenidos para el muestreo fisicoquímico realizado en fuentes de agua, distribuidas a lo largo de la cuenca del río Chimalapa, revelan que las mediciones hechas in situ de los parámetros pH, TDS y CE, exceptuando algunos casos, sus valores son muy similares en toda la cuenca; las medidas de pH en los pozos muestreados oscilan entre 4.15 y 6.9, infiriéndose que el agua puede clasificarse entre moderadamente ácida y ligeramente ácida, que podría asociarse con agua de recarga reciente por su parecido con el pH del agua lluvia.
- En cambio, los valores de TDS del agua subterránea en la mayoría de los pozos muestreados en el área de investigación se encuentran por debajo del límite permitido por el RTS. Sin embargo, destacan los valores registrados en los pozos Pex 1 y Pex 3, ya que ambos superan el límite permitido. Esto podría estar relacionado con procesos de intrusión salina, debido a su ubicación cercana a la zona de playa, o bien con la influencia de actividades antrópicas, como ocurre en el caso del pozo Pex 3. Asimismo, los valores de CE registrados en la parte alta y media de la cuenca sugieren la presencia de agua con mayores concentraciones de sales, probablemente arrastradas por la lluvia hacia las zonas donde se encuentran los pozos que presentan esta condición. Por el contrario, los pozos Pex 1 y Pex 3, situados cerca de la orilla de Barra Ciega (en la parte baja de la cuenca), muestran valores elevados de CE, lo que podría estar asociado a una posible intrusión salina o a la contaminación por agua salada, consecuencia de inundaciones provocadas por grandes tormentas, cambios de marea o la mezcla del agua dulce del río con agua de mar. Esta área, de baja elevación, favorece la penetración del agua de mar en el río (PRISMA, 2001).
- Con base al mapa de isoconductividades eléctricas, el incremento de este parámetro en los pozos cercanos al río Chimalapa y a Barra Ciega en la parte baja de la cuenca, probablemente es debido a la entrada de las mareas altas y de la mezcla de agua dulce del río y agua del mar que se produce; asimismo, estos valores altos pueden estar relacionados con la intrusión de la cuña salina, y podrían asociarse más específicamente con una zona de influencia de la misma, donde los pozos han sido excavados a profundidades que alcanzan dicha zona de mezcla. Al mismo tiempo otra alternativa, es que estos valores altos de conductividad probablemente sean debido a una contaminación antropogénica (desechos animales y humanos, fertilizantes agrícolas, entre otros) existente. En cambio, los valores de CE medidos en pozos excavados cercanos a la orilla del mar (Pex 8, Pperf.3, PPerf.4 y PPerf.5), los cuales están entre 388 y 572 $\mu\text{S}/\text{cm}$, podrían

deberse a la presencia de un flujo distinto en el cual la influencia de la cuña salina no surte efecto alguno, probablemente debido a que el flujo de agua subterráneo hacia la costa es mayor y por tanto se tiene un mayor espesor de agua dulce sobre la interface de agua dulce – agua salada.

- Las variaciones en las concentraciones iónicas de nitratos, sulfatos, calcio, magnesio y bicarbonatos, observadas en las muestras de agua recolectadas durante las campañas de octubre-noviembre de 2022 y junio de 2023 en la cuenca del río Chimalapa, probablemente son resultado directo de diversas actividades antrópicas (agricultura, ganadería, domésticas entre otras) en la región de estudio; Además, podrían ser debidos a la presencia de materiales arcillosos o minerales, que provocarían procesos de mineralización causados por la interacción agua-roca, por tanto, existirían procesos de dilución de materiales en diferentes épocas del año hidrogeológico. Según los Diagramas de Piper y Stiff, las muestras de junio de 2023 del acuífero superficial de la zona mayormente exhiben características de aguas bicarbonatadas cálcicas o magnésicas, reflejando que la geología local estaría compuesta principalmente por aluviones con intercalaciones de piroclastitas y que serían aguas de recarga reciente y poco tránsito. Además, se identificaron aguas con procesos de mezcla o intercambio iónico, algunas cloruradas cálcicas o magnésicas y en menor medida bicarbonatadas sódicas. Por tanto, se puede decir que estas variaciones una tendencia general de mineralización del acuífero, a medida se proviene de la parte alta hacia la parte baja de la cuenca del río Chimalapa; además, estos cambios en la composición química del agua subterránea probablemente sean debido, a la existencia de un acuífero superficial (sistema local) y uno más profundo (sistema regional) los cuales están distribuyendo las diferentes ubicaciones de las zonas de recarga y descarga en el área de estudio. Así mismo, estos cambios en las concentraciones químicas del agua subterránea posiblemente sean ocasionados, por las diferentes longitudes de las rutas que poseen los flujos de agua subterránea para los diferentes sistemas acuíferos que se localizan en la cuenca; también pueda deberse, a una disminución de la velocidad en el flujo de agua subterránea, lo cual provocaría un aumento gradual de los componentes minerales disueltos con la profundidad (Tóth, 1963) o a cambios de presión y temperatura que afectan la solubilidad de ciertos componentes químicos en el agua (Tóth, 2000).

- En cambio, los análisis de índices hidrogeoquímicos y perfiles de conductividad eléctrica indican una posible intrusión salina o una salinización de las aguas debido a la contaminación de agua salada, en el área cercana a la zona de interacción del río Chimalapa y Barra Ciega, posiblemente como consecuencia de inundaciones provocadas por grandes tormentas, cambios de marea, o de la mezcla del agua dulce del río y agua del mar; así como en menor medida, a prácticas agrícolas locales y de riego y a procesos de interacción agua – roca. Es por eso que para prevenir un mayor aumento de salinidad en las aguas subterráneas, es crucial mantener un monitoreo constante en el área, ya que aún no se explota intensivamente el recurso hídrico subterráneo en la zona de estudio.
- La investigación sobre la cuenca del río Chimalapa permite concluir, que el modelo hidrogeológico conceptual desarrollado proporciona una comprensión integral del comportamiento del agua subterránea en la región, el cual revela que la ocurrencia del agua subterránea está vinculada a dos principales formaciones geológicas: los aluviones de la Formación San Salvador y las epiclástitas volcánicas de la Formación Bálsamo. Estas formaciones influyen en la recarga y el flujo del acuífero superficial libre, que se extiende a lo largo de una topografía predominantemente plana y con pendientes suaves, variando en profundidad de 0.90 a 5.60 metros en diferentes áreas de la cuenca. Además, el modelo hidrogeológico destaca que la parte alta de la cuenca presenta aguas predominantes de recarga meteórica con composición bicarbonatada cálcica, mientras que en las zonas más bajas, el agua evoluciona hacia una composición clorurada cálcica magnésica, influenciada por procesos de intercambio iónico y cambios en la velocidad del flujo subterráneo. La investigación también evidencia un incremento de salinidad cerca de la costa debido a la cuña salina, aunque los pozos cercanos al mar no muestran este efecto, probablemente debido a la filtración de agua dulce en áreas arenosas. Estos hallazgos subrayan la importancia de un monitoreo continuo para gestionar adecuadamente los recursos hídricos, evitando impactos negativos en la calidad del agua y asegurando su disponibilidad para diversos usos, incluidos el doméstico, agrícola y ganadero.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Se solicita a las instituciones encargadas de generar la información científica, social y cultural que para futuras investigaciones, el acceso a la información sea de libre consulta, descargar y lo más actualizada posible, cuando esta sea requerida para fines académicos o de investigación. Esto puede ser posible si se logrará implementar una base de datos para todo el país, donde se pueda consultar y descargar toda la información que sea necesaria en formatos que permitan su edición, procesamiento, análisis utilizando herramientas de programas especializados.
- Se recomienda que las autoridades encargadas de vigilar que se dé la preservación de los recursos hídricos y forestales cumplan con las medidas establecidas por ley, para garantizar la conservación y el manejo adecuado de estos. Lo anterior es debido a que durante los recorridos realizados en las diferentes partes de la cuenca, se comprobó que el cauce principal del río Chimalapa todavía posee vida acuática (tortugas, peces, camarones, entre otras especies), al mismo tiempo es utilizado para riego de cultivo y para actividades domésticas por los habitantes cercanos a él, con el objetivo de evitar una contaminación que impida utilizar estos recursos naturales.
- Debido a la escases de información respecto a las características geológicas, geomorfológicas, estructurales, litológicas, hidrogeológicas, geofísicas, geoquímicas entre otras, debido a la falta de investigaciones en la cuenca del río Chimalapa, es necesario realizar estudios con más detalle en la cuenca y áreas cercanas a ella, así como también es indispensable la implementación de piezómetros y pozos exploratorios, por medio de los cuales se pueda generar la información necesaria para la realización de modelos conceptuales y numéricos, que permitan describir de una mejor manera las condiciones geológicas, geomorfológicas estructurales, litológica, hidrogeológicas geofísicas y geoquímicas prevalcientes en la cuenca y el sistema acuífero.
- Este estudio insinúa que la preocupación por la capacidad hidrológica de la cuenca se justifica, cuando se mira hacia un desarrollo significativo de la zona en un corto, mediano y largo plazo. La capacidad hidrológica del área de estudio es buena hasta estos momentos, especialmente la disponibilidad de agua. Sin embargo, la zona de la cuenca necesita una mayor vigilancia, debido al estrés que se le puede ocasionar al suelo por el aumento del cultivo de caña, el cual se está convirtiendo en el cultivo principal en el área, esto a largo plazo puede producir un descenso en la capacidad de infiltración de agua hacia el sistema acuífero, así como una caída en el nivel del río Chimalapa ya que es de ahí, de donde se obtiene la mayor cantidad de volumen de agua para

el riego de este cultivo y de otros cultivos que se producen en menor medida. Al desarrollo urbano que se está produciendo en una mayor medida en la parte alta y media de la cuenca y al impulso turístico cercano a la costa, ya estos se están implementando sin un plan integral de gestión del agua y desarrollo urbano, que proteja toda el área de investigación de un estrés excesivo de sus recursos hídricos, el uso de suelo y al mismo tiempo preserve su flora y fauna.

- Evaluar por medio de estudios piezométricos y fisicoquímicos más profundos en la cuenca del río Chimalapa, para evaluar posibles entradas naturales adicionales al sistema acuífero, así como también la recarga subterránea proveniente de cuencas cercanas, la recarga que producen ríos y quebradas ya sea de forma total o parcial; de la misma manera analizar la influencia que tienen las acequias en las entradas y salidas de agua de la cuenca.
- Con base a los resultados obtenidos del Balance Iónico para los sitios examinados en la campaña de muestreo fisicoquímico realizada en junio de 2023, se recomienda que para futuras campañas de muestreo se efectúen protocolos donde se considere la medición de otras especies iónicas minoritarias, de metales pesados, microbiológicos. entre otros. Con esto se puede obtener que los resultados del error analítico se encuentren dentro de los rangos permitidos y así tener una idea más cercana a la realidad de la composición química tanto del acuífero y el cauce principal del río localizados dentro de la cuenca.
- Se pone de manifiesto la necesidad de realizar un estudio hidrogeoquímico más completo en el área correspondiente a la Hacienda El Obraje, Cooperativa Barra Ciega y cercanas a la Playa Miravalle (parte baja de la cuenca del río Chimalapa), que permita determinar las causas en cuanto al origen de la salinización que está presente en estas zonas de estudio, en vista que la presente investigación es un primer aporte, debido a las limitantes de información y/o recursos que se han tenido durante el desarrollo del estudio, que permitirá ahondar en una caracterización más a detalle de la zona de estudio.
- Es recomendable llevar a cabo una verificación de los resultados de los aforos realizados en el cauce principal del río Chimalapa, por medio de un monitoreo periódico del caudal de este como como también de los principales ríos tributarios de él; de ser posible, la realización y obtención de análisis químicos más detallados por medio de trazadores químicos, con el fin de obtener información acerca de una mayor cantidad de parámetros hidrodinámicos y al mismo tiempo corroborar la localización y medida de caudales aportados por afloramientos de aguas subterráneas a lo largo del cauce de ríos que no se lograron evidenciar durante esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya Meléndez, W. J., Linárez López, F. A., & Méndez Lucero, K. A. (2017). *Caracterización Hidrogeológica del Municipio de San Sebastián Salitrillo, Santa Ana*. Tesis de grado, Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador. Recuperado el Miércoles 5 de Enero de 2023
- Appelo, C. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (Second Edition ed.). Amsterdam, Netherlands: A.A. Balkema Publishers.
- Barrera de Calderón, M., Garfias, J., Martel, R., & García, J. S. (2021). Controles geológicos en el flujo de agua subterránea y distribución de volúmenes de extracción asociados a una estructura volcánica compleja. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73 (1), 21. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2021v73n1a170820>
- BCR, B. C. (27 de Octubre de 2022). *Oficina Nacional de Estadística y Censos*. Recuperado el 19 de Enero de 2024, de Población y estadísticas demográficas: <https://www.bcr.gob.sv/documental/Inicio/busqueda/193>
- Béjar, M. V. (2004). *Hidrología* (Primera Edición ed.). Cartago, Costa Rica : Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Brenes C, e. a. (2018). *Metodología para la elaboración del mapa cobertura forestal de El Salvador, 2016, análisis de cambio de uso, y desarrollo de los niveles de referencia de emisiones*. Informe técnico, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Recuperado el 08 de mayo de 2023
- C. Santhi de Silva, K. R. (2007). Groundwater Recharge Estimation using mproved Soil Moisture Balance Methodology for a Tropical Climate with Distinct Dry Seasons,. *Hydr. Sci. J.*, 52(5), 1051-1067.
- Carreón Freyre, D., Cerca, M., González, L. L., & Gámez González, F. J. (2005). Influencia de la estratigrafía y estructura geológica en el flujo de agua subterránea del Valle de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(1), 1-18.
- Castro, G., Dolores, M., & García Ruiz, A. (2005). Investigación - Acción en la Enseñanza de Problemas Ambientales en secundaria: La Lluvia Ácida. *VII Congreso de Enseñanza de las Ciencias*. Madrid. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/13303145.pdf>
- Cruz-Falcón, A., Murillo-Jiménez, J. M., & Fraga-Palomino, H. C. (09 de Mayo de 2023). Evolución de la intrusión marina y relaciones iónicas en el acuífero de La Paz BCS, México. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-16. doi:e1636
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea* (Vol. I). Barcelona, España: Omega S.A.
- DIGESTYC, D. G. (2008). *Encuestas de Hogares de Propósitos Múltiples 2008*. San Salvador, San Salvador.

- Domenico, P. A., & Schwart, F. W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology* (2nd Edition ed., Vol. 1). (I. John Wiley & Sons, Ed.) New York, USA: Wiley.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied hidrogeology* (Fourth Edition ed.). (P. Lynch, Ed.) Upper Saddle River, New Jersey, United States of America: Prentice Hall. Recuperado el jueves 12 de Enero de 2023
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliff, New Jersey 07632, United States of America: Prentice-Hall, Inc.
- Gómez Fontalva, J. M., Calvache, M. L., & Duque, C. (2010). Origen de la salinidad de las aguas subterráneas del sistema acuífero costero de Torrevieja: Aspectos Hidroquímicos. (S. G. España, Ed.) *Geogaceta*(48), 127-130. Obtenido de www.geogaceta.com
- Herrera Lameli, C. (20 de 07 de 2001). *Universitat Politècnica de Catalunya*. doi:10.5821/dissertation-2117-93527
- Herrera, C., & Custodio, E. (2003). Hipótesis sobre el origen de la salinidad de las aguas subterráneas en la isla de Fuerteventura, Archipiélago de Canarias, España. *Boletín Geológico y Minero*, 114(4), 433-452.
- Issar, A., & Passchier, R. (1990). *Regional hidrogeological concept. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge*. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH.
- Junker, M. (2006). *Método RAS para determinar la Recarga de Agua Subterránea*. FORGAES, UNIÓN EUROPEA, San Salvador, El Salvador, C.A., San Salvador.
- MARN. (2017). *Informe de Clasificación de Ríos por Calidad de Agua. Zonas de protección, mantenimiento y remediación*. San Salvador, San Salvador. Recuperado el Abril de 2022
- MARN, M. d. (2015). *Caracterización hidrogeológica de la zona de estudio del Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media, ubicado en la zona hidrográfica Jiboa - Estero de Jaltepeque, departamento de La Paz*. San Salvador, San Salvador. Recuperado el 2023, de <http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/handle/123456789/130>
- MARN., M. d. (2017). *Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias*. San Salvador, El Salvador: Unidad de Comunicaciones del MARN. Recuperado el 2023, de www.marn.gob.sv
- Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (Primera reimpresión ed.). (G. Noriega, Ed.) México D.F., Estado de México, México: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.
- Molina Duarte, A. E. (2022). *Caracterización Hidrogeológica de la Microcuenca del río Colón, departamento de La Libertad*. Tesis de postgrado, Universidad de El Salvador, Escuela de Postgrado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador. Recuperado el 2022

- Monge, C. E. (15 de 02 de 2016). Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Las Marías, Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador. *Revista Geológica de América Central*(55), 185 - 195. doi:10.15517/rgac.v55i0.27074
- Monge, C. E., Vargas, I., & Arévalo, D. (2016). Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Las Marías, Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador. *Revista Geológica de América Central*(55), 185-195. doi:10.15517/rgac.v55i0.27074
- Montaner Salas., M. E., Sánchez, E., & Serrano, A. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil. *PAPELES DE GEOGRAFÍA*(14), 223-235.
- Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica. (2018). *RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD*. Reglamento Técnico, Ministerio de Salud, San Salvador, San Salvador. Obtenido de <http://www.osartec.gob.sv/>
- Pérez, R. A. (Noviembre de 2021). Caracterización de las propiedades físicas del suelo en una finca cafetalera con manejo agroecológico caso finca La Esperanza en el Departamento de Santa Ana. 76 p. Ciudad Universitaria "Dr. Fabio Castillo Figueroa", San Salvador, San Salvador, El Salvador. Recuperado el 20 de junio de 2023, de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/26155/1/13101751.pdf>
- PRISMA. (Abril - Mayo de 2001). Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco. (N. Cuéllar, Ed.) Jiquilisco, Usulután, El Salvador. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de https://prismaregional.org/wp-content/uploads/2020/03/estudio_de_la_intrusion_de_aguas_salinas_Bahia_Jiquilisco.pdf
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E., & Clothier, B. E. (February de 1985). THE CONSTANT HEAD WELL PERMEAMETER. *Soil Science*, 139(2), 172-180. doi:doi:10.1097/00010694-198502000-00011
- Rodríguez Montellano, A., & Sánchez Sejas, C. (s.f.). Lluvia Ácida y sus efectos. (O. Arce, Recopilador) Cochabamba, Bolivia. Recuperado el 08 de Noviembre de 2004, de <https://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-%C3%A1cida.pdf>
- Sánchez, F. J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea* (2ª ed. ed.). Salamanca, España: Kindle Direct Publishing.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34 - 35, 13 - 30.
- Tóth, J. (August de 1963). A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basin. *Journal of Geophysical Research*, 68(16), 4795-4812.
- Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 111-4, 9-26.

- UNESCO. (2006). *Balance hídrico integrado y dinámico de El Salvador Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°2*. Documentos Técnicos. Recuperado el 24 de 04 de 2023
- USAID. (2009). *PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA COMPLEJO LOS CÓBANOS*. San Salvador.
- USDA - NRCS. (2016). Chapter 11 Sprinkler Irrigation . En U. S. Service., & S. Self (Ed.), *Part 623. National Engineering Handbook* (pág. 236 p.). Washington, DC., EE.UU. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=39754.wba>
- White, W. M. (2009). *Geochemistry*. Wiley - Blackwell. Obtenido de <http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/Chapters/>

ANEXOS

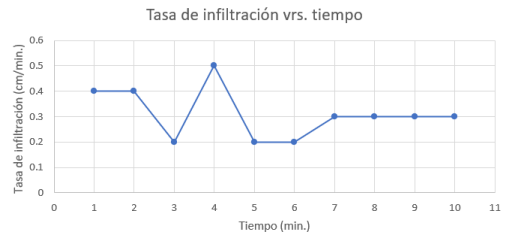
ANEXO 1. HOJA DE CÁLCULO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD Y RESULTADOS OBTENIDOS.

PUNTO 1

Fecha y Hora: 25 - 5 - 2022; 09:11 am N: 13°32.344'
O: -89°44.347'
 Localización del sitio: Cooperativa Barra Ciega Profundidad dl agujero: 30 cm Diámetro: 6 cm
 Características del suelo: suelo muy humedo, posee plasticidad, color oscuro (barro collr café los primeros 20 cm aproximadamente; barro color gris oscuro los siguientes 10 aprox.)
 Las capas de los suelos se observan compactas, en verano se agrietan.
 Comentarios: Vegetación de arboles cercana a la zona. En el punto de medición se realizó en un área de cultivo de maíz a unos 50 metros aproximadamente del Río chimalapa y a 1 Km aprox. Del manglar
 La topografía es plana
 Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

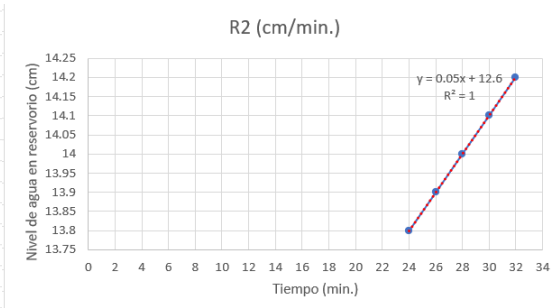
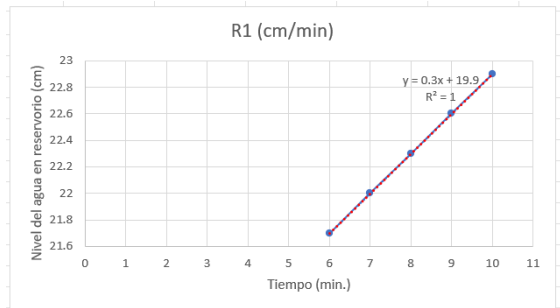
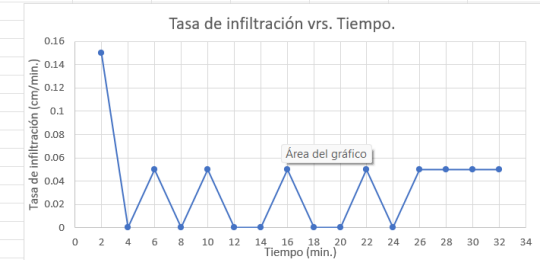
H1: 5cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	19.8	-	-
1	1	20.2	0.4	0.4
2	1	20.8	0.6	0.6
3	1	21.3	0.5	0.5
4	1	21.5	0.2	0.2
5	1	21.7	0.2	0.2
6	1	22	0.3	0.3
7	1	22.3	0.3	0.3
8	1	22.6	0.3	0.3
9	1	22.9	0.3	0.3
10	1			
11	1			



H2: 10cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	13.1	-	-
2	2	13.4	0.3	0.15
4	2	13.4	0	0
6	2	13.5	0.1	0.05
8	2	13.5	0	0
10	2	13.6	0.1	0.05
12	2	13.6	0	0
14	2	13.6	0	0
16	2	13.7	0.1	0.05
18	2	13.7	0	0
20	2	13.7	0	0
22	2	13.8	0.1	0.05
24	2	13.8	0	0
26	2	13.9	0.1	0.05
28	2	14	0.1	0.05
30	2	14.1	0.1	0.05
32	2	14.2	0.1	0.05



Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **5**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.3000**

Res Type	35.22		
H	5	$\alpha^1 =$	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C =	0.803154
H/a	1.667	Q =	0.1761
a*	0.12	$K_{fz} =$	3.20E-04 cm/sec
C0.01	0.809		1.92E-02 cm/min
C0.04	0.842		3.20E-06 m/sec
C0.12	0.803		7.57E-03 inch/min
C0.36	0.803		1.26E-04 inch/sec
C	0.803	$\Phi_m =$	2.67E-03 (cm ² /min)
R	0.300		
Q	0.176		
pi	3.142		

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **10**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

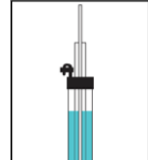
Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.0500**

Res Type	35.22		
H	10	$\alpha^1 =$	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C =	1.287543
H/a	3.33333	Q =	0.02935
a*	0.12	$K_{fz} =$	3.18E-05 cm/sec
C0.01	1.21841		1.91E-03 cm/min
C0.04	1.29023		3.18E-07 m/ses
C0.12	1.28754		7.51E-04 inch/min
C0.36	1.28754		1.25E-05 inch/sec
C	1.28754	$\Phi_m =$	2.65E-04 (cm ² /min)
R	0.050		
Q	0.02935		
pi	3.1415		

Promedio

$K_{fz} =$	1.76E-04 cm/sec
	1.06E-02 cm/min
	1.76E-06 m/s
	4.16E-03 inch/min
	6.93E-05 inch/sec
$\Phi_m =$	1.47E-03 (cm ² /min)



PUNTO 2

PUNTO 2
 Fecha y Hora: 25 - 5 - 2022; 11: 10 am
 N: 13°32.508'
 O: -89°44.447'

Localización del sitio: Cooperativa Barra Ciega
 Profundidad de agujero: 30 cm
 Diámetro del agujero: 6 cm

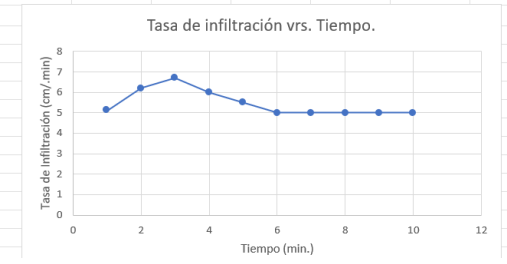
Características del suelo: suelo muy humedo, posee poca plasticidad, color oscuro (barro color gris oscuro los 30 cm aprox.)
 El suelo presenta rocas en la superficie, es algo compacto presenta endurecimiento cuando está seco, la textura se siente como arcillas con arenas

Comentarios: Vegetación de arboles cercana a la zona. En el punto de medición se realizó en un área de cultivo de caña a unos 200 metros del primer punto y 50 aproximadamente del Río chimalapa y 1.2 Km aprox. Del manglar La topografía es plana y de pendiente baja.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

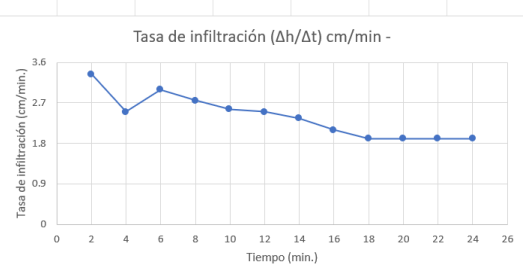
H1: 5cm

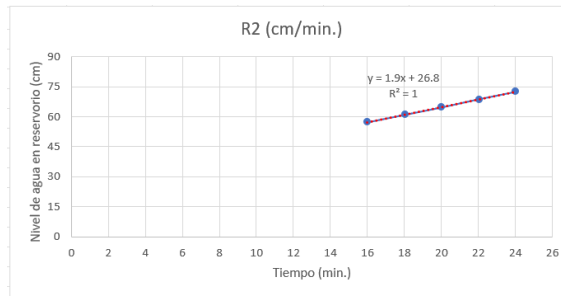
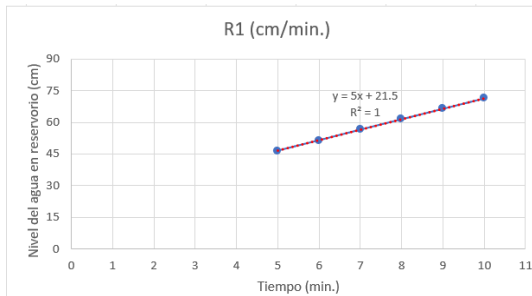
Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	17	-	-
1	1	22.1	5.1	5.1
2	1	28.3	6.2	6.2
3	1	35	6.7	6.7
4	1	41	6	6
5	1	46.5	5.5	5.5
6	1	51.5	5	5
7	1	56.5	5	5
8	1	61.5	5	5
9	1	66.5	5	5
10	1	71.5	5	5
11	1			
12				



H2: 10cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	15	-	-
2	2	21.7	6.7	3.35
4	2	26.7	5	2.5
6	2	32.7	6	3
8	2	38.2	5.5	2.75
10	2	43.3	5.1	2.55
12	2	48.3	5	2.5
14	2	53	4.7	2.35
16	2	57.2	4.2	2.1
18	2	61	3.8	1.9
20	2	64.8	3.8	1.9
22	2	68.6	3.8	1.9
24	2	72.4	3.8	1.9





SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ail@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **5**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **5.0000**

H 5
a 3
H/a 1.667
a* 0.12
C0.01 0.809
C0.04 0.842
C0.12 0.803
C0.36 0.803
C 0.803
R 5.000
Q 2.935
pi 3.142

$\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 0.803154$
 $Q = 2.935$
 $K_{fs} = 5.34E-03 \text{ cm/sec}$
 $3.20E-01 \text{ cm/min}$
 $5.34E-05 \text{ m/sec}$
 $1.26E-01 \text{ inch/min}$
 $2.10E-03 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 4.45E-02 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **10**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

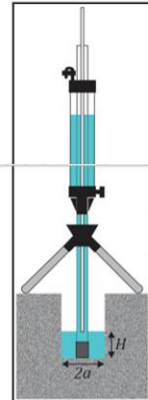
Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **1.9000**

H 10
a 3
H/a 3.33333
a* 0.12
C0.01 1.21841
C0.04 1.29023
C0.12 1.28754
C0.36 1.28754
C 1.28754
R 1.900
Q 1.1153
pi 3.1415

$\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 1.287543$
 $Q = 1.1153$
 $K_{fs} = 1.21E-03 \text{ cm/sec}$
 $7.25E-02 \text{ cm/min}$
 $1.21E-05 \text{ m/sec}$
 $2.85E-02 \text{ inch/min}$
 $4.76E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 1.01E-02 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 3.27E-03 \text{ cm/sec}$
 $1.96E-01 \text{ cm/min}$
 $3.27E-05 \text{ m/s}$
 $7.73E-02 \text{ inch/min}$
 $1.29E-03 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 2.73E-02 \text{ (cm}^2\text{/min)}$



PUNTO 3

PUNTO 3

Fecha y Hora: 25 - 5 - 2022; 14:15

N: 13°32.850'

O: -89°44.396'

Localización del sitio: Terrenos propiedad de Empresa Diana

Profundidad de agujero: 40 cm

Diámetro del agujero: 6 cm

Características del suelo: suelo húmedo, posee poca plasticidad, color oscuro (barro color café oscuro los 40 cm aprox.)

El suelo presenta rocas en la superficie y en el interior del agujero, es algo compacto presenta endurecimiento cuando está seco, la textura se siente como arcillas con arenas

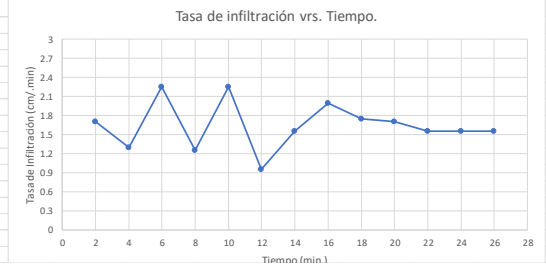
Comentarios: Vegetación de árboles cercana a la zona. En el punto de medición se realizó en un área de cultivo de marañón a unos 600 metros del segundo punto y 50 del río Chimalapa aproximadamente.

La topografía es plana y de pendiente baja.

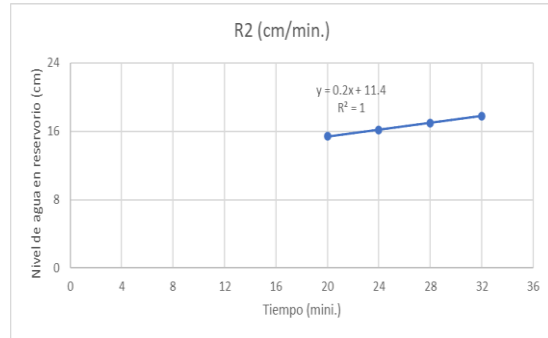
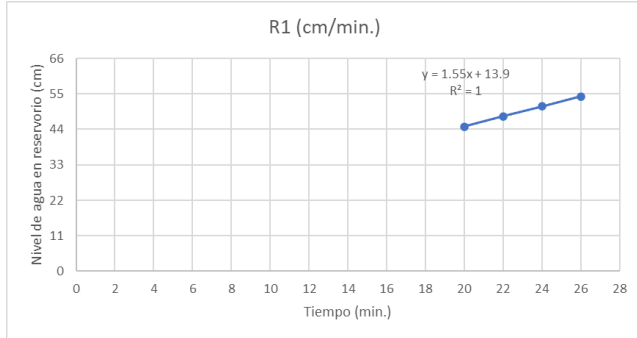
Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

H1: 11cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	11.5	-	-
2	2	14.9	3.4	1.7
4	2	17.5	2.6	1.3
6	2	22	4.5	2.25
8	2	24.5	2.5	1.25
10	2	29	4.5	2.25
12	2	30.9	1.9	0.95
14	2	34	3.1	1.55
16	2	38	4	2
18	2	41.5	3.5	1.75
20	2	44.9	3.4	1.7
22	2	48	3.1	1.55
24	2	51.1	3.1	1.55
26	2	54.2	3.1	1.55
28	2			



Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	11	-	-
4	4	11.8	0.8	0.2
8	4	12.6	0.8	0.2
12	4	13.4	0.8	0.2
16	4	14.2	0.8	0.2
20	4	15.4	1.2	0.3
24	4	16.2	0.8	0.2
28	4	17	0.8	0.2
32	4	17.8	0.8	0.2



SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga#1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **11**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **1.5500**

Res Type: 35.22
 H: 11
 a: 3
 $\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 1.370065$
 $Q = 0.90985$
 $K_{fs} = 9.07E-04 \text{ cm/sec}$
 $5.44E-02 \text{ cm/min}$
 $9.07E-06 \text{ m/sec}$
 $2.14E-02 \text{ inch/min}$
 $3.57E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 7.56E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **22**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

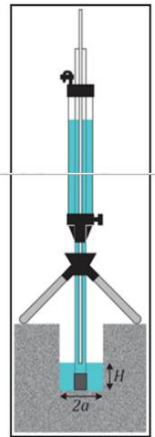
Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.2000**

Res Type: 35.22
 H: 22
 a: 3
 $\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 2.091543$
 $Q = 0.1174$
 $K_{fs} = 5.77E-05 \text{ cm/sec}$
 $3.46E-03 \text{ cm/min}$
 $5.77E-07 \text{ m/sec}$
 $1.36E-03 \text{ inch/min}$
 $2.27E-05 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 4.81E-04 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 4.82E-04 \text{ cm/sec}$
 $2.89E-02 \text{ cm/min}$
 $4.82E-06 \text{ m/s}$
 $1.14E-02 \text{ inch/min}$
 $1.90E-04 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 4.02E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$



PUNTO 4

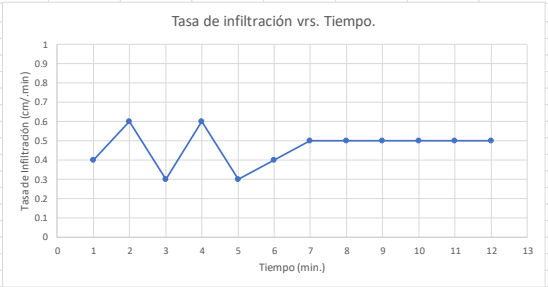
Fecha y Hora: 08 - 7 - 2022; 09:30 am
 Localización del sitio: Cerca del obraje
 N: 13°33.556'
 O: -89°44.454'
 Profundidad de agujero: 40 cm
 Diámetro del agujero: 6 cm

Características del suelo: suelo muy húmedo, posee plasticidad, color oscuro (barro color gris oscuro los 30 cm aprox.)
 El suelo presenta rocas en la superficie y en el interior del agujero, es algo compacto presenta endurecimiento cuando está seco, la textura se siente como arcillas con arenas
 Comentarios: Vegetación de árboles cercana a la zona. En el punto de medición se realizó en un área de cultivo de caña a unos 800 metros de la quebrada Los Dominguez aproximadamente.
 La topografía es plana y de pendiente baja.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

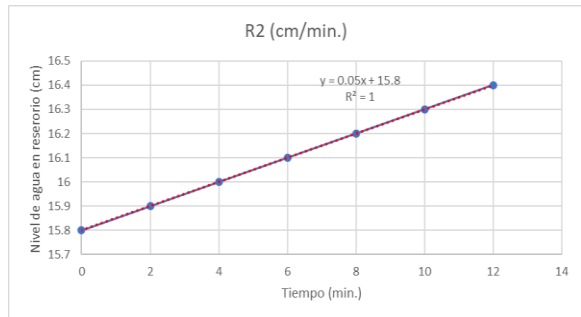
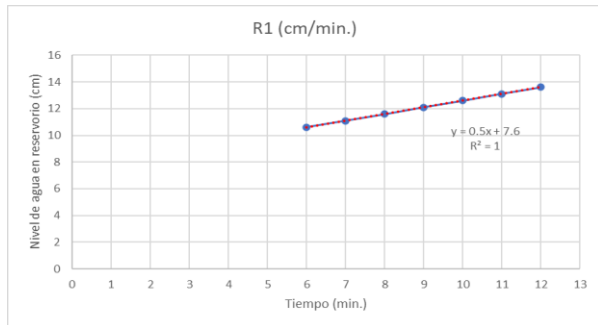
H1: 5cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	8	-	-
1	1	8.4	0.4	0.4
2	1	9	0.6	0.6
3	1	9.3	0.3	0.3
4	1	9.9	0.6	0.6
5	1	10.2	0.3	0.3
6	1	10.6	0.4	0.4
7	1	11.1	0.5	0.5
8	1	11.6	0.5	0.5
9	1	12.1	0.5	0.5
10	1	12.6	0.5	0.5
11	1	13.1	0.5	0.5
12	1	13.6	0.5	0.5



H2: 10cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
0	-	15.8	-	-
2	2	15.9	0.1	0.05
4	2	16	0.1	0.05
6	2	16.1	0.1	0.05
8	2	16.2	0.1	0.05
10	2	16.3	0.1	0.05
12	2	16.4	0.1	0.05
14	2			
16	2			



Input

Result

Support: aii@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **5**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.5000**

H	5	α^*	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C	0.803154
H/a	1.667	Q	0.2935
a*	0.12	K_{fs}	5.34E-04 cm/sec
CO.D1	0.809		3.20E-02 cm/min
CO.D4	0.842		5.34E-06 m/sec
CO.12	0.803		1.26E-02 inch/min
CO.36	0.803		2.10E-04 inch/sec
C	0.803	Φ_m	4.45E-03 (cm ² /min)
R	0.500		
Q	0.294		
pi	3.142		

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **10**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

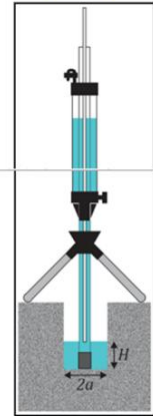
Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.0500**

H	10	α^*	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C	1.287543
H/a	3.33333	Q	0.02935
a*	0.12	K_{fs}	3.18E-05 cm/sec
CO.01	1.21841		1.91E-03 cm/min
CO.04	1.29023		3.18E-07 m/ses
CO.12	1.28754		7.51E-04 inch/min
CO.36	1.28754		1.25E-05 inch/sec
C	1.28754	Φ_m	2.65E-04 (cm ² /min)
R	0.050		
Q	0.02935		
pi	3.1415		

Promedio

K_{fs} = **2.83E-04** cm/sec
1.70E-02 cm/min
2.83E-06 m/s
6.68E-03 inch/min
1.11E-04 inch/sec

Φ_m = **2.36E-03** (cm²/min)



PUNTO 5

PUNTO 5
 Fecha y Hora: 08 - 7 - 2022, 12:20 pm
 N: 13°33.633'
 O: -89°44.418'

Localización del sitio: a unos 300 metros del punto 4 aproximadamente.
 Profundidad de agujero: 30 cm
 Diámetro del agujero: 6 cm

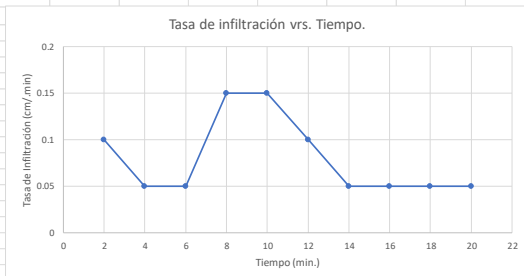
Características del suelo: suelo muy humedo, posee muy poca plasticidad, color oscuro

Comentarios: En el punto de medición se realizó en un área limitrofe entre zona boscosa y de cultivo de caña.
 La topografía es plana y de pendiente baja.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

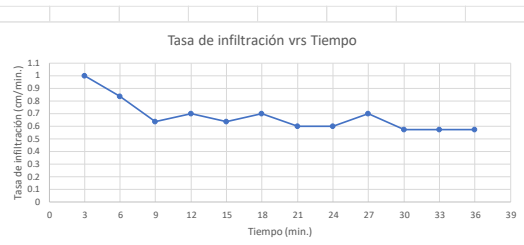
H1: 20cm

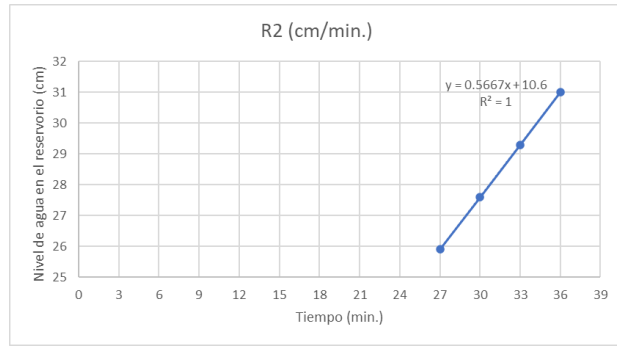
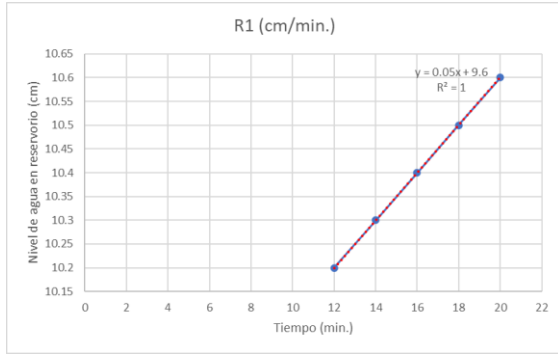
Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	9	-	-
2	2	9.2	0.2	0.1
4	2	9.3	0.1	0.05
6	2	9.4	0.1	0.05
8	2	9.7	0.3	0.15
10	2	10	0.3	0.15
12	2	10.2	0.2	0.1
14	2	10.3	0.1	0.05
16	2	10.4	0.1	0.05
18	2	10.5	0.1	0.05
20	2	10.6	0.1	0.05



H2: 23cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	6.7	-	-
3	3	9.7	3	1
6	3	12.2	2.5	0.833
9	3	14.1	1.9	0.633
12	3	16.2	2.1	0.7
15	3	18.1	1.9	0.633
18	3	20.2	2.1	0.7
21	3	22	1.8	0.6
24	3	23.8	1.8	0.6
27	3	25.9	2.1	0.7
30	3	27.6	1.7	0.57
33	3	29.3	1.7	0.57
36	3	31	1.7	0.57





SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **20**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**
 Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.0500**

Res Type: 35.22	
H: 20	
a: 3	$\alpha^4 = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
H/a: 6.667	
a*: 0.12	C = 1.980192
C0.01: 1.755	Q = 0.02935
C0.04: 1.903	
C0.12: 1.98	$K_{fs} = 1.61E-05 \text{ cm/sec}$
C0.36: 1.98	$9.64E-04 \text{ cm/min}$
C: 1.98	$1.61E-07 \text{ m/sec}$
R: 0.050	$3.80E-04 \text{ inch/min}$
Q: 0.029	$6.33E-06 \text{ inch/sec}$
pi: 3.142	$\Phi_m = 1.34E-04 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **23**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**
 Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

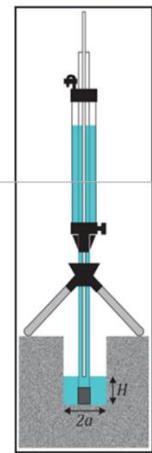
Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.5700**

Res Type: 35.22	
H: 23	
a: 3	$\alpha^4 = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
H/a: 7.66667	
a*: 0.12	C = 2.144668
C0.01: 1.87494	Q = 0.33459
C0.04: 2.04504	
C0.12: 2.14467	$K_{fs} = 1.56E-04 \text{ cm/sec}$
C0.36: 2.14467	$9.38E-03 \text{ cm/min}$
C: 2.14467	$1.56E-06 \text{ m/sec}$
R: 0.570	$3.69E-03 \text{ inch/min}$
Q: 0.33459	$6.16E-05 \text{ inch/sec}$
pi: 3.1415	$\Phi_m = 1.30E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 8.62E-05 \text{ cm/sec}$
 $5.17E-03 \text{ cm/min}$
 $8.62E-07 \text{ m/s}$
 $2.04E-03 \text{ inch/min}$
 $3.39E-05 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 7.19E-04 \text{ (cm}^2\text{/min)}$



PUNTO 6

PUNTO 6
 Fecha y Hora: 08 - 7 - 2022; 15:40
 Localización del sitio: a unos 2 kilómetros del caserío el Jocotillo aproximadamente.
 Características del suelo: suelo muy húmedo, posee plasticidad es como barroso, una primera capa color negro, a los 20 cm de profundidad aproximadamente una segunda capa color gris oscuro con intercalaciones de pequeñas rocas de color negro casi a los 30 cm de profundidad se localiza una capa dura que el guía nos indica puede ser de talpetate
 Comentarios: El punto de medición se realizó aproximadamente a unos 200 metros de la ribera del río Chimalapa, en una zona de cultivo de pasto y eucalipto. La topografía es plana y de pendiente baja.

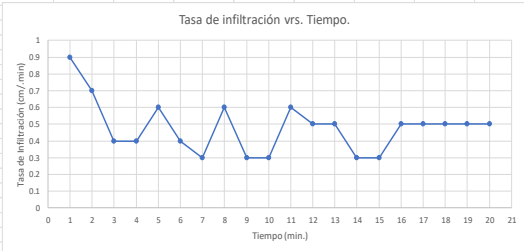
N: 13°34' 662"
 O: -89°44' 534"
 Profundidad de agujero: 30 cm

Diámetro del agujero: 6 cm

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

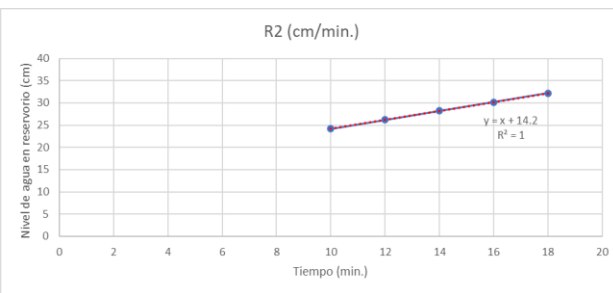
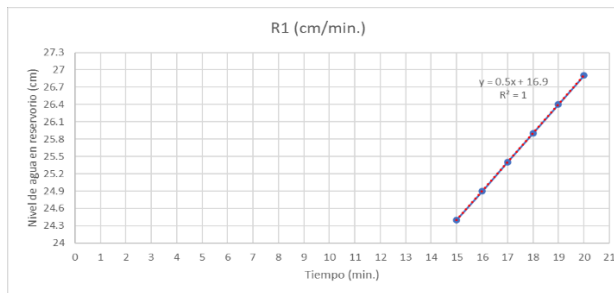
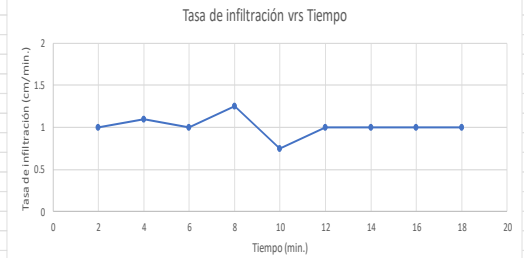
H1: 20cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	17.3	-	-
1	1	18.2	0.9	0.9
2	1	18.9	0.7	0.7
3	1	19.3	0.4	0.4
4	1	19.7	0.4	0.4
5	1	20.3	0.6	0.6
6	1	20.7	0.4	0.4
7	1	21	0.3	0.3
8	1	21.6	0.6	0.6
9	1	21.9	0.3	0.3
10	1	22.2	0.3	0.3
11	1	22.8	0.6	0.6
12	1	23.3	0.5	0.5
13	1	23.8	0.5	0.5
14	1	24.1	0.3	0.3
15	1	24.4	0.3	0.3
16	1	24.9	0.5	0.5
17	1	25.4	0.5	0.5
18	1	25.9	0.5	0.5
19	1	26.4	0.5	0.5
20	1	26.9	0.5	0.5



H2: 21cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	14	-	-
2	2	16	2	1
4	2	18.2	2.2	1.1
6	2	20.2	2	1
8	2	22.7	2.5	1.25
10	2	24.2	1.5	0.75
12	2	26.2	2	1
14	2	28.2	2	1
16	2	30.2	2	1
18	2	32.2	2	1





Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **20**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.5000**

Res Type: 35.22
 H: 20
 a: 3
 H/a: 6.667
 a*: 0.12
 C0.01: 1.755
 C0.04: 1.903
 C0.12: 1.98
 C0.36: 1.98
 C: 1.98
 R: 0.500
 Q: 0.294
 pi: 3.142

$\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 1.980192$
 $Q = 0.2935$

$K_{fs} = 1.61E-04 \text{ cm/sec}$
 $9.64E-03 \text{ cm/min}$
 $1.61E-06 \text{ m/sec}$
 $3.80E-03 \text{ inch/min}$
 $6.33E-05 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 1.34E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **21**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **1.0000**

Res Type: 35.22
 H: 21
 a: 3
 H/a: 7
 a*: 0.12
 C0.01: 1.79626
 C0.04: 1.95202
 C0.12: 2.03675
 C0.36: 2.03675
 C: 2.03675
 R: 1.000
 Q: 0.587
 pi: 3.1415

$\alpha^* = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $C = 2.036749$
 $Q = 0.587$

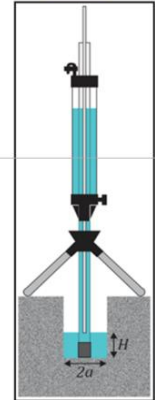
$K_{fs} = 3.04E-04 \text{ cm/sec}$
 $1.83E-02 \text{ cm/min}$
 $3.04E-06 \text{ m/sec}$
 $7.19E-03 \text{ inch/min}$
 $1.20E-04 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 2.54E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 2.33E-04 \text{ cm/sec}$
 $1.40E-02 \text{ cm/min}$
 $2.33E-06 \text{ m/s}$
 $5.49E-03 \text{ inch/min}$
 $9.16E-05 \text{ inch/sec}$

$\Phi_m = 1.94E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$



PUNTO 7

PUNTO 7
 Fecha y Hora: 29 - 7 - 2022; 09:10
 N: 13°38.515'
 O: -89°45.661'

Localización del sitio: Terrenos de la Viuda Julia de Rosales
 Profundidad de agujero: 33.0 cm
 Diámetro del agujero: 9.0 cm

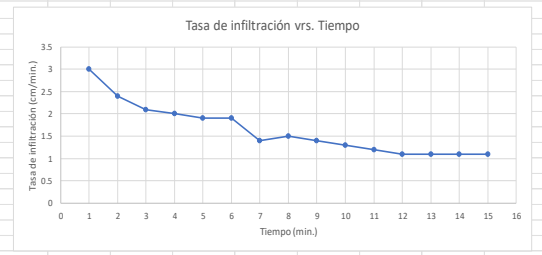
Características del suelo: suelo húmedo, posee poca plasticidad es como barroso, color café

Comentarios: El punto de medición se realizó aproximadamente a unos 40 metros de un pozo cercano a la ribera del río Chimalapa en una zona de cultivo de pasto. La topografía es un poco plana y pendiente baja; el acceso a esta zona es muy malo, muchas rocas en el camino así como también mucho lodo debido a pequeños charcos. Hay árboles y palmeras de cocos cerca de la zona.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

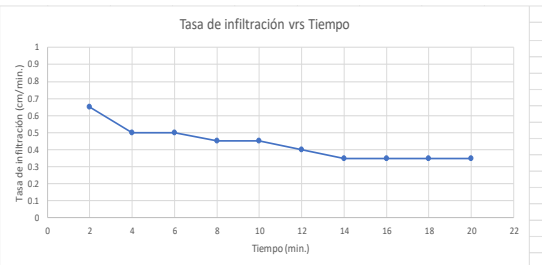
H1: 3 cm

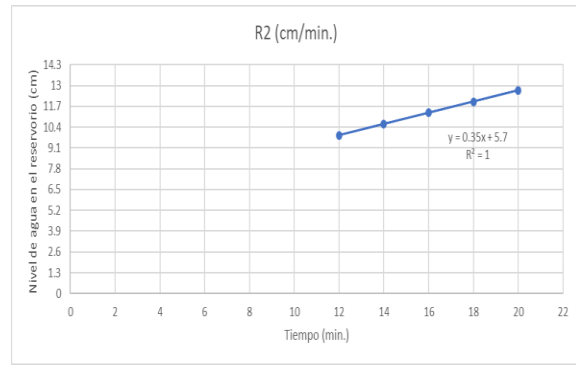
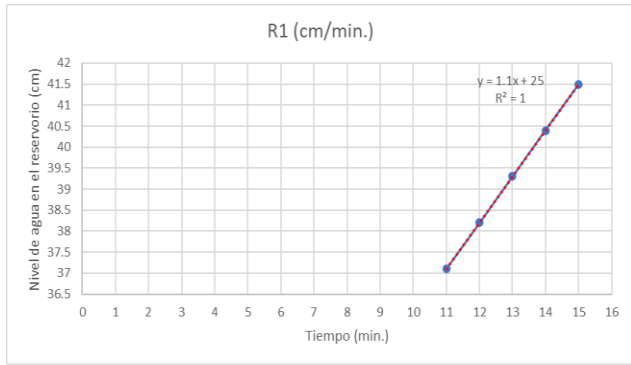
Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	17	-	-
1	1	20	3	3
2	1	22.4	2.4	2.4
3	1	24.5	2.1	2.1
4	1	26.5	2	2
5	1	28.4	1.9	1.9
6	1	30.3	1.9	1.9
7	1	31.7	1.4	1.4
8	1	33.2	1.5	1.5
9	1	34.6	1.4	1.4
10	1	35.9	1.3	1.3
11	1	37.1	1.2	1.2
12	1	38.2	1.1	1.1
13	1	39.3	1.1	1.1
14	1	40.4	1.1	1.1
15	1	41.5	1.1	1.1



H2: 10cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	4	-	-
2	2	5.3	1.3	0.65
4	2	6.3	1	0.5
6	2	7.3	1	0.5
8	2	8.2	0.9	0.45
10	2	9.1	0.9	0.45
12	2	9.9	0.8	0.4
14	2	10.6	0.7	0.35
16	2	11.3	0.7	0.35
18	2	12	0.7	0.35
20	2	12.7	0.7	0.35





SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input

Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **3**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **4.5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **1.1000**

Res Type	35.22	$\alpha^h =$	0.12	(cm^{-1})
H	3	C =	0.415631	
a	4.5	Q =	0.6457	
H/a	0.667	$K_{fs} =$	1.12E-03	cm/sec
a*	0.12		6.71E-02	cm/min
C0.01	0.454		1.12E-05	m/sec
C0.04	0.464		2.64E-02	inch/min
C0.12	0.416		4.40E-04	inch/sec
C0.36	0.416	$\Phi_m =$	9.32E-03	(cm^2/min)
C	0.416			
R	1.100			
Q	0.646			
pi	3.142			

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **10**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **4.5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

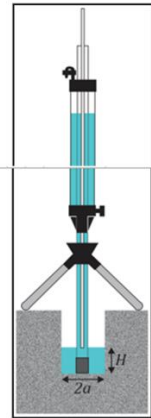
Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.3500**

Res Type	35.22	$\alpha^h =$	0.12	(cm^{-1})
H	10	C =	0.980616	
a	4.5	Q =	0.20545	
H/a	2.22222	$K_{fs} =$	1.66E-04	cm/sec
a*	0.12		9.96E-03	cm/min
C0.01	0.96316		1.66E-06	m/sec
C0.04	1.0087		3.92E-03	inch/min
C0.12	0.98062		6.53E-05	inch/sec
C0.36	0.98062	$\Phi_m =$	1.38E-03	(cm^2/min)
C	0.98062			
R	0.350			
Q	0.20545			
pi	3.1415			

Promedio

$K_{fs} =$	6.42E-04	cm/sec
	3.85E-02	cm/min
	6.42E-06	m/s
	1.52E-02	inch/min
	2.53E-04	inch/sec
$\Phi_m =$	5.35E-03	(cm^2/min)



PUNTO 8

PUNTO 8

Fecha y Hora: 29 - 7 - 2022; 12:10

N: 13°38.225'

O: -89°46.019'

Localización del sitio: Hacienda Los Mejía
acceso en mal estado

Profundidad de agujero: 30 cm

Diámetro del agujero: 6.0 cm

Características del suelo: suelo humedo, posee poca plasticidad es como barroso y arenoso, color café

Comentarios: El punto de medición se realizó aproximadamente a unos 200 metros del río Chimalapa y a unos 50 metros existen dos asequeas.

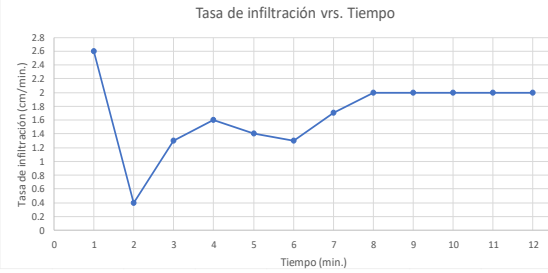
La topografía es plana y pendiente muy baja; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino.

Hay árboles en los alrededores de la zona de medición; el cultivo es pasto para ganado.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

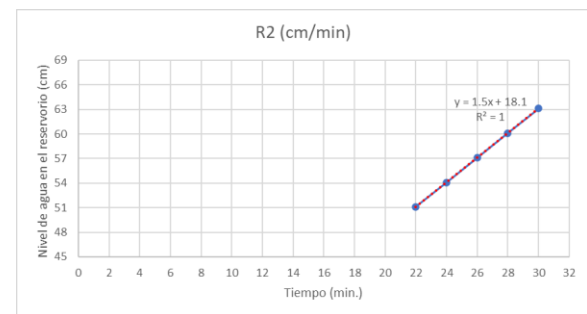
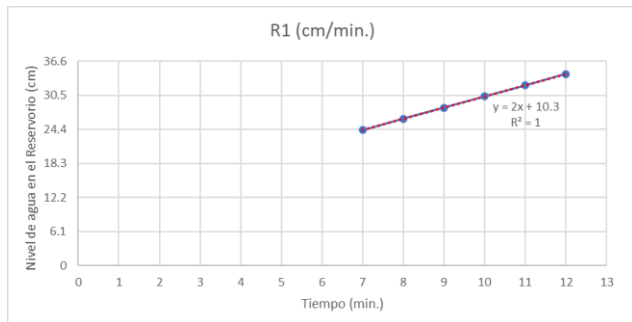
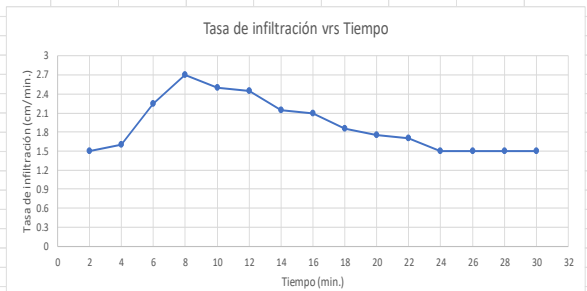
H1: 5 cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	14	-	-
1	1	16.6	2.6	2.6
2	1	17	0.4	0.4
3	1	18.3	1.3	1.3
4	1	19.9	1.6	1.6
5	1	21.3	1.4	1.4
6	1	22.6	1.3	1.3
7	1	24.3	1.7	1.7
8	1	26.3	2	2
9	1	28.3	2	2
10	1	30.3	2	2
11	1	32.3	2	2
12	1	34.3	2	2



H2: 10cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	6	-	-
2	2	9	3	1.5
4	2	12.2	3.2	1.6
6	2	16.7	4.5	2.25
8	2	22.1	5.4	2.7
10	2	27.1	5	2.5
12	2	32	4.9	2.45
14	2	36.3	4.3	2.15
16	2	40.5	4.2	2.1
18	2	44.2	3.7	1.85
20	2	47.7	3.5	1.75
22	2	51.1	3.4	1.7
24	2	54.1	3	1.5
26	2	57.1	3	1.5
28	2	60.1	3	1.5
30	2	63.1	3	1.5





Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **5**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **2.0000**

Res Type 35.22

H	5	α^*	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C	0.803154
H/a	1.667	Q	1.174
a*	0.12	K_{fs}	2.14E-03 cm/sec
CO.01	0.809		1.28E-01 cm/min
CO.04	0.842		2.14E-05 m/sec
CO.12	0.803		5.04E-02 inch/min
CO.36	0.803		8.41E-04 inch/sec
C	0.803	Φ_m	1.78E-02 (cm ² /min)
R	2.000		
Q	1.174		
pi	3.142		

Carga #2

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **10**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

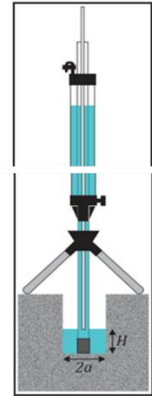
Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **1.5000**

Res Type 35.22

H	10	α^*	0.12 (cm ⁻¹)
a	3	C	1.287543
H/a	3.33333	Q	0.8805
a*	0.12	K_{fs}	9.54E-04 cm/sec
CO.01	1.21841		5.72E-02 cm/min
CO.04	1.29023		9.54E-06 m/sec
CO.12	1.28754		2.25E-02 inch/min
CO.36	1.28754		3.76E-04 inch/sec
C	1.28754	Φ_m	7.95E-03 (cm ² /min)
R	1.500		
Q	0.8805		
pi	3.1415		

Promedio

K_{fs}	=	1.54E-03	cm/sec
		9.27E-02	cm/min
		1.54E-05	m/s
		3.65E-02	inch/min
		6.08E-04	inch/sec
Φ_m	=	1.29E-02	(cm ² /min)

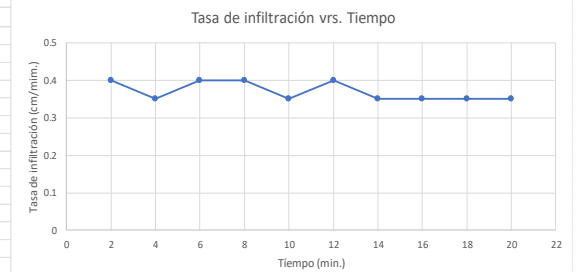


PUNTO 9

PUNTO 9
 Fecha y Hora: 29 - 7 - 2022; 14:00
 N: 13°39.213'
 O: -89°45.125'
 Localización del sitio: Hacienda Los Mejía
 acceso en mal estado
 Profundidad de agujero: 30 cm
 Diámetro del agujero: 6.50 cm
 Características del suelo: suelo relativamente humedo, posee poca plasticidad es como barroso y arenoso, color café
 Comentarios: El punto de medición se realizó aproximadamente a unos 200 metros del río Chimalapa.
 La topografía es plana y pendiente muy baja; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino.
 Hay árboles en los alrededores de la zona de medición; el cultivo es caña de azúcar.
 Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

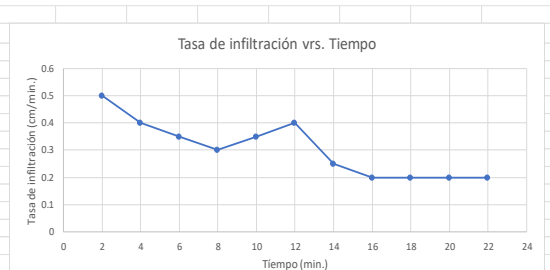
H1: 8 cm

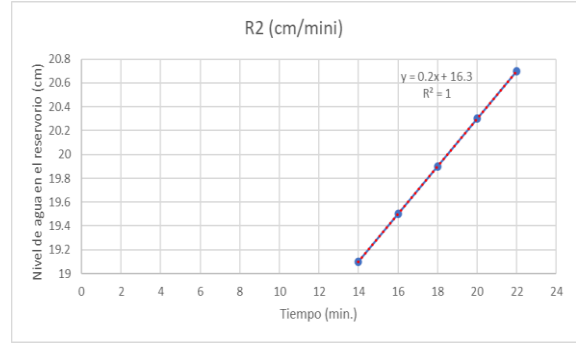
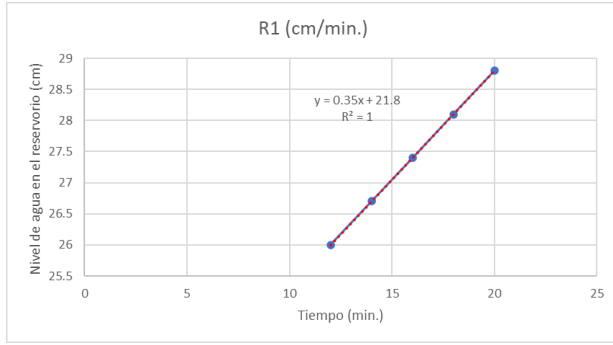
Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	21.4	-	-
2	2	22.2	0.8	0.4
4	2	22.9	0.7	0.35
6	2	23.7	0.8	0.4
8	2	24.5	0.8	0.4
10	2	25.2	0.7	0.35
12	2	26	0.8	0.4
14	2	26.7	0.7	0.35
16	2	27.4	0.7	0.35
18	2	28.1	0.7	0.35
20	2	28.8	0.7	0.35
22				
24				



H2: 11 cm

Tiempo (min.)	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	14.4	-	-
2	2	15.4	1	0.5
4	2	16.2	0.8	0.4
6	2	16.9	0.7	0.35
8	2	17.5	0.6	0.3
10	2	18.2	0.7	0.35
12	2	18.6	0.4	0.4
14	2	19.1	0.5	0.25
16	2	19.5	0.4	0.2
18	2	19.9	0.4	0.2
20	2	20.3	0.4	0.2
22	2	20.7	0.4	0.2
24				





SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input

Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **8**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3.25**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.3500**

Res Type: 35.22

H	8	$\alpha^s =$	0.12	(cm^{-1})
a	3.25	C	1.051504	
H/a	2.462	Q	0.20545	
a*	0.12	K_{fs}	2.52E-04	cm/sec
C0.01	1.023		1.51E-02	cm/min
C0.04	1.074		2.52E-06	m/sec
C0.12	1.052		5.96E-03	inch/min
C0.36	1.052		9.94E-05	inch/sec
C	1.052	Φ_m	2.10E-03	(cm^2/min)
R	0.350			
Q	0.205			
pi	3.142			

Carga #2

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservoirio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **11**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **3.25**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.2000**

Res Type: 35.22

H	11	$\alpha^s =$	0.12	(cm^{-1})
a	3.25	C	1.300489	
H/a	3.38462	Q	0.1174	
a*	0.12	K_{fs}	1.11E-04	cm/sec
C0.01	1.22891		6.64E-03	cm/min
C0.04	1.30195		1.11E-06	m/sec
C0.12	1.30049		2.61E-03	inch/min
C0.36	1.30049		4.36E-05	inch/sec
C	1.30049	Φ_m	9.22E-04	(cm^2/min)
R	0.200			
Q	0.1174			
pi	3.1415			

Promedio

K_{fs}	1.82E-04	cm/sec
	1.09E-02	cm/min
	1.82E-06	m/s
	4.29E-03	inch/min
	7.15E-05	inch/sec
Φ_m	1.51E-03	(cm^2/min)

PUNTO 10

PUNTO 10
 Fecha y Hora: 11 - 8 - 2022; 09:36
 Localización del sitio: C Acceso en regular estado
 Características del suelo: suelo con alta humedad, suelo barroso con poca plasticidad y arenoso, color café.

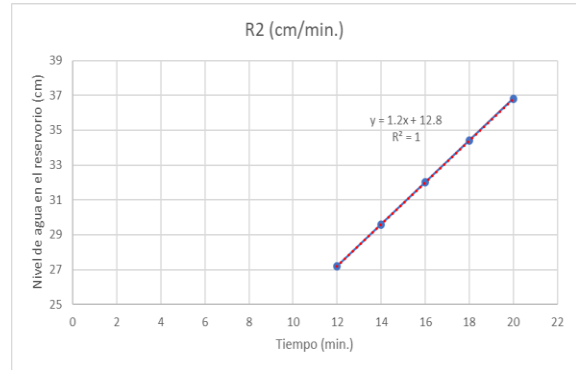
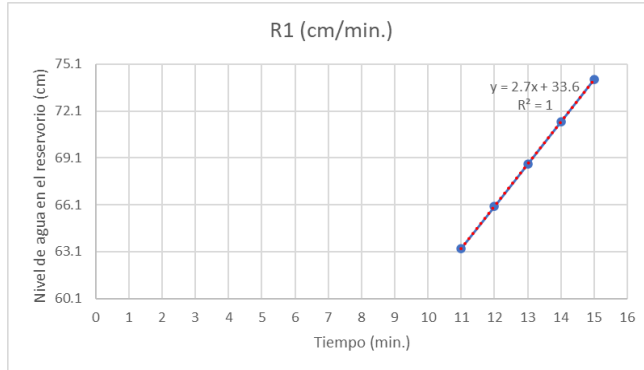
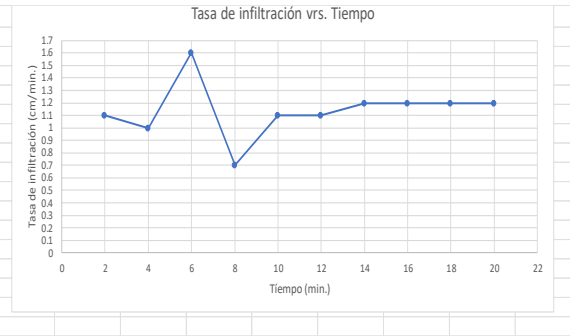
N: 13°35.141'
 O: -89°44.704'
 Profundidad de agujero: 35 cm
 Diámetro del agujero: 8 cm

Comentarios: El punto de medición se realizó aproximadamente a unos 200 metros del río Chimalapa y 300 m de la quebrada la Mica. La topografía es plana y pendiente muy baja; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino. Hay árboles de cocos y de otros tipos en los alrededores de la zona de medición; también existe un poco de maleza en la zona, el cultivo en la zona de estudio es pasto. En el fondo del agujero existía infiltración natural del agua lluvia y en las paredes hablan raíces de la maleza y del pasto en los primeros 15 cm aproximadamente. Previamente a la realización de las pruebas de medición llovio dos noches continuas.

Reservoirios utilizados durante la prueba: Combinados

H1: 6 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservoirio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
	0	17	-	-
	1	21.8	4.8	4.8
	2	27.1	5.3	5.3
	3	32.4	5.3	5.3
	4	37.4	5	5
	5	42.1	4.7	4.7
	6	46.3	4.2	4.2
	7	50.1	3.8	3.8
	8	53.7	3.6	3.6
	9	57.1	3.4	3.4
	10	60.2	3.1	3.1
	11	63.3	3.1	3.1
	12	66	2.7	2.7
	13	68.7	2.7	2.7
	14	71.4	2.7	2.7
	15	74.1	2.7	2.7

H2: 12 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	14	-	-
2	2	16.2	2.2	1.1
4	2	18.2	2	1
6	2	21.4	3.2	1.6
8	2	22.8	1.4	0.7
10	2	25	2.2	1.1
12	2	27.2	2.2	1.1
14	2	29.6	2.4	1.2
16	2	32	2.4	1.2
18	2	34.4	2.4	1.2
20	2	36.8	2.4	1.2
22				
24				
26				
28				



SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **6**
 Entre la el radio del agujero ["a" en cm]: **4**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ["R1" en cm/min]: **2.7000**

Res Type: 95.22

H	6	α^* = 0.12 (cm ⁻¹)
a	4	
H/a	1.5	
a*	0.12	C = 0.74573
CO.01	0.759	Q = 1.5849
CO.04	0.787	
CO.12	0.746	K_{fs} = 2.05E-03 cm/sec
CO.36	0.746	1.23E-01 cm/min
C	0.746	2.05E-05 m/sec
R	2.700	4.83E-02 inch/min
Q	1.585	8.05E-04 inch/sec
pi	3.142	Φ_m = 1.70E-02 (cm ² /min)

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **12**
 Entre la el radio del agujero ["a" en cm]: **4**

Entre la categoria de la textura-estructura del suelo : **3**

Categoria del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ["R2" en cm/min]: **1.2000**

Res Type: 35.22

H	12	α^* = 0.12 (cm ⁻¹)
a	4	
H/a	3	
a*	0.12	C = 1.20101
CO.01	1.14768	Q = 0.7044
CO.04	1.21161	
CO.12	1.20101	K_{fs} = 5.31E-04 cm/sec
CO.36	1.20101	3.19E-02 cm/min
C	1.20101	5.31E-06 m/sec
R	1.200	1.25E-02 inch/min
Q	0.7044	2.09E-04 inch/sec
pi	3.1415	Φ_m = 4.42E-03 (cm ² /min)

Promedio

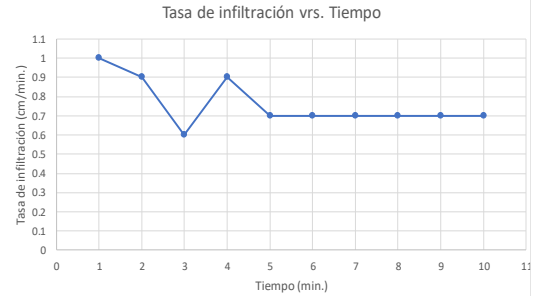
K_{fs} = **1.29E-03** cm/sec
7.73E-02 cm/min
1.29E-05 m/s
3.04E-02 inch/min
5.07E-04 inch/sec

Φ_m = **1.07E-02** (cm²/min)

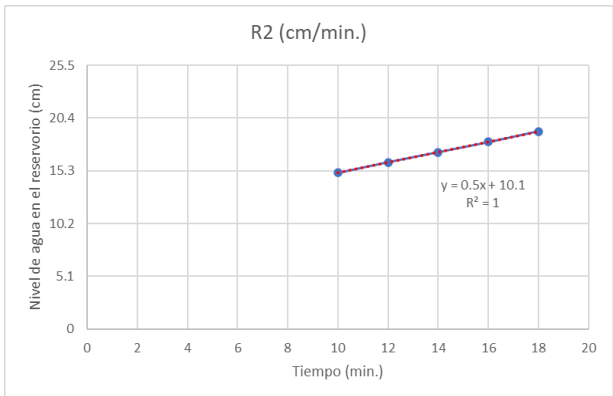
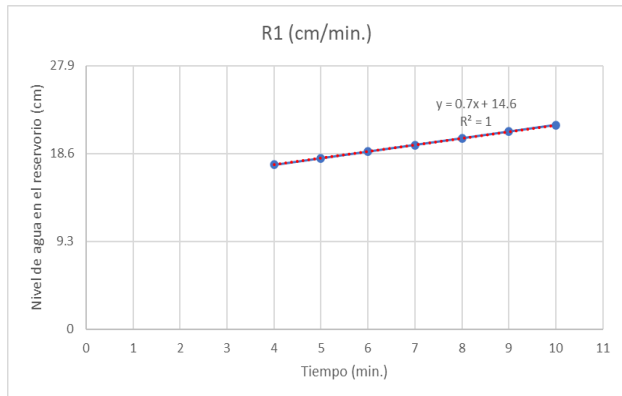
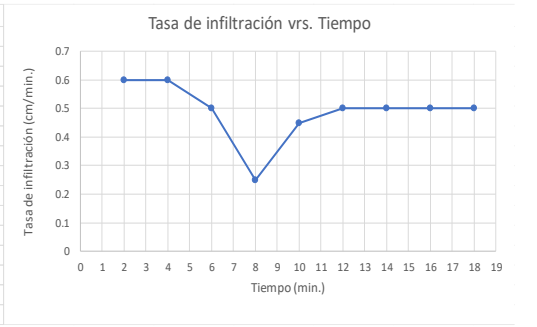
PUNTO 11

PUNTO 11
 Fecha y Hora: 11 - 8 - 2022; 11:35 am
 N: 13°35.980'
 O: -89°45.246'
 Profundidad de agujero: 35 cm Diámetro del agujero: 10 cm
 Localización del sitio: Ca: Acceso en regular estado
 Características del suelo: suelo con alta humedad, suelo barroso con poca plasticidad y arenoso, color café.
 Comentarios: El punto de medición se realizó frente de una pequeña montaña, aproximadamente a un km del punto 10. La topografía es plana y pendiente muy baja; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino. Hay árboles varios tipos en los alrededores de la zona de medición; también existe un poco de maleza en la zona, el cultivo en la zona de estudio es pasto. En las paredes del agujero existen rocas pequeñas a una profundidad entre los 15 y 20 cm; además, también en las paredes habían raíces de la maleza y del pasto en los primeros 15 cm aproximadamente. Previamente a la realización de las pruebas de medición llovió dos noches continuas.
 Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

H1: 15 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
Tiempo (min.)	-	14	-	-
0	1	15	1	1
1	1	15.9	0.9	0.9
2	1	16.5	0.6	0.6
3	1	17.4	0.9	0.9
4	1	18.1	0.7	0.7
5	1	18.8	0.7	0.7
6	1	19.5	0.7	0.7
7	1	20.2	0.7	0.7
8	1	20.9	0.7	0.7
9	1	21.6	0.7	0.7
10				
11				
12				
13				



H2: 20 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
Tiempo (min.)	-	10.3	-	-
0	2	11.5	1.2	0.6
2	2	12.7	1.2	0.6
4	2	13.7	1	0.5
6	2	14.2	0.5	0.25
8	2	15.1	0.9	0.45
10	2	16.1	1	0.5
12	2	17.1	1	0.5
14	2	18.1	1	0.5
16	2	19.1	1	0.5
18				
20				
22				
24				
26				



Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **15**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **0.7000**

Res Type: 35.22

H	15	$\alpha^s = 0.12$	(cm ⁻¹)
a	5	C = 1.20101	
H/a	3	Q = 0.4109	
a*	0.12	$K_{fs} = 2.15E-04$	cm/sec
CO.01	1.148	$1.29E-02$	cm/min
CO.04	1.212	$2.15E-06$	m/sec
CO.12	1.201	$5.08E-03$	inch/min
CO.36	1.201	$8.47E-05$	inch/sec
C	1.201	$\Phi_m = 1.79E-03$	(cm ² /min)
R	0.700		
Q	0.411		
pi	3.142		

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **20**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

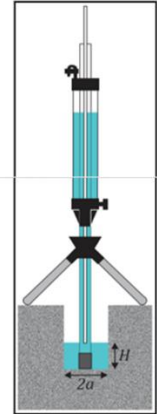
Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.5000**

Res Type: 35.22

H	20	$\alpha^s = 0.12$	(cm ⁻¹)
a	5	C = 1.44896	
H/a	4	Q = 0.2935	
a*	0.12	$K_{fs} = 1.16E-04$	cm/sec
CO.01	1.34796	$6.94E-03$	cm/min
CO.04	1.43553	$1.16E-06$	m/sec
CO.12	1.44896	$2.73E-03$	inch/min
CO.36	1.44896	$4.56E-05$	inch/sec
C	1.44896	$\Phi_m = 9.65E-04$	(cm ² /min)
R	0.500		
Q	0.2935		
pi	3.1415		

Promedio

$K_{fs} = 1.65E-04$ cm/sec
 $9.93E-03$ cm/min
 $1.65E-06$ m/s
 $3.91E-03$ inch/min
 $6.51E-05$ inch/sec
 $\Phi_m = 1.38E-03$ (cm²/min)



PUNTO 12

PUNTO 12 N: 13°36.937'
 Fecha y Hora: 11 - 8 - 2022; 02:15 pm O: 89°45.742'
 Localización del sí Acceso en regular estado Profundidad de agujero: 30 cm Diámetro del agujero: 11 cm

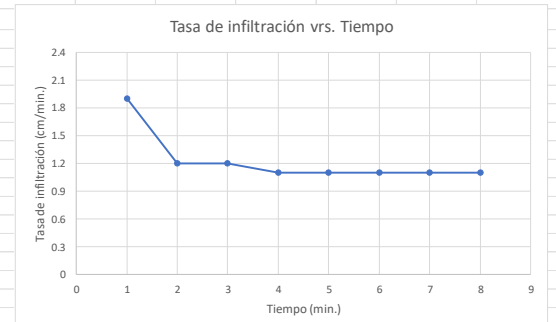
Características del suelo: suelo con alta humedad, tierra negra los primeros 10 cm aproximadamente, luego suelo barroso con poca plasticidad y arenoso, color café.

Comentarios: El punto de medición se realizó al final de la calle de acceso a la parcela, a unos 50 metros del río Chimalapa. La topografía es poco plana y pendiente baja; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino. También hay un pozo perforado cerca de la zona en estudio. Hay árboles de varios tipos en los alrededores de la zona de medición; existe, el cultivo en el área de estudio es pasto.

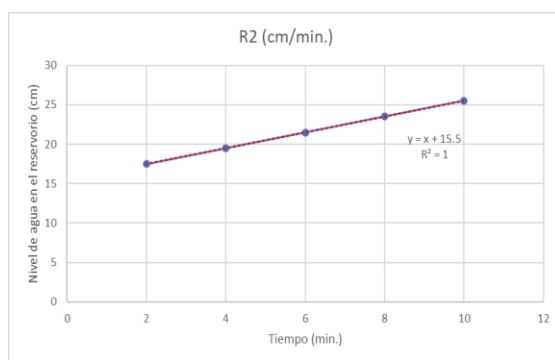
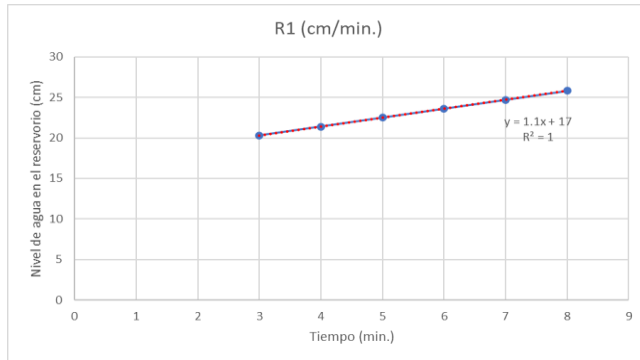
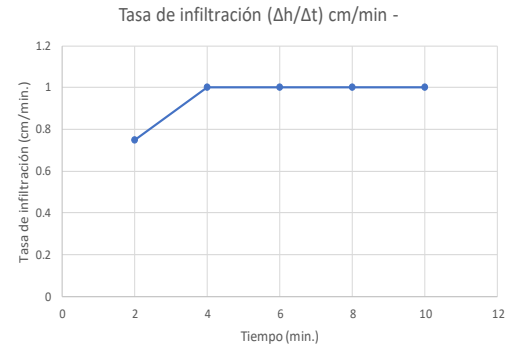
En las paredes del agujero existen rocas pequeñas a una profundidad entre los 15 y 20 cm; además, también en las paredes habían raíces de la maleza y del pasto en los primeros 15 cm aproximadamente. Previamente a la realización de las pruebas de medición llovió dos noches continuas.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

H1: 14 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	1	16	-	-
1	1	17.9	1.9	1.9
2	1	19.1	1.2	1.2
3	1	20.3	1.2	1.2
4	1	21.4	1.1	1.1
5	1	22.5	1.1	1.1
6	1	23.6	1.1	1.1
7	1	24.7	1.1	1.1
8	1	25.8	1.1	1.1
9				
10				
11				
12				
13				
14				



H2: 17 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración ($\Delta h/\Delta t$) cm/min
0	-	16	-	-
2	2	17.5	1.5	0.75
4	2	19.5	2	1
6	2	21.5	2	1
8	2	23.5	2	1
10	2	25.5	2	1
12				
14				
16				
18				
20				
22				
24				
26				
28				



SOILMOISTURE Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**

Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **14**

Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5.5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **1.1000**

Res Type 35.22
H 14
a 5.5
H/a 2.545
a* 0.12
C0.01 1.044
C0.04 1.097
C0.12 1.076
C0.36 1.076
C 1.076
R 1.100
Q 0.646
pi 3.142

$\alpha^h = 0.12$ (cm⁻¹)

C = 1.075674
Q = 0.6457

$K_{fs} = 3.36E-04$ cm/sec
2.02E-02 cm/min
3.36E-06 m/sec
7.94E-03 inch/min
1.32E-04 inch/sec

$\Phi_m = 2.80E-03$ (cm²/min)

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**

Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **17**

Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5.5**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **1.0000**

Res Type 35.22
H 17
a 5.5
H/a 3.09091
a* 0.12
C0.01 1.16741
C0.04 1.23349
C0.12 1.22503
C0.36 1.22503
C 1.22503
R 1.000
Q 0.587
pi 3.1415

$\alpha^h = 0.12$ (cm⁻¹)

C = 1.225032
Q = 0.587

$K_{fs} = 2.55E-04$ cm/sec
1.53E-02 cm/min
2.55E-06 m/sec
6.02E-03 inch/min
1.00E-04 inch/sec

$\Phi_m = 2.12E-03$ (cm²/min)

Promedio

$K_{fs} = 2.95E-04$ cm/sec
1.77E-02 cm/min
2.95E-06 m/s
6.98E-03 inch/min
1.16E-04 inch/sec

$\Phi_m = 2.46E-03$ (cm²/min)

PUNTO 13

PUNTO 13

Fecha y Hora: 11 - 8 - 2022; 04:18 pm

N: 13°37.540'

O: -89°45.943'

Profundidad de agujero: 25 cm

Diámetro del agujero: 10.5 cm

Localización del sitio: Acceso en buen estado

Características del suelo: suelo con baja humedad, tierra negra los primeros 10 cm aproximadamente, luego suelo barroso con poca plasticidad y arenoso, color café con un espesor de 15 cm.

Comentarios: El punto de medición se realizó a unos 150 metros del río Chimalapa y a unos 5 metros de una asequia.

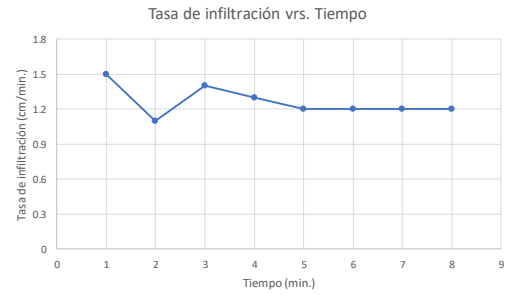
La topografía es poco plana y pendiente nula; en los accesos existen charcos, muchas rocas en el camino. También hay un pozo en la hacienda

Hay árboles de varios tipos en los alrededores de la zona de medición; existe, el cultivo en el área de estudio es caña de azúcar.

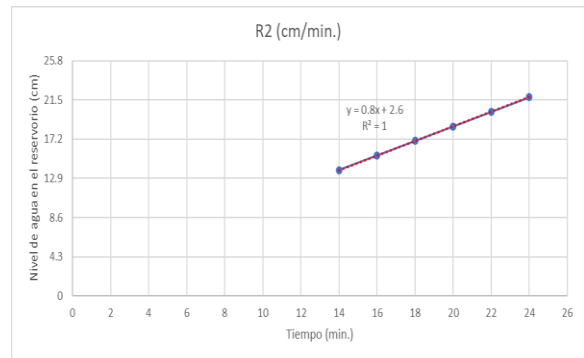
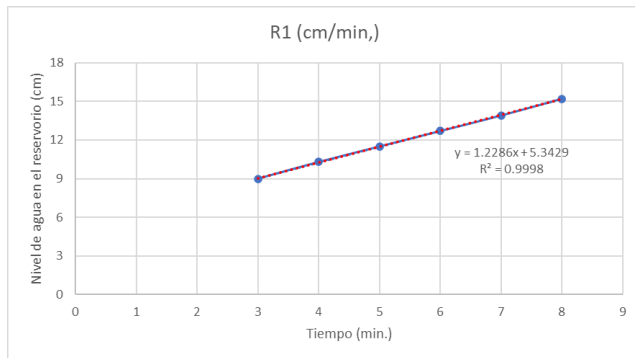
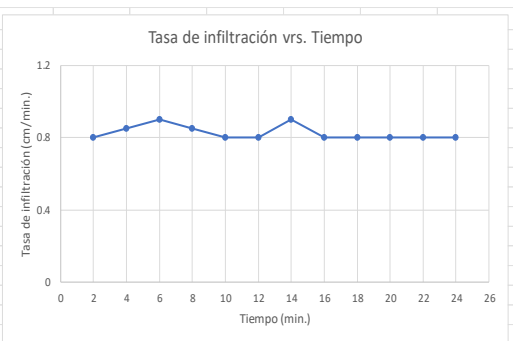
Previamente a la realización de las pruebas de medición llovió dos noches continuas.

Reservorios utilizados durante la prueba: Combinados

H1: 14 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
Tiempo (min.)	-	5	-	-
0	1	6.5	1.5	1.5
1	1	7.6	1.1	1.1
2	1	9	1.4	1.4
3	1	10.3	1.3	1.3
4	1	11.5	1.2	1.2
5	1	12.7	1.2	1.2
6	1	13.9	1.2	1.2
7	1	15.2	1.2	1.2
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				



H2: 20 cm	Δt (min.)	Nivel del agua en el reservorio h (cm)	Δh (cm)	Tasa de infiltración (Δh/Δt) cm/min
Tiempo (min.)	-	2	-	-
0	2	3.6	1.6	0.8
2	2	5.3	1.7	0.85
4	2	7.1	1.8	0.9
6	2	8.8	1.7	0.85
8	2	10.4	1.6	0.8
10	2	12	1.6	0.8
12	2	13.8	1.8	0.9
14	2	15.4	1.6	0.8
16	2	17	1.6	0.8
18	2	18.6	1.6	0.8
20	2	20.2	1.6	0.8
22	2	21.8	1.6	0.8
24				
26				
28				





Guelph Permeameter Calculations

Input
Result

Support: ali@soilmoisture.com

Carga #1

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la primera altura de carga de agua ("H1" en cm): **14**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5.25**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R1" en cm/min): **1.2000**

Res Type	35.22	
H	14	$\alpha^h = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
a	5.25	
H/a	2.667	$C = 1.109993$
a*	0.12	$Q = 0.7044$
C0.01	1.072	$K_{fs} = 3.79E-04 \text{ cm/sec}$
C0.04	1.128	$2.28E-02 \text{ cm/min}$
C0.12	1.11	$3.79E-06 \text{ m/sec}$
C0.36	1.11	$8.96E-03 \text{ inch/min}$
C	1.11	$1.49E-04 \text{ inch/sec}$
R	1.200	
Q	0.704	
pi	3.142	$\Phi_m = 3.16E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**
 Entre la segunda altura de carga de agua ("H1" en cm): **20**
 Entre la el radio del agujero ("a" en cm): **5.25**

Entre la categoría de la textura-estructura del suelo: **3**

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos


Estado estacionario *Tasa de cambio de nivel de agua ("R2" en cm/min): **0.8000**

Res Type	35.22	
H	20	$\alpha^h = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
a	5.25	
H/a	3.80952	$C = 1.404302$
a*	0.12	$Q = 0.4696$
C0.01	1.31242	$K_{fs} = 1.79E-04 \text{ cm/sec}$
C0.04	1.3955	$1.07E-02 \text{ cm/min}$
C0.12	1.4043	$1.79E-06 \text{ m/sec}$
C0.36	1.4043	$4.23E-03 \text{ inch/min}$
C	1.4043	$7.05E-05 \text{ inch/sec}$
R	0.800	
Q	0.4696	
pi	3.1415	$\Phi_m = 1.49E-03 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 2.79E-04$	cm/sec
$1.68E-02$	cm/min
$2.79E-06$	m/s
$6.60E-03$	inch/min
$1.10E-04$	inch/sec
$\Phi_m = 2.33E-03$	$\text{(cm}^2\text{/min)}$


ANEXO 2. MODELO DE TABLA UTILIZADA PARA REALIZACIÓN DE AFOROS EN EL RÍO CHIMALAPA Y RESULTADOS OBTENIDOS DE CÁLCULO DE LOS AFOROS REALIZADOS.



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.

Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.

Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:		Localidad:									
Fecha:							Sección transversal del río (m):				
Hora de inicio:		Hora de finalización:					Elevación (msnm):				
Latitud:		Longitud:									

Número de sección	Distancia desde punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Evoluciones			Tiempo (segundos)	Velocidad a		
				0.2P	0.6P	0.8P		0.2P (m/s)	0.6P (m/s)	0.8P (m/s)
Inicio del borde de agua										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

AFORO 1



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



Sitio N°:	1											
Localidad:	BARRA CIEGA											
Fecha:	09 DE MARZO DE 2023											
Hora:	10:30 AM - 11: 15 AM											
Latitud	13°32'31.41"											
Longitud	89°44'20.6"											
Elevación (msnm)	22											
Sección Trans. del río (m)	4.2											
Número de sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)
Inicio del borde de agua	0.7	0.7	0				40				0	0
1	1.2	0.5	0.24		7		40		0.123		0.12	0.015
2	2.2	1	0.37		6		41.6		0.102		0.37	0.038
3	2.6	0.4	0.39		5		43		0.084		0.16	0.013
4	3	0.4	0.3		4		40		0.073		0.12	0.009
5	3.27	0.27	0.32		4		43.3		0.068		0.09	0.006
6	4.2	0.93	0.19				40		0.005		0.18	0.001
Total		4.2									1.04	0.082

AFORO 2



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres

Área de trazado



Sitio N°:	2												
Localidad:	El OBRAJE												
Fecha:	09 DE MARZO DE 2023												
Hora:	12:27 PM - 2:30 PM												
Latitud	13°33'27.4" N												
Longitud	89°44'18.2" O												
Elevación (msnm)	27												
Sección Trans. del río (m)	18.6												
Número de sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	0.8	0.8	0.22				40		0.022		0.18	0.004	2.07
1	1.8	1	0.42		1		40		0.022		0.42	0.009	4.66
2	2.8	1	0.3		1		40		0.022		0.3	0.007	3.63
3	3.8	1	0.28		1		40		0.022		0.28	0.006	3.11
4	4.8	1	0.32		1		40		0.022		0.32	0.007	3.63
5	5.8	1	0.36		1		57		0.017		0.36	0.006	3.11
6	6.8	1	0.46		1		40		0.022		0.46	0.01	5.18
7	7.8	1	0.38		2		40		0.039		0.38	0.015	7.77
8	8.8	1	0.38		1		100		0.012		0.38	0.005	2.59
9	9.8	1	0.35		1		40		0.022		0.35	0.008	4.15
10	10.8	1	0.32		1		100		0.012		0.32	0.004	2.07
11	11.8	1	0.38		1		100		0.012		0.38	0.005	2.59
12	15.8	4	0.63		2		40		0.039		2.52	0.098	50.78
13	16.8	1	0.42		1		100		0.012		0.42	0.005	2.59
14	17.8	1	0.3		1		100		0.012		0.3	0.004	2.07
15	18.6	0.8	0		0		100		0.005		0	0	0
Total		18.6									7.37	0.193	100.00

AFORO 3



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
 Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
 Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:	3
Localidad:	CASERIO EL TOCOTILLO
Fecha:	09 DE [Area de trazado]
Hora:	4:20 PM - 5:33 PM
Latitud:	13°35'29.40"
Longitud:	89°44'56.50"
Elevación (msnm)	74
Sección Trans. del río	8.2

Número de . sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	2.3	2.3	0				40				0	0	0
	2.8	0.5	0.62		1		40		0.022		0.31	0.007	9.72
1	3.3	0.5	0.63		1		100		0.012		0.32	0.004	5.56
2	3.8	0.5	0.64		5		100		0.039		0.32	0.012	16.67
3	4.3	0.5	0.65		4		100		0.032		0.33	0.011	15.28
4	4.8	0.5	0.62		5		103.1		0.038		0.31	0.012	16.67
5	5.3	0.5	0.46		5		102.2		0.038		0.23	0.009	12.5
6	5.8	0.5	0.36		4		100		0.032		0.18	0.006	8.33
7	6.3	0.5	0.31		8		202		0.032		0.16	0.005	6.94
8	6.8	0.5	0.31		8		200		0.032		0.16	0.005	6.94
9	7.5	0.7	0.13		1		100		0.012		0.09	0.001	1.39
10	8.2	0.7	0		0		40		0.005		0	0	0
TOTAL		8.2									2.41	0.072	100.00

AFORO 4



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
 Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
 Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:	4
Localidad:	Caserio el Tigre
Fecha:	17 de marzo de 2023
Hora:	2:10 p.m. inicio ; 3:40 p.m. Finalización
Latitud:	13°35'58.1" N
Longitud:	89°45'08.5" O
Elevación (msnm)	79
Sección Trans. del río (m)	8.2

Número de . sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones 0.2P	Revoluciones 0.6P	Revoluciones 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	0.50	0.50	0.11			1	40.00				0.06	0	0.00
1	1.00	0.50	0.14			1	40.00		0.022		0.07	0.002	2.00
2	1.50	0.50	0.17			1	60.00		0.017		0.09	0.002	2.00
3	2.00	0.50	0.25			1	100.00		0.012		0.13	0.002	2.00
4	2.50	0.50	0.28			1	40.00		0.022		0.14	0.003	3.00
5	3.00	0.50	0.29			1	40.00		0.022		0.15	0.003	3.00
6	4.10	1.10	0.40			1	40.00		0.022		0.44	0.01	8.00
7	4.60	0.50	0.43			1	60.00		0.017		0.22	0.004	3.00
8	5.10	0.50	0.50			1	40.00		0.022		0.25	0.006	5.00
9	5.60	0.50	0.50			1	40.00		0.022		0.25	0.006	5.00
10	6.00	0.40	0.46			4	45.70		0.064		0.18	0.012	10.00
11	6.30	0.30	0.44			9	40.00		0.157		0.13	0.02	17.00
12	6.60	0.30	0.41			10	40.00		0.173		0.12	0.021	18.00
13	6.90	0.30	0.36			13	40.30		0.222		0.11	0.024	20.00
14	7.20	0.30	0.18			14	40.00		0.241		0.05	0.012	10.00
15	7.50	0.30	0.15			12	40.00		0.207		0.05	0.01	8.00
16	7.70	0.20	0.15			11	40.00		0.19		0.03	0.006	5.00
17	8.00	0.30	0.09			4	40.00		0.073		0.03	0.002	2.00
18	8.20	0.20	0.00			0	40.00		0.005		0	0	0.00
TOTAL		8.20									1.20	0.119	100.00

AFORO 5



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:	5
Localidad:	Abajo del puente sobre Carretera El Litoral, 100 m al Sur aproximadamente, Cantón Miravalle
Fecha:	17 de marzo de 2023
Hora:	4:20 p.m. inicio; 5:15 p.m. finalización
Latitud	13°36'21.4" N
Longitud	89°45'25.1" O
Elevación (msnm)	90
Sección Trans. del río (m)	7.6

Número de sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	0.60	0.60	0.21			1	44.80		0.02		0.13	0.003	5.17
1	1.00	0.40	0.40			1	60.00		0.017		0.16	0.003	5.17
2	1.50	0.50	0.34			2	40.00		0.039		0.17	0.007	12.07
3	2.00	0.50	0.35			1	40.00		0.022		0.18	0.004	6.90
4	2.50	0.50	0.38			2	40.00		0.039		0.19	0.007	12.07
5	3.00	0.50	0.29			2	43.90		0.036		0.15	0.005	8.62
6	3.50	0.50	0.24			2	40.00		0.039		0.12	0.005	8.62
7	4.00	0.50	0.33			3	40.00		0.056		0.17	0.01	17.24
8	4.50	0.50	0.28			3	40.00		0.056		0.17	0.008	13.79
9	5.00	0.50	0.32			4	62.50		0.048		0.18	0.008	13.79
10	5.50	0.50	0.24			6	60.00		0.073		0.12	0.009	15.52
11	6.00	0.50	0.34			3	60.00		0.039		0.17	0.007	12.07
12	6.50	0.50	0.35			1	100.00		0.012		0.18	0.002	3.45
13	7.00	0.50	0.28			1	100.00		0.012		0.14	0.002	3.45
14	7.50	0.50	0.20			1	40.00		0.022		0.1	0.002	3.45
15	7.60	0.10	0.00			0	40.00		0.005		0	0	0.00
TOTAL		7.60									1.45	0.058	100.00

AFORO 6



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:	6
Localidad:	Hacienda la Campana
Fecha:	17 de marzo de 2023
Hora:	09:15 a.m. inicio; 10:57 a.m. finalización
Latitud	13°38'32.6" N
Longitud	89°45'39.3" O
Elevación (msnm)	111
Sección Trans. del río (m)	4.2

Número de sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m ²	Caudal Q (m ³ /s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	0.3	0.3	0.11			1	40		0.022		0.03	0.001	0.90
1	0.9	0.6	0.2			2	40		0.039		0.12	0.005	4.30
2	1.4	0.5	0.26			9	40		0.157		0.13	0.02	17.10
3	1.9	0.5	0.27			8	41.6		0.135		0.14	0.019	16.20
4	2.4	0.5	0.19			13	41.2		0.217		0.1	0.022	18.80
5	2.7	0.3	0.17			18	40.1		0.307		0.05	0.015	12.80
6	3.0	0.3	0.16			15	40.9		0.252		0.05	0.013	11.10
7	3.3	0.3	0.16			16	40		0.274		0.05	0.014	12.00
8	3.6	0.3	0.15			7	40		0.123		0.05	0.006	5.10
9	3.9	0.3	0.1			4	44		0.067		0.03	0.002	1.70
10	4.2	0.3	0			0	40		0.005		0	0	0.00
TOTAL		4.2									0.75	0.117	100.00

AFORO 7



Proyecto: Caracterización Hidrogeológica de la Cuenca del Río Chimalapa.
 Institución: UES, FIA - UES, EPost, MGRH.
 Investigador: Ludwin Ernesto Morán Torres



Sitio N°:	7
Localidad:	Casero El Sigüanango
Fecha:	17 de marzo de 2023
Hora:	11:50 a.m. inicio; 12:56 p.m. finalización
Latitud	13°39'08.7" N Área de trazado
Longitud	89°45'05.9" O
Elevación (msnm)	131
Sección Trans. del río (m)	7.4

Número de . sección	Distancia desde el punto inicial (m)	Ancho de sección (m)	Profundidad medida (m)	Revoluciones a 0.2P	Revoluciones a 0.6P	Revoluciones a 0.8P	Tiempo (segundos)	Velocidad a 0.2P (m/s)	Velocidad a 0.6P (m/s)	Velocidad a 0.8P (m/s)	Área m2	Caudal Q (m3/s)	% de Flujo por Sección (%)
Inicio del borde de agua	3.40	3.40	0.00		0		40		0.005		0	0	0.00
1	3.70	0.30	0.01		0		40		0.005		0	0	0.00
2	4.00	0.30	0.12		5		43.1		0.083		0.04	0.003	20.00
3	4.30	0.30	0.14		1		40		0.022		0.04	0.001	6.67
4	4.60	0.30	0.13		1		40		0.022		0.04	0.001	6.67
5	4.90	0.30	0.12		1		40		0.022		0.04	0.001	6.67
6	5.20	0.30	0.09		2		40		0.039		0.03	0.001	6.67
7	5.50	0.30	0.12		13		60		0.151		0.04	0.006	40.00
8	5.80	0.30	0.13		1		60		0.017		0.04	0.001	6.67
9	6.00	0.20	0.14		1		40		0.022		0.03	0.001	6.67
10	7.40	1.40	0.00		0		40		0.005		0	0	0.00
TOTAL		7.40									0.30	0.015	100.00

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio: Cooperativa BarraCiega (parte baja de cuenca Río Chimalapa, a 200 metros del punto 1)													
Fecha:		25/5/2022		Cultivo:		Caña de azúcar							
Textura de Suelo: Arcilloso													
fc: Capacidad de Infiltración.				P: Precipitación Media Mensual.									
I: Infiltración.				Pi: Precipitación que infiltra.									
CC: Capacidad de Campo.				ESC: Escorrentía Superficial									
PM: Punto de Marchitez.				ETP: Evapotranspiración Potencial.									
PR: Profundidad de Raíces.				ETR: Evapotranspiración Real.									
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.				HSi: Humedad de Suelo Inicial.									
DS: Densidad de Suelo.				HD: Humedad Disponible									
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR				HSf: Humedad de Suelo Final.									
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR				DCC: Déficit de Capacidad de Campo.									
Kp: Factor por pendiente (ver léame)				Rp: Recarga Potencial									
Kv: Factor por vegetación (ver léame)				NR: Necesidad de Riego.									
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración				Ret: Retención de lluvia									
fc [mm/d]				2822.4									
Kp [0.01%]				0.175									
Kv [0.01%]				0.15									
Kfc [0.01%]				1.00									
I [0.01%] =				1.00									
DS (g/cm ³)				0.701									
PR (mm)				2000									
HSi (mm)				434.56									
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?				11									
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12				0.12									
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56 final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73 final de mes
Pi (mm)	0	0	9.12	50.01	134.95	262.85	233.45	263.73	317.06	168.93	50.61	1.13	1491.83 final de mes
ESC (mm)	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05 final de mes
HSi (mm)	344.26	291.95	244.43	210.27	210.27	250.50	415.35	434.56	434.56	434.56	434.56	407.95	inicio de mes
C1	0.60	0.36	0.19	0.22	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.52	1.75	2.07	1.40	1	1	final de mes despues de ETR
HD (mm)	133.99	81.68	43.28	50.01	134.95	303.07	438.53	488.02	541.34	393.22	274.90	198.81	final de mes antes de ETR
ETR (mm)	52.32	47.52	43.28	50.01	94.72	97.99	123.72	130.93	117.96	96.18	77.22	64.82	996.66 final de mes
HSf (mm)	291.95	244.43	210.27	210.27	250.50	415.35	434.56	434.56	434.56	434.56	407.95	344.26	final de mes
DCC (mm)	142.61	190.13	224.29	224.29	184.06	19.21	0.00	0.00	0.00	0.00	26.61	90.30	final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.52	132.80	199.09	72.76	0.00	0.00	495.17 final de mes
NR (mm)	155.80	212.28	281.37	298.98	207.62	19.21	-25.41	-35.76	-41.14	-15.87	26.61	94.20	1177.88 final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Hacienda El Obraje**

Fecha: **8/7/2022** Cultivo: **Caña de azúcar**

Textura de Suelo: **Arcilloso**

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	244.8				
Kp [0.01%]	0.18				
Kv [0.01%]	0.18				
Kfc [0.01%]	0.71				
I [0.01%] =	1.00				
DS (g/cm ³)	0.46				
PR (mm)	1800				
HSi (mm)	274.18				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12				

Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73	final de mes
Pi (mm)	0	0	9.12	50.01	134.95	262.85	233.45	263.73	317.06	168.93	50.61	1.13	1491.83	final de mes
ESC (mm)	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	186.18	141.08	132.94	132.94	132.94	152.24	274.18	274.18	274.18	274.18	274.18	247.57		inicio de mes
C1	0.38	0.06	0.06	0.35	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.96	2.19	2.70	1.63	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	53.24	8.15	9.12	50.01	134.95	282.15	374.69	404.97	458.30	310.18	191.85	115.76		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	45.09	8.15	9.12	50.01	115.64	112.88	145.34	151.96	142.15	105.50	77.22	62.52	1025.58	final de mes
HSf (mm)	141.08	132.94	132.94	132.94	152.24	274.18	274.18	274.18	274.18	274.18	247.57	186.18		final de mes
DCC (mm)	133.10	141.25	141.25	141.25	121.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.62	88.01		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.03	88.11	111.77	174.91	63.43	0.00	0.00	466.24	final de mes
NR (mm)	153.51	202.77	232.49	215.94	124.58	-14.89	-47.03	-56.79	-65.33	-25.19	26.62	94.21	840.87	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS															
Gunther Schosinsky															
Zona de Estudio: Hacienda El Obraje (a 300 m del punto 4)															
Fecha: 8/7/2022 Cultivo: Caña de azúcar.															
Textura de Suelo: Arcilloso															
fc: Capacidad de Infiltración.															P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.															Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.															ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.															ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.															ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.															HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.															HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR															HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR															DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)															Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)															NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración															Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]															74.4
Kp [0.01%]															0.10
Kv [0.01%]															0.10
Kfc [0.01%]															0.42
I [0.01%] =															0.62
DS (g/cm ³)															0.78
PR (mm)															1500
HSi (mm)															361.48
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?															11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12															0.12
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total		
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes	
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73	final de mes	
Pi (mm)	0	0	5.62	30.82	83.17	162.00	143.88	162.54	195.41	104.12	31.19	0.70	919.46	final de mes	
ESC (mm)	0	0	3.50	19.19	51.78	100.85	89.57	101.18	121.64	64.81	19.42	0.43	572.37	final de mes	
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes	
HSi (mm)	255.78	208.83	174.91	174.91	174.91	174.91	245.37	290.94	358.32	361.48	361.48	315.45		inicio de mes	
C1	0.43	0.18	0.03	0.17	0.45	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76		final de mes antes de ETR	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.62	1.13	1	1		final de mes despues de ETR	
HD (mm)	80.87	33.92	5.62	30.82	83.17	162.00	214.34	278.58	378.82	290.69	217.76	141.24		final de mes antes de ETR	
ETR (mm)	46.95	33.92	5.62	30.82	83.17	91.54	98.31	95.17	100.58	85.43	77.22	60.37	809.11	final de mes	
HSf (mm)	208.83	174.91	174.91	174.91	174.91	245.37	290.94	358.32	361.48	361.48	315.45	255.78		final de mes	
DCC (mm)	152.65	186.57	186.57	186.57	186.57	116.11	70.54	3.16	0.00	0.00	46.03	105.70		final de mes	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.67	18.68	0.00	0.00	110.35	final de mes	
NR (mm)	171.20	222.32	281.31	280.45	221.68	122.56	70.54	3.16	-23.76	-5.12	46.03	114.05	1504.39	final de mes	

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estudio:	A 2 Km. Del Caserío El Jocotillo, Cantón Miravalle													
Fecha:	8/7/2022	Cultivo:	Pasto y Eucalipto.											
Textura de Suelo:	Franco Arenoso													
fc: Capacidad de Infiltración.														P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.														Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.														ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.														ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.														ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.														HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.														HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR														HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR														DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)														Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)														NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración														Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]														201.6
Kp [0.01%]														0.15
Kv [0.01%]														0.18
Kfc [0.01%]														0.66
I [0.01%] =														0.99
DS (g/cm ³)														0.57
PR (mm)														2000
HSi (mm)														204.55
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?														11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12														0.14
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	7.96	21.47	41.82	37.14	41.96	50.4406	26.88	8.05	5.00	248.41	final de mes
Pi (mm)	0	0	9.05	48.52	130.92	255.01	226.48	255.86	307.60	163.89	49.10	1.12	1447.56	final de mes
ESC (mm)	0	0	0.07	0.36	0.96	1.87	1.66	1.87	2.25	1.20	0.36	0.01	10.60	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	116.99	90.91	90.91	90.91	90.91	103.55	204.55	204.55	204.55	204.55	204.55	176.43		inicio de mes
C1	0.23	0.00	0.08	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.49	2.13	2.41	3.03	1.74	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	26.08	0.00	9.05	48.52	130.92	267.65	340.12	369.50	421.24	277.53	162.74	86.64		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	26.08	0.00	9.05	48.52	118.28	122.14	153.75	162.46	154.82	109.85	77.22	60.56	1042.73	final de mes
HSf (mm)	90.91	90.91	90.91	90.91	103.55	204.55	204.55	204.55	204.55	204.55	176.43	116.99		final de mes
DCC (mm)	113.64	113.64	113.64	113.64	101.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.12	87.55		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.87	72.73	93.40	152.77	54.05	0.00	0.00	404.82	final de mes
NR (mm)	153.05	183.31	204.94	189.82	101.00	-24.15	-55.44	-67.29	-78.00	-29.54	28.12	95.72	701.54	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estudio:	Hacienda La Campana													
Fecha:	29/7/2022	Cultivo:	Pasto											
Textura de Suelo:	Franco Arenoso													
fc: Capacidad de Infiltración.														P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.														Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.														ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.														ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.														ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.														HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.														HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR														HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR														DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)														Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)														NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración														Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]														554.4
Kp [0.01%]														0.13
Kv [0.01%]														0.18
Kfc [0.01%]														0.88
I [0.01%] =														1.00
DS (g/cm ³)														0.73
PR (mm)														1500
HSi (mm)														131.88
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?														11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12														0.13
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56 final de mes	
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	7.39	19.94	38.83	34.49	38.96	46.8377	24.96	7.48	5.00	231.57 final de mes	
Pi (mm)	0	0	9.12	49.44	133.41	259.86	230.79	260.73	313.45	167.01	50.03	1.13	1474.99 final de mes	
ESC (mm)	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 final de mes	
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05 final de mes	
HSi (mm)	65.94	65.94	65.94	65.94	65.94	81.08	131.88	131.88	131.88	131.88	131.88	104.69	inicio de mes	
C1	0.00	0.00	0.14	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	final de mes antes de ETR	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.68	3.01	3.51	4.59	2.31	1	1	final de mes despues de ETR	
HD (mm)	0.00	0.00	9.12	49.44	133.41	274.99	296.73	326.67	379.39	232.96	115.97	39.88	final de mes antes de ETR	
ETR (mm)	0.00	0.00	9.12	49.44	118.28	180.51	197.07	214.64	214.66	133.11	77.22	39.88	1233.93 final de mes	
HSf (mm)	65.94	65.94	65.94	65.94	81.08	131.88	131.88	131.88	131.88	131.88	104.69	65.94	final de mes	
DCC (mm)	65.94	65.94	65.94	65.94	50.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.19	65.94	final de mes	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.54	33.73	46.09	98.80	33.91	0.00	0.00	241.06 final de mes	
NR (mm)	131.44	135.61	157.18	141.20	50.81	-82.52	-98.76	-119.47	-137.84	-52.80	27.19	94.78	246.82 final de mes	

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estud A 1 Km. Aproximadamente de la Hacienda la Campana														
Fecha:	29/7/2022	Cultivo:	Pasto											
Textura de Su Franco Arenoso														
fc: Capacidad de Infiltración.				P: Precipitación Media Mensual.										
I: Infiltración.				Pi: Precipitación que infiltra.										
CC: Capacidad de Campo.				ESC: Escorrentía Superficial										
PM: Punto de Marchitez.				ETP: Evapotranspiración Potencial.										
PR: Profundidad de Raíces.				ETR: Evapotranspiración Real.										
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.				HSi: Humedad de Suelo Inicial.										
DS: Densidad de Suelo.				HD: Humedad Disponible										
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR				HSf: Humedad de Suelo Final.										
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR				DCC: Déficit de Capacidad de Campo.										
Kp: Factor por pendiente (ver léame)				Rp: Recarga Potencial										
Kv: Factor por vegetación (ver léame)				NR: Necesidad de Riego.										
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración				Ret: Retención de lluvia										
fc [mm/d]				1334.9										
Kp [0.01%]				0.15										
Kv [0.01%]				0.18										
Kfc [0.01%]				0.99										
I [0.01%] =				1.00										
DS (g/cm ³)				0.65										
PR (mm)				1500										
HSi (mm)				174.44										
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?				11										
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12				0.16										
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	9.09	24.54	47.79	42.44	47.95	57.6464	30.72	9.20	5.00	282.08	final de mes
Pi (mm)	0	0	9.12	47.74	128.81	250.90	222.84	251.74	302.64	161.25	48.31	1.13	1424.48	final de mes
ESC (mm)	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	87.79	77.53	77.53	77.53	77.53	88.06	174.44	174.44	174.44	174.44	174.44	145.53		inicio de mes
C1	0.11	0.00	0.09	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.69	2.28	2.62	3.33	1.84	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	10.26	0.00	9.12	47.74	128.81	261.43	319.74	348.65	399.55	258.16	145.22	69.13		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	10.26	0.00	9.12	47.74	118.28	131.63	161.47	172.05	166.33	113.85	77.22	58.87	1066.82	final de mes
HSf (mm)	77.53	77.53	77.53	77.53	88.06	174.44	174.44	174.44	174.44	174.44	145.53	87.79		final de mes
DCC (mm)	96.91	96.91	96.91	96.91	86.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.91	86.65		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.90	61.36	79.69	136.32	47.40	0.00	0.00	357.67	final de mes
NR (mm)	152.15	166.58	188.15	173.87	86.38	-33.64	-63.16	-76.88	-89.51	-33.54	28.91	96.50	595.80	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Hacienda Los Mejía**

Fecha: **29/7/2022**

Cultivo: **Caña de azúcar**

Textura de Suelo: **Franco Arenoso**

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	157.0			
Kp [0.01%]	0.13			
Kv [0.01%]	0.10			
Kfc [0.01%]	0.60			
I [0.01%] =	0.83			
DS (g/cm ³)	0.61			
PR (mm)	2000			
HSi (mm)	122.83			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12			

Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73	final de mes
Pi (mm)	0	0	7.55	41.40	111.71	217.58	193.24	218.31	262.45	139.84	41.89	0.94	1234.90	final de mes
ESC (mm)	0	0	1.57	8.61	23.24	45.27	40.20	45.42	54.60	29.09	8.72	0.19	256.93	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	49.13	49.13	49.13	49.13	49.13	49.13	122.83	122.83	122.83	122.83	122.83	87.50		inicio de mes
C1	0.00	0.00	0.10	0.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.53		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.62	2.29	2.67	3.52	1.81	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	0.00	0.00	7.55	41.40	111.71	217.58	266.94	292.00	336.15	213.54	115.59	39.31		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	0.00	0.00	7.55	41.40	111.71	128.50	161.63	174.68	173.57	112.75	77.22	39.31	1028.30	final de mes
HSf (mm)	49.13	49.13	49.13	49.13	49.13	122.83	122.83	122.83	122.83	122.83	87.50	49.13		final de mes
DCC (mm)	73.70	73.70	73.70	73.70	73.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.33	73.70		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.38	31.61	43.63	88.88	27.09	0.00	0.00	206.60	final de mes
NR (mm)	139.20	143.37	166.51	157.00	80.27	-30.51	-63.32	-79.51	-96.75	-32.44	35.33	103.11	522.25	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Parcela Santa Beatriz**
 Fecha: **11/8/2022** Cultivo: **Pasto y algunos árboles**
 Textura de Suelo: **Arcilloso**

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	254.9		
Kp [0.01%]	0.18		
Kv [0.01%]	0.10		
Kfc [0.01%]	0.72		
I [0.01%] =	1.00	CC	35 450.47
DS (g/cm ³)	0.86	PM	17 218.80
PR (mm)	1500	(CC-PM)	18.00 231.67
HSi (mm)	450.47		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.13		

Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	7.39	19.94	38.83	34.49	38.96	46.8377	24.96	7.48	5.00	231.57	final de mes
Pi (mm)	0	0	9.09	49.30	133.03	259.12	230.13	259.98	312.56	166.54	49.89	1.13	1470.77	final de mes
ESC (mm)	0	0	0.03	0.14	0.38	0.74	0.66	0.75	0.90	0.48	0.14	0.00	4.22	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	359.43	306.80	258.73	218.80	218.80	258.73	419.86	450.47	450.47	450.47	450.47	423.14		inicio de mes
C1	0.61	0.38	0.21	0.21	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.44	1.71	2.02	1.37	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	140.64	88.00	49.03	49.30	133.03	299.05	431.19	491.65	544.22	398.20	281.56	205.47		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	52.63	48.07	49.03	49.30	93.10	97.99	119.79	129.02	115.90	95.26	77.22	64.83	992.14	final de mes
HSf (mm)	306.80	258.73	218.80	218.80	258.73	419.86	450.47	450.47	450.47	450.47	423.14	359.43		final de mes
DCC (mm)	143.66	191.73	231.67	231.67	191.74	30.61	0.00	0.00	0.00	0.00	27.33	91.03		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.74	130.96	196.65	71.28	0.00	0.00	478.63	final de mes
NR (mm)	156.53	213.33	283.00	307.07	216.92	30.61	-21.48	-33.85	-39.08	-14.95	27.33	94.92	1220.34	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Hacienda San Cristobal**

Fecha: 11/8/2022 Cultivo: **Cultivo de caña**

Textura de Suelo: **Franco Arenoso**

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	241.92		
Kp [0.01%]	0.13		
Kv [0.01%]	0.10		por peso
Kfc [0.01%]	0.71		(%)
I [0.01%] =	0.93	CC	14 117.39
DS (g/cm ³)	0.42	PM	6 50.31
PR (mm)	2000	(CC-PM)	8 67.08
HSi (mm)	117.39		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12		

Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73	final de mes
Pi (mm)	0	0	8.48	46.52	125.53	244.50	217.15	245.32	294.93	157.14	47.08	1.05	1387.70	final de mes
ESC (mm)	0	0	0.64	3.49	9.42	18.35	16.29	18.41	22.13	11.79	3.53	0.08	104.13	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	50.31	50.31	50.31	50.31	50.31	57.56	117.39	117.39	117.39	117.39	117.39	117.39	87.25	inicio de mes
C1	0.00	0.00	0.13	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.29	2.77	3.24	4.25	2.15	1	1	1	final de mes despues de ETR
HD (mm)	0.00	0.00	8.48	46.52	125.53	251.75	284.23	312.40	362.00	224.22	114.16	37.99	1164.89	final de mes antes de ETR
ETR (mm)	0.00	0.00	8.48	46.52	118.28	161.30	185.40	201.69	201.71	126.30	77.22	37.99	1164.89	final de mes
HSf (mm)	50.31	50.31	50.31	50.31	57.56	117.39	117.39	117.39	117.39	117.39	87.25	50.31	87.25	final de mes
DCC (mm)	67.08	67.08	67.08	67.08	59.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.14	67.08	67.08	final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.37	31.75	43.63	93.22	30.84	0.00	0.00	222.81	final de mes
NR (mm)	132.58	136.75	158.95	145.26	59.83	-63.31	-87.09	-106.52	-124.89	-45.99	30.14	97.81	333.52	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estudio:	Suelo desnudo/urbe													
Fecha:	11/8/2022	Cultivo:	Centro Turístico											
Textura de Suelo:	Arcilloso													
fc: Capacidad de Infiltración.														P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.														Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.														ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.														ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.														ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.														HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.														HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR														HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR														DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)														Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)														NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración														Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]														70.00
Kp [0.01%]														0.15
Kv [0.01%]														0.10
Kfc [0.01%]														0.40
I [0.01%] =														0.65
DS (g/cm ³)														1.20
PR (mm)														500
HSi (mm)														186
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?														11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12														0.12
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56 final de mes	
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73 final de mes	
Pi (mm)	0	0	5.93	32.54	87.79	171.00	151.87	171.57	206.27	109.90	32.92	0.74	970.54 final de mes	
ESC (mm)	0	0	3.19	17.48	47.16	91.85	81.57	92.15	110.79	59.03	17.68	0.39	521.29 final de mes	
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05 final de mes	
HSi (mm)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	163.01	186.00	186.00	186.00	186.00	141.70	inicio de mes	
C1	0.00	0.00	0.06	0.34	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	final de mes antes de ETR	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.32	1.80	2.35	1.31	1	1	final de mes despues de ETR	
HD (mm)	0.00	0.00	5.93	32.54	87.79	171.00	224.88	267.57	302.27	205.90	128.92	52.44	final de mes antes de ETR	
ETR (mm)	0.00	0.00	5.93	32.54	87.79	97.99	113.96	133.04	128.61	92.69	77.22	52.44	822.22 final de mes	
HSf (mm)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	163.01	186.00	186.00	186.00	186.00	141.70	90.00	final de mes	
DCC (mm)	96.00	96.00	96.00	96.00	96.00	22.99	0.00	0.00	0.00	0.00	44.30	96.00	final de mes	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.92	38.53	77.65	17.21	0.00	0.00	148.32 final de mes	
NR (mm)	161.50	165.67	190.43	188.16	126.49	22.99	-15.65	-37.87	-51.79	-12.38	44.30	112.28	894.12 final de mes	

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estudio:	Suelo desnudo/urbe													
Fecha:	11/8/2022	Cultivo:	Centro Turístico											
Textura de Suelo:	Franco Limosos													
fc: Capacidad de Infiltración.														P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.														PI: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.														ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.														ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.														ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.														HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.														HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR														HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR														DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)														Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)														NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración														Ret: Retención de Lluvia
fc [mm/d]														80
Kp [0.01%]														0.15
Kv [0.01%]														0.10
Kfc [0.01%]														0.43
I [0.01%] =														0.68
DS (g/cm ³)														1.45
PR (mm)														500
HSi (mm)														217.5
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?														11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12														0.12
Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	6.82	18.40	35.84	31.83	35.96	43.2348	23.04	6.90	5.00	214.73	final de mes
Pi (mm)	0	0	6.24	34.24	92.40	179.97	159.84	180.57	217.08	115.67	34.65	0.77	1021.43	final de mes
ESC (mm)	0	0	2.88	15.77	42.55	82.88	73.61	83.16	99.97	53.27	15.96	0.36	470.40	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	118.64	94.25	94.25	94.25	94.25	94.25	176.23	217.50	217.50	217.50	217.50	174.93		inicio de mes
C1	0.20	0.00	0.05	0.28	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.16	1.69	2.14	1.29	1	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	24.39	0.00	6.24	34.24	92.40	179.97	241.81	303.82	340.33	238.92	157.90	81.45		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	24.39	0.00	6.24	34.24	92.40	97.99	106.39	128.14	120.53	91.83	77.22	57.07	836.44	final de mes
HSf (mm)	94.25	94.25	94.25	94.25	94.25	176.23	217.50	217.50	217.50	217.50	174.93	118.64		final de mes
DCC (mm)	123.25	123.25	123.25	123.25	123.25	41.27	0.00	0.00	0.00	0.00	42.57	98.86		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.18	52.43	96.55	23.84	0.00	0.00	184.99	final de mes
NR (mm)	164.36	192.92	217.37	213.71	149.13	41.27	-8.08	-32.97	-43.71	-11.52	42.57	110.52	1035.57	final de mes

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **Bosque**

Fecha: **11/8/2022** Cultivo: **Mangle**

Textura de Suelo: **Franco Limoso**

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	120			
Kp [0.01%]	0.10			
Kv [0.01%]	0.20		por peso	
Kfc [0.01%]	0.54		(%)	(mm)
I [0.01%] =	0.84	CC	30	405.00
DS (g/cm ³)	0.90	PM	17	229.50
PR (mm)	1500	(CC-PM)	13	175.50
HSi (mm)	405			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.2			

Concepto	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	1.42	1.28	14.12	56.83	153.35	298.69	265.28	299.69	360.29	191.97	57.51	6.13	1706.56	final de mes
Ret [mm]	1.42	1.28	5.00	11.37	30.67	59.74	53.06	59.94	72.058	38.39	11.50	5.00	349.42	final de mes
Pi (mm)	0	0	7.63	38.04	102.66	199.95	177.58	200.62	241.19	128.51	38.50	0.95	1135.63	final de mes
ESC (mm)	0	0	1.49	7.42	20.02	39.00	34.64	39.13	47.05	25.07	7.51	0.18	221.51	final de mes
ETP (mm)	65.5	69.67	100.36	124.7	118.28	97.99	98.31	95.17	76.82	80.31	77.22	68.72	1073.05	final de mes
HSi (mm)	305.90	258.89	229.50	229.50	229.50	238.42	340.38	405.00	405.00	405.00	405.00	366.28		inicio de mes
C1	0.44	0.17	0.04	0.22	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78		final de mes antes de ETR
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	1.60	1.94	1.27	1.00	1		final de mes despues de ETR
HD (mm)	76.40	29.39	7.63	38.04	102.66	208.87	288.47	376.12	416.69	304.01	214.00	137.72		final de mes antes de ETR
ETR (mm)	47.01	29.39	7.63	38.04	93.73	97.99	102.42	123.76	112.79	91.34	77.22	61.32	882.65	final de mes
HSf (mm)	258.89	229.50	229.50	229.50	238.42	340.38	405.00	405.00	405.00	405.00	366.28	305.90		final de mes
DCC (mm)	146.11	175.50	175.50	175.50	166.58	64.62	0.00	0.00	0.00	0.00	38.72	99.10		final de mes
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.55	76.86	128.39	37.17	0.00	0.00	252.98	final de mes
NR (mm)	164.60	215.78	268.23	262.16	191.12	64.62	-4.11	-28.59	-35.97	-11.03	38.72	106.50	1232.02	final de mes

Tabla resumen: sobre resultados de conductividad hidráulica del medio saturado (Kfs).

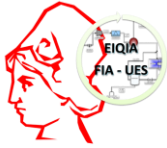
Punto	X NAD27 - (SIRGAS 2007)	Y (NAD 27- SIRGAS 2007)	Elevación (msnm)	Kfs Promedio (mm/día.)
P1	419993.89	268801.33	7	152.64
P2	419814.41	269104.28	11	2822.4
P3	419908.36	269734.6	14	416.16
P4	419807.74	271036.69	22	244.8
P5	419873.12	271178.47	23	74.448
P6	419669.72	273076.46	35	201.6
P7	417659.38	280187.23	106	554.4
P8	417012.11	279654.56	96	1334.88
P9	418629.95	281471.22	124	156.96
P10	419365.82	273960.62	41	1113.12
P11	418393.07	275510.67	60	142.992
P12	417504.09	277278.07	78	254.88
P13	417145.14	278391.08	88	241.92

ANEXO 5. RESULTADOS DE CAMPAÑA DE MUESTREO FQ IN – SITU Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Tabla resumen. Resultados obtenidos del muestreo de parámetros FQ realizado dentro de la cuenca del Río Chimalapa durante los meses de septiembre – noviembre de 2022.

No	Código	Fecha	T (°C)	BARO (mm Hg)	ORP (mV)	pH	DO %	DO (mg/L)	TDS (mg/L)	CE (µS/cm)	Salinidad ‰
1	Pex1	22/9/2022	28.3	758	52.3	4.75	55	4.19	1070	1645	0.81
2	Pex2	22/9/2022	29.1	758.3	48.5	4.46	78	5.97	783	1209	0.57
3	Pex3	22/9/2022	28.8	757.5	57.2	4.53	81	6.13	1328	2041	1.03
4	Pex4	22/9/2022	28.2	756.8	50.2	4.78	69	5.24	618	900.51	40
5	PP1	22/9/2022	29	754.5	62.7	5.8	76	5.8	241	371	12
6	PP2	22/9/2022	27	754.5	52.3	4.9	82	6.42	249	385	12
7	Pex5	22/9/2022	27.7	753.8	51.6	4.87	74	5.7	194	299	0.9
8	Pex6	22/9/2022	28.5	753	60.8	4.15	45	3.46	222	343	0.11
9	Pex7	22/9/2022	27.1	753	53.4	4.24	33	2.54	221	342	0.11
10	Pex8	6/10/2022	29.1	758.3	64.3	4.51	71	5.45	287	443	0.14
11	PPerf3	6/10/2022	29.9	758.3	54	4.57	69	5.21	254	393	0.12
12	PPerf4	6/10/2022	28.4	758.3	51.8	4.39	89	6.92	250	388	0.12
13	PPerf5	6/10/2022	30.6	758.3	57	4.63	89	6.67	371	572	0.24
14	Pex9	6/10/2022	29	754.5	68.2	6.15	23	1.76	299	461	0.15
15	Pex 10	21/10/2022	27.9	756.8	89.1	5.18	53	4.1	246	378	0.12
16	Pex 11	21/10/2022	29.8	756.8	79.2	5.6	56	4.22	225	345	0.11
17	Pex 12	21/10/2022	28.8	756	72	5.23	24	1.76	523	805	0.34
18	PPerf 6	21/10/2022	29.1	754.5	70.4	5.11	81	6.12	365	562	0.24
19	Pex 13	21/10/2022	27.3	753.8	66.9	5.7	25	1.93	310	479	0.15
20	Pex 14	21/10/2022	28.5	754.5	65.9	5.29	63	4.83	264	409	0.13
21	Pex 15	21/10/2022	28.8	753	76.6	5.39	73	5.58	256	396	0.13
22	Pex 16	21/10/2022	28.3	753	70.9	5.51	25	1.91	178	274	0.9
23	Pex 17	21/10/2022	28.8	753	68.7	5.62	44	3.34	265	409	0.13
24	Pex 18	21/10/2022	28.8	753	66	5.67	38	2.91	178	272	0.9
25	Pperf 7	21/10/2022	29.8	752.3	67.5	5.72	78	5.86	224	344	0.11
26	Pex 19	21/10/2022	29.1	752.3	73.8	5.68	67	5.8	315	485	0.15
27	Pperf 8	27/10/2022	29.3	754.5	90.1	5.7	82	6.2	291	448	0.14
28	Pex 20	27/10/2022	30.3	755.3	79.7	5.8	67	4.98	288	443	0.14
29	Pex 21	27/10/2022	28.7	754.5	72.7	4.62	74	5.64	182	278	0.09
30	Pex 22	27/10/2022	29.3	753.8	78.1	6.06	59	4.46	271	417	0.13
31	Pex 23	27/10/2022	28.7	753	76.2	5.83	64	4.88	419	649	0.27
32	Pex 24	27/10/2022	27.5	752.3	73.8	5.79	51	3.94	294	453	0.14
33	Pex 25	27/10/2022	30.9	751.5	66.1	5.29	41	3.03	291	449	0.14
34	Pex 26	27/10/2022	32.2	750.8	70.9	5.24	90	6.44	241	370	0.12

35	<i>Pex 27</i>	27/10/2022	28.9	750.8	70.8	4.66	81	6.15	323	499	0.16
36	<i>PPerf 9</i>	27/10/2022	29.6	750.8	88.8	6.9	55	4.12	295	453	0.14
37	<i>Pex 28</i>	27/10/2022	29.7	750.8	75.3	5	80	6.01	759	1171.5	0.55
38	<i>Pex 29</i>	27/10/2022	27.7	750.8	74.5	4.79	12	0.9	316	488	0.15
39	<i>RCH2</i>	3/11/2022	28.7	750	74.9	6.31	84	6.37	248	382	0.12
40	<i>Pex 30</i>	3/11/2022	27.9	749.3	72.4	6.3	25	1.92	233	360	0.11
41	<i>Pex 31</i>	3/11/2022	28	750.8	72.8	6.28	66	5.12	274	421	0.13
42	<i>Pex 32</i>	3/11/2022	27.7	750.8	69.5	6.41	40	3.12	494	758	0.32



Ciudad Universitaria, 1° de noviembre de 2022.

Ludwin Ernesto Morán Torres.

Estudiante/ MGRH

Presente.

Reciba un cordial saludo y mis mejores deseos de éxito en el desarrollo de sus actividades profesionales y personales.

Por este medio, y en tabla 1, le remito los resultados de los análisis de parámetros químicos y fisicoquímicos realizados a nueve muestras de agua, tomadas con fecha 8 de octubre de 2022 e identificadas como:

1. Playa Portezuelo pex8
2. Playa Portezuelo pper3
3. Barra Ciega pex3
4. Barra Ciega pex2
5. El Obraje pex9
6. Terrenos Diana pex5
7. Playa Miravalle ppex5
8. Barra Ciega pex4
9. Playa Miravalle ppex4

Los parámetros fueron medidos de acuerdo con las metodologías establecidas por: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF) en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Edition”. Siendo los parámetros medidos los siguientes: *De tipo Químico*: Sulfatos (SO_4^{2-}), Nitratos (NO_3^-), Dureza, Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Alcalinidad (CO_3 , HCO_3^-) *De tipo Fisicoquímico*: pH, Conductividad, Sólidos Disueltos, Turbidez y Oxígeno disuelto.

Sin otro particular más que esperar la satisfacción con los resultados reportados, me despido, atentamente,

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”

Dra. Tania Torres Rivera

Jefe laboratorios EIQA – FIA – UES



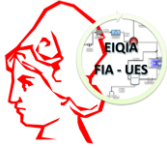
Tabla 1.

Resultados de los análisis de muestras de agua provenientes de la cuenca del río Chimalapa, municipios de Sonsonate y Nahulingo, tomadas con fecha 8 de octubre de 2022.

	<i>Muestras MGRH</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (μS/cm)</i>	<i>TDS (mg/L)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>	<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>	<i>Nitratos (mg/L)</i>	<i>Sulfatos (mg/L)</i>	<i>Dureza Total expresada como CaCO_3 (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad HCO_3 (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad CO_3 (mg/L)</i>	<i>Ca^{++} (mg/L)</i>	<i>Mg^{++} (mg/L)</i>
1	<i>Playa Portezuelo pex8</i>	7.04	577	385	0	4.5	14.581	41.22	190.173	3.606	0	72.144	4.8
2	<i>Playa Portezuelo pper3</i>	7.19	470	313	0	4.6	12.057	36.216	140.127	2.587	0	44.088	14.4
3	<i>Barra Ciega pex3</i>	8	1725	1149	0	4.5	47.76	200.42	400.364	2.587	0	172.344	14.4
4	<i>Barra Ciega pex2</i>	7.8	1622	1081	0	4.5	39.818	170.277	610.555	6.272	0	240.48	4.8
5	<i>El Obraje pex9</i>	7.75	568	379	0.062	1.5	9.8864	78.647	520.473	2.822	0	72.144	38.4
6	<i>Terrenos Diana pex5</i>	7.8	369	245	1	1.6	6.623	41.362	260.237	2.901	0	52.104	0
7	<i>Playa Miravalle pper5</i>	7.76	722	482	0	0.7	22.437	64.349	190.173	2.352	0	76.152	0
8	<i>Barra Ciega pex4</i>	7.35	1156	769	0	4.6	47.7	78.745	450.410	2.587	0	156.312	28.8
9	<i>Playa Miravalle pper4</i>	7.4	465	310	0	5	13.508	39.685	150.137	2.901	0	68.136	9.6

Observaciones

1. El informe corresponde a las muestras remitidas y ensayadas.
2. Las muestras fueron tomadas como muestras simples. El muestreo fue hecho con fecha 8 de octubre de 2022.
3. Cada dato corresponde a un valor promedio de dos repeticiones.



Ciudad Universitaria, 17 de noviembre de 2022.

Ludwin Ernesto Morán Torres.

Estudiante/ MGRH

Presente.

Reciba un cordial saludo y mis mejores deseos de éxito en el desarrollo de sus actividades profesionales y personales.

Por este medio, y en tabla 1, le remito los resultados de los análisis de parámetros químicos y fisicoquímicos realizados a nueve muestras de agua, tomadas con fecha 8 de octubre de 2022 e identificadas como:

- 1 Hacienda la Campana río Chimalapa
- 2 El Progreso 1
- 3 Cantón Miravalle
- 4 Hacienda Santa Bárbara
- 5 Nacimiento río Chimalapa
- 6 La Campana 2
- 7 El progreso 2

Los parámetros fueron medidos de acuerdo con las metodologías establecidas por: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF) en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th Edition”. Siendo los parámetros medidos los siguientes: *De tipo Químico*: Sulfatos (SO_4^{-2}), Nitratos (NO_3^-), Dureza, Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Alcalinidad (CO_3 , HCO_3^-) *De tipo Fisicoquímico*: pH, Conductividad, Sólidos Disueltos, Turbidez y Oxígeno disuelto.

Sin otro particular más que esperar la satisfacción con los resultados reportados, me despido, atentamente,

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”

Dra. Tania Torres Rivera
Jefe laboratorios EIQIA – FIA – UES



Tabla 1.

Resultados de los análisis de muestras de agua provenientes de la cuenca del río Chimalapa, municipios de Sonsonate y Nahulingo, tomadas con fecha 3 de noviembre de 2022.

	Muestras MGRH	pH	Conductividad (μS/cm)	TDS (mg/L)	Turbidez (NTU)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Dureza Total expresada como CaCO₃ (mg/L)	Alcalinidad HCO₃ (mg/L)	Alcalinidad CO₃ (mg/L)	Ca⁺⁺ (mg/L)	Mg⁺⁺ (mg/L)
1	Hacienda la Campana río Chimalapa	7.97	481	241	1.645	11.2	12.26	84.28	370.337	2.744	0	72.144	0
2	El Progreso 1	7.40	474.5	242	0.435	12.2	6.49	58.27	200.182	2.548	0	44.088	0
3	Cantón Miravalle	7.54	482.5	241.5	0.38	12.2	4.53	79.14	250.228	3.018	0	172.344	0
4	Hacienda Santa Bárbara	7.30	553	276	0.74	12.2	21.60	105.09	230.209	2.038	0	240.48	0
5	Nacimiento río Chimalapa	7.25	387.5	193.5	4.23	12.2	7.04	47.36	400.364	2.313	0	72.144	0
6	La Campana 2	7.04	463	231	0.255	12.2	10.80	70.29	440.400	2.274	0	52.104	0
7	El progreso 2	8.24	1673	831	0.57	12.2	4.38	152.95	450.410	5.292	0	76.152	0

Observaciones

1. El informe corresponde a las muestras remitidas y ensayadas.
2. Las muestras fueron tomadas como muestras simples. El muestreo fue hecho con fecha 3 de noviembre de 2022.
3. Cada dato corresponde a un valor promedio de dos repeticiones.



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00188 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

AGUA DE POZO PCHI 1

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	07:20
Muestreó:	Ciente	Ingreso de muestra:	10-06-2023
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023
Observaciones:	No aplica		



RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	36.7	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	13	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	153.13	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	40.9	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	29.5	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.5	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	2.83	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	22.92	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ESOLT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00189 v1


Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

AGUA DE POZO PCHI 2

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	07:45
Muestreó:	Ciente	Ingreso de muestra:	10-06-2023
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023
Observaciones:	No aplica		



RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	15.4	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	<1	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	196.88	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	36.1	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	24.6	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.5	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	3.29	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	31.84	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

² Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Lidia Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ES0LT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00190 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

AGUA DE POZO PCHI 3

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	08:15	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	27.0	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	2	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	145.26	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	31.3	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	21.6	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	15.6	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	3.97	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	20.44	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

² Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00191 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 4

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	08:50	
Muestreo:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	36.9	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	12	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	208.75	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	64.1	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	28.5	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.0	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	5.91	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	22.97	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ESOLT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00192 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 5

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	09:15	
Muestreo:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	39.0	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	15	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	165.14	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	39.3	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	29.5	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	18.0	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	2.75	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	31.40	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00193 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 6

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	10:15	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	22.1	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	22	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	163.14	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	28.9	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	30.5	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.0	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	4.37	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	35.51	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00194 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
 PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
 RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
 #16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
 EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 7

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	10:45	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	28.1	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	38	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	180.96	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	32.1	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	80.6	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.5	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	3.67	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	76.00	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

² Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
 QUÍMICA FARMACÉUTICA
 Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
 Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
 D.N.M.
 LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
 DE CALIDAD (LECC)
 Inscripción: ESOLT0357
 Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
 Municipio: SAN SALVADOR
 Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00195 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
 PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
 RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
 #16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
 EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 8

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RIO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	11:30	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	359.9	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	78	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	190.82	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	304.6	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	1267.6	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	204.1	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	9.60	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	325.94	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

² Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
 QUÍMICA FARMACÉUTICA
 Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
 Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
 D.N.M.
 LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
 DE CALIDAD (LECC)
 Inscripción: ESOLT0357
 Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
 Municipio: SAN SALVADOR
 Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00196 v1


Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 9

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	12:10
Muestreo:	Ciente	Ingreso de muestra:	10-06-2023
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023
Observaciones:	No aplica		



RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	302.4	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	96	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	290.22	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	324.6	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	1031.8	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	206.6	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	17.19	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	217.69	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00197 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965, S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 10

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	12:25	
Muestreo:	Ciente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	189.5	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	80	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	238.51	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	79.4	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	76.6	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	47.1	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	10.22	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	97.36	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00198 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 11

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	12:40	
Muestreo:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	337.2	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	111	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	249.56	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	128.3	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	158.2	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	332.9	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	12.03	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	105.00	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ESOLT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00199 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 12

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	13:10	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	45.4	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	27	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	119.34	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	34.5	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	39.3	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	17.5	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	5.28	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	25.04	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ESOLT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00200 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 13

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	13:25	
Muestreo:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	64.2	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	12	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	123.35	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	32.9	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	32.9	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	16.8	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	3.99	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	25.24	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)





INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00201 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

AGUA DE POZO PCHI 14

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	13:40	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	93.2	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	42	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	202.51	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	56.1	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	90.9	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	31.6	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	12.77	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	12.96	mg/L

NOTAS:

¹ Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

² Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

Republica de El Salvador
D.N.M.
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CONTROL
DE CALIDAD (LECC)
Inscripción: ESOLT0357
Propietario: ESEBESA, S.A. DE C.V.
Municipio: SAN SALVADOR
Departamento: SAN SALVADOR



INFORME DE ANÁLISIS

CONTROL: AG-2306-00202 v1

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
www.lecc.com.sv Correo: info@lecc.com.sv
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157

Solicitado por: LUDWIN ERNESTO MORÁN TORRES
RES VILLA PALMERA AV CIPRES, POL 10
#16, QUEZALTEPEQUE, LA LIBERTAD,
EL SALVADOR

AGUA DE POZO PCHI 15

Origen:	POZO	Fecha de toma:	09-06-2023	
Lugar:	CUENCA DEL RÍO CHIMALAPA, MUNICIPIO DE SONSONATE, DEPARTAMENTO DE SONSONATE	Hora de toma:	14:00	
Muestreó:	Cliente	Ingreso de muestra:	10-06-2023	
Coordenadas:	Latitud: No disponible Longitud: No disponible	Emisión de informe:	28-06-2023	
Observaciones:	No aplica			

RESULTADOS

Determinación	Método	Referencia ¹	Especificación ²	Resultado	Unidades
Sulfatos	4500-SO4-2 E	SMEWW 23rd Edition	<=250	47.2	mg/L
Nitratos*	4500-NO3-H	SMEWW 23rd Edition	<=50	9	mg/L
Alcalinidad por Bicarbonatos	4500-CO2 D	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	195.70	mg/L
Calcio	3500-Ca B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	41.7	mg/L
Cloruros *	4500-Cl	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	37.3	mg/L
Magnesio (CALCULADO)	2340 C	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	26.0	mg/L
Potasio	3500-K, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	3.05	mg/L
Sodio	3500-Na, 3111B	SMEWW 23rd Edition	No Disponible	28.91	mg/L

NOTAS:

¹: Cuando no se especifica versión de la referencia debe entenderse que es la edición vigente.

²: Especificaciones: RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

* Ensayos acreditados por OSA con registro N° LEA-05:02 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv



ACLARACIONES:

- Los resultados corresponden a la muestra ensayada.
- Este informe no puede ser reproducido de forma parcial.
- Para consultar versión vigente del informe escanear el código QR. El usuario y contraseña es el número de control.
- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Autorizado por:

Licda. Carmen Cristina Deras Aquino
QUÍMICA FARMACÉUTICA
Insc. JVPQF No. 2562

Signataria autorizada
Cristina Deras Aquino (QF)

