

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA.
ESCUELA DE FÍSICA.**



DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca baja del río Paz,
en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán.”**

PRESENTADO POR:

Natalia Desireé Santamaría Martínez

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciada en Geofísica

DOCENTE ASESOR:

M.Sc César Armando Alvarado Batres

Ciudad universitaria, 15 de Junio 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA.
ESCUELA DE FÍSICA.**



DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca baja del río Paz,
en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán.”**

PRESENTADO POR:

Natalia Desireé Santamaría Martínez

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciada en Geofísica

DOCENTE ASESOR:

M.Sc César Armando Alvarado Batres

Ciudad universitaria, 15 de Junio 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA.
ESCUELA DE FÍSICA.**



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca baja del río Paz,
en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán.”**

PRESENTADO POR:

Natalia Desireé Santamaría Martínez

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciada en Geofísica

TRIBUNAL CALIFICADOR

Jurado Interno

Dra. Velia Ruth Sosa Gómez

Jurado Externo

Licda. Norma Vanessa Coto Domínguez

Ciudad universitaria, 15 de Junio 2023

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR: M.Sc ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICE-RECTOR ACADÉMICO: DR. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

SECRETARIO GENERAL: ING. FRANCISCO ALARCON

FISCAL GENERAL: LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARIN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO: LIC. MAURICIO HERNÁN LOVO CÓRDOBA

VICEDECANA: M.Sc ZOILA VIRGINIA GUERRERO

SECRETARIO: LICDO. JAIME HUMBERTO SALINAS ESPINOZA

ESCUELA DE FISICA

DIRECTOR DE ESCUELA: LIC. GUILLERMO NAPOLEÓN MORÁN

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se pudo realizar con el apoyo de diversas instituciones y con la ayuda de muchas personas, teniendo como objetivo una investigación de calidad, para que esta sea una herramienta que sirva para la comprensión de la dinámica del agua subterránea y su calidad en la cuenca baja del río Paz, en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán.

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor y maestro MSc. César Armando Alvarado Batres, por haber sido parte de mi formación como geofísica y a la vez guiado en todo el proceso de esta investigación.

A MSc. Luis Castillo por su ayuda en la toma de datos de prospección geofísica y el procesamiento de datos.

Un especial agradecimiento al grupo de investigación en Hidrogeología (GIH) y al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad de El Salvador, por haberme ayudado a recopilar la información en la etapa de campo y procesamiento, para este trabajo de investigación.

En segundo lugar, quiero agradecer a la Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES), por el financiamiento del desarrollo de investigación y disposición de personal para la ejecución del trabajo investigativo, antes, durante y posterior al trabajo de campo.

Además, agradezco a mi amigo y maestro, MSc. Michel Wilde voluntario de EIRENE SUISSE por haberme apoyado desde un inicio con la idea de realizar esta investigación, su diseño y ejecución. Agradezco a EIRENE SUISSE por financiar parte de esta investigación, para completar la exploración del agua subterránea en la zona de interés.

Así mismo, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todos los miembros de la Asociación Intercomunitaria para el desarrollo y la gestión sustentable de la cuenca "El Aguacate" (ACMA), y a las 18 comunidades que me acompañaron en todo el proceso, que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible, ya que fue fundamental su colaboración.

A mis compañeros de carrera en especial a Kevyn Pineda, Alexis Andrés y Fernando Menjívar quienes me apoyaron con su conocimiento y experiencia.

Finalmente, y más importante a mi familia en especial a mis padres Iris Martínez y Pedro Santamaria quienes han sido mi soporte en toda mi vida, por su dedicación y por motivarme a diario hacer una buena persona, estudiante y atleta.

Fue difícil el trayecto, altibajos, desvelos, lagrimas, estrés, frustración, pero logrando la meta, gracias al apoyo infinito e incondicional de mi partner in crime Kennia Sucel Valencia, desde el inicio hasta la culminación de esta etapa.

¡Gracias a todas y todos por creer en mí!

Y finalmente puedo decir LO LOGRE....

CONTENIDO	
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
ANTECEDENTES.....	6
1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1. UBICACIÓN Y DELIMITCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
1.1.1. UBICACIÓN	8
1.1.2. DELIMITACIÓN.....	8
1.2 ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS	10
1.2.1 SISTEMA ACUIFERO TRANSFRONTERIZO CUENCA RÍO PAZ	10
1.3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGIA DE SAN FRANCISCO MENÉNDEZ	11
1.3.1 GEOMORFOLOGIA.....	11
1.3.2 GEOLOGIA.....	13
1.4. HIDROLOGÍA	17
1.4.1 UNIDADES HIDROGEOLOGÍCAS.....	17
1.5 HIDROGEOLOGÍA.....	19
1.5.1. REGIONES HIDROGRÁFICAS.....	19
1.6. CLIMA DE SAN FRANCISCO MENÉNDEZ.....	24
1.6.1. INFRMACIÓN METEREOLÓGICA.....	25
1.6.2. USO DEL SUELO.....	26
1.7. PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.....	29
1.7.1. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	29
1.7.2. TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS.....	31
1.8 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA.....	35
1.8.1. MÉTODOS DIRECTOS.....	35
1.8.2. TÉCNICAS DE DARCY.....	36
1.8.3. TÉCNICA DE TRAZADORES.....	36

1.9. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA RECARGA.....	37
1.10. BALANCE HÍDRICO.....	37
1.9.1 MÉTODO DE THORNTHWAITE.....	39
1.9.2 MÉTODO DE VARIACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	40
1.11. MÉTODO SCHOSINSKY.....	41
1.11.1. PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.....	43
1.11.2. PERMEABILIDAD.....	43
1.10.3. PERMEÁMETRO DE GUELPH.....	43
1.10.4. MÉTODO DOBLE ANILLO.....	45
1.10.5. MÉTODO DE PORCHET.....	47
1.12. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRANEA	49
1.12.1. QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRANEA	49
2. METODOLOGÍA.....	52
2.1. RECOPIACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	52
2.2 DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CAMPO.....	53
2.2.1. INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.....	53
2.2.2. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.....	58
2.2.3. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.....	62
2.2.4. BALANCE HÍDRICO DE SCHOSINSKY.....	66
2.2.5. MUESTREO PARA ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.....	68
2.2.6 MUESTREO PARA ANALISIS DE IONES MAYORES.....	75
2.2.7. PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA Y REGISTRO GEOFÍSICO.....	79
2.3. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA.....	81
2.4. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO COSTERO.....	81
2.5. PROCESAMIENTO DE DATOS Y REDACCIÓN DEL INFORME FINAL.....	82
3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
3.1. INFILTRACIÓN.....	82
3.1.1. USO DEL SUELO.....	83
3.1.2. BALANCE HÍDRICO.....	86
3.1.3. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.....	88

3.2. HIDROGEOQUÍMICA.....	89
3.2.1 MONITOREO DE TEMPERATURA.....	90
3.2.2 MONITOREO DE PH.....	91
3.2.3 MONITOREO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	92
3.2.4 MONITOREO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	94
3.3 DIAGRAMAS DE PIPER	96
3.3.1 DIAGRAMAS DE STIFF.....	98
3.3.2 DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF.....	102
3.4. PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.....	105
3.4.1. PERFILES GEOELECTRICOS.....	111
3.5 MODELO CONCEPTUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO PAZ.....	114
4.CONCLUSIONES.....	116
5.RECOMENDACIONES.....	118
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS.....	124

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio San Francisco Menéndez Ahuachapán (Fuente: Elaboración propia)</i> -----	10
<i>Figura 2: Mapa Geomorfológico de El Salvador y de Unidades Morfoestructurales. Fuente: Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General del Observatorio Ambiental</i> -----	14
<i>Figura 3. Mapa Geológico de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez (Fuente: cobertura en base a coberturas SIG del Laboratorio de Sistemas de Información y Teledetección de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (LabSIG-CIMAT))</i> -----	16
<i>Figura 4. Mapa Hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez (Fuente: (LabSIG-CIMAT))</i> -----	18
<i>Figura 5. Mapa Regiones Hidrográficas de El Salvador Coto 2014 “Caracterización Hidrogeológica y geoquímica de acuífero costero, de la península de San Juan el Gozo, municipio de Jiquilisco, Usulután”</i> -----	21
<i>Figura 6. Red Hidrográfica de la cuenca baja del Río Paz, San Francisco Menéndez, Ahuachapán</i> -----	23
<i>Figura 7. Mapa que contiene la clasificación climática de El Salvador. Creado con financiamiento del FCAS. Ministerio de medio Ambiente y Recursos naturales. SIHI</i> -----	24
<i>Figura 8 Gráfico de precipitación promedio para la estación H4 La Hachadura, Elaborado a partir de datos proporcionados por el MARN.</i> -----	26
<i>Figura 9. Mapa de El Salvador: Áreas de caña que se pueden producir sin riego (azul), con riego complementario (verde), o con irrigación plena (amarillo). MARN (2012)</i> -----	27
<i>Figura 10. Mapa de uso de suelos de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. Fuente: Quiñonez Basagoitia, 2016</i> -----	28
<i>Figura 11. Disposición de arreglo con configuración Schlumberg</i> -----	30
<i>Figura 12. Arreglo de electrodos con el Método de Tomografía Eléctrica en 2-D</i> -----	32
<i>Figura 13. Equipo utilizado para realizar tomografías eléctricas</i> -----	33
<i>Figura.14. Esquema del método del permeámetro de Guelph (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)</i> -----	44
<i>Figura 15. permeámetro de Guelph armado en campo</i> -----	45

<i>Figura 16. Esquema del infiltrómetro de doble anillo (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)</i>	----	46
<i>Figura 17. El infiltrómetro de doble anillos enterrados en campo. (Alvarado C, 2015)</i>	----	47
<i>Figura 18. Esquema del método de Porchet (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)</i>	-----	48
<i>Figura 19. Método de Porchet utilizado en el campo, para la determinación de la conductividad hidráulica. (Alvarado C, 2015)</i>	-----	48
<i>Figura 20. Fases metodológicas de la investigación (Fuente: Elaboración Propia)</i>	-----	52
<i>Figura 21. inventario de pozos de agua en la zona de estudio. (Fuente: foto propia)</i>	-----	54
<i>Figura 22. Nivel estático de pozos de la campaña hidrogeológica en la zona de estudio Cuenca baja del río paz (Fuente: foto propia)</i>	-----	57
<i>Figura 23. Ubicación de pozos monitoreados por UNES y pozos inventariados en la campaña hidrogeológica diciembre 2020</i>	-----	58
<i>Figura 24. Cálculo de la permeabilidad por medio de la hoja de cálculo de Guelph</i>	-----	59
<i>Figura 25. Ubicación de las pruebas de infiltración en la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. (Elaboración propia)</i>	-----	61
<i>Figura 26. Proceso de 1) Montaje, 2) Preparación del agujero, 3) Instalación y 4) Toma de datos del permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia)</i>	-----	63
<i>Figura 27. Mapa de ubicación de pozos para la toma de iones mayores Fuente: (elaboración propia)</i>	-----	77
<i>Figura 28. Mapa de Ubicación de los perfiles geofísicos en la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. Fuente: (elaboración propia)</i>	-----	80
<i>Figura 29. Gráfico comparativo de las variaciones del uso de suelo del municipio de san francisco Menéndez Ahuachapán para los años 1996, 2011 y 2016. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----	85
<i>Figura 30. Mapas de las variaciones del uso de suelo en el cultivo de caña de azúcar, para los años 1996, 2011 y 2016. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----	86
<i>Figura 31. Gráfico de porcentaje de distribución de uso de suelo de 2016 Fuente: (elaboración propia)</i>	-----	86
<i>Figura 32. Comparación de recarga potencial estimada entre el año 1996 y 2016, basado en el cambio de uso de suelo de cultivo de caña y pastizal en la zona de estudio</i>	-----	90

<i>Figura 33. Gráfico de la variación de la temperatura en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----91
<i>Figura 34. Gráfico de la variación de pH en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----92
<i>Figura 35. Gráfico de variación de conductividad en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----93
<i>Figura 36. mapa de Isoconductividades eléctricas ($\mu\text{S}/\text{cm}$) elaborado a partir del interpolado de los valores disponibles de este parámetro en la MASub ESA-01 para el mes de julio de 2007 Fuente: elaboración del MARN</i>	-----94
<i>Figura 37. Gráfico de la variación de Sólidos Totales Disueltos en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----95
<i>Figura 38. Diagrama de Piper para las muestras de octubre 2020 y marzo 2021 Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----96
<i>Figura 39. Mapa comparativo de ubicación de pozos de muestreo de iones mayores octubre 2020 y marzo 2021. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----97
<i>Figura 40. Diagramas de Stiff iones mayores para el año 2021. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----100
<i>Figura 41. Diagramas de Stiff iones mayores para el año 2020. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----101
<i>Figura 42. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los 3 puntos muestreados, Paz y progreso I, Colonia Ista y Palmo la Danta de los meses de octubre 2020 y marzo 2021. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----105
<i>Figura 43. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los 3 puntos muestreados, El chino, La Danta y El Palmito en el año 2015. Fuente: (Elaboración propia)</i>	-----106
<i>Figura 44. Mapa de Ubicación de los perfiles geofísicos en la zona de estudio. Fuente: (elaboración propia)</i>	-----108
<i>Figura 45. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00014</i>	-----109
<i>Figura 46. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00015</i>	-----109
<i>Figura 47. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00016</i>	-----109
<i>Figura 48. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00017</i>	-----110
<i>Figura 49. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00018</i>	-----110
<i>Figura 50. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00019</i>	-----111
<i>Figura 51. Tomografías eléctricas resultado del Modelo 2D del perfil LR00020</i>	-----111

<i>Figura 52. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00021</i>	<i>-----112</i>
<i>Figura 53. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00022</i>	<i>-----112</i>
<i>Figura 54. Secciones transversales que definen perfiles litológicos. Fuente: Hernández G. (2016) (Elaboración propia)</i>	<i>-----114</i>
<i>Figura 55. Perfil litológico paralelo a la costa, de norte a sur (perfil P1 N-S). Fuente: Hernández G. (2016)</i>	<i>-----115</i>
<i>Figura 56. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P2 P-O). Fuente: Hernández G. (2016)</i>	<i>-----116</i>
<i>Figura 57. Mapa de equipotenciales y dirección de flujo. Fuente: LabSIG-CIMAT. (Elaboración propia)</i>	<i>-----117</i>

.INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Acuíferos transfronterizos de la región centroamericana. (Fuente: (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015) -----</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Cuencas Hidrográficas pertenecientes a la Región Hidrográfica “Cara Sucia”. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)-----</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3. Rangos de coeficientes de almacenamiento en acuíferos de El Salvador-----</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4. Muestra los datos de precipitación y evapotranspiración de la estación H14 de San Francisco Menéndez. Fuente: (Elaboración propia) -----</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5. Resistividad de algunos tipos de rocas, sedimentos saturados de agua y rocas ígneas saturadas de agua. Modificada de Telford et al. (1990) -----</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6. Variables utilizadas en el método de Schosinsky & Losilla-----</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Infiltración básica aproximada. Fuente: Modificada de Deras Cortéz (2003) -----</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8: Clasificación del Agua Subterránea basada en los TDS. Fuente: Freeze & Cherry, 1979, pág. 48 y Rupper & Ginn 2008-----</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9. Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea. Fuente: Fetter 1980 y Apelo & Postma 2005-----</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10. Ubicación de pozos excavados monitoreados por UNES fuente: (Elaboración propia) -----</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11. Ubicación de pozos inventariados en la campaña hidrogeológica fuente: (Elaboración propia) -----</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 12. categoría del medio poroso para la hoja de cálculo de permeabilidad-----</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 13. Pruebas de infiltración en la zona de estudio fuente: (Elaboración propia)----</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 14. Índice de Pendientes-----</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 15. Índices de Cobertura Vegetal-----</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 16. Parámetros por Textura de Suelo-----</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 17. Valores de Evapotranspiración Potencial en el área de estudio-----</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 18. Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán 2020-----</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 19. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de mayo de 2019 Fuente: (Elaboración propia) -----</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 20. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de enero de 2020 fuente: (Elaboración propia) -----</i>	<i>71</i>

<i>Tabla 21. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de febrero de 2020 Fuente: (Elaboración propia)</i>	72
<i>Tabla 22. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de octubre de 2020 Fuente: (Elaboración propia)</i>	73
<i>Tabla 23. Muestra los resultados fisicoquímicos en la campaña hidrogeológica del mes de diciembre de 2020 Fuente: (Elaboración propia)</i>	74
<i>Tabla 24. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de noviembre 2021 Fuente: (Elaboración propia)</i>	75
<i>Tabla 25. Iones mayores tomados en el mes de octubre 2020 Fuente: (Elaboración propia)</i>	79
<i>Tabla 26. Iones mayores tomados en el mes de marzo 2021 Fuente: (Elaboración propia)</i>	79
<i>Tabla 27. Muestra los diferentes arreglos electródicos utilizados en las tomografías de la prospección geofísica en Garita Palmera</i>	81
<i>Tabla 28. Valores de infiltración básica obtenido en la campaña hidrogeológica. Fuente: (Elaboración propia)</i>	84
<i>Tabla 29. Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán</i>	88
<i>Tabla 30. Muestra el resumen de las hojas de Schosinsky y los valores del volumen total de recarga. Fuente: (Elaboración propia)</i>	89

INTRODUCCIÓN

En nuestro país el agua es un recurso vital y limitado para la productividad, uso doméstico y cotidianidad de las personas, es por ello importante preservar la calidad y el acceso al agua.

El agua subterránea es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación, en este sentido es de gran importancia elaborar una investigación que proporcione criterios que sirvan de base para conocer la situación del vital líquido como punto de partida para la generación del conocimiento, elaboración de normativas ambientales preventivas, estas encaminadas a la preservación y sostenibilidad del acuífero.

La investigación realizada consiste en desarrollar una caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del acuífero sedimentario de la cuenca baja del río Paz del municipio de San Francisco Menéndez en el departamento Ahuachapán, donde nos permita conocer la recarga potencial, en el cual por la explotación del agua subterránea mediante de pozos, conlleva a estimar la recarga de los acuíferos, esto con base a la distribución de precipitación y coeficientes de infiltración, además de conocer la dinámica del agua que fluye a través de los materiales porosos y así mismo conocer las características fisicoquímicas para determinar la calidad del agua todo esto permite determinar un balance hídrico utilizando el método de Gunther Schosinsky,

Así mismo para que esta investigación sea una herramienta con la que se puedan auxiliar las comunidades para realizar una adecuada gestión integral del recurso hídrico principalmente la del agua subterránea.

El estudio contiene la información general del municipio tales como: Ubicación y delimitación de la zona de estudio, metodología usada para la caracterización hidrogeológica del lugar; la recolección de datos de campo por medio de tomografías eléctricas, pruebas de infiltración, inventario de puntos de agua y observación general del sitio, como uso de suelos, actividades económicas, zonas de importancia y organización social, así como las respectivas conclusiones del análisis de toda la información generada producto de la investigación

Cabe mencionar que la realización de esta investigación se llevó a cabo con el apoyo de EIRENE SUISSE y la Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña UNES, la cual tiene más de 30 años trabajando en el tema ambiental en el país y ha venido articulando esfuerzos con la Asociación Intercomunitaria para el Desarrollo y Gestión Sustentable de la Microcuenca El Aguacate (ACMA sobre la temática del agua y otros temas ambientales.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, existen esfuerzos de diferentes entidades en la protección y preservación del recurso hídrico, a pesar de estas acciones todavía no se cuenta con una evaluación de las aguas subterráneas, ni de recarga potencial, ni de las características fisicoquímicas en el acuífero de la cuenca baja del río Paz, en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán, es por ello que es importante realizar esta investigación ya que a través de este estudio se busca establecer qué zonas poseen mayor estrés hídrico y alta vulnerabilidad de ser afectadas por contaminantes, todo esto con la finalidad, de que los resultados puedan ser empleados para desarrollar planes de ordenamiento territorial e identificar zonas de protección en las áreas de mayor recarga de la cuenca. Además, de brindar insumos a los habitantes, para establecer lineamientos para la protección del recurso hídrico.

Es preciso realizar estudios en la zona costera de San Francisco Menéndez, donde el impacto del cultivo de caña ha incrementado, en estos últimos años según el estudio realizado por Alvarenga S. (2019) sobre la “Problemática de la Caña de Azúcar en El Salvador”, donde describe que la zona costera no es apta para este monocultivo debido a la demanda excesiva de agua, ya que no existe una regulación real, ni una Ley que proteja las aguas subterráneas de cualquier alteración, que pueda causarles graves daños, por la intervención del ser humano. También, existe la posibilidad que el agua en los acuíferos sea contaminada y no deba ser utilizada para el consumo humano por la alteración de sus propiedades fisicoquímicas. Es necesario tener un control más detallado sobre la calidad del agua subterránea de nuestro país ya que es un recurso limitado, por lo que en consecuencia es relevante realizar estudios hidrogeológicos, en el municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, para determinar las características que posee el acuífero.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca baja del río Paz, en el municipio de san Francisco Menéndez, Ahuachapán, para conocer la dinámica del flujo del agua subterránea en el área de estudio a través de balances hídricos, evaluación de los parámetros fisicoquímicos, y modelo conceptual del acuífero.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estimar la recarga acuífera potencial en la zona, por medio del balance hídrico y la metodología de Schosinsky a partir de las variables de precipitación, infiltración, evapotranspiración, escurrimiento, extracción, etc., utilizando los datos disponibles de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio.
- Realizar una caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea del acuífero somero a partir del análisis fisicoquímico y representarlos por medio de diagramas.
- Definir un modelo conceptual del sistema acuífero costero, a través de los resultados de la medición de niveles estáticos, litología, parámetros hidráulicos en los pozos de la zona y de los resultados obtenidos de los balances hídricos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios hidrogeológicos son de especial interés no solo para la provisión de agua a la población sino también para evaluar la presencia de sustancias contaminantes y la manera en que afectan al medio ambiente, por lo que esta especialidad se ha convertido en una ciencia básica para la evaluación del agua subterránea, ya que desde las últimas décadas el problema de la contaminación debido a la industrialización del monocultivo de caña de azúcar se ha extendido, así como los efectos socioambientales están afectando de gran manera la recarga hídrica así también en la disminución de los niveles de agua por deforestación, ha venido en aumento por lo que es necesario realizar estos estudios, ya que con ellos se puede caracterizar un cuerpo de agua subterránea y determinar el estado en que se encuentra.

Según el estudio de Alvarenga, S. (2019) sobre la "Problemática de la Caña de Azúcar en El Salvador" expone que el uso del agua que se necesita para el riego de cultivo de caña de azúcar es excesivo debido a que no tiene una regulación real de esta industria y que tampoco se conoce la cantidad exacta que se utiliza durante todo el proceso de producción. Esto además de la sobre explotación del recurso hídrico, afecta de forma directa a las familias que viven alrededor de los "cañales" por la disminución de agua en sus pozos en su mayoría artesanales, disminuye su calidad, así como el deterioro de la salud de las personas por el uso irregular de agroquímicos. A esto hay que agregarle que esta zona es geológicamente sedimentaria lo que implica que haya un gran riesgo de contaminación del agua por el uso desmedido de plaguicidas.

Con la investigación que realizaremos, nos permitirá conocer la recarga potencial, en el cual por la explotación del agua subterránea mediante de pozos, conlleva a estimar la recarga del acuífero, esto con base a la distribución de precipitación y coeficientes de infiltración, además de conocer la dinámica del agua que fluye a través de los materiales porosos y así mismo conocer las características fisicoquímicas para determinar la calidad del agua.

ANTECEDENTES

La preocupación existente a nivel mundial y regional sobre la situación del recurso agua nos da la pauta para recordar que éste es un recurso finito y vulnerable, de suma importancia para la vida, para el desarrollo y para la sostenibilidad ambiental; por lo que su gestión debe basarse en un enfoque participativo y multidisciplinario, involucrando a los usuarios, planificadores y tomadores de decisión a todos los niveles.

El agua es un bien escaso, con limitada disponibilidad y con una demanda creciente, cuya sostenibilidad depende de una adecuada gestión. también, juega un rol vital en la calidad de vida de las comunidades, es necesaria para la agricultura, se usa en la mayoría de los procesos productivos y provee la base para la vida de los ecosistemas. El 70% del planeta está cubierto de este vital líquido, pero solo un 2.5 % de esta corresponde a agua dulce; y apenas el 0.01 % del total del agua existente se considera apta para el consumo humano. (FUNDE, 2009).

Para la investigación de la cuenca baja del río Paz en el municipio de San Francisco Menéndez, se han consultado diferentes estudios de las ciencias naturales y ciencias sociales que han servido de antecedentes a la presente investigación:

- ***“Caracterización hidrogeológica y geoquímica del acuífero costero de la península de san juan el golfo, municipio de Jiquilisco y puerto el triunfo, departamento de Usulután”***. Domínguez V. 2017

Dicho trabajo de grado se utilizó de base para tener un panorama más amplio sobre lo que integra un estudio de investigación hidrogeológico e hidrogeoquímico del acuífero. Además, a través de esta investigación, se logró implementar técnicas y herramientas adecuadas para estimar la dinámica del flujo del agua subterránea en la cuenca baja del río Paz, a través de balances hídricos, evaluación de los parámetros fisicoquímicos, y modelo conceptual del acuífero.

“Estudio de la salinidad del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán”. Hernández G. 2016

En esta investigación se retoma la valoración hidrogeológica, hidrogeoquímica y geofísica del agua subterránea, para hacer una comparación de datos ya existentes con datos recolectados en la cuenca baja del río Paz a partir de muestreos en pozos, mapas y sondeos eléctricos verticales, contribuyendo a la determinación de calidad de agua y afectación en la calidad de vida de los habitantes de la zona.

- **“Dinámica Hidrogeológica en la cuenca baja del río Paz”**. Herrera E. 2010

Este informe aporta insumos sobre el conocimiento de la dinámica socio ambiental en el territorio de cuenca baja del río Paz y las relaciones que se establecen entre los ecosistemas, a través de los servicios que prestan, y el bienestar que dichos ecosistemas brindan a las comunidades.

- **“Impactos de la expansión en la Industria azucarera en la zona marino-costera de El Salvador: Caso zona baja del río Paz”**. Quiñonez J. 2016

Este estudio permite analizar los impactos hídrico-ambientales y socioeconómicos en la zona Sur de San Francisco Menéndez, detallando la expansión de las plantaciones de Caña de Azúcar y la contaminación por el uso de agroquímicos y uso excesivo de agua. Además, detalla información sobre el mapa de cambio de uso de suelo en la zona durante los últimos 20 años.

1. MARCO TEÓRICO

Para esta investigación se hace una descripción de cada uno de los aspectos teóricos, donde se han consultado informes técnicos de investigación realizados en la zona, libros de texto especializados, y procedimientos puntuales todo esto con el fin de fundamentar las metodologías implementadas durante la investigación.

1.1 UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1.1. Ubicación

San Francisco Menéndez es un municipio al sur del departamento de Ahuachapán al occidente de El Salvador, está limitado al norte con el municipio de Tacuba y la república de Guatemala; al este por los municipios de Jujutla y Tacuba; al sur por el océano pacífico y al oeste por la república de Guatemala. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas latitud norte $13^{\circ}52'53''$ y longitud oeste $89^{\circ}55'04''$, las cuales en el sistema de proyección Lambert localmente utilizado en El Salvador sería Norte 1536536.3 m, Oeste 184624.5 m respectivamente, para su administración se divide en 9 cantones y 81 caseríos, con una población de 42, 607 habitantes, y una extensión territorial de 226.13 km^2 .

La topografía del área es bastante irregular, por la ubicación de este, dado a las planicies y cordilleras a las que pertenece.

1.1.2. Delimitación

Actualmente la zona de incidencia de la *Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES)* que es una de las organizaciones que colaboro en la investigación ejecuta proyectos en la parte sur de san francisco Menéndez, Ahuachapán, donde la delimitación del área de estudio se hizo por las características geológicas de la zona, cabe mencionar que se tomó como prioridad los depósitos sedimentarios, por tal razón no se rige de manera estricta con el límite de la cuenca, las comunidades tomadas en cuenta en la investigación son las siguientes: La Hachadura, Paz y progreso, paz y progreso II, El Castaño, Rancho San Marcos, San Marcos Cañales, El Guayabo, El Palmo La Danta, El Chino, Colonia ISTA, Garita Palmera, Bola de Monte, El Tamarindo, El Porvenir, El Zapote, El Limón, y El Botoncillo, en total dentro del área de estudio son 18 comunidades que pertenecen a 3 cantones diferentes.

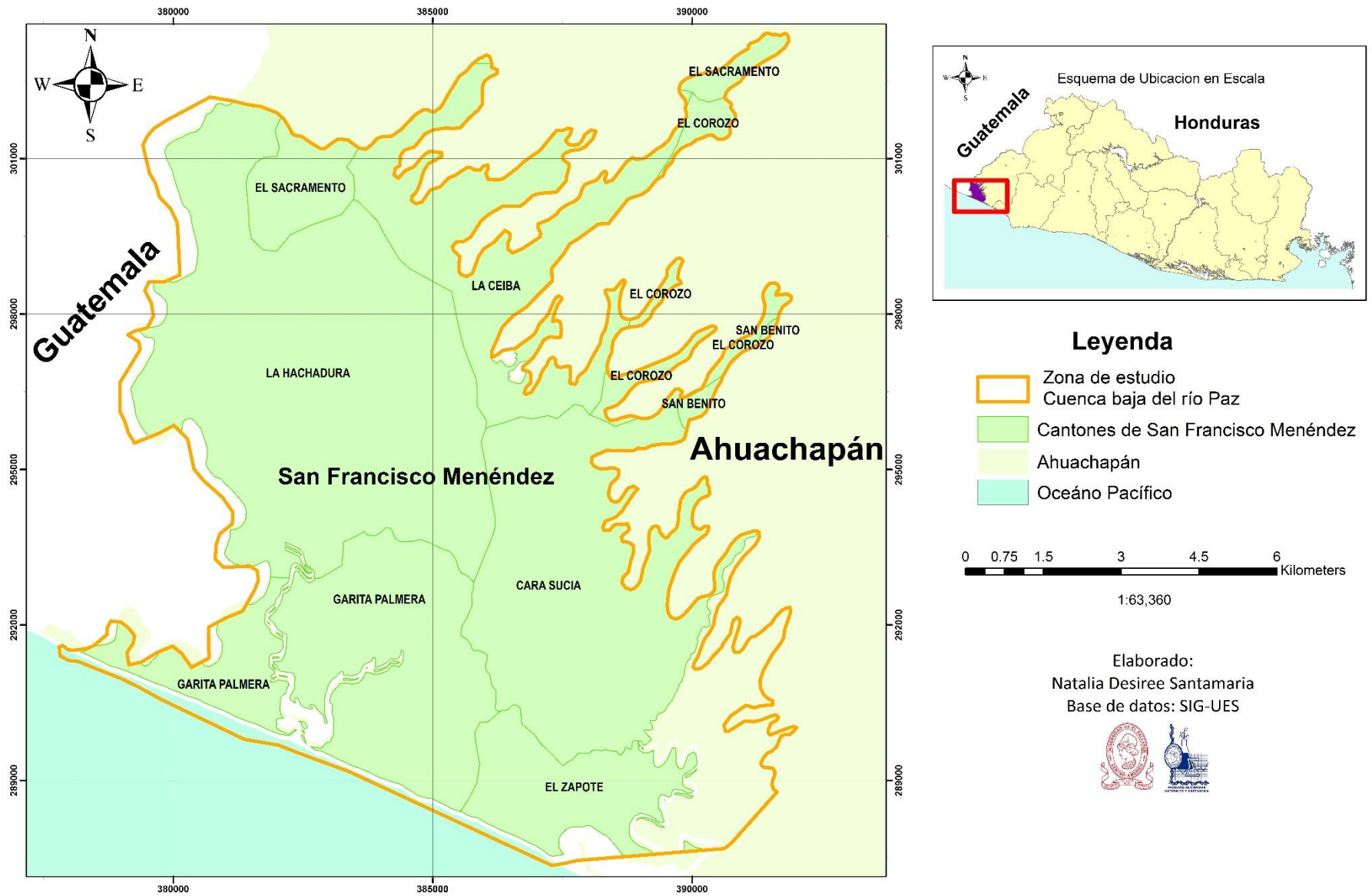


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio Cuenca baja de río Paz, San Francisco Menéndez, Ahuachapán (Fuente: Elaboración propia)

1.2 ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el año 2008 en su sexagésimo tercer período de sesiones, aprobó el informe de la Comisión de Derecho Internacional en el que se trabajó el reconocer el Derecho de los acuíferos transfronterizos (ONU, 2009). El acuerdo contiene los artículos que dictan como un acuífero transfronterizo se convierte en un bien para los países en los que este se encuentra ubicado, las directrices para una gestión adecuada, la información necesaria para comprender de manera correcta la dinámica de los acuíferos y sugerencias para mejorar las relaciones entre las regiones que se ven beneficiadas por dicho recurso, así como la manera de protección y preservación de los acuíferos transfronterizos (Ídem). (Mayen,2019)

Las cuencas hidrográficas transfronterizas para Centroamérica son por decirlo de alguna manera, una regla y no una excepción. En total en la región existen 23 cursos de agua internacionales que drenan aproximadamente el 40% del territorio y 18 acuíferos transfronterizos. Guatemala comparte 25 de sus 35 principales fuentes de agua. También comparte fuentes de agua con México y Belice. Honduras comparte 10, El Salvador comparte 6, mientras que Nicaragua, Costa Rica y Panamá comparten 4 fuentes de agua. (UNESCO/OEA,2007)

En la región centroamericana, el acuífero de la cuenca del río Paz, es uno de los 3 acuíferos transfronterizos más importantes, de El Salvador, siendo la parte baja de la cuenca nuestra área de estudio.

1.2.1. Sistema acuífero transfronterizo cuenca Río paz

Se ubica en los Departamentos de Ahuachapán, Santa Ana (El Salvador), drena en los Departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa (Guatemala). Tiene alta pluviosidad. Se encuentran valles aluviales en Guatemala y en el Valle de Sinqui (El Salvador). El acuífero puede considerarse libre a confinado. Existe conexión hidráulica entre los ríos y el acuífero. Debido al clima seco existe un riesgo latente de avance de la desertificación.

A continuación, se recopilan los acuíferos transfronterizos presentes en Centroamérica

Tabla 1. Acuíferos transfronterizos de la región centroamericana. (Fuente: (IGRAC & UNESCO - IHP, 2015)

Central América			
<i>Cuencas transfronterizas</i>	<i>Países</i>	<i>Cuencas transfronterizas</i>	<i>Países</i>
Soconusco-Suchiate/Coatán	Guatemala-México	Sarstún	Guatemala- Belice
Chicomuselo-Cuilco/Selegua	Guatemala-México	Temash	Guatemala-Belice
Ocosingo-Usumacinta-Pocom-Ixcán	Guatemala-México	Delta del Rio Motagua	Guatemala-Honduras
Márquez de Comillas-Chixoy/Xaclbal	Guatemala-México	Chiquimula-Copán Ruinas	Guatemala- Honduras
Boca del cerro- San Pedro	Guatemala-México	Esquipulas-Ocotepeque-Citalá	Guatemala-Honduras-El Salvador
Trinitaria-Nentón	Guatemala-México	Ostua Metapán	El Salvador- Guatemala
Península de Yucatán-Candelaria-Hondo	Guatemala-México-Belice	Rio Paz	El Salvador-Guatemala
Mopán- Belice	Guatemala-Belice	Estero Real-Rio Negro	Honduras- Nicaragua
Pusila-Moho	Guatemala-Belice	Sixaola	Costa Rica-Panamá

1.3 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA DE SAN FRANCISCO MENÉNDEZ

En este apartado se lleva a cabo la caracterización de los diferentes elementos geomorfológicos, así como la geología regional y superficial que se encuentran en el lugar, haciendo referencia a su origen como secuencia de diversos eventos y depósitos de materiales sedimentarios que han sido arrastrados a la parte baja de la Red Hidrográfica “Cara Sucia”.

1.3.1 GEOMORFOLOGIA

La mayor parte del territorio salvadoreño se caracteriza por una topografía o relieve accidentado, la cual ha sido consecuencia de la actividad volcánica y tectónica que ha tenido lugar en el pasado; 23 volcanes, 5 campos volcánicos y 2 lagos cratéricos, son ejemplo de las diversas formas topográficas de El Salvador.

La morfología del país está determinada por los procesos geológicos tectónicos, dando lugar a cinco unidades geomorfológicas según su evolución geológica (Meyer-Abich 1954, Gierloff 1956 & Dürr 1960), se dividen en: *la Planicie Costera, la Cadena Costera, la Cadena Volcánica Joven, la Fosa Central y la Montaña Fronteriza*, las cuales se muestran en la Figura 2.

La zona de la cuenca baja del río Paz se ubica en la unidad *planicie costera* que incluye los cordones litorales, manglares y tierras de inundación. Los cordones litorales comprenden dunas continuas paralelas al mar que conforman una topografía ondulada de materiales arenosos. Los bosques salados incluyen diversas especies adaptadas a suelos inundados. Las áreas de transición costera comprenden tierras inundables. Se caracterizan por vegetación entre los bosques de manglar y dulces. Las tierras de materiales aluviales se extienden desde los 2 msnm del área del manglar hasta aproximadamente los 10 msnm. (Coto V, 2017).

Desde el punto de vista geológico, El Salvador es clasificado como un país joven debido a que la mayor parte del territorio (aproximadamente un 75%), se encuentran rocas del período Terciario y un 25% corresponde al período Cuaternario. Así mismo, la geología predominante y que actualmente se tiene, ha sido originada por fenómenos volcano-tectónicos (Dürr, 1960).

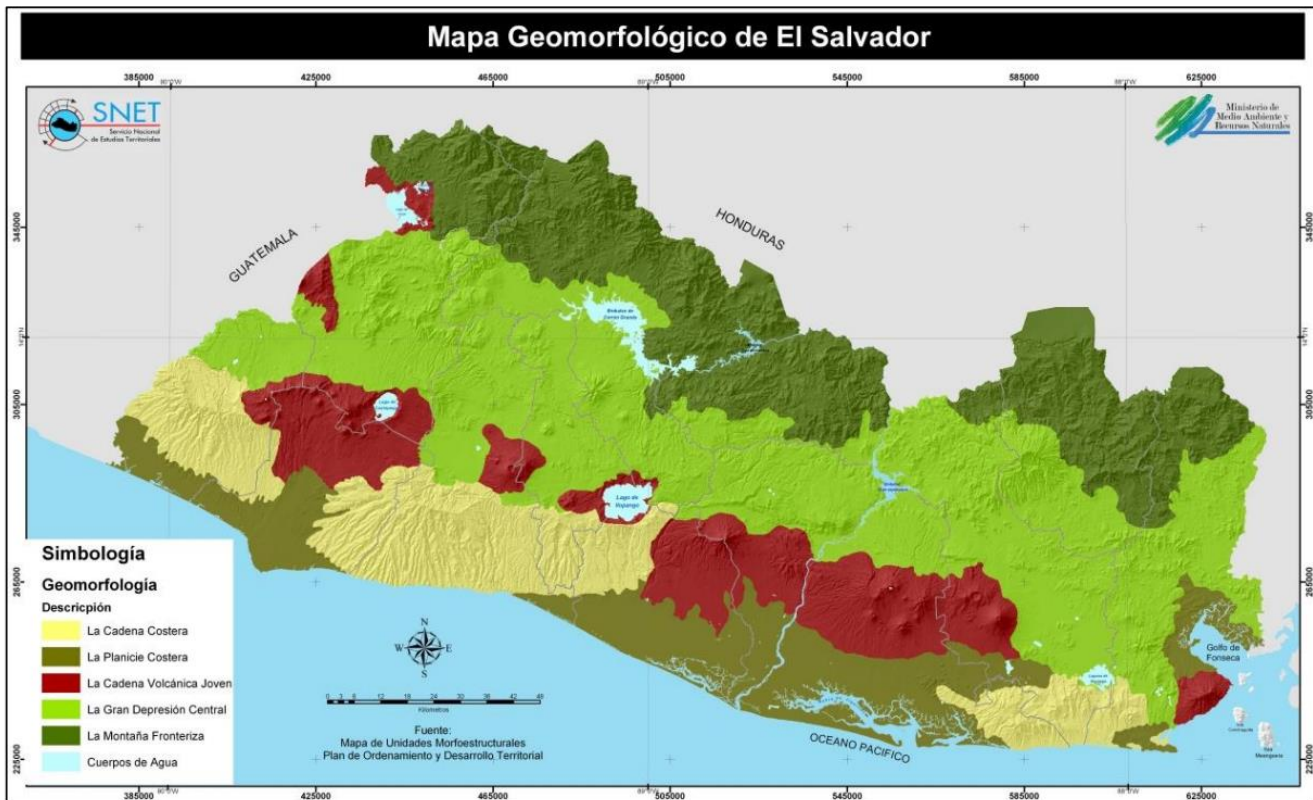


Figura 2: Mapa Geomorfológico de El Salvador y de Unidades Morfoestructurales. Fuente: Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General del Observatorio Ambiental

1.3.2 GEOLOGÍA

La cuenca baja del río Paz está situada en el margen Sur-Oeste de El Salvador, siendo esta el área de estudio, los materiales geológicos que se encuentran son de origen volcánico y corresponde a la formación bálsamo definida por (Wiesemann, 1975 y Baxter 1984), como una sucesión de rocas volcánicas efusivas básicas a intermedias, piroclásticas y epiclásicas volcánicas, en la parte sur predominan los materiales del cuaternario (Q^f) y está constituida por depósitos aluviales y coluviales, depósitos de estuario con manglar, barras costeras antiguas y conos de deyección. Geólogos del Mundo (2011).

Con base en la información contenida en el Mapa Geológico de la República de El Salvador, escala 1:100,000, año 1978, se indica que el subsuelo de la zona en estudio está constituido principalmente por:

- **Formación Bálsamo**

Los materiales son fundamentalmente coladas de basaltos andesíticos y dacíticos en las zonas más elevadas, intercalaciones de lava, tobas y piroclastos en las laderas medias y piroclásticas y epiclastitas en las zonas menos elevadas, estos materiales corresponden a los miembros b3, b2, b1 de la formación bálsamo respectivamente.

- **Miembro b1:** Epiclásticas volcánicas y piroclastitas

Son rocas que están formadas por fragmentos piroclásticos consolidados y no consolidados definidas como tobas finas (limos arcillosos) no consolidadas y como tobas brechosas están constituidas por bloques andesíticos de 20 a 50 cm entremezclados con material piroclástico de tamaño lapilli y de color gris claro, en las partes superiores de este miembro se observan intercalaciones de corrientes de lavas tipo andesítico. Webber H, (1978).

- **Miembro b2:** Efusivas básicas intermedias

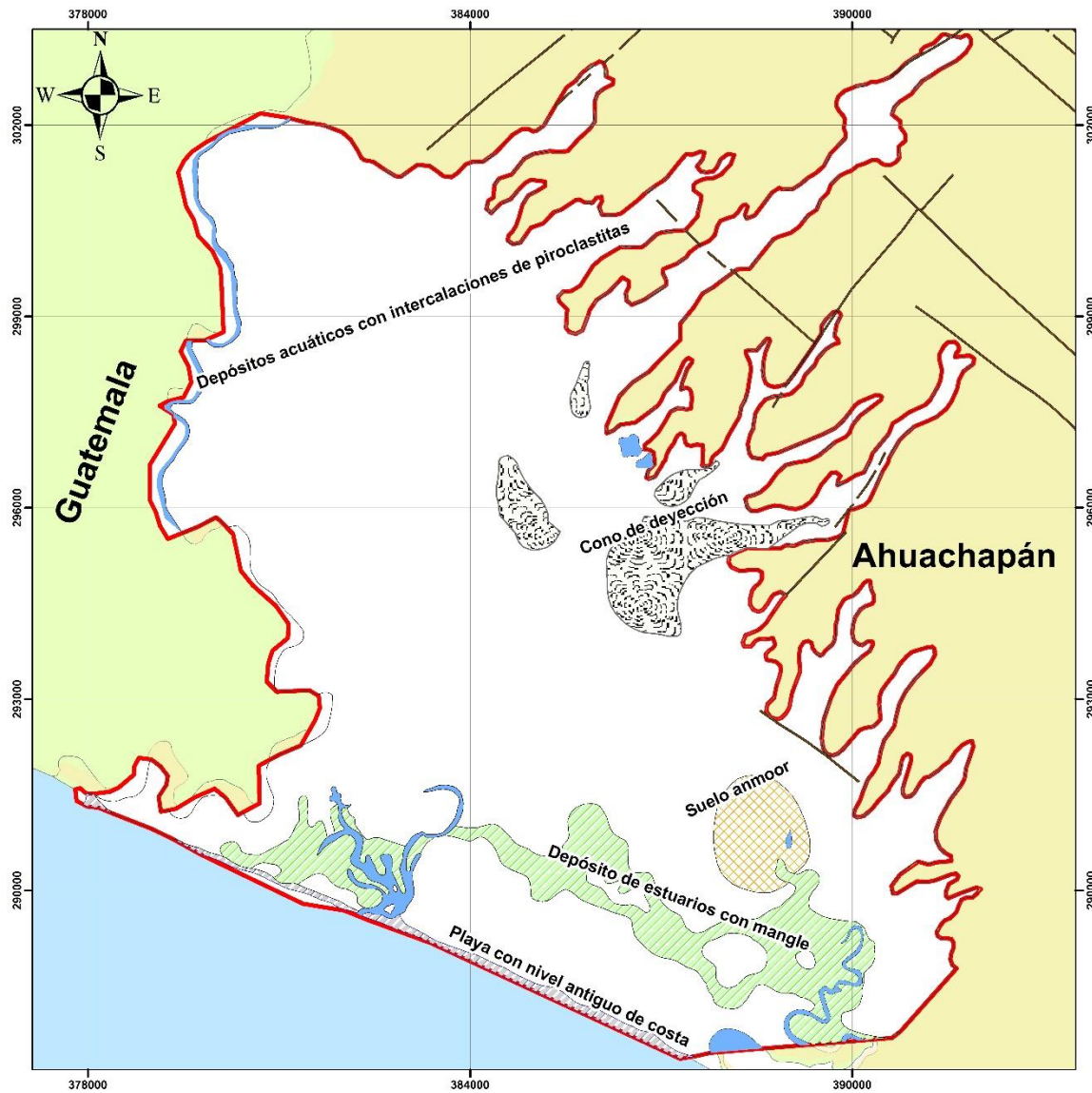
piroclastitas, epiclásticas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos que pertenecen al período Mioceno-Plioceno, Terciario de la Era Cenozoica, formación Bálsamo; y en menor proporción, en la parte superior de este miembro aparecen rocas que más fácilmente se pueden distinguir ya sea un afloramiento o ya sea por un afloramiento ya que son basaltos andesíticos y dacíticos. Dürr, F (1960).

- **Miembro b3:** Efusivas básicas a intermedias

El miembro b3 está constituido por rocas de una composición que varía de efusivas básicas a intermedias, y que presentan, localmente, alteraciones hidrotermales silificación y limos rojos a diferencia de los otros miembros, este se puede considerar en su totalidad como una roca dura cristalina, aunque localmente se puede encontrar fuertemente fracturada o con alteración hidrotermal en la que presenta un estado más poroso y poco consolidado.

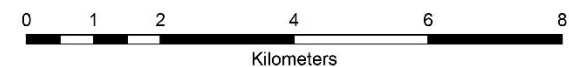
- **Miembro Q'f:** Depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclastitas
Depósitos sedimentarios del cuaternario constituidos principalmente por materiales removilizados de las rocas piroclásticas y basálticas que forman depósitos aluviales y coluviales. También se encuentran otros tipos de depósitos constituidos a partir de distintos orígenes como son los depósitos de estuario con manglar, las barras costeras antiguas a las playas, los conos de deyección. Baxter, S (1984). Se ubica principalmente en la zona sur de la cuenca baja del río Paz y abarcando toda su extensión desde la costa hasta la carretera panamericana del litoral (CA-04).
- **Conos de deyección:**
Las características torrenciales de la región hacen que estos depósitos sean abundantes en las partes bajas de las quebradas, donde se pierde la pendiente y como consecuencia la capacidad de arrastre de los materiales. Ahí se encuentran formas de cono de deyección, formados por acumulación de sedimentos provenientes de la erosión de las aguas.
- **Depósito de estuario con manglar:**
Los humedales son ecosistemas terrestres o costeros, en donde el agua es el elemento predominante pueden estar inundados permanente o estacionalmente, son un hábitat muy importante para números especies y esenciales para la calidad de vida de las personas que viven cerca de ellos, estos regulan los ciclos del agua, filtran la contaminación y protegen las costas de la subida del mar, existen varios tipos de humedales. Entre lo costeros están las salinas, los estuarios con o sin manglar, etc. Geólogos del Mundo (2011).

En la figura 3 podemos observar a detalle la geología de la zona:



Leyenda

- Zona de estudio Cuenca baja del río Paz
 - Fallas Geológicas
- Geología**
- Cono de deyección
 - Depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclastitas
 - Depósitos de estuario con manglares
 - Suelo anmoor
 - Playa con nivel antiguo de costa
 - Facies claro con lapilli de pómez
 - Cuerpos de agua



Kilometers

1:63,360

Elaborado:
Natalia Desiree Santamaria
Base de datos: SIG-UES



Figura 3. Mapa Geológico de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez (Fuente: cobertura en base a coberturas SIG del Laboratorio de Sistemas de Información y Teledetección de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (LabSIG-CIMAT))

1.4. HIDROGEOLOGÍA

Las características hidrogeológicas del acuífero de la cuenca baja del río Paz, están determinadas por sus materiales constituyentes. Con base en lo anterior, a continuación, se presentan las diferentes unidades hidrogeológicas comprendidas.

1.4.1. Unidades hidrogeológicas

Con base en la información contenida en el Mapa Hidrogeológico de la República de El Salvador, escala 1:100,000, elaborado en el marco del proyecto ANDA-COSUDE (1998-2008), la determinación de las unidades hidrogeológicas está basada principalmente en el conocimiento de los materiales geológicos en superficie a partir de mapas geológicos existentes o mediante registros de pozos perforados que existen en la región (ubicación, informe técnico, caudal extraído, nivel estático, parámetros hidráulicos tales como transmisividad, coeficiente de almacenamiento u otros parámetros que son característicos en cada pozo).

La zona de estudio, en consistencia con la Formación Geológica San Salvador, está constituida básicamente por la Unidad Hidrogeológica: **Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media**, en el cual los materiales están compuestos principalmente por piroclásticos aglomerados y retrabajados (pómez, lapilli y tobas), con una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Sus conductividades hidráulicas pueden variar de medias a bajas, como consecuencia del grado de cementación o compactación que puedan tener las partículas de los materiales que la constituyen. Esta unidad, puede tener más de 50 m de espesor. Es importante indicar que en la zona de estudio se dispone de pozos excavados y en menor proporción pozos perforados. En la siguiente figura se observa en detalle la unidad hidrogeológica a la que pertenece la zona de estudio

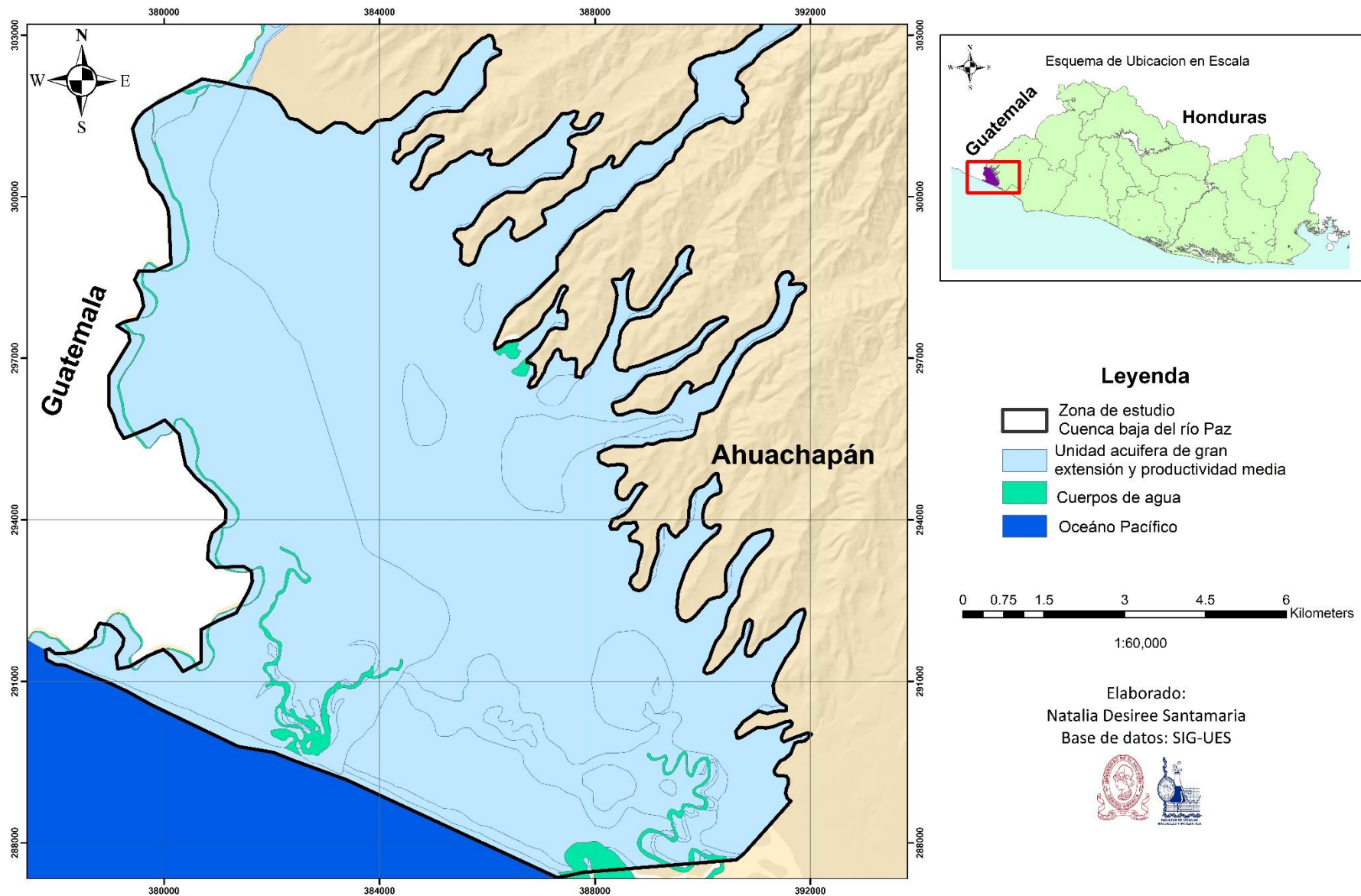


Figura 4. Mapa Hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez (Fuente: (LabSIG-CIMAT) (Elaboración propia)

1.5 HIDROLOGIA

La precipitación pluvial promedio anual, según información de coberturas (shapefile) del MARN para la zona de estudio varía aproximadamente entre 1,250 mm y 1,800 mm de lluvia. La recarga se localiza en las zonas altas de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, la cual se ubica específicamente en el sector de la cuenca que está fuera del área de estudio, desde la cual se genera un drenaje superficial y por consiguiente un drenaje subterráneo que converge predominantemente hacia el sector sur (zona costera).

1.5.1. Regiones hidrográficas

El área de estudio se ubica en la parte baja de la Región Hidrográfica “Cara Sucia”, perteneciente a la Cuenca baja del río Paz, la cual posee un área 674.4 km^2 . La Región Hidrográfica “C” se encuentra ubicada en la región Sur Occidental de El Salvador, casi fronterizo con Guatemala y se extiende desde la cordillera de Apaneca hasta el Océano Pacífico abarcando los siguientes municipios del departamento de Ahuachapán: San Francisco Menéndez, Jujutla, Guaymango y San Pedro Puxtla; y del departamento de Sonsonate los municipios de Acajutla y Santo Domingo de Guzmán (BASIM, 2004).

En la Zona Sur que comprende la cuenca baja, la mayoría de los drenajes se incorporan a los estuarios o drenan directamente al Océano Pacífico; amplias zonas actúan como llanuras de inundación por la reducción de velocidad del agua, la infiltración hacia el acuífero y mal drenaje del agua superficial. Esta situación se vuelve relevante por la presencia de asentamientos humanos en las áreas de drenaje. Asimismo, la presencia de sedimentos y materiales piroclásticos favorece la infiltración, lo cual contribuye a recargar el acuífero costero local (BASIM/UICN 2004).

La red de drenaje perteneciente a la Región Hidrográfica “C” en análisis conformada por ríos y quebradas, están detalladas en la siguiente tabla 2:

*Tabla 2. Cuencas Hidrográficas pertenecientes a la Región Hidrográfica “Cara Sucia”.
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)*

Cuencas	Área De La Cuenca (km ²)	Ríos
Cara Sucia	674.4	El Sacramento Santa Rita La soledad o san francisco Menéndez La Palma Cara Sucia Ixcanal Faya Aguachapio
Cuilapa	195.8	Guayapa Cuilapa El Naranjo El Rosario
Bocana De San Juan	29.4	Conformada por quebradas de invierno
Cauta	93.1	Moscua Metalío Cauta
San Pedro	216.3	El Sunzuacapa Copinula San Pedro

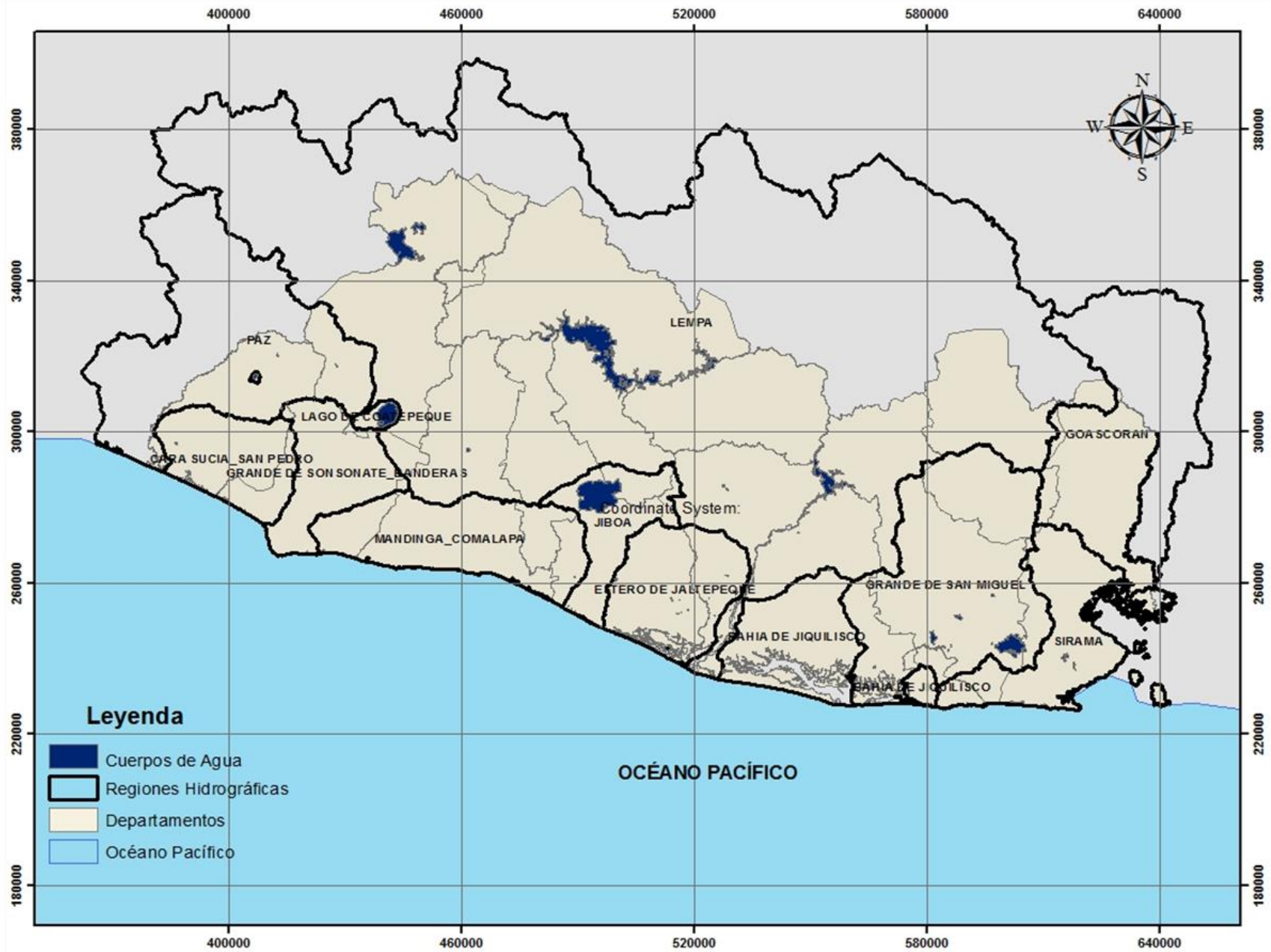


Figura 5. Mapa Regiones Hidrográficas de El Salvador Coto 2014 “Caracterización Hidrogeológica y geoquímica de acuífero costero, de la península de San Juan el Gozo, municipio de Jiquilisco , Usulután”

Las características de un acuífero están determinadas por los parámetros hidráulicos que determinan la evaluación de la disponibilidad del recurso de agua subterráneo de una zona, entre las cuales tenemos:

- *Transmisividad*: Es una de las más importantes propiedades de un acuífero, puesto que define el caudal o flujo de agua subterránea que puede pasar en una sección vertical del acuífero.
- *Coefficiente de Almacenamiento*: Es otro de los parámetros importantes de un acuífero, el cual indica el volumen de agua que cede o toma por unidad de área (planta) cuando la carga piezométrica se abate o se recupera una unidad; el valor indica el tipo de acuífero a explotar ya que el rango en que se encuentre determina si el acuífero es libre, semiconfinado o confinado. Dichos rangos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Rangos de coeficientes de almacenamiento en acuíferos de El Salvador

Tipo de acuífero	Rangos
Acuífero confinado	< 0.001
Acuífero Semi-Confinado	0.001 a 0.02
Acuífero Libre	>0.02

- *Movimiento del agua subterránea*: La dirección general del escurrimiento del agua subterránea está asociada con la topografía del terreno, aunque algunas veces puede verse condicionada a las características del medio por el cual transita; específicamente en el área de estudio, las líneas de flujo tienen un sentido de orientación proveniente por la distribución espacial del gradiente hidráulico que corresponde a la descarga.

En la figura 6 se muestra el área comprendida en dicha investigación con la Unidad Hidrogeológica que la constituye descrita anteriormente.

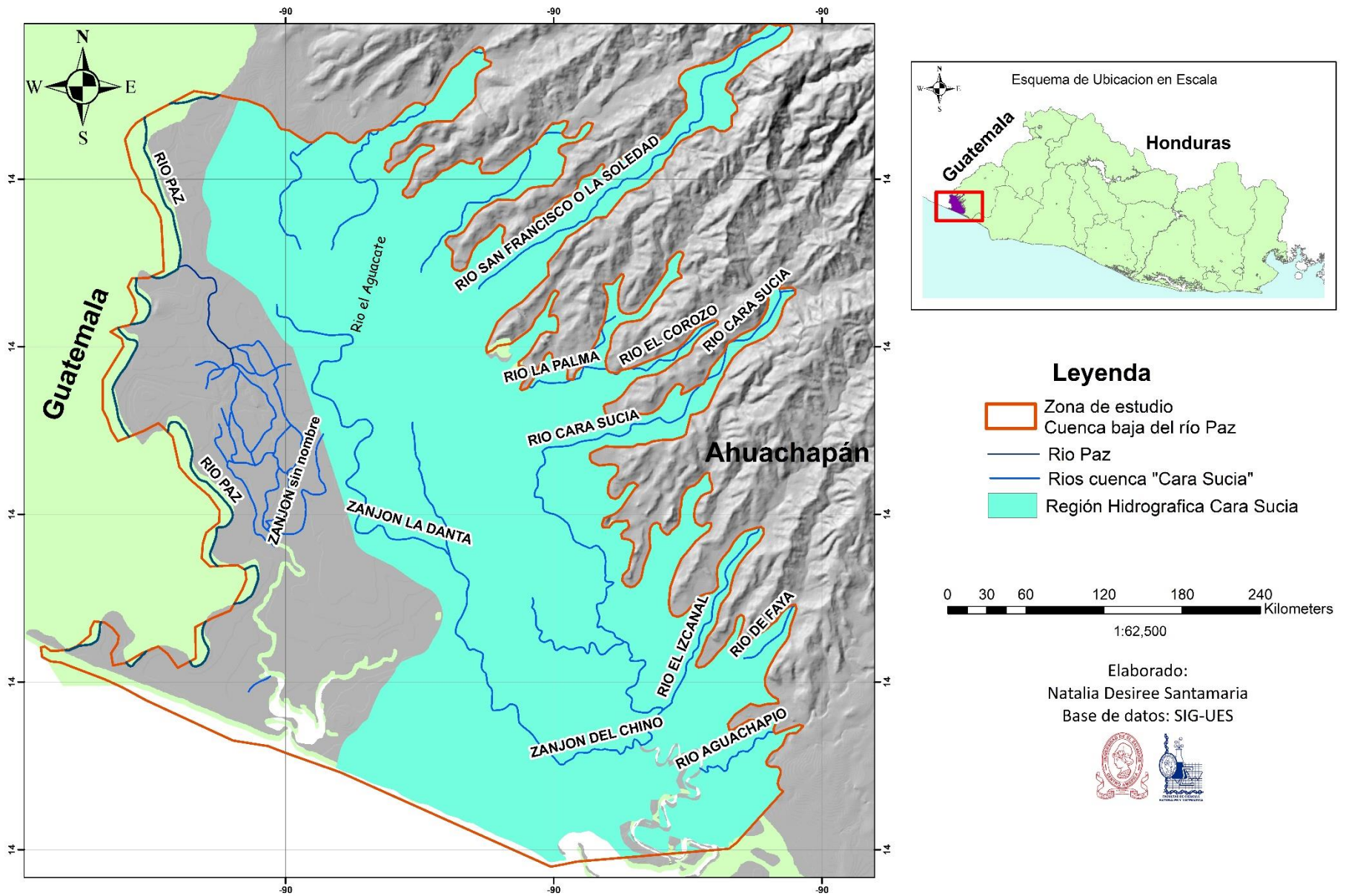


Figura 6. Red Hidrográfica de la cuenca baja del Río Paz, San Francisco Menéndez, Ahuachapán Fuente: (Elaboración propia)

1.6 CLIMA DE SAN FRANCISCO MENÉNDEZ

San Francisco Menéndez, como el resto del país está dentro de la región climática de los trópicos semihúmedos, el territorio se puede dividir, teniendo en cuenta su elevación respecto al nivel del mar según la clasificación climática de Köppen-Geiger (1936), en tres zonas: *clima tropical caliente* (tierra caliente), *clima tropical caluroso* (tierra templada) y *clima tropical de las alturas* (tierra templada).

En el cual el área de estudio se ve influenciado por el ***clima tropical caliente***, donde las planicies costeras corresponden a la mayor parte de la microrregión. Agrupa zonas situadas de 0 a 200 m.s.n.m, abarcando el área comprendida entre océano pacífico y el inicio de las laderas de Tacuba, las temperaturas oscilan entre 23 y 35°C. (Geólogos del mundo 2011). Tomando como referencia el mapa de zonas climáticas de El Salvador en la clasificación Köppen mostrado a continuación:

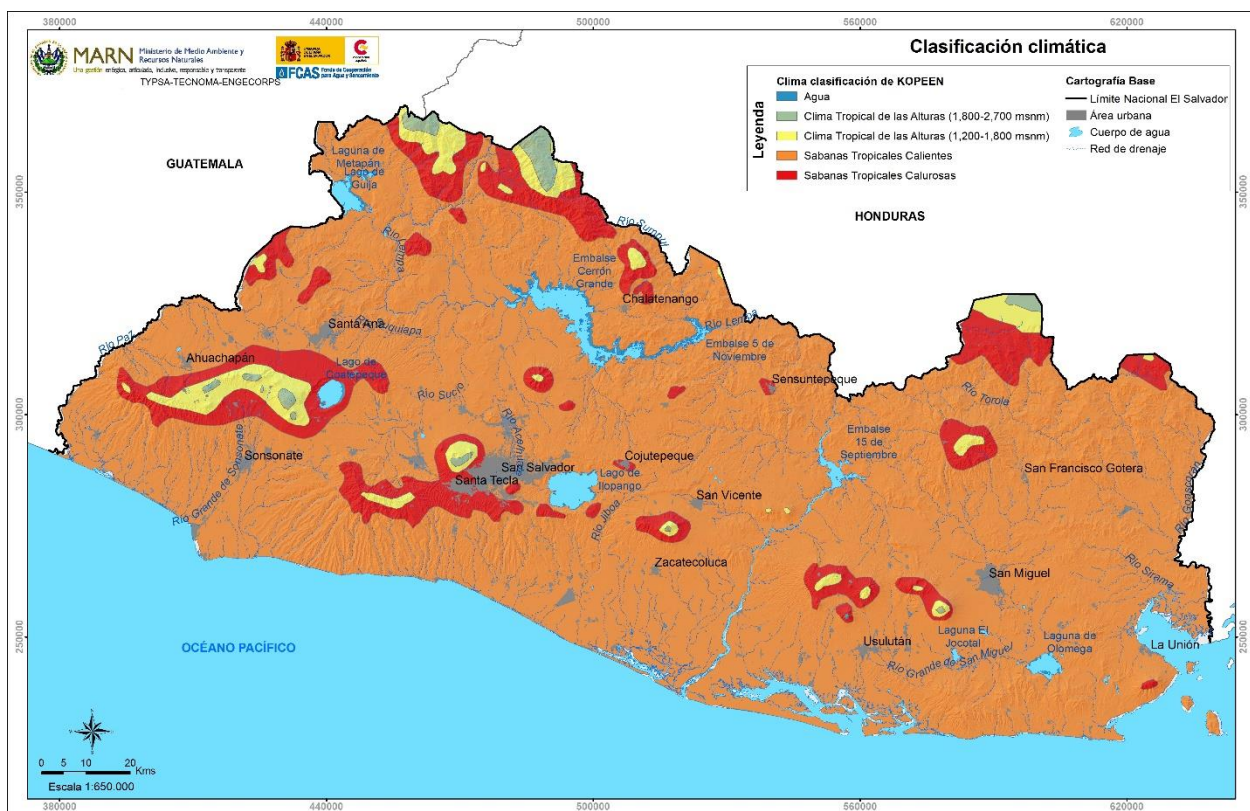


Figura 7. Mapa que contiene la clasificación climática de El Salvador. Creado con financiamiento del FCAS. Ministerio de medio Ambiente y Recursos naturales. SIH

La información Meteorológica se ha obtenido a partir de datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), específicamente los datos de precipitación y evapotranspiración.

- **Precipitación**

Las precipitaciones constituyen una parte fundamental en las entradas del ciclo hidrológico, pudiendo definirse como el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc.

Para los datos de precipitación se han tomado los datos de la estación meteorológica ubicada en el municipio de San Francisco Menéndez; estación Hachadura (estación H14) que ha registrado un periodo mayor de 30 años, ubicada en las coordenadas en el sistema Lambert latitud norte 30452m longitud oeste 390102m. Los resultados de la precipitación se muestran en la figura 8. El mes con mayor precipitación es septiembre, con un promedio de 313.6 mm, seguido por junio, con 298.9 mm promedio y para el mes de enero y febrero, únicamente precipita un promedio de 1.5 mm..

- **Evapotranspiración (ETP)**

Es la pérdida del agua contenida en el suelo, producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo, es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero (Jiménez, 2005).

De la información meteorológica proporcionada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de la estación Hachadura (estación H14) que es la más cercana al área de estudio se tomó la información de la evapotranspiración potencial, según datos registrados en un periodo mayor a 30 años de la cual se tiene un total de 2015.1mm.

En la tabla 4 se muestran los datos de precipitación y evapotranspiración potencial de la estación Hachadura (estación H14):

Tabla 4. Muestra los datos de precipitación y evapotranspiración de la estación H14 de San Francisco Menéndez. Fuente: (Elaboración propia).

Precipitación												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.3
ETP												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
155.5	155.5	187	193.7	192	169	177.9	173.9	155.2	156	150.1	149.8	2015.1

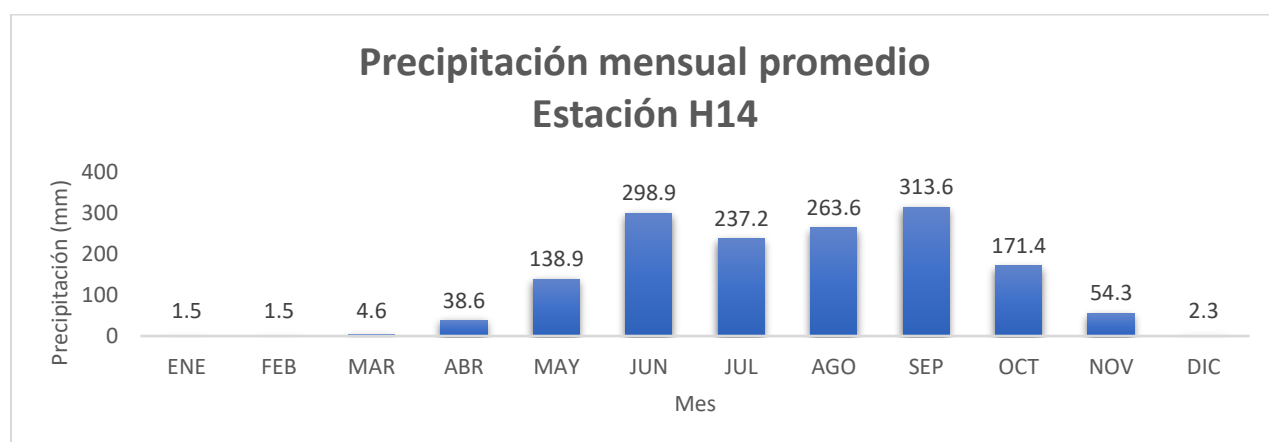


Figura 8 Gráfico de precipitación promedio para la estación H4 La hachadura, Elaborado a partir de datos proporcionados por el MARN. Fuente: elaboración propia

1.6.2. Uso del suelo

La mayoría de la población de San Francisco Menéndez vive y desarrolla sus actividades económicas y productivas en comunidades rurales lo que les hace altamente dependientes de la tierra y sus productos, con base en la información contenida en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra; se tiene que los principales usos de suelo son: a) Bosque b) Bosque de mangle o salado c) Caña de Azúcar d) Cuerpos de Agua e) Mosaico de Cultivos y Pastos f) Musáceas g) Centros turísticos y h) Tejido Urbano; sin embargo en la zona se han podido distinguir áreas significativas de: Palmeras Oleíferas, Platanales y Bananeras y cultivos varios.

Es importante recalcar que hay una variación importante en el incremento del tipo de uso de suelo de caña de azúcar, por lo que se presenta la comparación del mapa de uso de suelos de 1996, 2011 y de 2016, esto se aborda más adelante.

La degradación ambiental que sufre la cuenca del río Paz resulta evidente, principalmente en su parte baja, debido a la alta presión sobre los recursos naturales: agua y suelo, en la figura 9, se identifican las zonas de cultivo de caña de azúcar en el país, zonas con potencial para el cultivo usando riego, en el que, podemos observar que la zona de estudio en el municipio de San Francisco Menéndez se ubica en la parte con irrigación plena, esto quiere decir que los consumos de agua para riego son mayores con el objetivo de satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo de caña de azúcar dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas y los tipos de suelos, además la franja costera-marina a lo largo del país, donde se encuentra inmersa la zona de estudio, se caracteriza precisamente por presentar altos niveles de evapotranspiración potencial y presencia mayoritaria de suelos aluviales con una textura franco arenosa con trazas de limo, material arcilloso y materia orgánica. Quiñonez J. (2016)

El Salvador: áreas de caña que se pueden producir sin riego , (azul)con riego complementario, (verde) o con irrigación plena (amarillo)

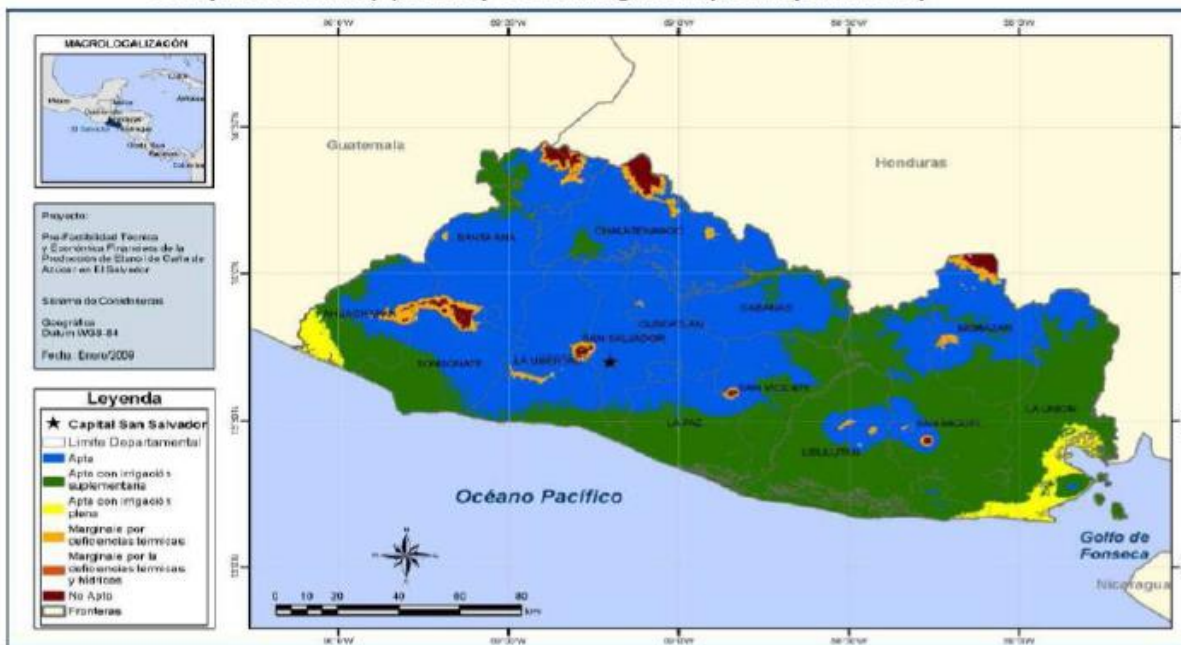


Figura 9. Mapa de El Salvador: Áreas de caña que se pueden producir sin riego (azul), con riego complementario (verde), o con irrigación plena (amarillo). MARN (2012)

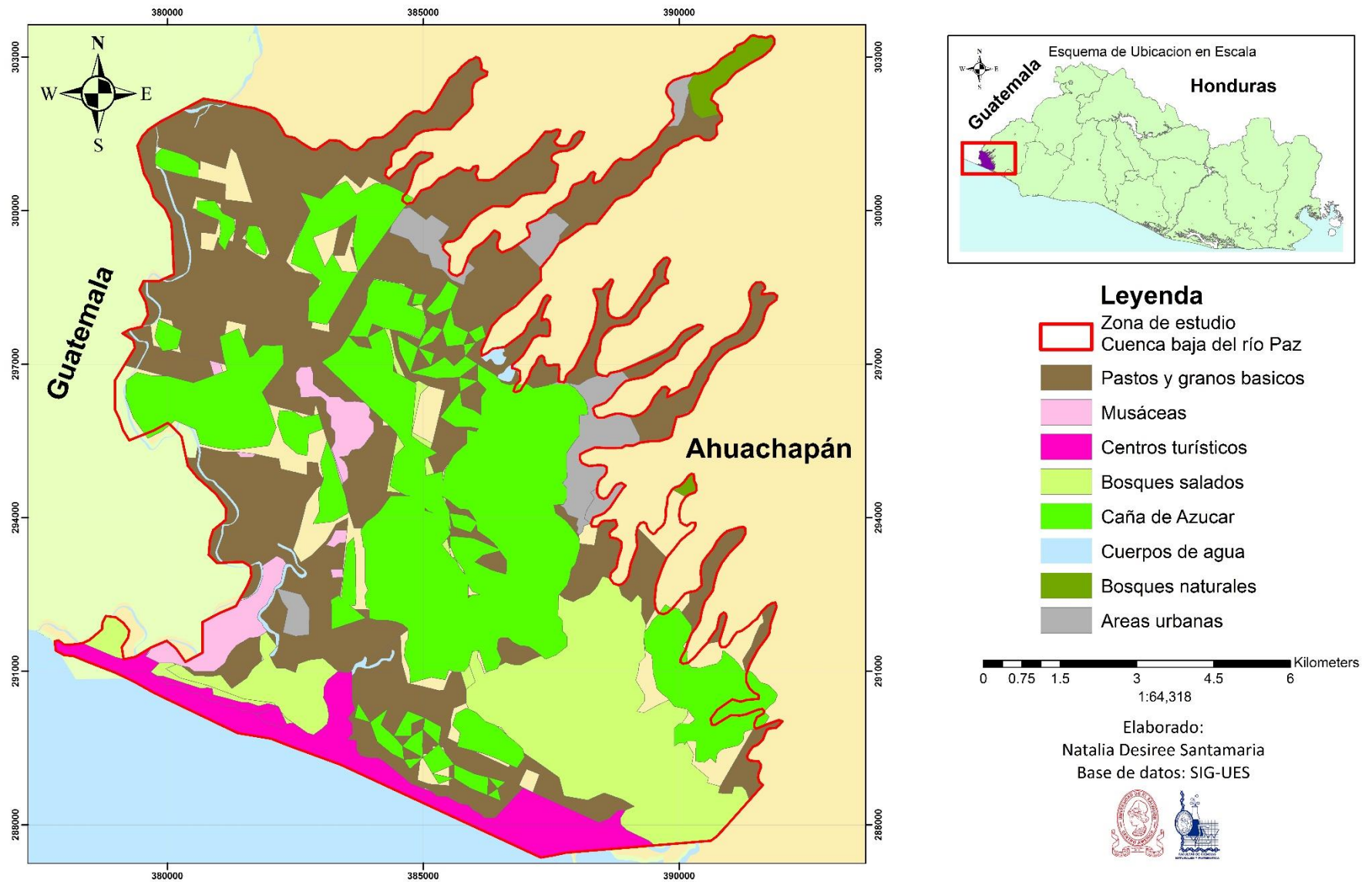


Figura 10. Mapa de uso de suelos de la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. Fuente: Quiñonez Basagoitia, 2016 (Elaboración propia)

1.7 PROSPECCIÓN GEOELECTRICA

Los métodos de prospección geofísica son ampliamente utilizados para diversas investigaciones en el subsuelo, siendo en nuestro caso investigaciones aplicadas al agua subterránea, por medio de la utilización de nuevas técnicas y equipos que proporcionan mayores aproximaciones para las diversas evaluaciones hidrogeológicas de interés.

Los métodos de prospección geofísica más aplicables a este caso por las condiciones y el interés de la investigación, son los métodos eléctricos, los cuales permiten analizar la propiedad física de la resistividad del subsuelo expresada en $\Omega.m$, la cual corresponde a la capacidad de oponerse al paso de corriente eléctrica, dependiendo de las condiciones estratigráficas del suelo, el contenido de agua en el estrato, la granulometría de la roca, el contenido de arcillas, el grado de mineralización de la roca, etc. (Coto V, 2017).

El objetivo general del desarrollo de la prospección geofísica es en la determinación del nivel freático del acuífero superficial existente en la zona así mismo definir las características de resistividad eléctrica de las distintas formaciones geológicas encontradas.

La resistividad de los materiales es definida como la resistencia en ohm que se opone al paso de la corriente eléctrica por unidad de área y de longitud y viene dado en unidades del Sistema Internacional Ohmio-metro (Ωm).

A continuación, se explican dos de los métodos geofísicos que pueden ser aplicados al subsuelo.

1.7.1. Sondeos eléctricos verticales

El método consiste en determinar el parámetro de resistividad a profundidad, mediante la inyección de corriente eléctrica en el subsuelo y la medición del potencial resultante a través de un arreglo electródico tetraelectródico.

El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) como método geofísico de corriente directa (DC) es muy utilizado por su sencillez y la relativa economía instrumental apropiado para la adquisición en campo. Estas variaciones de resistividad según el rango de medida se

asocian con diferentes tipos de rocas o estratos geológicos. La Tabla 5 muestra los rangos de resistividades de diversos tipos de rocas sedimentarias.

Tabla 5. Resistividad de algunos tipos de rocas, sedimentos saturados de agua y rocas ígneas saturadas de agua. Modificada de Telford et al. (1990).

Tipo de roca	Intervalo de resistividad [ohm-m]
Lutitas consolidadas	20 a 2×10^3
Argilitas	10 a 8×10^2
Calcita	109
Tabla de agua en sedimentos	10 a 100
Tabla de agua en rocas ígneas	0.1 a 3×10^3
Limolita	103-107
Cuarzo	4×10^{10} a 2×10^{14}
Conglomerados	2×10^3 a 104
Tobas	2×10^3 a 105
Arcillas	1 a 100

Los arreglos más comunes utilizados para realizar Sondeos Eléctricos Verticales son: el arreglo Wenner y el arreglo Schlumberger.

Para la aplicación del método en campo, se distribuyen los electrodos con un orden definido, denominado dispositivo electródico. En la técnica Schlumberger, el arreglo consiste en cuatro electrodos alineados y simétricos respecto al centro de sondeo, utilizando la separación entre los electrodos de potencial, que es pequeña en relación con los electrodos de corriente como se muestra en la figura.

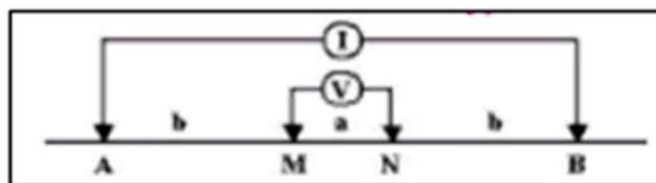


Figura 11. Disposición de arreglo con configuración Schlumberger. Fuente: Loke, 2004

La profundidad de penetración de los Sondeos Eléctricos Verticales estará en función de que cantidad de corriente se esté inyectando en el subsuelo y de la separación de los

electrodos de corriente A y B. Así mismo, se asumen tres criterios para la aplicación del método.

- Que el medio es homogéneo.
- La disposición de las capas es de manera horizontal.
- La última capa es infinita.

Del desarrollo de los Sondeos Eléctricos Verticales, se determina una propiedad importante como lo es la resistividad aparente del subsuelo, el cual es el grado de oposición al paso de la corriente eléctrica que está siendo inyectada, medido en las unidades de $\Omega.m$. utilizando la siguiente expresión matemática. (Coto V,2017)

$$\rho_A = \frac{V}{I} \pi \frac{b(b+a)}{a} - \frac{V}{I} \pi \frac{b^2}{a} \quad \text{Ec. 1}$$

1.7.2. Tomografías eléctricas

El método de tomografía eléctrica emplea los valores de resistividad aparente medidos con los dispositivos geolétrico sobre la superficie del terreno, para generar imágenes del subsuelo donde se representan los valores de la resistividad verdadera de las diferentes zonas del subsuelo (Milson, 2003). El método consiste fundamentalmente en introducir una corriente eléctrica continua de intensidad conocida entre dos electrodos y medir la diferencia de potencial ΔV entre otros dos electrodos (Orellana, 1982), tal como se muestra en la siguiente ecuación, donde AM, AN, BM y BN son las distancias entre los electrodos:

$$\Delta V = \frac{Ip}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

Sabiendo que la resistividad viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho = g \frac{\Delta v}{I} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde g , es el factor geométrico que depende de la disposición de los electrodos y se calcula por:

$$g = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad \text{Ec. 4}$$

Se utiliza el equipo ABEM Terrameter SAS 1000 para realizar perfiles 2D de resistividad eléctrica del subsuelo; el equipo cuenta con una interfaz que permite conectar unos cables especiales de 100 metros de longitud, con conectores para electrodos cada 5 metros (Fig. 11.)

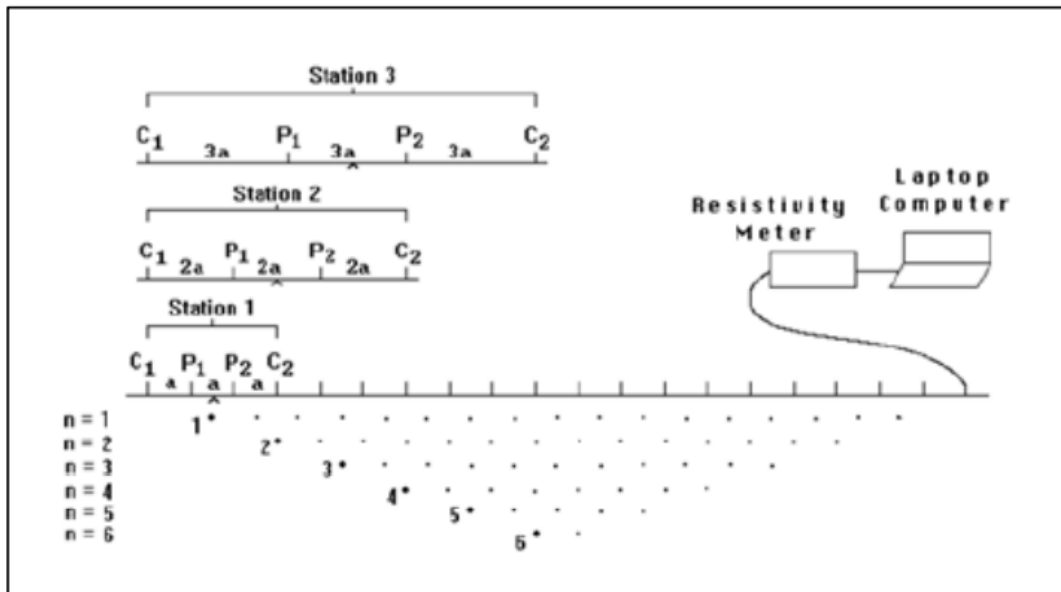


Figura 12. Arreglo de electrodos con el Método de Tomografía Eléctrica en 2-D. Fuente: Loke, 2004



Figura 13. Equipo utilizado para realizar tomografías eléctricas. Fuente: (fotografía propia)

En la figura 12. muestra la forma que el equipo toma las medidas utilizando el arreglo Wenner, para el cual el espaciamiento interelectródico se define y se mantiene siempre la misma configuración, con la distancia mínima “a (espaciamiento a)”, este arreglo se desplaza de forma lateral de manera que se van determinado a lo largo de la primera línea ($n=1$), así mismo se hace para las siguientes líneas, variando únicamente el espaciamiento “a” obteniendo los valores de resistividad de las líneas 2, 3, 4 y 5 ($n=2$, $n=3$, $n=4$ y $n=5$) (Martinez R, 2018)

Al realizar la tomografía eléctrica se obtienen datos de resistividad aparente, por lo que es necesario realizar un proceso de inversión para poder determinar la resistividad real del subsuelo.

El Software utilizado para tal propósito es el RES2DINV.

El archivo requerido por el software RES2DINV debe ser de extensión .dat y según el manual (Geotomo Software, 2011) debe poseer el formato que se describe a continuación:

- ✓ Línea 1: Nombre.
- ✓ Línea 2: Espaciamiento mínimo entre electrodos.
- ✓ Línea 3: Nro. del arreglo. Wenner (1), PoloPolo (2); Dipolo-Dipolo (3), Polo-Dipolo (6),
- ✓ Schlumberger (7) y ecuatorial Dipolo-Dipolo (8).

- ✓ Línea 4: Número total de puntos.
- ✓ Línea 5: Posición del punto. Si se da la posición del primer electrodo del arreglo se digita 0, si se da la posición del punto medio del arreglo se digita 1.
- ✓ Línea 6: Etiqueta para datos IP. Si existen datos de resistividad aparente se digita 0.
- ✓ Línea 7: Si el arreglo es del tipo Wenner, los datos estarán en 3 columnas: la primera será de a posición, la segunda de la abertura del arreglo y la tercera el valor de resistividad.

Al final de los datos, se agregan 6 ceros consecutivos

Este método geofísico, permite generar un modelo o imagen de la distribución vertical y lateral de la resistividad eléctrica en el subsuelo. La tomografía eléctrica es ampliamente utilizada para diversas investigaciones, siendo en nuestro caso una herramienta muy importante para la exploración de agua subterránea, estos métodos resultan ser económicos, precisos (Martinez R, 2018).

1.8 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA

El agua subterránea es agua subsuperficial que ocupa vacíos presentes en formaciones geológicas, y constituye una de las fases o etapas del ciclo del agua. La cantidad de agua subterránea almacenada en las formaciones geológicas y la facilidad con la cual puede extraerse depende de dos factores físicos: la porosidad y la permeabilidad.

El agua subterránea se recarga por la lluvia que cae en las montañas, cerros, y ríos del área del estudio, entonces el agua de recarga se infiltra gradualmente dentro de los acuíferos profundos. El propósito del análisis del balance de agua es estimar la recarga de agua subterránea. (JICA, 2003).

La implementación de metodologías que permitan estimar la recarga de acuíferos se ha desarrollado a partir de la necesidad de conocer el potencial del agua subterránea para la explotación mediante pozos. (Renderos A, 2019).

Un balance hídrico es la aplicación de la misma ecuación de la continuidad, expresada como:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{Variación de almacenamiento} \quad \text{Ec. 5}$$

Esta ecuación es aplicable a una unidad o región cualquiera y en un tiempo cualquiera. Sin embargo, cuando la unidad de tiempo es grande, se considera que las variaciones en volumen almacenado son despreciables, y en este caso, las entradas son igual a las salidas (Custodio & Llamas, 2001). Por lo tanto, un balance hídrico para una cuenca específica requerirá el cálculo de cada una de sus entradas y salidas del sistema en estudio.

La recarga puede determinarse por varios métodos, y se clasifican en:

- Medidas directas.
- Técnicas de Darcy.
- Técnicas de Trazadores

1.8.1. Medidas directas

Las medidas directas tienen la ventaja de un balance de masa implícito (Lerner et al., 1990), sin embargo, los métodos de medición directa son costosos y proporcionan únicamente medidas puntuales. Solamente la recarga producida por la precipitación y aquella que se da por las pérdidas de canales son medidas directamente con alguna frecuencia.

1.8.2. Técnicas de Darcy

La estimación de la recarga con la técnica de Darcy consiste en encontrar valores de cabezas hidráulicas a partir de las ecuaciones de Richards, en la zona no saturada, y Boussinesq, en la zona saturada, contando con datos de conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y contenido de humedad, y mediante el uso de técnicas analíticas o modelos numéricos, según la simplicidad de las condiciones de campo o la cantidad de simplificaciones asumidas.

1.8.3. Técnica de trazadores

Los trazadores pueden utilizarse para determinar las fuentes que originan la recarga, donde hacen el papel de señalizadores, o para determinar la cantidad de flujo que alcanza las reservas subterráneas. La técnica de señalizadores consiste en inyectar un trazador y luego rastrearlo en un área determinada (Lerner et al., 1990).

El principio general del método de trazadores es el balance de masa del trazador, en el cual se asume que el agua y el trazador son transportados a la misma tasa.

$$r Tr = p Tp + fd \quad \text{Ec.6}$$

r = Tasa de recarga promedio

Tr = Concentración promedio del trazador en la recarga

p = Precipitación promedio

Tp = concentración promedio del trazador en la precipitación

fd = Masa trazadora en la zona vadosa

1.9. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA RECARGA

Teniendo en cuenta todos los factores que afectan la recarga y que por lo tanto intervienen en su estimación Rushton (1988) hizo una lista de ellos:

- *La Superficie de la Tierra:* Topografía; precipitación, donde importa la magnitud, intensidad, duración y distribución espacial de las lluvias; escorrentía; patrón de cosechas y la evapotranspiración real.
- *Irrigación:* Horario de irrigación; pérdidas que se presenten en canales y cursos de agua; y cantidad irrigada necesaria para la preparación de la tierra.
- *Ríos:* Cantidad de ríos y el caudal que fluye por ellos, cuyos cauces están dentro del área de estudio, los que salen del área de estudio y los que ganan o pierden agua del acuífero.
- *Zona Superior del Suelo:* Naturaleza del suelo, profundidad y propiedades hidráulicas; variaciones de las características del suelo según la extensión lateral y la profundidad; profundidad de la zona de raíces; y capacidad que tiene el suelo de agrietarse al secarse o de hincharse luego de humedecerse.
- *Zona no Saturada entre el Suelo y el Acuífero:* Mecanismos de flujo a través de la zona no saturada, zonas con diferentes conductividades hidráulicas, etc.
- *Acuífero:* Características físicas e hidráulicas del acuífero (habilidad del acuífero para aceptar el agua, variación de las condiciones del acuífero con el tiempo y tipo de acuífero).

1.10 BALANCE HÍDRICO

Se refiere a la cuantificación de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, así como los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un área determinada (cuenca, subcuenca, microcuenca) y la interrelación existente entre ellos,

dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad, aprovechamiento y demanda en dicha área. Dado que el balance hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permitiendo tomar medidas y estableciendo lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice la disponibilidad en cantidad, calidad y tiempo. (Coto 2017) El balance hídrico se utilizará para el análisis de las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de la zona de estudio. La infiltración y/o recarga es una de las salidas que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, infiltración, etc.), definidos a continuación:

- *Precipitación Efectiva* Se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrar en el suelo, y que se encuentra disponible para ser utilizada por las plantas o para recargar el acuífero. Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva como, por ejemplo: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración del agua en las formaciones geológicas de la zona, la cobertura vegetal y la topografía.
- *Evapotranspiración (ETP)* Es la pérdida del agua contenida en el suelo, producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo, es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero.
- *Contenido de Humedad del Suelo* Es la cantidad de agua retenida que se encuentra en el suelo, generalmente se expresa en proporción al peso del agua con respecto al peso total de una muestra de suelo, o en proporción al volumen ocupado por el agua en dicha muestra, teniéndose valores de contenido de

humedad de suelo característicos: la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (INTA, 2005)

- *Capacidad de Campo* Es la máxima humedad que puede tener un suelo contra la fuerza de la gravedad sostenida por capilaridad, expresada en porcentaje por peso seco (%) o en lámina de agua (cm o mm) (Citizen Science, 2008). Así mismo se define como la cantidad de agua que un suelo puede retener frente a la acción de la gravedad. Esta generalmente ocurre a una tensión 1/10 atmósferas para suelos ligeros a 1/13 atmósferas para suelos pesados. La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial este alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósferas). En esta etapa se dice que el suelo está en Capacidad de Campo (Gurovich, 1990).
- *Punto de Marchitez* Es el límite inferior del contenido de humedad, a partir del cual el agua no puede ser adsorbida por las raíces. Se expresa en lámina de agua o en peso seco de suelo (Citizen Science, 2008). El punto de marchitez permanente (PMP), es el contenido de humedad en el suelo cuando las plantas no pueden adsorber el agua que se encuentra en el suelo por la presión que existe, por tal motivo las plantas se marchitan y no recobran su turgencia, este estado ocurre entre 10 a 20 atmósferas de tensión. Grado de humedad en el que el suelo ha perdido su agua de gravedad (Gurovich, 1990).

1.10.1. Método de Thornthwaite

Este método se utiliza para el cálculo de la evapotranspiración los valores medios mensuales de temperatura y precipitación así las lluvias que se producen en corto espacio de tiempo y que, sin embargo, contribuyen en gran medida a la infiltración.

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

- El periodo considerado es el año hidrológico, de octubre a septiembre.
- La temperatura y la precipitación se aplican como valores medios mensuales.

- La reserva útil del suelo, al comienzo del ciclo hidrológico, es 0 y las variaciones de dicha reserva se deben exclusivamente al resultado del balance

Sus variables de entrada son: la precipitación, la evapotranspiración potencial y la capacidad de retención de humedad de los suelos según su textura.

1.10.2 Método de variación del nivel freático

Es uno de los más sencillos de aplicar, debido a la independencia del mecanismo de desplazamiento del agua subterránea. Dicho método es aplicable para acuíferos no confinados (acuíferos libres) y requiere conocimiento del almacenamiento específico y las variaciones temporales del nivel freático.

El nivel freático se define según (Hamad, 2009) como la superficie que separa la zona capilar de la zona saturada, pudiendo ser definida por el nivel del agua en pozos que se encuentran en acuíferos no confinados. Físicamente se refiere a la superficie en la cual la presión hidrostática es igual a la presión atmosférica

La recarga no se produce de forma continua, en algunas épocas con mayor intensidad que otras; existen lugares donde la precipitación es casi inexistente o no es eficaz para producir recarga durante varios meses del año, con lo que se marcan claramente, estaciones en que se produce recarga y otras estaciones en las que no se produce. La recarga origina una elevación del nivel de agua y después, el agua aportada se extiende hacia los lugares de descarga, naturales o artificiales del acuífero, dando origen a un descenso o recesión gradual del nivel piezométrico que se mantiene hasta el siguiente periodo de recarga. (Custodio & Llamas, 2001).

1.11 MÉTODO SCHOSINSKY

Para el Balance Hídrico la metodología de Gunther Schosinsky & Losilla determina los flujos de entrada y de salida de un sistema. Y la recarga almacenada en el acuífero costero, el cual constituye el residuo de la ecuación del balance; analizando el tipo de suelo y su uso, así como el valor de permeabilidad encontrado a partir de las pruebas de infiltración.

Las zonas de recarga de un acuífero pueden definirse como la parte de la cuenca hidrográfica en la cual por las condiciones climatológicas, geológicas y topográficas, una parte de las precipitaciones se infiltra en el suelo, siendo la entrada de agua en la zona saturada, donde comienza a ser parte de las reservas subterráneas; esta entra de dos maneras: por movimiento descendente del agua debido a las fuerzas de gravedad y luego de presentarse un movimiento horizontal del flujo debido a las diferentes condiciones hidráulicas de las capas que constituyen el perfil del suelo (Custodio & Llamas).

La recarga a un acuífero puede darse de manera natural, debido a las precipitaciones o a las aguas superficiales a través de ríos o lagos, por medio de la transferencia desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial, producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento, o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997).

Según Schosinsky & Losilla (2002) algunos de los elementos que intervienen en el balance hídrico de suelo son los que se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Variables utilizadas en el método de Schosinsky & Losilla

Variable	Descripción
CC- PM	Rango de Agua infiltración
I	Infiltración
PM	Punto de Marchitez
Fc	Capacidad de Campo
PR	Profundidad de raíz disponible para las plantas
DS	Densidad del Suelo
C1	factor de la Evapotranspiración Potencial (ETP), por cierre de estomas, antes que ocurra la Evapotranspiración Real (ETR)
C2	factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurra la ETR
Kp	Coeficiente de pendiente
Kv	Coeficiente de vegetación
Kfc	factor estimado con base a la prueba de infiltración
P	precipitación media mensual
PI	Precipitación que infiltra
ESC	escorrentía superficial

1.11.1 Pruebas de permeabilidad

1.11.2. Permeabilidad

La permeabilidad del suelo es un parámetro que determina la velocidad de infiltración del agua que precipita en determinada zona. Por lo que es indispensable en el cálculo del balance hídrico. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico. Esta se puede estimar en base a las características geológicas del suelo. Sin embargo, para resultados más confiables, es preferible que se tomen medidas de permeabilidad en el campo. La infiltración del agua posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía. Como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud, lluvias de iguales intensidades pueden producir caudales diferentes (Alvarado C, 2015).

En El Salvador Deras Cortéz (2003), propone una tabla de rangos de infiltración, correspondientes a diferentes tipos de suelos, estos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Infiltración básica aproximada. Fuente: Modificada de Deras Cortéz (2003)

Tipo de suelo	Infiltración básica (mm/hr)	Infiltración básica (mm/día)
Arcilloso	1-5	24-120
Franco Arcilloso	5-190	120-240
Franco Limoso	10-20	240-480
Franco Arenoso	20-30	480-720
Arenoso	30 o más	720 o más

1.11.3. Permeámetro de GUELPH

Se trata de un instrumento patentado en el que se establece un valor determinado de carga hidráulica constante y se miden los descensos de la misma en el tiempo; el método se basa en las ecuaciones de la ley de Darcy (Alvarado C, 2020).

El permeámetro de Guelph se utiliza para la medida de la conductividad hidráulica saturada en campo, aunque, también permite medir la infiltración acumulada y la tasa de infiltración. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2011).

La metodología que se usa para determinar la permeabilidad se describe en los siguientes pasos:

- Se perfora un orificio en el suelo de unos 15 cm de profundidad.
- Se llena el depósito de agua y se cierra para crear el vacío.
- Se introduce el cilindro de menor diámetro en el orificio del suelo.
- Se abre el émbolo de la parte superior y se realizan lecturas del flujo para dos cargas hidráulicas constantes, de 5 y 10 cm.

Rodríguez (2013) cita a Reynolds & Elrick (1985) quien define la ecuación que se utiliza para determinar la infiltración, considerando un régimen estacionario como:

$$k_{Guelph} = 60 \left(\frac{D_p^2}{D_0^2 + 4 D_0 H_2} \right) \times Q \quad \text{Ec.7}$$

Donde k_{Guelph} es la infiltración en mm/h; D_p el diámetro del permeámetro en cm; D_0 el diámetro del pozo de muestreo en cm; H_2 es la carga hidráulica utilizada en la medición y Q es el flujo a intensidad constante en condiciones de estado estacionario (mm/min).

En la figura 14 se muestra el esquema del permeámetro de Guelph y en la figura 15 se muestra el permeámetro armado en campo.

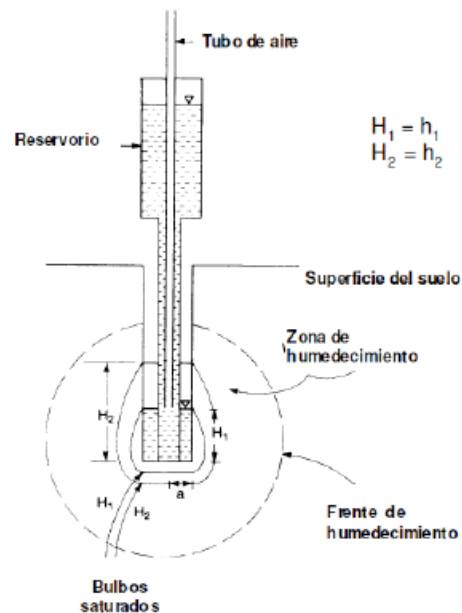


Figura. 14. Esquema del método del permeámetro de Guelph (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)



Figura 15. permeámetro de Guelph armado en campo Fuente: (foto propia)

1.11.4. Método del doble anillo

Uno de los equipos experimentales más simples para la medición de la capacidad de infiltración de suelos es el denominado infiltrómetro de doble anillo, el método consiste en dos anillos separados, los cuales son utilizados para obtener la tasa de infiltración, la infiltración acumulada y la conductividad hidráulica saturada. Se entierran parcialmente dos anillos concéntricos en el suelo. Se coloca una lámina de agua de inundación constante o variable dentro de ellos. Se mide la cantidad de agua que penetra en el suelo por unidad de área y tiempo. Los cilindros exteriores son instalados con el propósito de reducir el flujo lateral en el cilindro interno. Por lo que la tasa de infiltración del cilindro interno se considera como una indicación del flujo vertical (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).

El hecho de utilizar dos anillos se da para que el anillo exterior cuando se le vierta el agua impida que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, ya que el flujo horizontal causaría errores en la determinación de la infiltración ya que el coeficiente de infiltración supone el flujo del agua es en sentido vertical. (Martinez R, 2018)

La tasa de infiltración final, usando la ley de Darcy es:

$$q = K_T \frac{h_{wf} + z + x}{z} \quad \text{Ec.8}$$

Donde q es la tasa de infiltración (m/s), K_T es la conductividad hidráulica de la zona de transmisión (m/s), h_{wf} es el valor absoluto de la carga de presión en el frente de humedecimiento (mts.), z es el espesor de la zona de transmisión (mts.) y es la carga de agua en el anillo interior del infiltrómetro (mts), x es la altura de la columna de agua. *En* texturas no demasiado gruesas, la conductividad hidráulica de la zona de transmisión es aproximadamente igual a la de la zona saturada.

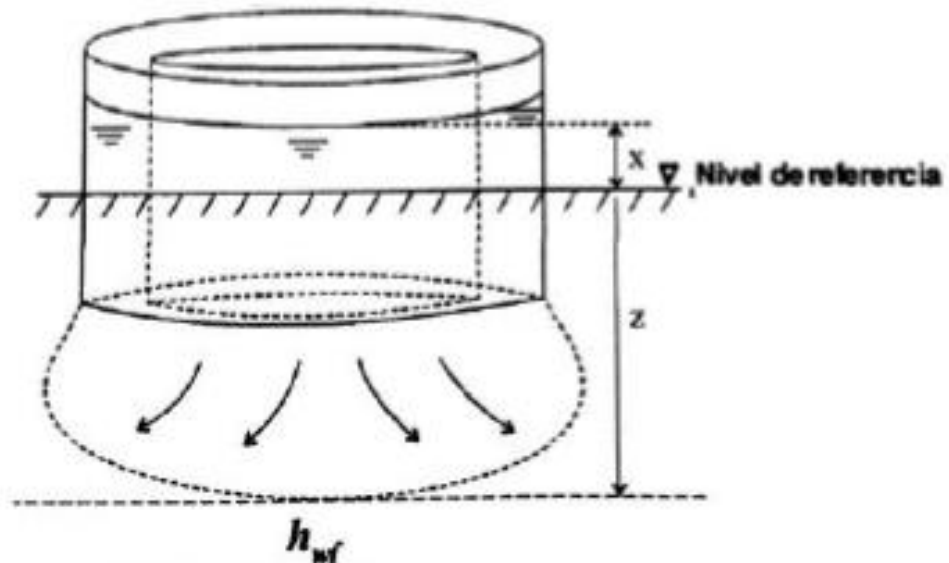


Figura 16. Esquema del infiltrómetro de doble anillo (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).



Figura 17. El infiltrómetro de doble anillos enterrados en campo. (Alvarado C, 2015)

1.11.5. Método de Porchet

El método de Porchet relaciona la intensidad de precipitación y depende de las características físicas del suelo, tales como la textura, estructura, compactación etc., y del contenido de humedad, al aumentar éste la cantidad de agua infiltrada disminuye, el método consiste en la excavación o perforación de un agujero cilíndrico, al cual se le inyecta agua en uno o varios ciclos para saturar el terreno, se utiliza en la determinación de la infiltración, se mide la velocidad con la que el agua es infiltrada en un agujero, y estos agujeros pueden variar su profundidad. Al alcanzar la saturación del terreno, la velocidad de infiltración en el suelo será casi constante, bajo estas condiciones, este método es menos costoso, pero con un consumo de agua mayor, tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de implementar. (Gonzales C,2020).

La permeabilidad se obtiene por medio de esta expresión:

$$k = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \left[\frac{cm}{s} \right]$$

Ec.9

Donde:

k = permeabilidad

R = radio de la excavación [cm]

h_1 =altura del agua al principio de la medición [cm]

h_2 =altura del agua al final de la medición [cm]

$t_2 - t_1$ =intervalo de tiempo entre mediciones [s]

En la figura 18 se muestra el esquema de método de Porchet y en la figura 19 se muestra el método en aplicado en campo:

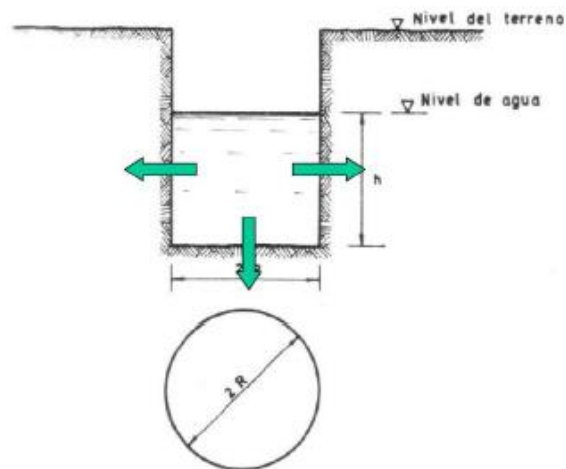


Figura 18. Esquema del método de Porchet (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)



Figura 19. Método de Porchet utilizado en el campo, para la determinación de la conductividad hidráulica. (Alvarado C, 2015)

1.12 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA 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 (Coto 2017).

El suelo tiene capacidades únicas y poderosas para alterar la química del agua ya que la infiltración ocurre a través de esta delgada zona biológicamente activa. A medida que el agua subterránea se mueve a lo largo de las líneas de flujo desde la recarga hasta las áreas de descarga, su química se ve alterada, fluyendo bajo la superficie del suelo y dentro de las rocas.

1.12.1. Química del agua subterránea

La mayoría de las sustancias disueltas en el agua subterránea se encuentran en estado iónico. Algunos iones están presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones disueltos. Estos iones mayoritarios son los *cationes*: calcio, magnesio, sodio y potasio; y los *aniones*: bicarbonato, sulfato y cloruro. Es frecuente que el anión nitrato se considere dentro del grupo de iones mayoritarios, aun cuando su concentración es pequeña si los efectos antrópicos son poco importantes. (Lopez-Geta J, Fornés J, 2009)

La composición natural de las aguas subterráneas puede verse modificada por causas naturales o por factores antrópicos. Entre las primeras figuran *el clima, la temperatura, el tipo de terreno* a través del cual se desplaza el agua subterránea, el tiempo de residencia del agua en el acuífero, y el aporte de gases reactivos, principalmente CO² y

O². Respecto a los factores antrópicos, la *actividad humana* puede afectar a veces con cierta intensidad a la composición química del agua que se infiltra y a la recarga, modificando la temperatura, introduciendo solutos (sales, nitratos, etc.) y sustancias diversas (hidrocarburos, plaguicidas, disolventes halogenados, etc.), tanto en el terreno como en el agua. Su presencia puede suponer una degradación importante de las características naturales (Lopez-Geta J, Fornés J, 2009).

Estudios citados por (Aperlo & Postma, 2005), han demostrado que las concentraciones de Na⁺, K⁺ y Mg²⁺, son en un principio provenientes del agua de mar, mientras que el Ca²⁺ es proveniente de polvo contenido en la atmósfera. Por otra parte, los NO³⁻ y SO⁴²⁻ son provenientes de gases disueltos procedentes de la industria y el tráfico terrestre, produciendo ácidos como el Nítrico (HNO³) y el Sulfúrico (H² SO⁴), cuya disociación baja el pH del agua lluvia a valores de 4, causando la llamada “lluvia ácida”.

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 (Aperlo & Postma, 2005) de mucha importancia en el estudio de la contaminación de aguas subterráneas.

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 8. (Coto,2017).

Tabla 8: Clasificación del Agua Subterránea basada en los TDS. Fuente: Freeze & Cherry, 1979, pág. 48 y Rupper & Ginn 2008

Categoría	Sólidos totales disueltos (mg/L o gr/m ³)
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 9).

Tabla 9. Principales especies orgánicas disueltas en el agua subterránea. Fuente: Fetter 1980 y Apelo & Postma 2005.

constituyentes mayoritarios	(concentraciones > 5 mg/l)
bicarbonato (hco^{3-}) sulfato (so_4^{2-}) cloruro (cl^-) nitratos (no^{3-}) sílice (si_2)	calcio (ca^{2+}) sodio (na^+) magnesio (mg^{2+}) ácido carbónico (co_2 (aq))
constituyentes minoritarios	(0.01 – 10 mg/l)
boro (b) carbonato (co_3^{2-}) fluoruro (f)	potasio (k^+) estroncio (sr^{2+}) hierro (fe^{2+})
algunos elementos traza	(< 0.1 mg/l)
aluminio (al^{3-}) arsénico (as) bromo (br) cromo (cr)	plomo (pb^{2+}) manganeso (mn^{2+}) fosfato (po_4^{3-}) zinc (zn^{2-})

2. METODOLOGIA

En el siguiente esquema se presenta el desarrollo de la metodología de esta investigación, donde se organiza y describe la secuencia de actividades en base a los objetivos.

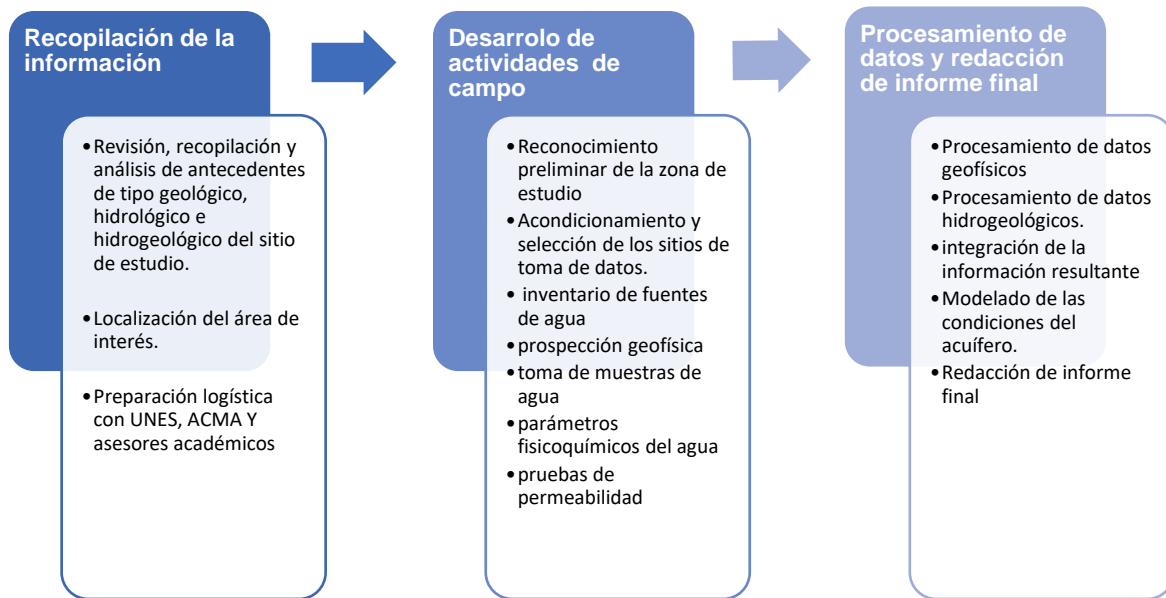


Figura 20. Fases metodológicas de la investigación (Fuente: Elaboración Propia).

2.1. RECOPIACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Dentro de la fase de recopilación de la metodología se obtiene información, referente a la delimitación y caracterización del acuífero, donde se describen los diferentes elementos geológicos, hidrológicos e hidrogeológico del área de estudio. Así mismo, se realiza la coordinación con las instituciones como UNES, ACMA y asesores de la UES, para la fase de desarrollo de actividades de campo. Los documentos consultados para la generación de los fundamentos teóricos de este documento se resumen en trabajos de graduación, con relación al tema, informes realizados en la zona de estudio, documentos oficiales y recursos web de fuente oficial.

2.2. DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE CAMPO

Para la fase de campo, comprende el reconocimiento del área de estudio por parte de UNES, ACMA y UES, donde se realiza la prospección geoelectrica mediante la tomografía eléctrica, un inventario de fuentes de agua, pruebas de infiltración de suelos por medio del método del permeámetro de Guelph para estimar la recarga acuífera potencial en la zona, por medio del balance hídrico y la metodología de Schosinsky, también se toman muestras de agua para obtener la calidad y el tipo de agua a partir del análisis iones mayores y los parámetros físico-químicos, estas mediciones se llevaron a cabo en el periodo comprendido del 7 de diciembre al 11 de diciembre 2020, en las comunidades La Hachadura, Paz y progreso, paz y progreso II, El Castaño, Rancho San Marcos, San Marcos Cañales, El Guayabo, El Palmo La Danta, El Chino, Colonia ISTA, Garita Palmera, Bola de Monte, El Tamarindo, El Porvenir, El Zapote, El Limón, y El Botoncillo, del municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán.

2.2.1. Inventario de fuentes de agua

Esta etapa se lleva a cabo, mediante la identificación en campo y la georreferenciación de pozos excavados o sistemas de extracción de fuentes de agua somera (punteras con sistema de bombeo), existentes en la zona de estudio.

En la siguiente tabla 10, se muestran los pozos excavados que fueron referenciados en campo, clasificados por pozos monitoreados por la Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES) y pozos de campaña hidrogeológica 2020:



Figura 21. inventario de pozos de agua en la zona de estudio. (Fuente: foto propia)

Tabla 10. Ubicación de pozos excavados monitoreados por UNES fuente: (Elaboración propia).

ID	Coordenadas		Nivel Estático
A	13° 46'44.9"	90° 06'17.2"	0.60
B	13° 46'45.8"	90° 06'21.1"	Nd
C	13° 46'70.92	90° 06'84.4"	4.33
D	13° 47'20.5"	90° 07'05.7"	13.04
E	13° 48'32.5"	90° 05'44.3"	7.98
F	13° 47'90.8"	90° 05'42.4"	14.68
G	13° 49'92.8"	90° 05'81.0"	23.10
H	13° 43'87.0"	90° 04'67.1"	12.35
I	13° 44'95.6"	90° 05'15.2"	11.49
J	13° 45'01.4"	90° 05'12.3"	Nd
K	13° 44'99.3"	90° 03'75"	0.88
L	13° 44'77.6"	90° 03'03.5"	Nd
M	13° 43'91.8"	90° 06'01.8"	0.15
N	13° 43'92.3"	90° 06'03.4"	Nd
Ñ	13° 44'35.7"	90° 07'08.7"	0.13

Durante la campaña hidrogeológica, se realizó un monitoreo de pozos en toda el área de estudio, en su totalidad, todos son pozos excavados o cisternas de extracción de fuentes de agua somera, punteras con sistema de bombeo, se hizo el inventario de 42 pozos en los que se describen en la tabla 11.

Tabla 11. Ubicación de pozos inventariados en la campaña hidrogeológica fuente: (Elaboración propia)

ID	Coordenadas		Nivel Estático
1	13°43'18.04"	90°3'20.66"	1,48
2	13°46'41.44"	90°4'49.70"	1,62
3	13°46'34.24"	90°4'51.55"	1,1
4	13°46'15.43"	90°4'41.44"	2,43
5	13°44'51.86"	90°3'2.96"	1,61
6	13°46'27.39"	90°5'0.35"	1,58
7	13°43'12.01"	90°2'49.04"	2,1
8	13°44'54.41"	90°3'9.08"	0,99
9	13°46'8.60"	90°4'39.10"	1,93
10	13°46'27.49"	90° 4'58.25"	1,52
11	13°44'45.17"	90° 3'0.32"	1,98
12	13°44'46.14"	90°3'3.03"	1,16
13	13°44'42.43"	90°3'3.11"	2,1
14	13°48'12.99"	90° 5'24.86"	1,89
15	13°48'9.89"	90°5'26.13"	1,25
16	13°48'4.21"	90°5'24.37"	2,23
17	13°48'2.27"	90°5'23.13"	2,05
18	13°48'0.36"	90°5'23.78"	1,75
19	13°48'0.92"	90°5'21.68"	2,07
20	13°47'58.21"	90°5'20.28"	1,8
21	13°47' 51.65"	90°5'18.07"	2,1
22	13°47'53.89"	90°5'15.48"	2,34
23	13°47'55.67"	90°5'14.56"	1,56
24	13°47'46.17"	90°5'11.48"	2,72
25	13°47'42.52"	90°5'10.30"	2,09
26	13°47'36.57"	90°5'8.08"	1,73
27	13°45'57.97"	90°4'36.47"	1,78
28	13°46'50.97"	90°4'53.34"	2,18
29	13°46'46.94"	90°4'52.76"	1,52
30	13°46'42.19"	90°4'50.29"	1,34
31	13°46'23.16"	90°4'43.87"	1,6
32	13°46'1.81"	90°4'36.99"	1,66
33	13°45'54.24"	90°4'34.52"	1,89
34	13°44'44.82"	90°2'58.86"	2,71
35	13°44'49.17"	90°3'1.03"	1,67
36	13°44'58.82"	90°3'8.63"	0,4
37	13°45'0.79"	90°3'12.89"	1,57
38	13°44'49.13"	90°3'5.29"	1,6
39	13°43'8.11"	90°3'0.33"	1,41
40	13°43'10.25"	90°3'2.73"	1,86
41	13°43'16.10"	90°3'7.62"	2,01
42	13°43'15.53"	90°3'14.24"	1,37

Debido a que en la zona no se cuenta con registros o referencias sobre la perforación de pozos en la región, el inventario de fuentes de aguas subterránea es parte de la línea base hidrogeológica para saber las características técnicas, este Inventario de pozos de la zona, sirvió para determinar la superficie del nivel piezométrico del acuífero.

En el siguiente grafico 22 se observa que los niveles dinámicos de los pozos medidos en la campaña hidrogeológica de diciembre 2020 varían entre 1 y 2 metros de su nivel estático.

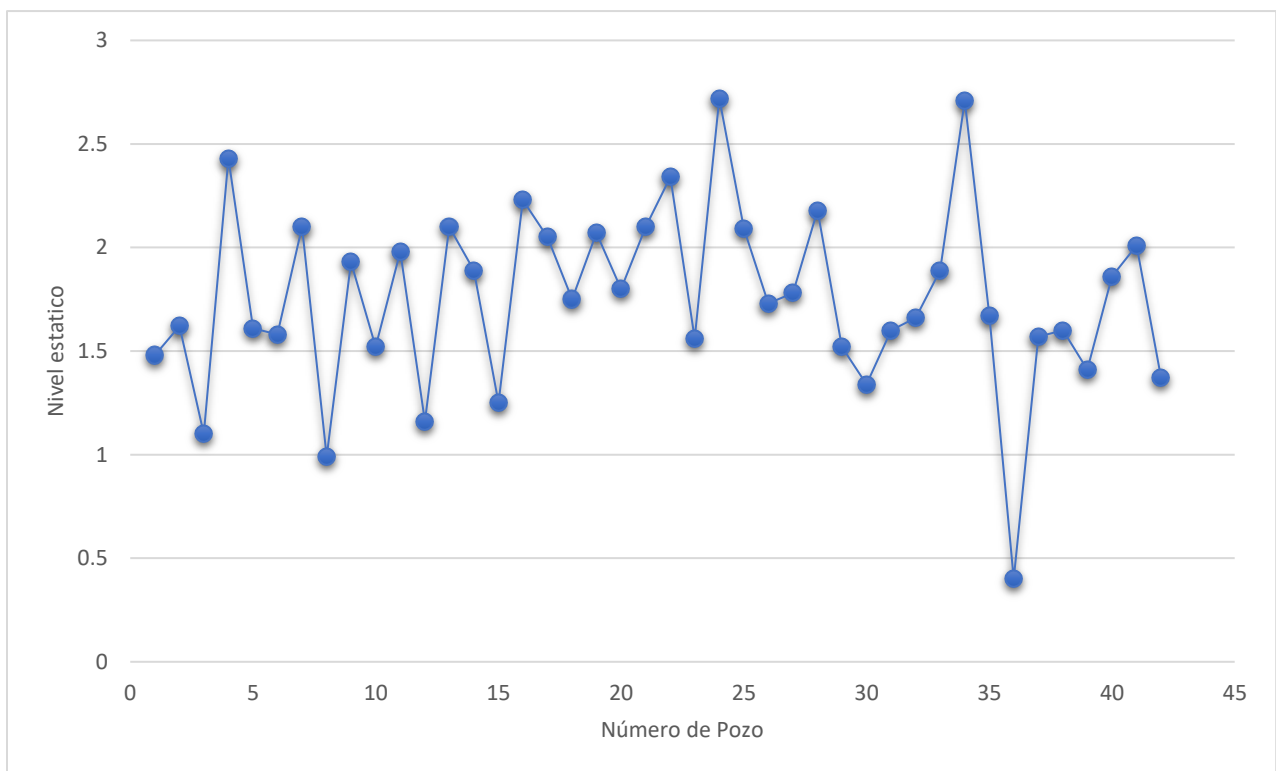
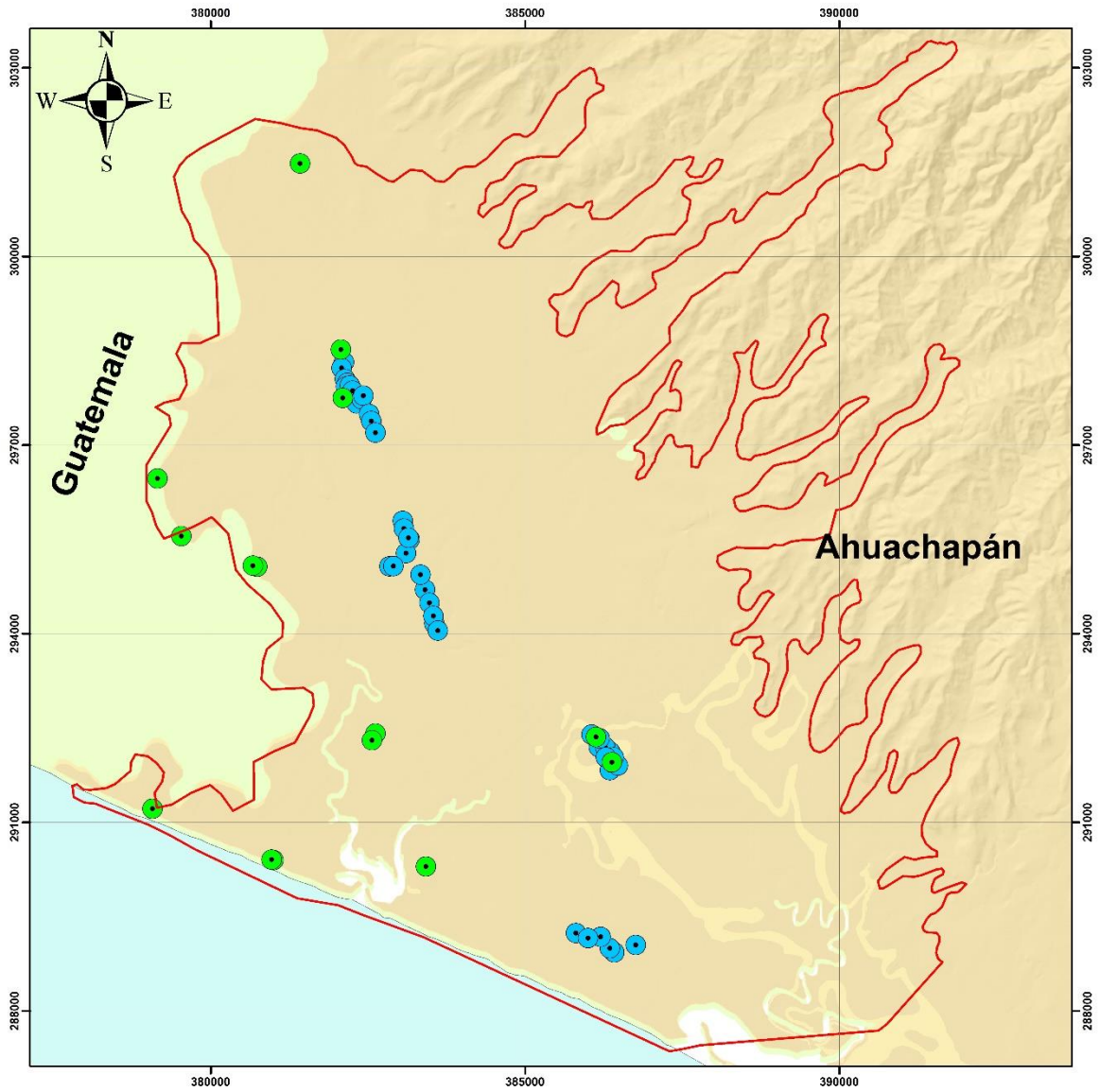
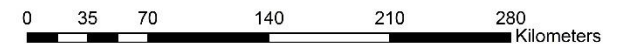


Figura 22. Nivel estático de pozos de la campaña hidrogeológica en la zona de estudio Cuenca baja del río paz (Fuente: foto propia)



Leyenda

- Zona de estudio
- Cuenca baja del río Paz
- Pozos de monitoreo
- Pozos de campaña



1:2,500,000

Elaborado:
Natalia Desiree Santamaria
Base de datos: SIG-UES




Figura 23. Ubicación de pozos monitoreados por UNES y pozos inventariados en la campaña hidrogeológica diciembre 2020

2.2.2 Pruebas de permeabilidad

Las pruebas de infiltración por medio del permeámetro de Guelph nos permite obtener un valor de la capacidad de infiltración (f_c) a partir del ingreso de la tasa de infiltración medida en campo (R) dentro de una hoja de cálculo creada por la empresa Soil Moisture (Figura 24).

Los elementos marcados con color verde en la hoja de cálculo son parámetros de entrada, referentes al diámetro del tubo del reservorio, la carga hidráulica, el radio del agujero en el que se ubicó el tubo para la medición, la textura de suelo y los valores de la tasa de infiltración obtenidos en campo.



Calculos para el Permeámetro de Guelph

■ Entradas
■ Resultados

Carga #1

Tipo de Reservorio [entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior]: 1
 Entre la altura de carga de agua ["H" in cm]: 5
 Entre el radio del pozo ["a" en cm]: 3

Entre la categoría de textura-estructura del suelo: 3
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ["R" en cm / min]: 1.000

Res Type: 35.22
 H: 5
 a: 3
 H/a : 1.667
 a^* : 0.12
 Q : 0.80315 (cm^2/min)
 35.22

$\alpha^{\dagger} = 0.12$ (cm^{-1})
 $Q = 0.80315$ (cm^2/min)
 35.22

$K_{fs} = 6.41E-02$ cm/min
 $1.07E-03$ cm/sec
 $2.52E-02$ inch/min
 $4.20E-04$ inch/sec

$\phi_m = 5.34E-01$ (m^2/min)

Carga #2

Tipo de Reservorio [entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior]: 1
 Entre la altura de carga de agua ["H" in cm]: 10
 Entre el radio del pozo ["a" en cm]: 3

Entre la categoría de textura-estructura del suelo: 3
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ["R" en cm / min]: 2.200

Res Type: 35.22
 H: 10
 a: 3
 H/a : 3.333
 a^* : 0.12
 Q : 1.2875428
 77.4840

$\alpha^{\dagger} = 0.36$ (cm^{-1})
 $Q = 1.2875428$
 77.4840

$K_{fs} = 8.40E-02$ cm/min
 $1.40E-03$ cm/sec
 $3.31E-02$ inch/min
 $5.51E-04$ inch/sec

$\phi_m = 7.00E-01$ (m^2/min)

Promedio

$K_{fs} = 7.40E-02$ cm/min
 $1.23E-03$ cm/sec
 $2.91E-02$ inch/min
 $4.86E-04$ inch/sec

$\phi_m = 6.17E-01$ (m^2/min)

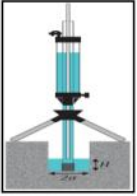


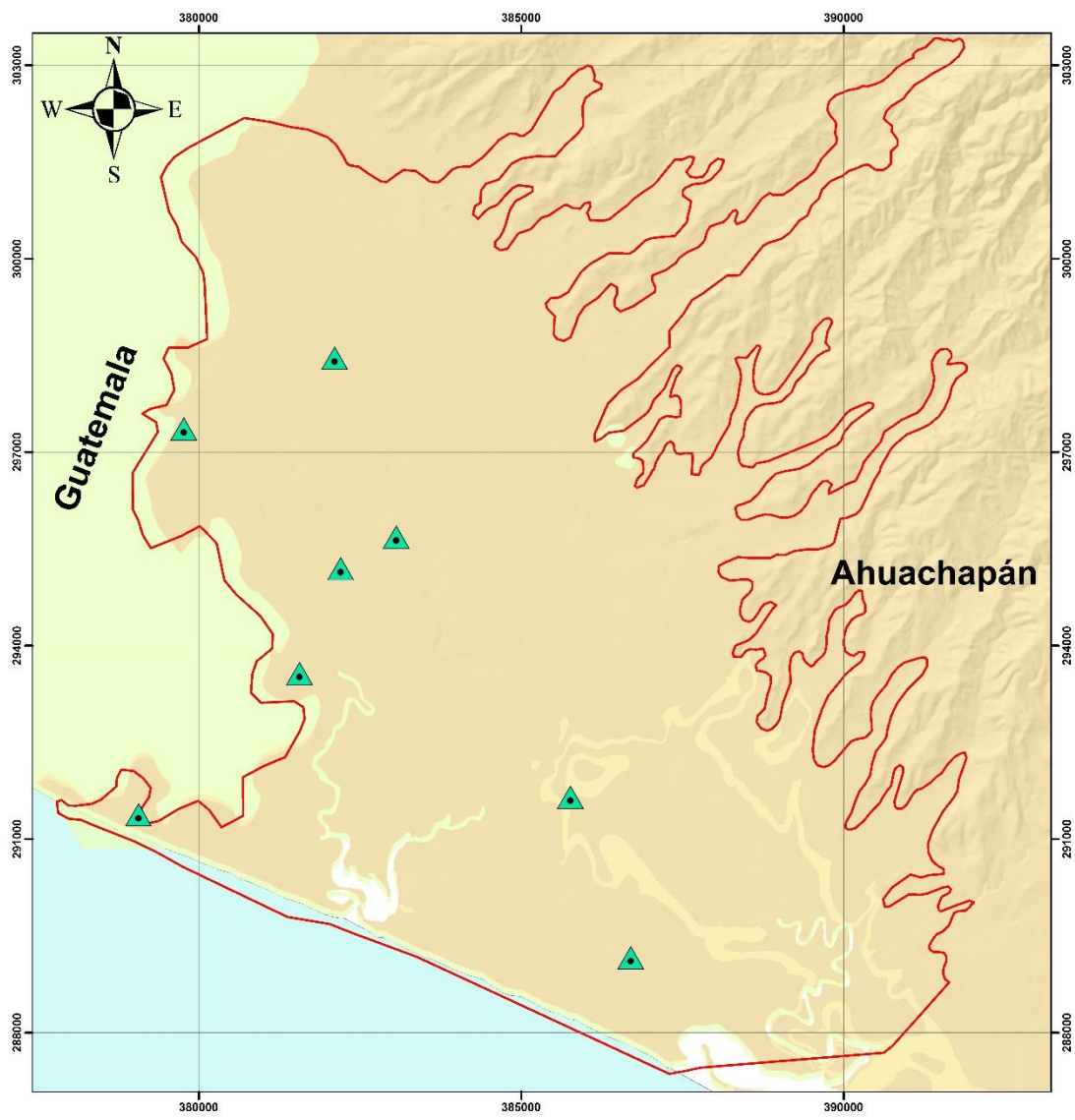
Figura 24. Cálculo de la permeabilidad por medio de la hoja de cálculo de Guelph

En la primera casilla referente al diámetro del tubo, debemos especificar si se utilizó el reservorio combinado (35.22 cm^2) o si utilizamos únicamente el reservorio interno (2.16 cm^2), en nuestra investigación para todas las pruebas de infiltración se utilizó el reservorio combinado. En la segunda casilla introducimos el valor de la carga hidráulica que utilizamos en campo, la hoja de cálculo nos permite hacer cálculo para dos pruebas de manera simultánea y promediar los valores, de esta manera se pudo ingresar los

valores de carga hidráulica (5 y 10 cm) cuando fuese necesario. El tercer parámetro de entrada, radio de agujero, fue de los más variantes en las mediciones de campo, esto debido a la variabilidad de los tipos de suelo. Por último, se ingresa el valor obtenido de la tasa de infiltración por medio de las medidas de campo.

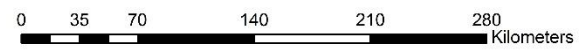
Se realizan 8 pruebas de infiltración, sobre distintos puntos específicos del área de estudio de acuerdo con los tipos de suelos identificados y el uso que se le da, así como la distribución espacial y el acceso. El equipo utilizado fue un Permeámetro de Guelph propiedad de la universidad de El Salvador, en la figura 25 se presentan, los puntos de muestreo.

Por medio del desarrollo de las pruebas de infiltración, se determina la capacidad de infiltración del suelo y a partir de ello se determinó la recarga por precipitación al acuífero en la zona, las cuales se muestran a mayor detalle en el Balance Hídrico



Leyenda

- Zona de estudio
- Cuenca baja del río Paz
- ▲ Pruebas de infiltración



1:2,500,000

Elaborado:
Natalia Desiree Santamaria
Base de datos: SIG-UES



Figura 25. Ubicación de las pruebas de infiltración en la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. (Elaboración propia)

El permeámetro de Guelph permite obtener un valor de la tasa de infiltración a partir de un promedio de observaciones del descenso del nivel de agua del recipiente contenedor. Las observaciones son apuntadas en una tabla de registro que posteriormente son trasladadas a una hoja de cálculo que automatiza el cálculo de la tasa de infiltración a partir de los valores ingresados.

Tabla 12. categoría del medio poroso para la hoja de cálculo de permeabilidad

Identificador de textura	Categoría del medio poroso
1	Material arcilloso, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, arenas desestructuradas pasando por francos
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como fisuras y macroporos

Los puntos de muestreo se especifican en la siguiente Tabla 13, detallando los parámetros principales de cada medición, entre ellos la carga hidráulica, y la ubicación de cada una de las pruebas.

Tabla 13. Pruebas de infiltración en la zona de estudio fuente: (Elaboración propia)

puntos	ubicación	Coordenadas		K (cm/min)	Tipo de uso de suelo
prueba 1	Calle santa teresa	13°79'48.6"	90°11'19.7"	0.03107	Pasto
prueba 2	Calle para el Diamante	13°77'53.7"	90°08'93.9"	0.11516	caña de azúcar
prueba 3	Ruta del castaño	13°76'06.4"	90°09'52.1"	0.03007	Pasto
prueba 4	Manglar bola de monte	13°74'07.2"	90°11'82.1"	0.00062	Bosque salado
prueba 5	Rancho san marcos santos bonilla	13°80'48.9"	90°09'03.9"	0.19892	Pasto
prueba 6	Hacienda el Diamante	13°77'98.4"	90°08'14.3"	0.00014	caña de azúcar
prueba 7	Zanjón el chino	13°74'34.8"	90°05'63.0"	0.00052	Bosque natural
prueba 8	Caserío el Porvenir	13°72'10.2"	90°04'75.4"	0.01768	Pasto

El proceso para la realización constó del ensamblaje, preparación del agujero (perforación y medición de diámetro de agujero), montaje en terreno e inicialización y medición de los valores de la tasa de infiltración (figura 26).



Figura 26. Proceso de 1) Montaje, 2) Preparación del agujero, 3) Instalación y 4) Toma de datos del permeámetro de Guelph (Fuente: Elaboración Propia).

Siguiendo toda la metodología de instalación descrita anteriormente se realizaron las pruebas de infiltración, las cuales sirvieron para la elaboración de los balances hídricos utilizando la metodología de Gunther Schosinsky & Losilla.

2.2.3. Balance Hídrico de suelos

Es la herramienta principal para la determinación del potencial hídrico del acuífero. La metodología utilizada es la desarrollada por Gunther Schosinsky & Losilla (2006).

Se llevó a cabo un balance de suelos, teniendo como base los datos de precipitación, evapotranspiración, propiedades físicas del suelo y se calcula así la recarga potencial que llega al acuífero; luego se evaluó la cantidad de agua que entra al sistema y el volumen de agua que sale de él.

Para poder estimar la recarga potencial hacia el sistema acuífero costero, se emplea la metodología propuesta por Gunther Schosinsky & Losilla en el año 2000, donde calcula y describe varios factores que influyen y son de importancia para analizar y poder estimar la recarga potencial hacia el acuífero.

- **Pendientes (Kp)**

Para obtener las pendientes del área de investigación se procede a crear un Modelo de Elevación Digital, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (GIS). Una vez construido el modelo de elevación, se visualiza que el área en estudio por su geomorfología es correspondiente a Planicie Costera, sus pendientes son muy planas en un porcentaje que oscila entre 0.02% - 0.06%.

La siguiente tabla 14, muestra la clasificación de pendientes propuestas por Schosinsky & Losilla, para así obtener el índice de la fracción que infiltra por efecto de pendiente (Kp). La pendiente que se registra en la zona de estudio es muy plana y en muy pocos lugares aumenta a plana, por lo que se toma la Kp con el valor de 0.3.

Tabla 14. Índice de Pendientes.

rangos de pendientes	kp propuesto*
muy plana 0.02% - 0.06%	0.3
plana 0.3% - 0.4%	0.2
algo plana 1% - 2%	0.15
promedio 2% - 7%	0.1
fuerte mayor de 7%	0.06

* Parámetros tomados de Schosinsky & Losilla (2000).

- **cobertura Vegetal (Kv)**

El uso del suelo dentro de la zona en estudio es delimitado

a partir de polígonos creados en los sistemas de información geográfica previamente referenciados en campo y haciendo uso de imágenes satelitales de Google Earth.

A partir del uso más representativo y predominante que posee el suelo, se asignan índices de cobertura vegetal (Kv), que corresponden con la fracción de la precipitación que infiltra por el efecto del uso del suelo; lo cual se dispone a continuación en la tabla 15.

Tabla 15. Índices de Cobertura Vegetal.

Uso de Suelo	Kv
Cultivos de granos básicos y pastizales	0.81
Línea de Costa	0.75
Arbustos	0.81
Tejido Urbano Discontinuo	0.73
Cocoteras	0.20
Manglares	0.20

- **Textura de Suelo**

Este índice se determinó a partir de los valores propuestos por Schosinsky y Losilla. Una vez establecidas estas zonas se realizaron pruebas de infiltración utilizando el método del Permeámetro de Guelph, con el fin de obtener el valor de infiltración básica del terreno para cada una de ellas.

El valor del coeficiente de infiltración básica del terreno para cada zona y tipo de cultivo donde se realizaron dichas pruebas se muestra a continuación.

Tabla 16. Parámetros por Textura de Suelo.

Por Textura de Suelo	Kfc*
Arcilla compacta impermeable	0.1
Combinación de limo y arcilla	0.2
Suelo limo arenoso no muy compactado	0.4

*Kfc calculado a partir de la ecuación de Schosinsky & Losilla (2000)

El factor Kfc indica la fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo, estimado con base a la prueba de infiltración.

Para poder desarrollar los cálculos del balance hídrico de suelos, se utiliza la información de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

- **Precipitaciones**

Las precipitaciones constituyen una parte fundamental en las entradas del ciclo hidrológico, pudiendo definirse como el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc.

Los valores de precipitaciones serán tomados de referencia de la estación del servicio meteorológico del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), identificada como Hachadura, con un registro mayor a 30 años, ubicada en las coordenadas **13.860703** Latitud W, 90.08783 Longitud N, del departamento de Ahuachapán, municipio de San Francisco Menéndez.

- **Evapotranspiración (ETP)**

Es la pérdida del agua contenida en el suelo, producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo, es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero (Jiménez, 2005).

De la información meteorológica proporcionada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de las estaciones más cercanas al área de estudio, estación La Hachadura según datos registrados en un periodo mayor a 30 años, se realiza una interpolación para el valor de la Evapotranspiración potencial en la zona.

En la siguiente tabla 17 se muestran los valores mensuales y anuales de Evapotranspiración potencial de la estación Hachadura (H14):

Tabla 17. Valores de Evapotranspiración Potencial en el área de estudio.

Variable	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
ETP (mm)	152	151	183	189	189	165	173	168	153	152	144	145	1964

2.2.4. Balance hídrico de Schosinsky

Con la información recopilada (ver anexo 1), se divide el cálculo de balance hídrico por el tipo de uso de suelo en los siguientes: Caña de azúcar, pastizal, bosque natural, bosque salado, mangle y línea de costa (incluido el tejido urbano discontinuo). En la siguiente tabla 18 se muestra el balance de Schosinsky de pastizal, ya que es la recarga potencial que más aporta a la zona.

Tabla 18. Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán 2020.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	Pastizal												
Simbología													
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]	380.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.81												
Kfc [0.01%]	0.80451						por peso						
I [0.01%] =	1						CC (%) (mm)						
DS (g/cm ³):	1.30						22.00 143.00						
PR (mm)	500.00						PM 9.00 58.50						
HSi (mm)	100.00						(CC-PM) 13.00 84.50						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	5.00	16.67	35.87	28.46	31.63	37.63	20.57	6.51	2.25	192.25
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	122.24	263.01	208.72	231.93	275.94	150.82	47.77	0.00	1334.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	60.11	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	100.00	72.71	
C1	0.02	0.00	0.00	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.00	0.00	
HD (mm)	1.61	0.13	0.01	33.58	122.24	289.24	293.22	316.43	360.44	235.32	89.27	14.21	
ETR (mm)	1.48	0.12	0.01	33.58	96.01	168.99	177.88	173.92	155.16	151.22	75.06	12.59	1046.02
HSf (mm)	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	142.60	72.71	60.11	
DCC (mm)	84.37	84.49	84.50	84.50	58.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	70.29	82.89	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.75	30.84	58.02	120.77	0.00	0.00	0.00	245.39
NR (mm)	238.38	239.42	271.45	244.59	154.28	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	145.35	220.12	1518.78

2.2.5. Muestreo para análisis Físicoquímico

El monitoreo continuo de variables físicoquímicas se ha realizado por varios meses, por parte de personal de la UNES y del Asociación Comunitaria de la Microcuenca del Aguacate ACMA, es una metodología muy útil para evaluar la calidad del agua y establecer planes para su gestión.

Para esta investigación se realizan muestreos de aguas con el fin de caracterizar el comportamiento y la composición química del agua de los pozos excavados y punteras que se tienen en la zona y de las cuales se abastece la población sin ningún tratamiento previo. La serie de datos con que se cuenta son de *mayo 2019, enero de 2020, febrero de 2020, octubre de 2020*, la medición durante la campaña hidrogeológica en *diciembre de 2020* y noviembre 2021 realizando el respectivo análisis en época seca y época lluviosa (1 muestreo por mes), el muestreo se desarrolla en 18 pozos de las 10 comunidades del área de estudio.

Cabe mencionar que para la campaña hidrogeológica de diciembre 2020 se monitorearon 14 pozos en las comunidades, el Palmo y la Danta, El porvenir y el cantón el chino

Entre los parámetros que se miden son los siguientes: *conductividad, pH, temperatura, potencial redox, sólidos totales disueltos (TDS) y salinidad.*

Tabla 19. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de mayo de 2019 Fuente: (Elaboración propia)

N°	Comunidades	Coordenadas		T(°C)	pH	conductividad (µS/cm)	Salinidad (mg/kg)	TDS (ppm)
1	El Castaño	13°46'44"	90°06'17"	36,8	7,21	1143	578	809
2	El Castaño	13°46'45"	90°06'21"	35,8	6,9	1100	555	780
3	San Marcos Cañales	13°46'70"	90°06'84"	30,1	7,41	830	416	589
4	San Marcos Cañales	13°47'20"	90°07'05"	30,2	5,76	1045	529	742
5	Rancho San Marcos	13°48'32"	90°05'44"	29,3	7,23	1041	528	736
6	Rancho San Marcos	13°47'90"	90°05'42"	29,2	7,33	793	398	563
8	Paz y progreso II	13°49'92"	90°05'81"	29,5	6,92	475	221	340
9	Garita Palmera	13°43'87"	90°04'67"	28,8	8,08	517	256	368
11	Colonia Ista	13°44'95"	90°05'15"	29,1	7,14	1392	714	989
12	Colonia Ista	13°45'01"	90°05'23"	28,3	7,36	38400	2130	2780
13	El chino	13°44'99"	90°03'17"	29,1	7,21	853	431	608
14	El chino	13°44'77"	90°03'03"	28,7	8,05	6290	3610	4620
15	El Tamarindo	13°43'91"	90°06'01"	31,1	7,81	3050	1620	2160
16	El Tamarindo	13°43'92"	90°06'03"	30,4	7,9	1936	1000	1360
17	Bola de Monte	13°44'35"	90°07'08"	29,4	7,92	1235	630	878

**Es de tomar en cuenta que el número 7 y 10 no se obtuvieron los resultados fisicoquímicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo.*

Tabla 20. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de enero de 2020 fuente: (Elaboración propia)

N°	Comunidades	Coordenadas		T(° C)	pH	conductividad (µS/cm)	TDS (ppm)	Oxígeno (mg/L)	Oxígeno (%)	mV
1	El Castaño	13°46'44"	90°06'17"	29.3	7.35	1196	595	1.85	19.71	21.4
2	El Castaño	13°46'45"	90°06'21"	30	7.44	1042	521	1.75	24.8	28.5
3	San Marcos Cañales	13°46'70"	90°06'84"	29.9	7.33	829.8	415.6	1.67	22.8	19.6
4	San Marcos Cañales	13°47'20"	90°07.057	30.1	7.2	1203	601.3	2.5	44.8	11.7
5	Rancho San Marcos	13°48'32"	90°05'44"	29.1	7.16	1045	521.2	2.29	30.5	11.1
6	Rancho San Marcos	13°47'90"	90°05'42"	29.1	7.35	818.3	407.9	3.45	42.3	21.6
8	Paz y progreso II	13°49'92"	90°05'81"	29.5	6.6	524.5	262.5	0.96	20.4	24.4
9	Garita Palmera	13°43'87"	90°04'67"	28.6	8.22	550.5	276.6	4.65	45.7	73.3
11	Colonia Ista	13°44'95"	90°05'15"	29.2	7.42	1322	661	3.85	51.9	23.5
12	Colonia Ista	13°45'01"	90°05'12"	28.1	7.3	4210	2105	0.86	11.5	20.7
13	El Chino	13°44'99"	90°03'17"	30.2	7.07	1518	758.3	2.59	36.3	3.7
14	El Chino	13°44'77"	90°03'03"	28.5	7.89	6880	3451	1.22	11.9	53.9
15	El Tamarindo	13°43'91"	90°06'01"	29.2	8.18	1426	712.3	4.67	81.4	70.9
17	Bola de Monte	13°44'35"	90°07'08"	28.7	7.81	822.3	411.2	2.32	25	50.9

*Es de tomar en cuenta que el número 7, 10 y 16 no se obtuvieron los resultados fisicoquímicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo.

Tabla 21. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de febrero de 2020 Fuente: (Elaboración propia).

N°	Comunidades	Coordenadas		T(° C)	pH	conductividad (µS/cm)	TDS (ppm)	Oxígeno (mg/L)	Oxígeno (%)	mV
1	El Castaño	13°46'44"	90°06'17"	29,4	7,51	1152	575,8	0,21	3,6	30,5
3	San Marcos Cañales	13°46'70"	90°06'84"	30,5	7,49	836,4	419,4	ND	ND	29,6
4	San Marcos Cañales	13°47'20"	90°07'05"	30	7,27	1118	559,1	ND	ND	15,6
5	Rancho San Marcos	13°48'32"	90°05'44"	29,1	7,27	1039	518,5	ND	ND	16,1
6	Rancho San Marcos	13°47'90"	90°05'42"	29,2	7,36	797,7	398,9	ND	ND	21,8
8	Paz y progreso II	13°49'92"	90°05'81"	29,4	6,56	455,6	228,1	ND	ND	24,9
9	Garita Palmera	13°43'87"	90°04'67"	28,7	8,02	578,3	259	ND	ND	60,1
11	Colonia Ista	13°44'95"	90°05'15"	29,3	7,46	1369	684,1	ND	ND	27,9
13	El Chino	13°44'99"	90°03'17"	29,7	7,09	1202	600,8	ND	ND	6,4
15	El Tamarindo	13°43'91"	90°06'01"	30,3	8,36	1469	739,6	ND	ND	79,4
17	Bola de Monte	13°44'35"	90°07'08"	28,6	7,75	1613	807,3	ND	ND	56

*Es de tomar en cuenta que el número 2, 7, 10, 12, 14 y 16 no se obtuvieron los resultados fisicoquímicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo.

ND: No Disponible.

Tabla 22. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de octubre de 2020 Fuente: (Elaboración propia)

N°	comunidades	Coordenadas		T(°C)	pH	conductividad (µS/cm)	TDS (ppm)	mV
1	El Castaño	13°46'44"	90°06'17"	29.7	7.01	1096	346.8	20.9
3	San Marcos Cañales	13°46'70"	90°06'84"	30°C	7.2	802	401.2	28.8
4	San Marcos Cañales	13°47'20"	90°07'05"	29.9	6.86	1263	632.3	13
5	Rancho San Marcos	13°48'32"	90°05'44"	29.2	6.99	1005	503.9	17.7
6	Rancho San Marcos	13°47'90"	90°05'42"	29	6.95	979.9	490.7	17.8
8	Paz y progreso II	13°49'92"	90°05'81"	29.3	6.65	469.7	234.8	0.3
9	Garita Palmera	13°43'87"	90°04'67"	29.6	8.28	392.1	170.8	89.1
11	Colonia Ista	13°44'95"	90°05'15"	28.4	7.04	549.4	271.3	22.1
13	El Chino	13°44'99"	90°03'17"	29.6	6.93	1744	872.1	12.5
15	El Tamarindo	13°43'91"	90°06'01"	30.7	8.07	759.5	380	80
17	Bola de Monte	13°44'35"	90°07'08"	28.9	7.61	933.1	476.4	52.1

*Es de tomar en cuenta que el número 2, 7, 10, 12, 14 y 16 no se obtuvieron los resultados fisicoquímicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo

Tabla 23. Muestra los resultados fisicoquímicos en la campaña hidrogeológica del mes de diciembre de 2020 Fuente: (Elaboración propia)

Comunidad	Coordenadas		T(°C)	TDS (ppm)	pH	mV	conductividad (µS/cm)
El Porvenir	13°72'16"	90°05'57"	27.7	288.1	7.67	-57.1	578
El Palmo La Dante	13°77'81"	90°08'04"		466.9	6.99	-20.8	940.8
El Palmo La Dante	13°77'61"	90°08'09"		692.5	7.29	-36.6	1256
El Palmo La Dante	13°77'09"	90°07'81"	28.9	649.4	7.29	-36.9	1300
El Chino	13°74'77"	90°05'08"	28.1	696.1	7.17	-31	1392
El Palmo La Dante	13°77'42"	90°08'34"	26	723.3	7.53	-50.1	1449
El Porvenir	13°72'00"	90°04'69"	28.1	728.3	7.47	-47	1458
El Chino	13°74'84"	90°05'25"	28.3	894.7	7.04	-24.5	1789
El Palmo La Dante	13°76'90"	90°07'75"	29.6	916.2	7.37	-40.9	1833
El Chino	13°74'84"	90°05'15"	28.6	1257	7.49	-48.2	2510
El Palmo La Dante	13°77'43"	90°08'28"	26.1	1503	7.33	-38.9	3000
El Chino	13°55'40"	90°97'95"	29.6	1940	7.38	-41.8	3880
El Chino	13°74'61"	90°05'08"	28.9	3538	6.88	-14.6	7090
El Chino	13°74'51"	90°05'08"	27.8	3960	6.98	-19.7	7900

*Es importante notar que los datos de la campaña hidrogeológica no son los mismos sitios que los del monitoreo de los meses previos.

Tabla 24. Muestra los resultados fisicoquímicos en el monitoreo del mes de noviembre 2021 Fuente: (Elaboración propia)

N°	comunidades	coordenadas		T(°C)	pH	conductividad (µS/cm)	TDS (ppm)	mV
1	El Castaño	13°46'44"	90°06'17"	29.3	7.08	694.5	347.3	8.8
2	El Castaño	13°46'45"	90°06'21"	30	6.97	576.9	274.8	7.1
3	San Marcos Cañales	13°46'70"	90°06'84"	29.4	7.33	549.7	275.5	20.9
4	San Marcos Cañales	13°47'20"	90°07'05"	29.9	7.25	678.8	339.7	9
5	Rancho San Marcos	13°48'32"	90°05'44"	29.1	7	612.5	307.1	7.8
6	Rancho San Marcos	13°47'90"	90°05'42"	28.5	6.91	594.6	297.2	2.1
13	El Chino	13°44'99"	90°03'17"	29.9	7.1	907.4	454.7	3.9
14	El Chino	13°44'77"	90°03'03"	28.8	7.64	1817	930.6	39.7
15	El Tamarindo	13°43'91"	90°06'01"	pozo lleno de arena				
17	Bola de Monte	13°44'35"	90°07'08"	28.3	7.69	566.8	282.7	43

* Es de tomar en cuenta que el número 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 16 no se obtuvieron los resultados fisicoquímicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo.

2.2.6. Muestreo para análisis de iones Mayores

Para el caso de análisis de iones mayores se escogieron tres puntos, ubicados en las siguientes comunidades Paz y progreso II, Colonia Ista y la comunidad El Palmo La Danta. En la figura 27, podemos observar la distribución espacial de los puntos muestreados.

El muestreo de pozos se basa en el Procedimiento Operativo Estándar del Contrato de Servicios Científicos, de Ingeniería, Respuesta y Análisis (SERAS, 2007). La toma de muestras de pozos tiene lugar desde el punto más alto aguas arriba (potencialmente menos contaminado) hasta el punto más bajo aguas abajo (potencialmente más contaminado). El muestreo del agua de los pozos cubre algunas especificidades diferentes a las de las aguas superficiales. En efecto, según el nivel de utilización del pozo, el agua disponible en la superficie es agua estancada que no representa el agua del acuífero. Por esta razón, antes de recoger la muestra para su análisis, el pozo debe ser purgado de 3 a 5 veces de su volumen. Durante su purga se miden los parámetros temperatura, pH, turbidez y conductividad hasta obtener valores estables. Esto garantiza que ha entrado suficiente agua del acuífero al pozo y que la muestra será representativa del acuífero, En todos los casos, el agua enviada por los análisis debe tener una turbidez de menos de 50 NTU. Las muestras fueron recibidas por el laboratorio dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra. (Wilde, M.; Jandres Vásquez, M.; Santamaría, N.; López, D., 2021). Para lo resultados se realiza la elaboración de diagramas de Piper y Stiff, utilizando el programa AquaTech y Diagrammes.

A continuación, en la figura 27 se muestra la ubicación de los pozos en que se realizaron las muestras:

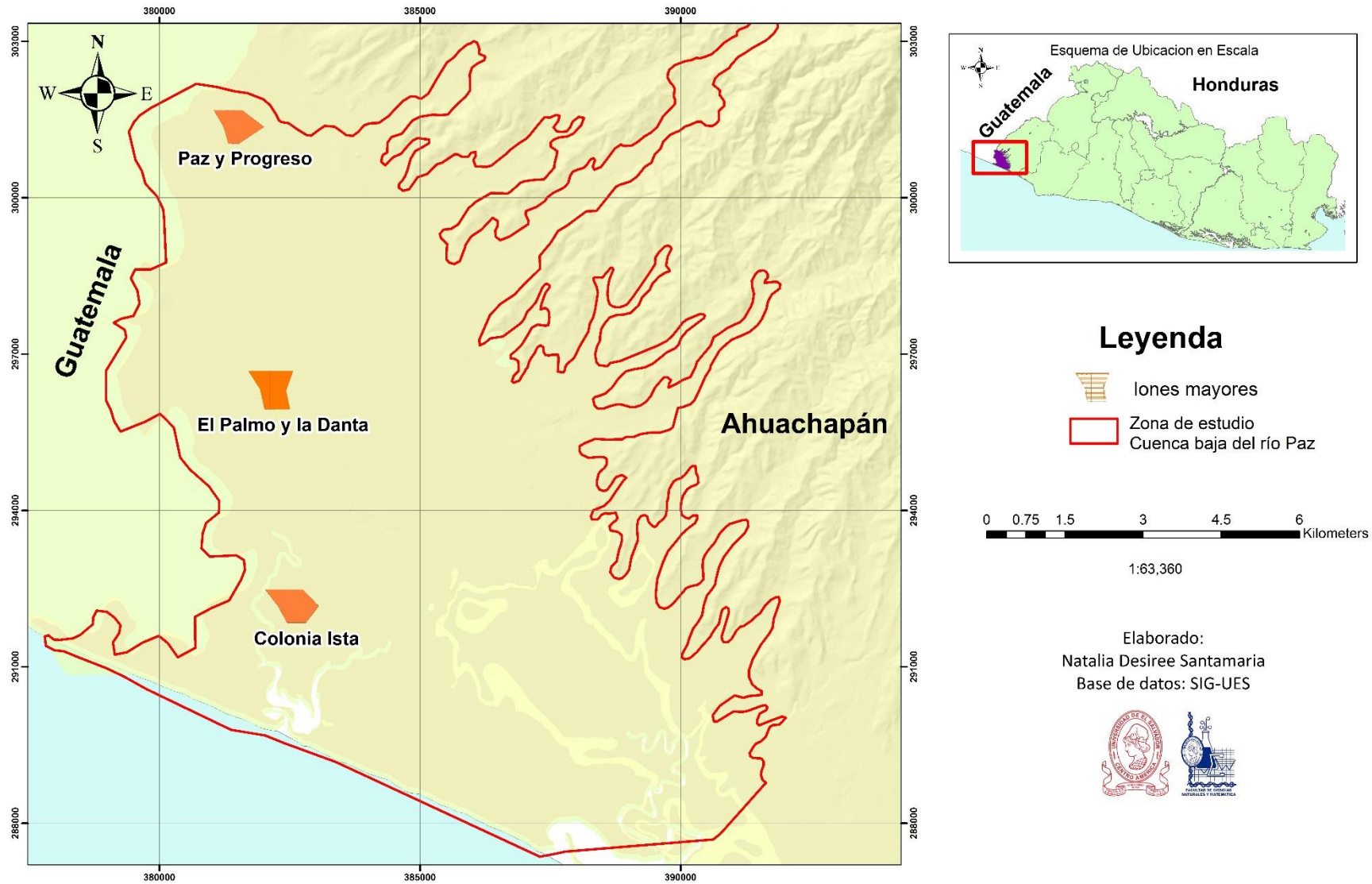


Figura 27. Mapa de ubicación de pozos para la toma de iones mayores Fuente: (elaboración propia)

Los Diagramas de Piper, permiten estudiar la evolución de la química del agua y puede ser usado para la identificación del tipo de agua, precipitación o disolución de minerales, mezcla de aguas, intercambio iónico e identificación de las reacciones químicas más comunes, que cambian la composición de los iones principales (relación agua-roca). Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. (Coto V, 2017)

Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{2+} , Mg^{2+} y $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes. Las concentraciones de los iones dadas en meq/l se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente.

En las siguientes tablas 25 y 26 se presentan los datos que se obtuvieron, para el análisis de los iones mayores (ver Anexo 2), se cuenta con datos de octubre 2020 y marzo 2021 respectivamente:

Octubre 2020

Tabla 25. Iones mayores tomados en el mes de octubre 2020 Fuente: (Elaboración propia)

Iones	Paz y Progreso II (meq/l)	Colonia ISTA (meq/l)	El Palmo la Danta (meq/l)
Ca ²⁺	23.55	31.08	83.95
Cl ⁻	38.45	60.68	594.21
CO ₃ ²⁻ /HCO ₃ ³⁻	226.92	204.95	732.00
K ⁺	47.20	74.90	24.30
Mg ²⁺	7.30	5.78	26.75
Na ⁺	25.80	27.50	290.00
NO ₂ ⁻	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	10.30	0.30
PO ₄ ²⁻	0.39	1.31	2.34
SO ₄ ²⁻	33.17	85.74	619.05

Marzo 2021

Tabla 26. Iones mayores tomados en el mes de marzo 2021 Fuente: (Elaboración propia)

Iones	Paz y Progreso II (meq/l)	Colonia ISTA (meq/l)	El Palmo la Danta (meq/l)
Ca ²⁺	24.40	31.91	90.50
Cl ⁻	227.20	54.18	384.49
CO ₃ ²⁻ /HCO ₃ ³⁻	469.70	192.76	385.52
K ⁺	21.25	2.61	29.65
Mg ²⁺	12.55	9.20	40.15
Na ⁺	142.75	33.05	109.38
NO ₂ ⁻	-	0.01	-
NO ₃ ⁻	-	23.93	6.19
PO ₄ ²⁻	1.73	0.41	1.44
SO ₄ ²⁻	171.95	80.02	502.90

2.2.7. Prospección geoelectrica y registro geofísico

El método geofísico utilizado para la prospección será el geoelectrico, utilizando la metodología de Tomografía Eléctrica, El método geofísico empleado fue el de corriente directa que permite mediante la inyección controlada de corriente y la subsecuente medición en la diferencia de potencial que se genera, construir un modelo en dos dimensiones (2D) que permite identificar variaciones laterales y verticales de la resistividad eléctrica del subsuelo, el arreglo electródico utilizado fue el de Wenner con una longitud de 200 m y una distancia electródica de 5 m, La ubicación de las Tomografías Eléctricas se realizó considerando criterios como la distribución espacial, las zonas que requerían mayor interés . La toma de datos se realizó a inicios de diciembre del 2020, al final de la temporada lluviosa, esta época marca las condiciones para la identificación del nivel freático en su punto más somero.

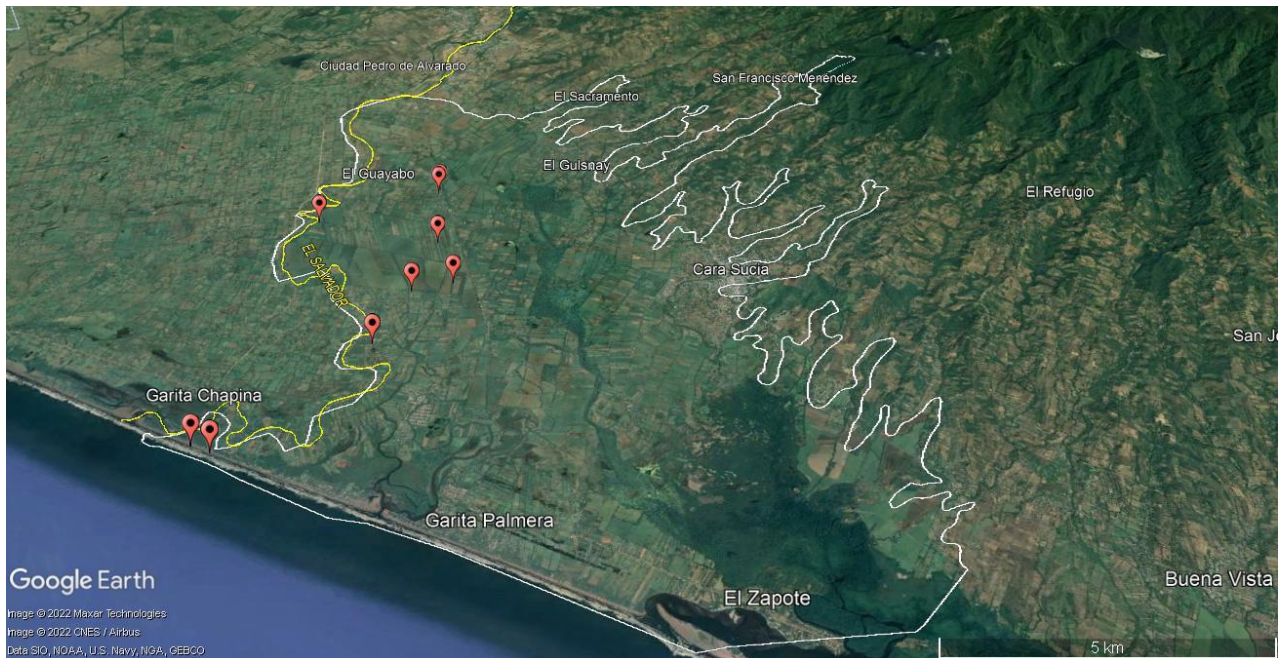


Figura 28. Mapa de Ubicación de los perfiles geofísicos en la cuenca baja del río Paz, San Francisco Menéndez. Fuente: (elaboración propia)

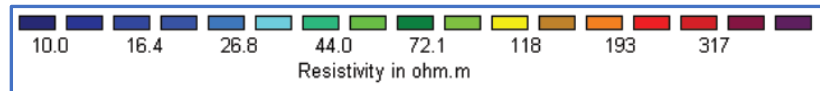
La toma de datos de resistividad aparente se realizó en nueve perfiles distribuidos en la zona del estudio (figura 28). Se detalla a continuación los parámetros de cada perfil en el siguiente cuadro.

Tabla 27. Muestra los diferentes arreglos electródicos utilizados en las tomografías de la prospección geofísica en Garita Palmera.

Perfil	Arreglo electrodoico	Longitud (m)	Distancia electródica (m)
LR00014	wenner	200	5
LR00015	wenner	200	5
LR00016	wenner	200	5
LR00017	wenner	400	5
LR00018	wenner	200	5
LR00019	wenner	200	5
LR00020	wenner	400	5
LR00021	wenner	200	5
LR00022	wenner	150	5

Para la toma de datos se usó el resistímetro ABEM Terrameter 1000 en configuración de Tomografía Eléctrica 2D. El procesamiento de los datos se realizó con el programa de inversión de datos geofísicos de resistividad RES2DINV v.2.7.

Los resultados del modelo (indican una rampa de colores basado en el espectro de la luz visible) que muestra una distribución numérica con escala logarítmico.



Esto permite identificar diversos valores de resistividad en el modelo 2D.

2.3. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA

El origen de la contaminación de las aguas puede ser de dos tipos: natural y producida por actividades humanas o antropogénica. La contaminación natural es mínima y se refiere a aquellos componentes que están localizados en la corteza terrestre y que resultan dañinos para la vida. Normalmente, las fuentes de contaminación natural no provocan concentraciones altas de contaminantes. En cambio, la contaminación antropogénica es mucho más peligrosa que la natural (Dajoz, 2001).

A través del trabajo realizado por toda la zona sur en la parte baja de la cuenca en San Francisco Menéndez, se identificaron algunas fuentes potenciales de contaminación, las cuales se deben a la actividad agrícola y agronómica desarrollada en la zona, ya que la mayoría de los habitantes utilizan pesticidas; las fuentes potenciales de contaminación se dan de manera antropogénica, debido al uso de agroquímicos a lo largo de toda la zona de estudio.

2.4. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ACUÍFERO COSTERO

A partir de la información geológica e hidrogeológica que se ha recolectado y la interpretación de perfiles geoléctricos elaborados en el desarrollo del estudio, se describe el modelo conceptual de agua subterránea de la cuenca baja del río Paz: La zona de estudio geológicamente predominan materiales sedimentarios, tales como depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclastitas pertenecientes al miembro geológico Q'f, integrando la parte de la resistividad eléctrica aparente determinadas por medio de la campaña de prospección geofísica realizada en el mes de diciembre de 2020.

2.5. PROCESAMIENTO DE DATOS Y REDACCIÓN DE INFORME FINAL

El procesamiento de datos se basa en realizar las metodologías y rutinas de trabajo establecidas para obtener los recursos necesarios para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual dentro de los procesos más importantes que se llevan a cabo en esta fase son la determinación de la dirección de flujo de agua subterránea, la delimitación de unidades estratigráficas por medio de geofísica, el balance hídrico de suelos y como última parte la elaboración del informe final. Cabe mencionar que los software de manejo de datos a utilizar tales como Excel, en el cual se ordenará y estructurará la información, esto con el fin de adaptar los formatos requeridos por otros software, estos tales como ArcGis, el cual se ocupará para el análisis y presentación de la información geográfica, hoja de cálculo de Schosinsky en Excel, esta será utilizada para el balance hídrico de suelos, Diagrammers se utilizará para los gráficos de Pipper, Stiff y Schoeller y RES2DINV para realizar la inversión de tomografías eléctricas, entre otros.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente apartado se realiza un análisis de resultados que permiten discutir los datos obtenidos, comparar con otros registros y elaborar posibles descripciones y conclusiones de la dinámica del agua subterránea, calidad del agua y cuantificación del recurso hídrico en la zona de la cuenca baja del río Paz, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

3.1. Infiltración

Para los valores de infiltración obtenidos se observa una variación muy importante basado en el tipo de uso de suelo, el mangle y el bosque salado tienen valores muy bajos de infiltración básica, lo que se relaciona con zonas de poca posibilidad de recarga acuífera. Mientras que las zonas de suelo relacionadas a pastizal y cultivo de caña tienen valores relativamente altos de infiltración, esto lo podemos observar mejor en la siguiente tabla 28:

Tabla 28. Valores de infiltración básica obtenido en la campaña hidrogeológica. Fuente: (Elaboración propia)

Prueba	Ubicación	Infiltración (cm/min)	cm/h	Permeabilidad
1	Calle Santa Teresa	4.50	270	Alta
2	Calle para el Diamante	4.10	246	Alta
3	Ruta del castaño	1.60	96	Alta
4	Manglar Bola de Monte	0.10	6	Baja
5	Rancho San Marcos, Santos Bonilla	8.70	522	Alta
6	Hacienda el Diamante	0.02	1.2	Muy baja
7	Zanjón El Chino	0.06	3.6	Muy baja
8	Caserío el Porvenir	4.50	270	Alta

Estos valores están muy relacionados con la cuantificación de la recarga potencial, que más adelante se discute.

3.1.1. Uso de suelo

En el caso del uso de suelo, es común observar el cambio de tipo de uso de suelo a lo largo de los años, en este caso se pudo constatar que el tejido urbano ha incrementado relativamente poco, sin embargo, la extensión de uso de suelo en cultivo de caña de azúcar se ha visto aumentado significativamente, abarca un 35 % y ha tenido un crecimiento en área desde 1996 hasta la fecha. Extendiéndose en la planicie de la cuenca, ha cambiado el uso de suelo principalmente de granos básicos y pastos naturales. Ha pasado de abarcar un 70% a 45% entre 1996 a 2016. Si esto lo relacionamos con la infiltración previamente analizada y lo conectamos con el balance hídrico, podemos observar que hay cambios significativos en la recarga potencial del agua subterránea; esto visto nada más en la variable de cantidad de recurso hídrico y no de calidad. Por otro lado, existen algunos cambios de uso de suelos que no existían en la zona hace más de 30 años, entre ellos el cultivo de plátano y maní, pero que todavía no son áreas considerables para modificar la recarga potencial del acuífero.

A continuación, en la figura 29 se hace una comparación entre los años 1996, 2011 y 2016 de las variaciones del uso de suelo para el territorio de la cuenca baja del río Paz, siendo los cultivos más significativos los pastos, granos básicos y el cultivo de caña de azúcar.

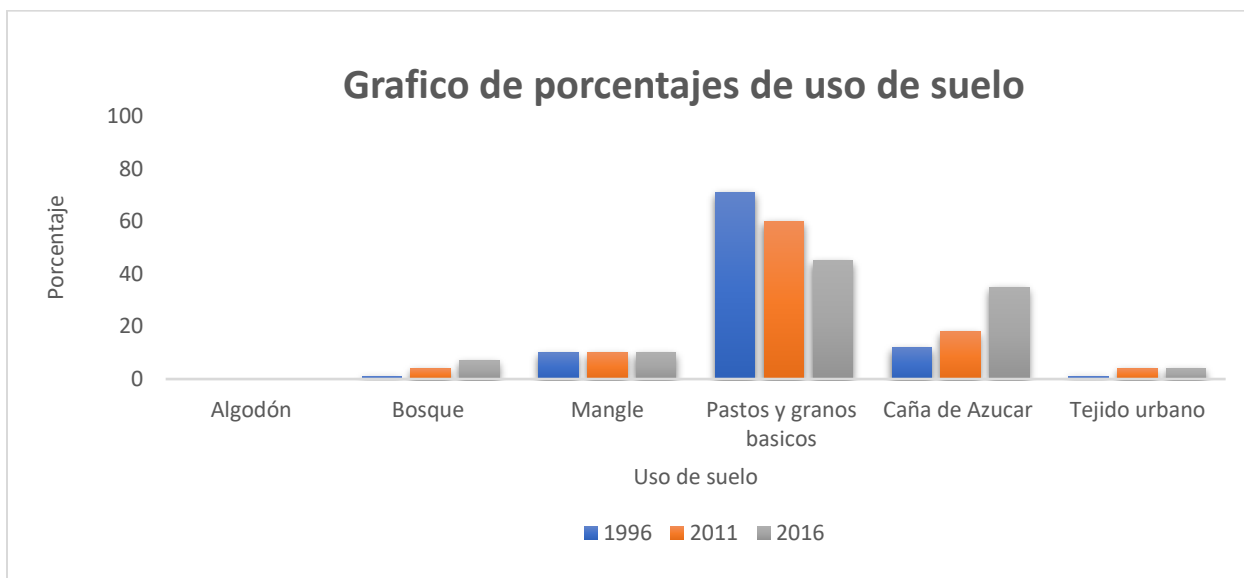


Figura 29. Gráfico comparativo de las variaciones del uso de suelo del municipio de san francisco Menéndez Ahuachapán para los años 1996, 2011 y 2016. Fuente: (Elaboración propia)

En la cuenca baja del río Paz, hay una fuerte diversificación con respecto al uso suelo, en la figura 30, se hace énfasis en la variación en el cultivo de caña de azúcar, siendo este cultivo no sostenible en la zona costera de nuestro país, en un periodo de 20 años, se observa un aumento considerable sobre este cultivo, siendo una amenaza debido al cambio de uso de suelo y la explotación del recurso hídrico.

Uso de Suelo (Caña de Azúcar)

Cuenca baja del río Paz en un periodo de 20 años

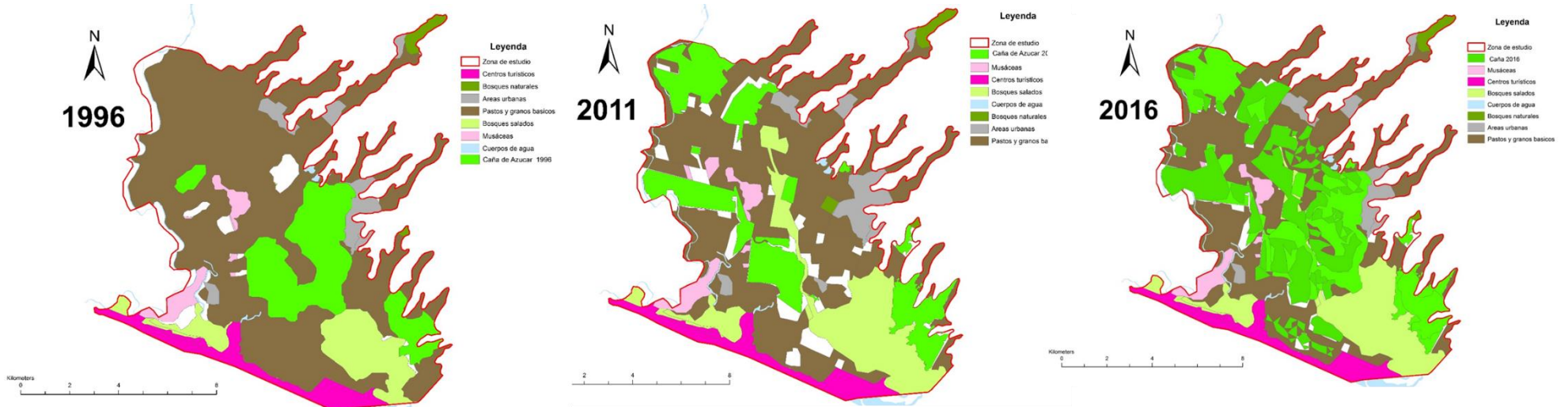


Figura 30. Mapas de las variaciones del uso de suelo en el cultivo de caña de azúcar, para los años 1996, 2011 y 2016. Fuente. Elaboración propia

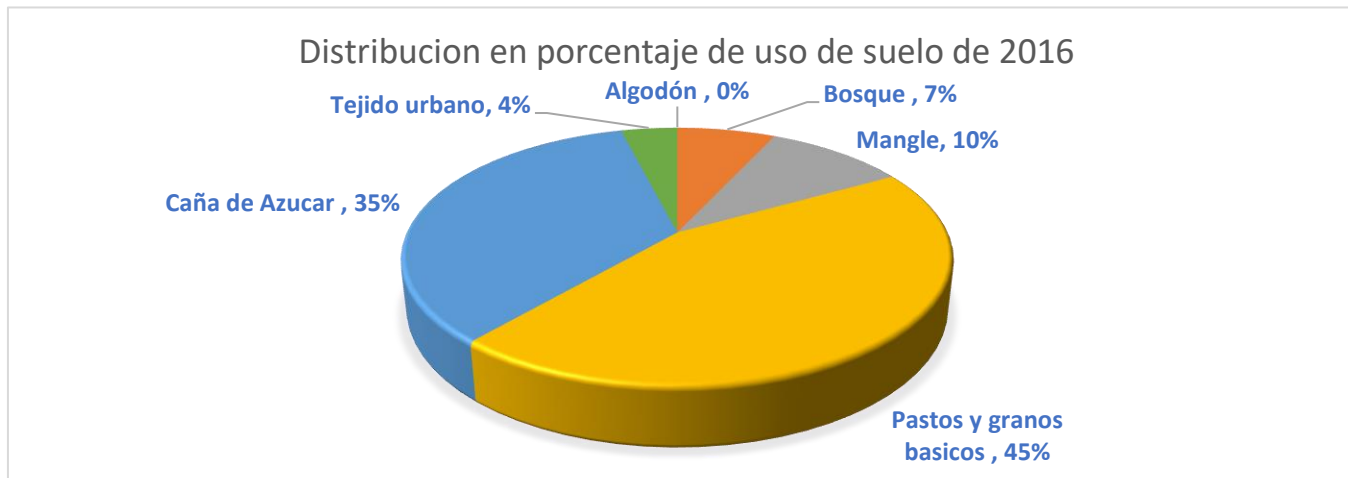


Figura 31. Gráfico de porcentaje de distribución de uso de suelo de 2016 Elaboración propia.

3.1.2. Balance hídrico

Los parámetros utilizados en el cálculo de la recarga potencial mediante de la hoja electrónica Schosinsky son: Conductividad hidráulica, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente, coeficiente de infiltración, pendiente, etc. (ver Anexo 1).

Con la información recopilada, se divide el cálculo del balance hídrico por el tipo de uso de suelo en los siguientes: Caña de Azúcar, pastizal, bosque natural, bosque salado, mangle y línea de costa (incluido el tejido urbano discontinuo).

La recarga potencial total del área de estudio es de 23,347 972.6 m³ anualmente, de los cuales el 68.5 % es aportado por los pastizales, mientras que el cultivo de caña aporta un 25 %. Es de tomar en cuenta que el cultivo de caña ha crecido 2.65 veces más desde el siglo pasado, por lo que la posibilidad de recarga puede haber disminuido significativamente.

En la tabla 29 se muestra el balance de Schosinsky de pastizal, ya que es la recarga potencial que más aporta a la zona.

Tabla 29. Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán 2020.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:		Garita Palmera											
Fecha:		9-Dec											
Textura de Suelo:		Pastizal											
Simbología													
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]				380.00									
Kp [0.01%]				0.10									
Kv [0.01%]				0.81									
Kfc [0.01%]				0.80451									
I [0.01%] =				1									
DS (g/cm ³):				1.30									
PR (mm)				500.00									
HSi (mm)				100.00									
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?				11									
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1				0.12									
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	5.00	16.67	35.87	28.46	31.63	37.63	20.57	6.51	2.25	192.25
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	122.24	263.01	208.72	231.93	275.94	150.82	47.77	0.00	1334.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	60.11	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	100.00	72.71	
C1	0.02	0.00	0.00	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.00	0.00	
HD (mm)	1.61	0.13	0.01	33.58	122.24	289.24	293.22	316.43	360.44	235.32	89.27	14.21	
ETR (mm)	1.48	0.12	0.01	33.58	96.01	168.99	177.88	173.92	155.16	151.22	75.06	12.59	1046.02
HSf (mm)	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	142.60	72.71	60.11	
DCC (mm)	84.37	84.49	84.50	84.50	58.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	70.29	82.89	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.75	30.84	58.02	120.77	0.00	0.00	0.00	245.39
NR (mm)	238.38	239.42	271.45	244.59	154.28	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	145.35	220.12	1518.78

En la tabla 30 se resumen las hojas electrónicas de Schosinsky (ver Anexo 1) donde se muestra el resultado de la recarga potencial Rp que representa la altura de la columna de agua que se infiltra durante cada año, teniendo en cuenta el valor de la recarga potencial y el área superficial del polígono podemos determinar el volumen de recarga.

Tabla 30. Muestra el resumen de las hojas de Schosinsky y los valores del volumen total de recarga. Fuente: (Elaboración propia).

Recarga potencial (mm/año)	Área de polígono (m ²)	Volumen m ³ /año	Polígono
245.39	7877134.3	1.93296999x 10 ⁹	Pastizal
42.65	539776.51	2.302146817 x 10 ⁷	Bosque Natural
152.96	106161.43	1.623845358 x 10 ⁷	caña de azúcar
0	1611750	0	Bosque salado
363.89	1611750	5.864997075 x 10 ⁸	línea de costa
0	1611750	0	Mangle
Total= 804.89 mm/año	Total= 13358322.2 m²	Total= 255872961.9 m³/año	

Podemos decir que la *recarga potencial total* del área de estudio es de 23,347 972.6 m³ anualmente y el *volumen promedio* de agua que se recarga cada año es de 25.58 mm³/año . Cabe mencionar que para la prueba de infiltración donde existe presencia de manglares o bosque salados se obtuvo un valor de recarga potencial 0.00 mm/año, esto debido al contacto permanente con el agua salada.

3.1.3. Balance hídrico de suelos

Para el cálculo de balance hídrico se relaciona la información meteorológica de la estación más cercana, ubicada en San Francisco Menéndez, sin embargo, existe información en otros sitios más cercanos a la zona de estudio que se deben adquirir, para precisar el resultado. Por otro lado, se realiza el ensayo de determinar el balance hídrico en el periodo que el cultivo de caña era mucho menor (1996) comparando dicho resultado con el obtenido en el presente estudio, como se presenta en la siguiente ilustración comparativa, la cual sólo incluye los otros tipos de suelo en la recarga potencial total.

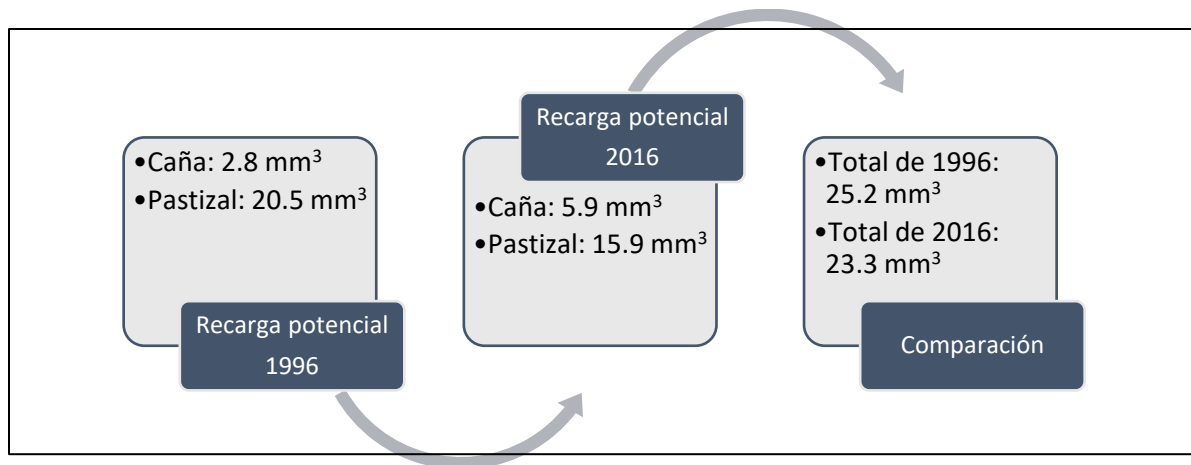


Figura 32. Comparación de recarga potencial estimada entre el año 1996 y 2016, basado en el cambio de uso de suelo de cultivo de caña y pastizal en la zona de estudio.

Se puede observar claramente que la disminución de área de uso de suelo del pastizal contribuye significativamente a una disminución de la recarga potencial total de la zona de estudio en casi 2 millones de metros cúbicos al año.

3.2. Hidrogeoquímica

El análisis fisicoquímico se puede dividir en los resultados obtenidos del monitoreo periódico de la zona de estudio y en los datos medidos durante la campaña hidrogeológica de diciembre 2020 y como último análisis los resultados de iones mayores en un par de pozos de la zona de estudio.

El análisis de los datos fisicoquímicos se realiza por medio de gráficos de las variables en función de los pozos monitoreados. Esto permite un análisis y discusión de resultados más práctico y de forma más puntual en los puntos de mayor interés, donde se observan anomalías.

Las variaciones significativas deben ser objeto de un análisis profundo, ya que dicha variación puede ser debido a varias razones, entre ellas existe la posibilidad que la medición no se realizó de forma correcta, esto se debe a que la toma de los primeros datos fueron tomados por gente de la comunidad lo cuales presentan error y es por eso que se observa anomalía es esos datos, además otra razón es que el aparato no estaba bien calibrado, o realmente el sitio está presentando un valor fuera de lo normal.

A continuación, se presentan los gráficos de las variables que se están monitoreando en el municipio de San Francisco Menéndez, en específico para los pozos que se tomaron valores de forma continua en los 4 meses (ver Anexo 3).

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos, el equipo que se utiliza para la toma de datos es el multiparámetro, implementado para el muestreo de los 18 pozos, de las 10 comunidades de la cuenca baja del río Paz, monitoreados en campo por Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES), siendo esta nuestra zona de estudio los cuales se en listan en la compilación de las tablas 19,20,21,22,23 y 24 de la sección 2.2.5.

3.2.1 Monitoreo de temperatura

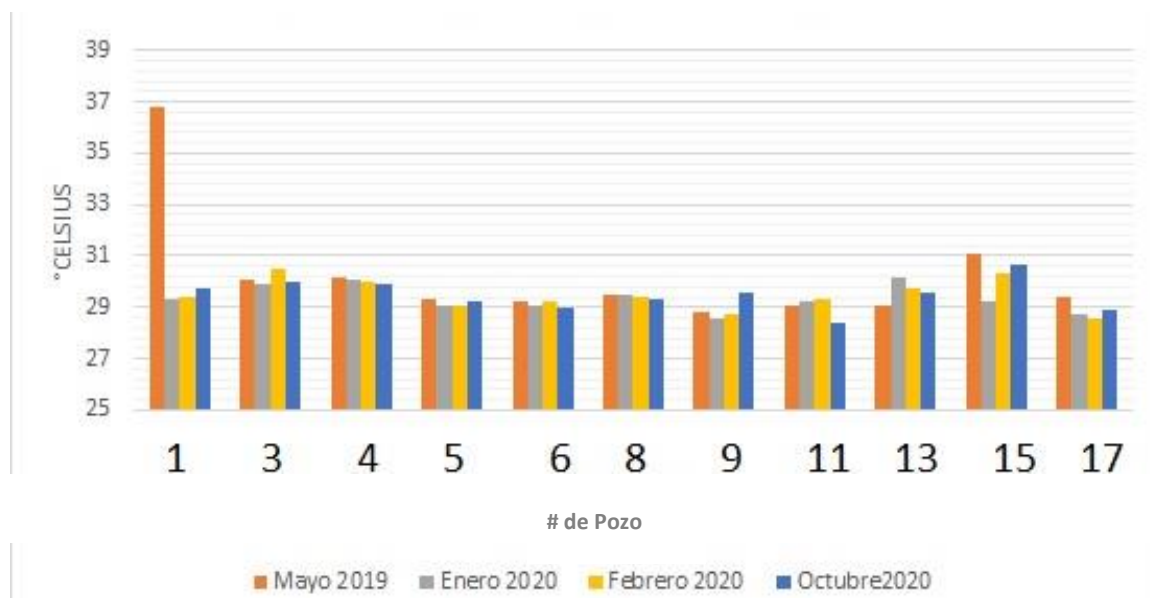


Figura 33. Gráfico de la variación de la temperatura en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia)

El gráfico de temperatura no muestra una variación importante y las temperaturas oscilan en general en los puertos entre 0.1 y 0.8°C durante el año. La temperatura del agua de los pozos oscila entre 28.20°C (Colonia Ista) y 30.7°C (El Tamarindo) (sin considerar el error de medición en el pozo 1 en mayo de 2019). En general, la temperatura del agua de los pozos se mantiene estable durante el Año, se puede decir que el agua del acuífero

oscila entre 28.2 y 30.4 °C, lo que se aproxima a la temperatura ambiente. Esta estabilidad significa que la temperatura no es la causa de los cambios en otros parámetros fisicoquímicos como el potencial redox o la conductividad.

3.2.2 Monitoreo de PH

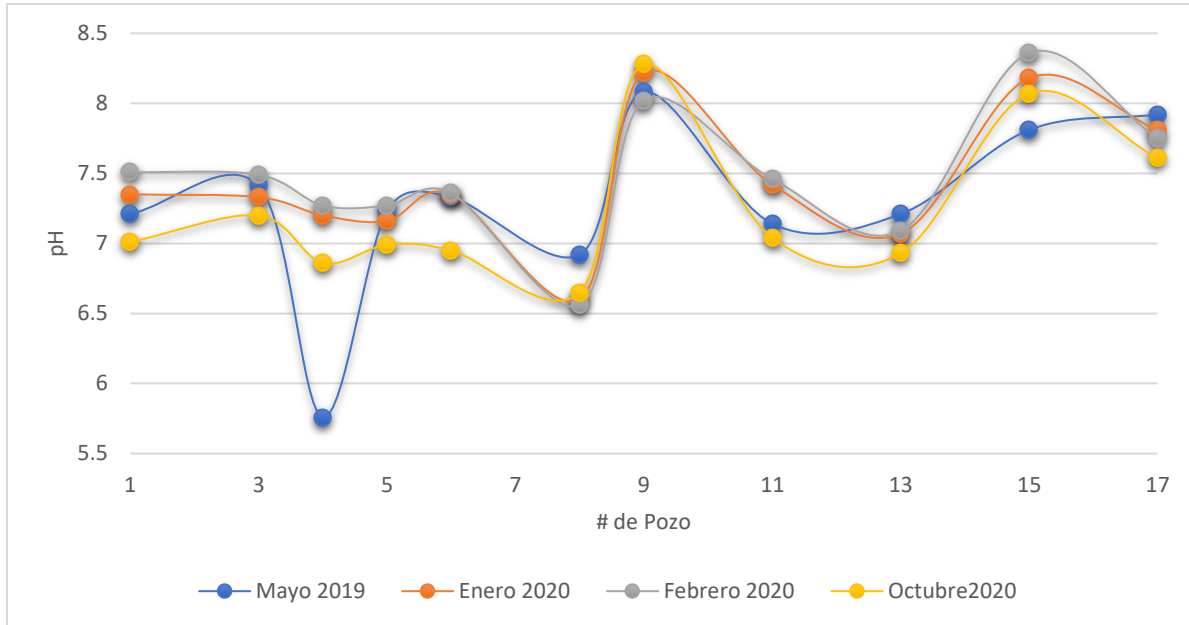


Figura 34. Gráfico de la variación de pH en los pozos de monitoreo. Fuente: (Elaboración propia).

En general, el mes de octubre corresponde a los valores más bajos y enero-febrero a los más altos. El pH medio anual del agua de los pozos se sitúa entre 6.68 (Paz y Progreso II) y 8.22 (Garita Palmera). Las variaciones de pH en las aguas del acuífero varían anualmente según los pozos entre 0.04 (Colonia Ista) y 0.38 (El Castaño) y son relativamente estables durante el año (sin considerar el error de medición en el pozo 4 en mayo de 2019).

En la cuenca, los valores de pH del agua del acuífero son más bajos (más ácidos) en octubre, al final de las lluvias, que, en enero o febrero, durante la estación seca. El agua de lluvia no está cargada de minerales (como los carbonatos) que la hacen ácida. La disminución del pH del agua del acuífero en octubre se debe probablemente a la infiltración directa de esta agua de lluvia que no está cargada de minerales o lo está muy

poco. Los diagramas espaciales también revelan un perfil de pH aguas arriba-aguas abajo con valores de pH ligeramente ácidos en el punto más alto de la cuenca (Paz y Progreso II) y valores ligeramente más básicos aguas abajo cerca de la zona costera. La encuesta de diciembre nos permite ver los niveles de pH con una mejor resolución. Los diagramas muestran una acidificación de las aguas en El Chino y El Palmo La Danta. Los análisis de iones principales revelaron altas concentraciones de sulfato, que podrían deberse a la contaminación por fertilizantes. Los fertilizantes acidifican los suelos y las aguas, lo que podría explicar el descenso del pH en algunos lugares.

3.2.3 Monitoreo de la conductividad eléctrica

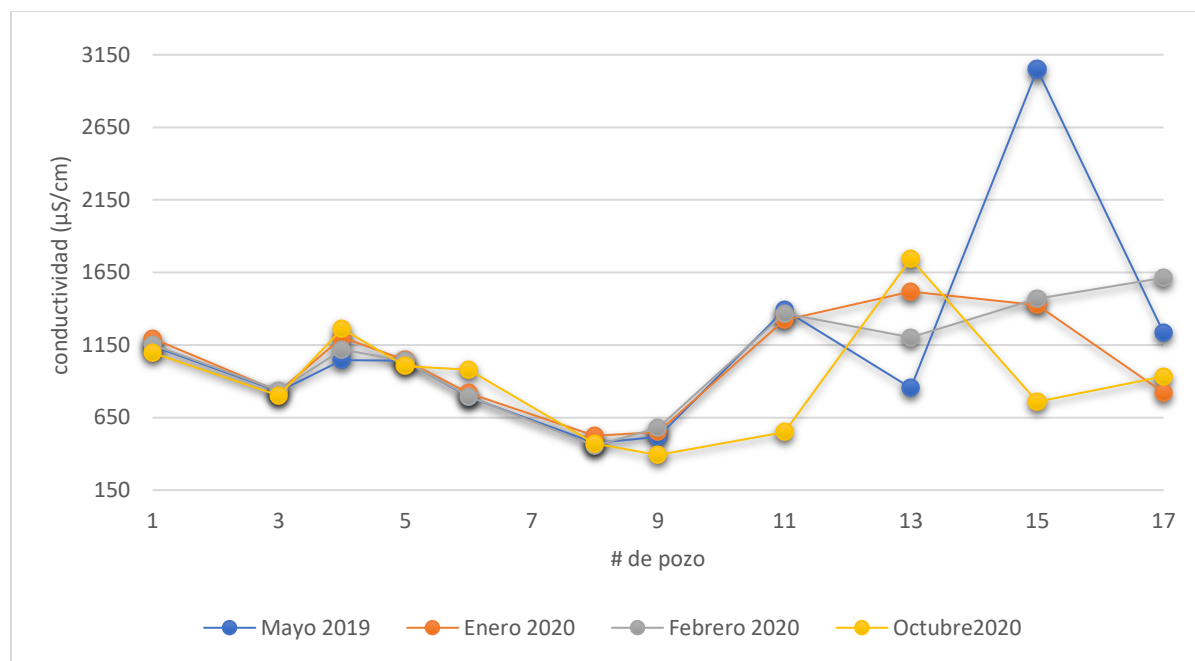


Figura 35. Gráfico de variación de conductividad en los pozos de monitoreo. Fuente: Elaboración propia

A excepción de la medición del pozo 13 para octubre (El Chino), los valores de conductividad son más bajos en octubre. La conductividad media anual del agua de los pozos está entre 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Paz y Progreso II) y 1676 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (El Tamarindo). Las variaciones de conductividad del agua del acuífero varían anualmente entre 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Paz y Progreso II) y 971 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (El Tamarindo) según el pozo. Por otro lado, en este gráfico no se muestra el dato del pozo 12 del mes de mayo de 2019, que tenía un valor

de 38400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual se puede deber más que todo a una falla de medición, ya que el valor obtenido en el mes de enero de 2021 fue de 4210 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Por otra parte, para continuar con el estudio de la conductividad eléctrica se retoma, un estudio previo realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales “Plan Nacional de Gestión del Recurso Hídrico de El Salvador con énfasis en zonas prioritarias (MARN, 2017) para poder hacer una delimitación de lo que según los autores de este estudio consideran una cuña salina con base en la información disponible, de los puntos de control, en materia de conductividad eléctrica, se realizan los mapas de isoconductividades eléctricas a partir de interpolar los valores disponibles de este parámetro.

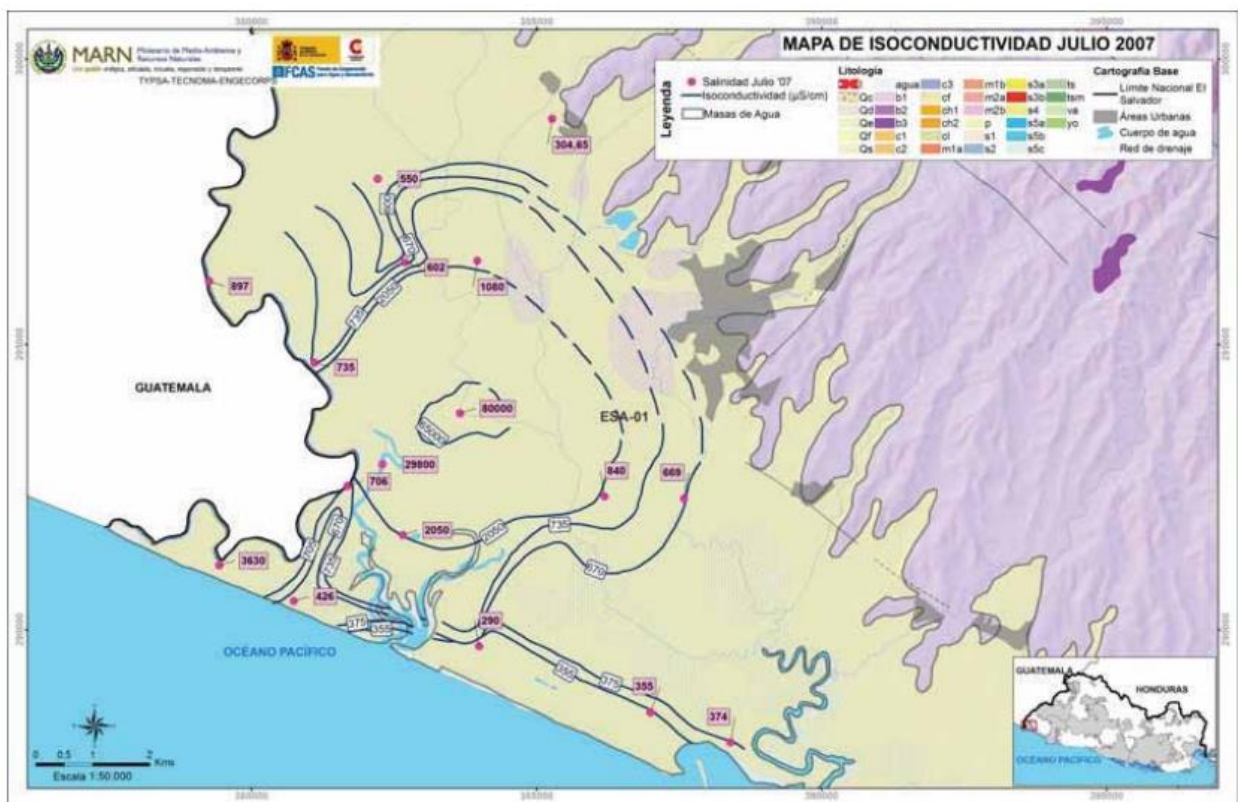


Figura 36. mapa de Isoconductividades eléctricas ($\mu\text{S}/\text{cm}$) elaborado a partir del interpolado de los valores disponibles de este parámetro en la MASub ESA-01 para el mes de julio de 2007 Fuente: elaboración del MARN.

Respecto a la situación mostrada en el mapa figura 36, es evidente la existencia de una importante anomalía salina con valores máximos de conductividad eléctrica próximos a 80 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en las proximidades de la Hacienda la Danta, el origen de dicha anomalía podría ser debido a dos motivos principales (MARN, 2017) Existencia de un nivel permeable, localizado y delimitado (GM-UNES, 2013), constituido por materiales aluviales y fluviales que se disponen desde cotas próximas a la del nivel del océano hasta profundidades máximas de -175 m s.n.m., y que permitirían el ingreso de agua marina tierra adentro.

- La circulación de agua salina por dichos materiales permeables aluviales y fluviales se vería sensiblemente favorecida por los excesivos bombeos que se realizan en la zona desde este nivel acuífero para cubrir las importantes demandas agrícolas para los cultivos de caña de azúcar, platanales y bananeras.

3.2.4. Monitoreo de totales solidos disueltos (TDS)

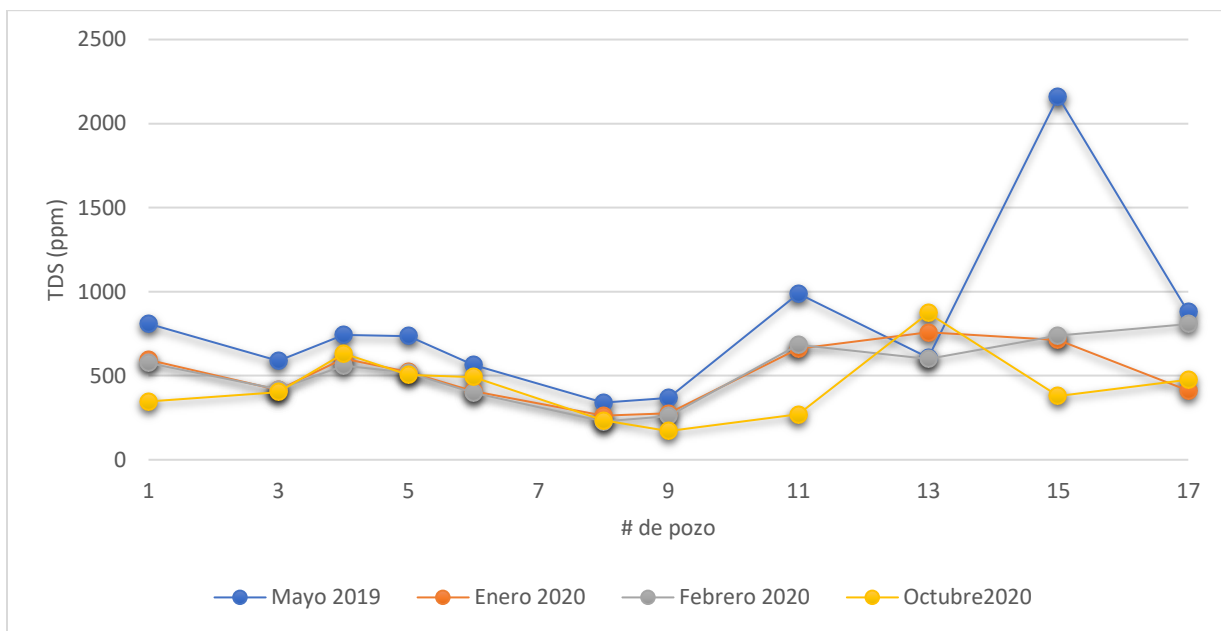


Figura 37. Gráfico de la variación de Sólidos Totales Disueltos en los pozos de monitoreo. Fuente: elaboración propia

En general, los valores de TDS son más bajos en octubre, con la excepción del pozo 13, que se midió en octubre. La concentración media anual de sólidos totales disueltos en el agua de los pozos oscila entre 266 mg/l (Paz y Progreso II) y 998 mg/l (El Tamarindo). Las variaciones de conductividad de las aguas del acuífero varían anualmente entre 248 mg/l (Paz y Progreso II) y 698 mg/l (El Tamarindo) según el pozo

Los valores de conductividad eléctrica y TDS son más bajos en octubre, lo que podría deberse a la infiltración de agua de lluvia, baja en iones, en los acuíferos, como se ha mencionado antes para el pH. La carga de iones aumenta desde el punto más aguas arriba hasta el punto más aguas abajo de la cuenca en un factor medio de 3.6. Sin embargo, algunas zonas presentan valores muy elevados de conductividad y TDS, como se ha visto en la campaña realizada en diciembre. Las comunidades de El Chino y El Palmo La Danta presentan valores de sales disueltas que oscilan entre 900 mg/l (El Palmo La Danta) y 3960 mg/l (El Chino), lo que equivale a casi 4 gramos de sal por litro. El diagrama de diciembre muestra una asignación para el contenido de sal en una amplia zona entre El Palmo La Danta, El Chino y el límite de El Porvenir.

Todos los potenciales redox medidos atestiguan un entorno "óxico" (con oxígeno), lo que se espera en este tipo de acuíferos porosos. También se observa un perfil aguas arriba-aguas abajo para los meses de octubre con un potencial redox más negativo aguas abajo (más oxidante) que aguas arriba. La zona de El Chino pierde su potencial oxidante entre enero y febrero. Los datos de diciembre también muestran una disminución del potencial oxidante de las aguas en la zona de El Chino. Esto podría deberse a la descomposición bacteriana aeróbica de algunos contaminantes encontrados en la zona.

3.3 Diagramas de Piper

El diagrama de Piper es utilizado como un gráfico efectivo para la representación de muestras de agua en estudios hidrogeológicos. Los porcentajes de las concentraciones de los principales iones en meq/l son mostrados en el diagrama.

En el triángulo inferior izquierdo se muestran las concentraciones de cationes, mientras que el triángulo derecho muestra las concentraciones ponderadas de aniones. Ambas concentraciones son luego proyectadas en el rombo.

Los Diagramas de Piper, permiten estudiar la evolución de la química del agua y puede ser usado para la identificación del tipo de agua, precipitación o disolución de minerales, mezcla de aguas, intercambio iónico e identificación de las reacciones química más comunes, que cambian la composición de los iones principales (relación agua-roca)

A continuación, en el grafico 38 se muestran los diagramas de Piper realizados a partir de las muestras de agua tomada en época seca y época lluviosa en octubre 2020 y marzo 2021 (Ver anexo 2), estos diagramas se utilizan para establecer y caracterizar el tipo de agua

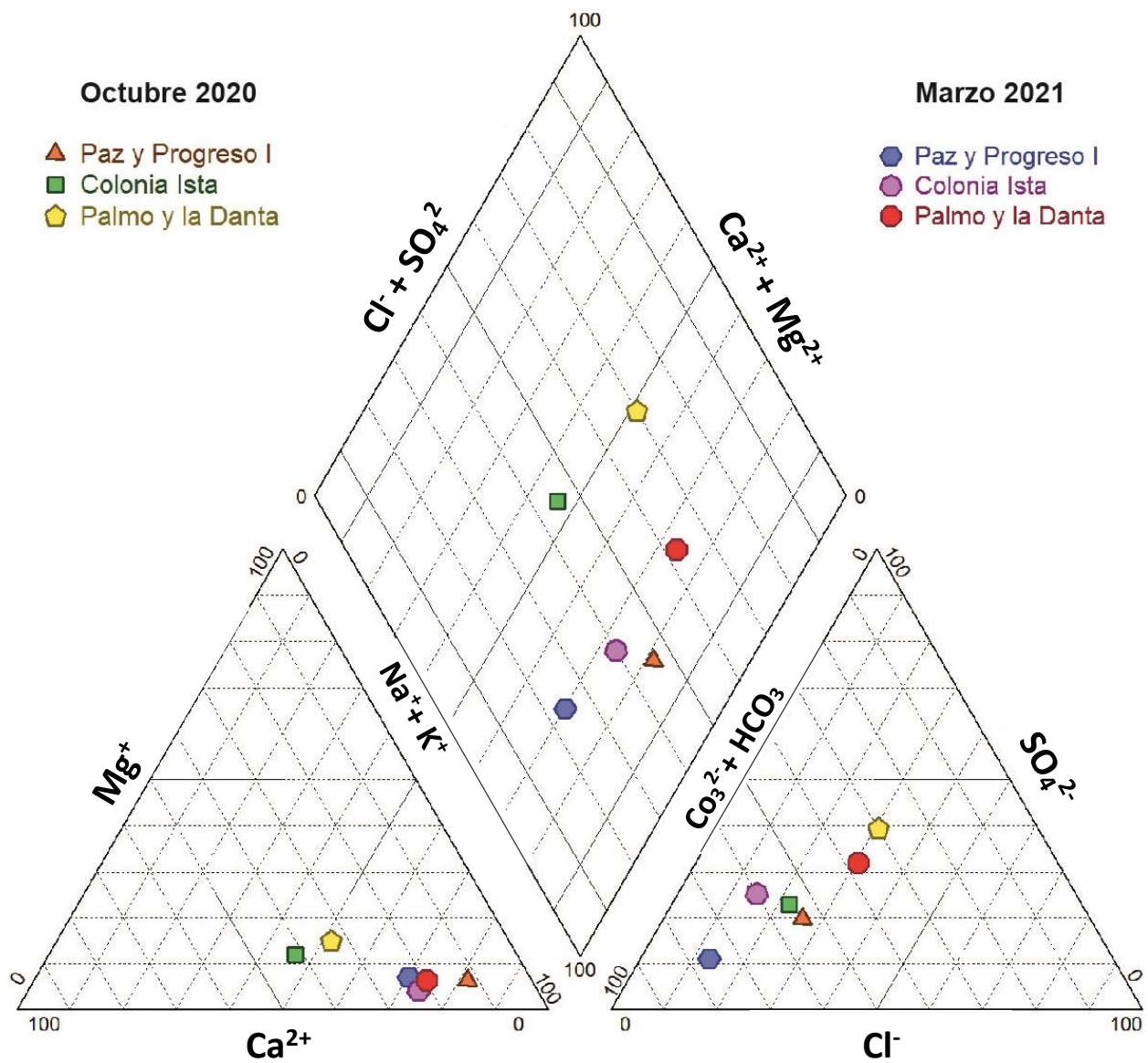


Figura 38. Diagrama de Piper para las muestras de octubre 2020 y marzo 2021 Fuente: (Elaboración propia)

3.3.1 Diagramas de Stiff

En los diagramas de Stiff o poligonales se representa la concentración de aniones (hacia la derecha) y cationes (hacia la izquierda) en semirrectas paralelas, uniendo los extremos generando un polígono, sobre cada semirrecta se toma un solo ion. El objetivo principal es mostrar la distribución geográfica de la composición de las aguas.

Iones Mayores

Octubre 2020

Marzo 2021

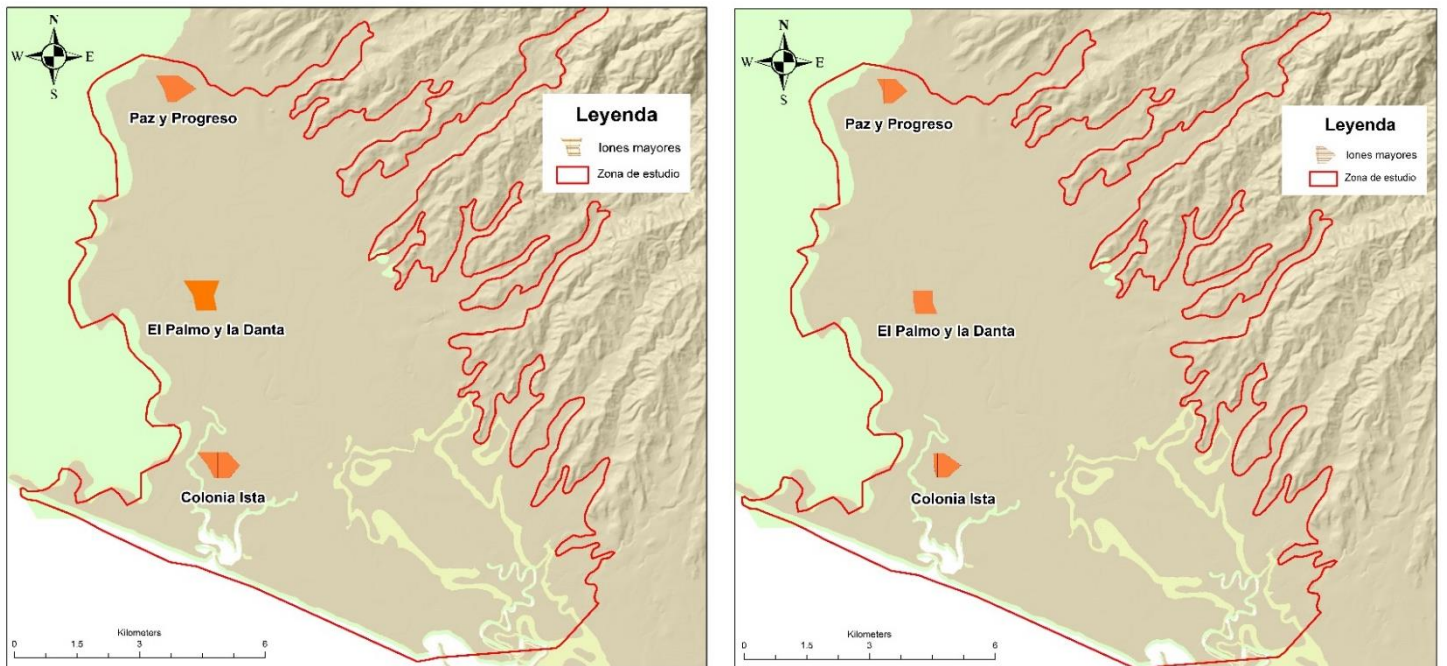


Figura 39. Mapa comparativo de ubicación de pozos de muestreo de iones mayores octubre 2020 y marzo 2021. Fuente: (Elaboración propia).

Las siguientes figuras 40 y 41 muestra el diagrama de Stiff, la forma de las figuras resultantes da idea del tipo de agua encontrado. El valor de concentración se expresa en miliequivalentes por litro (meq/l), con las concentraciones en meq/l de iones de sodio, calcio, magnesio, cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Se elaboraron los diagramas de Stiff para los meses de octubre 2020 y marzo 2021.

Octubre 2020

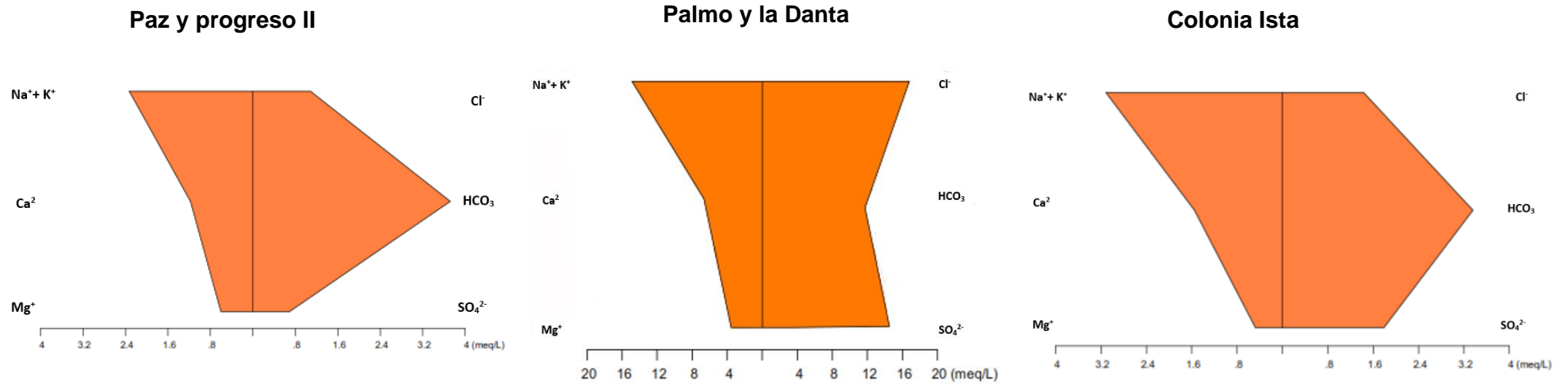


Figura 40. Diagramas de Stiff iones mayores para el año 2021. Fuente: (Elaboración propia)

Marzo 2021

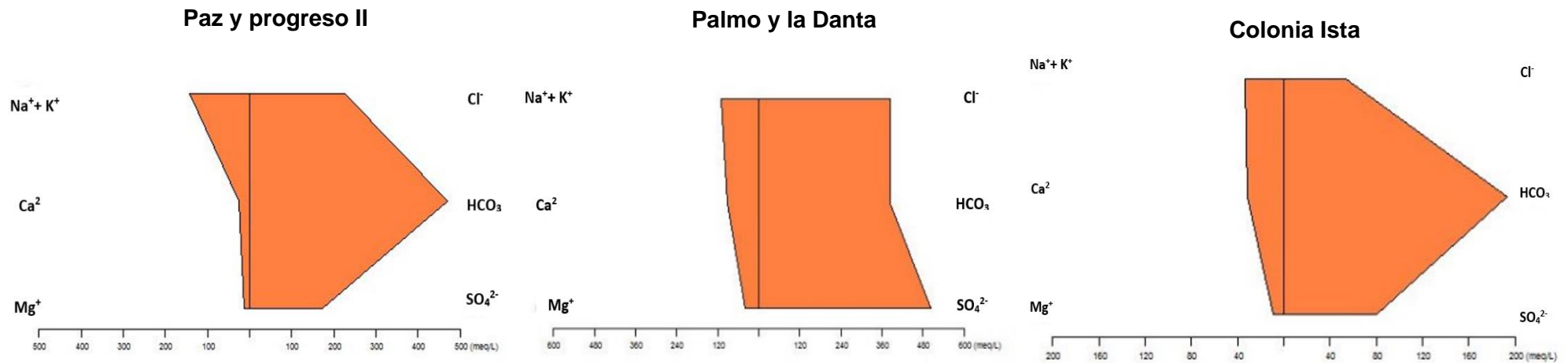


Figura 41. Diagramas de Stiff iones mayores para el año 2020. Fuente: (Elaboración propia)

Los resultados de iones mayores para octubre 2020 nos permiten clasificar el agua subterránea como bicarbonatada sódica para el pozo ubicado en **paz y progreso II** esto puede deberse a un intercambio iónico (interacción agua roca) para el pozo de **Colonia Ista** el agua se clasifica como bicarbonatada cálcica, mientras que el pozo ubicado en El Palmo La Danta se clasifica como clorurada sódica. Es de hacer notar para los pozos de Paz y progreso II y Colonia Ista se tiene una considerable aportación del ion potasio, así mismo para el pozo de **El Palmo La Danta** el agua se clasifica como clorurada sódica, los valores de iones sodio, cloruros y sulfatos son muy altos, además del excesivo valor del ion cloruro.

Es importante notar que la distribución espacial (figura 40 y 41) de sus características hidrogeoquímicas, se observa ese cambio en la zona ubicada en El Palmo La Danta, ya que no es coherente con los otros dos valores. En este caso, la variación puede deberse a la cercanía con la zona de cultivo intenso en caña y la dirección del flujo puede permitir que los aditivos al cultivo incrementen los valores de cloruros y sulfatos en el agua subterránea.

para tener un mejor resultado se hace un muestreo de iones mayores en el mes de marzo 2021, y se hace una comparación siempre en los mismos pozos de la cuenca baja del río Paz (figura 41) los pozos de **paz y progreso II y colonia Ista** el agua se clasifica como bicarbonatada sódica, pero presentan una variación en los cuales muestran que los niveles de iones calcio y magnesio han disminuido notoriamente, y para el pozo **del palmo y la danta**, el agua se mantiene como clorurada sódica y se puede observar una disminución en de iones sodio y potasio, pero siempre se mantiene los valores de cloruros y sulfatos muy elevados así mismo se observa que hay cambios significativos para clasificar el agua subterránea en estos tres pozos, donde la dinámica sigue siendo influenciada por la cercanía con la zonas de cultivo de caña de azúcar, donde esto puede permitir que incrementen o disminuyan los valores medidos del agua subterránea.

Cabe mencionar que para esta investigación se ocupan los diagramas de Stiff, para una mejor comparación y así mismo podemos clasificar el tipo de agua, lo que ocurre con la dinámica y la calidad del agua subterránea.

3.3.2 Diagramas de Schoeller-Berkaloff

El diagrama de Schoeller-Berkaloff emplea una escala semilogarítmica para representar las concentraciones de iones, con la ventaja de que se pueden visualizar varias muestras, se disponen varias semirrectas o columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica y con el mismo módulo. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión, excepto la primera columna que no tiene asociada ningún ion y su unidad de medida es en meq/l, las demás tienen como unidad de medida mg/l, para este diagrama se utiliza el programa Diagrammers para las muestras de octubre 2020 y marzo 2021.

Como una aproximación para visualizar las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas, se ha representado su contenido iónico mayoritario en un diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 42 y 43). En dichos diagramas se puede identificar el tipo o facie hidroquímica al que pertenece cada agua en función del anión y catión con una mayor concentración, al mismo tiempo que se observa el contenido iónico de las mismas

En la figura 42 se muestra el diagrama de Schöeller de la base de datos geoquímica del área geográfica de interés, y se evidencia que los componentes mayoritarios en la base de datos son calcio, sodio y bicarbonatos (Grupos marcados como A, B y C sobre el gráfico). Cabe mencionar que, para las muestras del pozo del Palmo la Danta tomados en octubre 2020 y marzo 2021, tienen un alto contenido de sodio, cloruro y sulfato. En el grupo D hay algunas muestras de agua que presentan bajos valores de magnesio.

De manera complementaria en la figura 43 se utiliza el diagrama de Schoeller-Berkaloff, para visualizar las características fisicoquímicas del agua subterránea de 3 pozos del área de estudio cuenca baja del río Paz ubicados en los cantones el Chino, el Palmito y la Danta, cabe mencionar que la toma de estos datos se realiza en el año 2015, en el grupo E (Grupo marcado como E sobre el gráfico) se evidencia que los componentes mayoritarios en la base de datos son sodios.

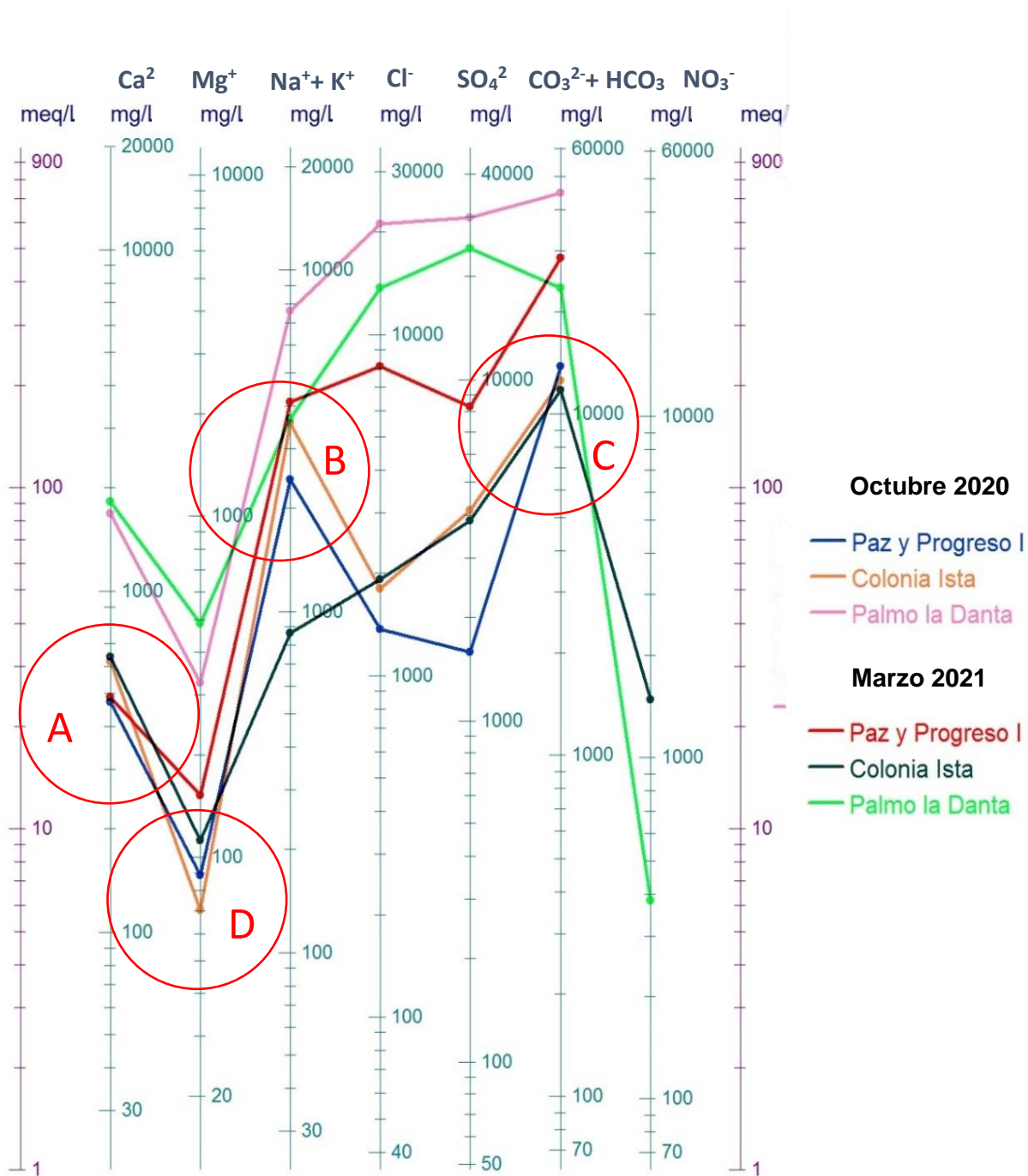


Figura 42. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los 3 puntos muestreados, Paz y progreso I, Colonia Ista y Palmo la Danta de los meses de octubre 2020 y marzo 2021. Fuente: (Elaboración propia)

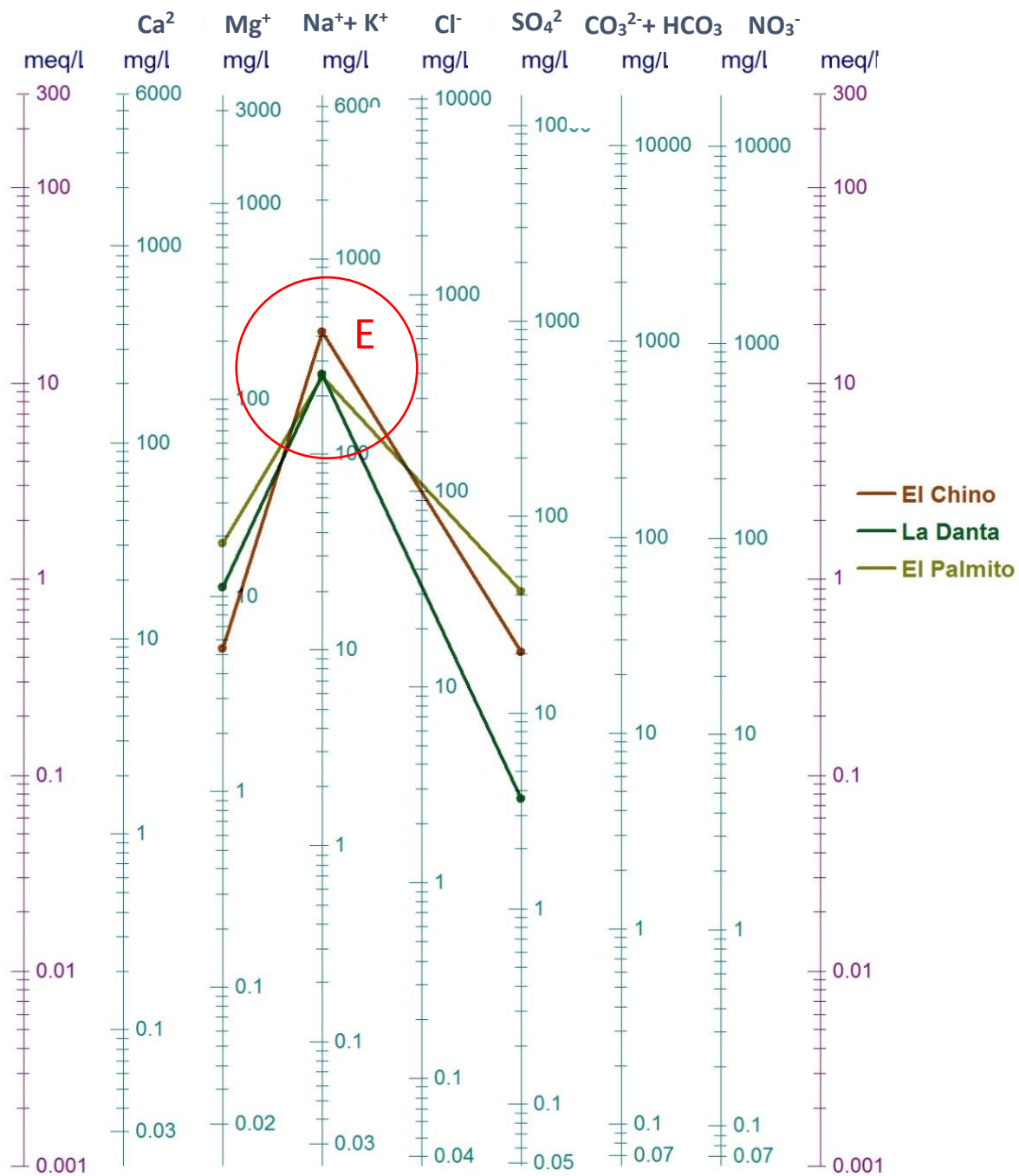
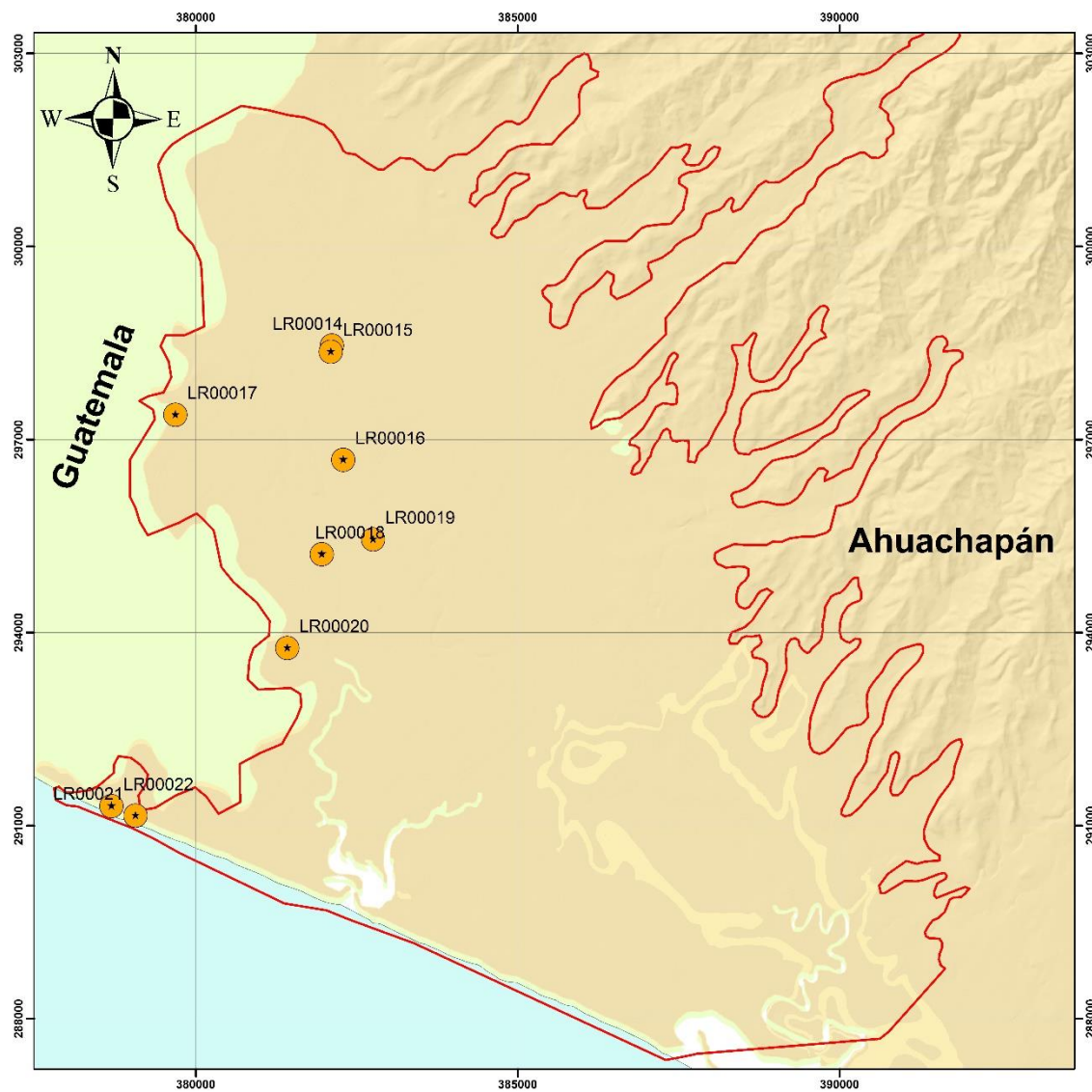


Figura 43. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los 3 puntos muestreados, El chino, La Danta y El Palmito en el año 2015. Fuente: (Elaboración propia)

3.4 Prospección Geofísica

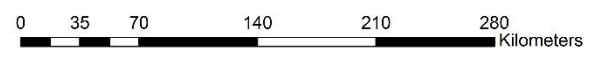
Se realizan 9 perfiles distribuidos en la zona de estudio, utilizando el programa Res2Dinv de las cuales se muestra su pseudosección, para la mayoría de perfiles explorados se muestra una distribución de materiales superficiales conformados por una matriz de arcilla en los primeros 5 metros de profundidad, la toma de datos se realizó a inicios de Diciembre 2020, al final de la temporada lluviosa, esta época marca las condiciones para la identificación del nivel freático en su punto más somero.

La ubicación de las Tomografías Eléctricas se realizó considerando criterios como la distribución espacial, las zonas que requerían mayor interés a continuación en la figura 44 se muestra los puntos donde se realizaron las tomografías eléctricas, cabe recalcar que para los modelos LR00021 (figura 52) y LR00022 (figura 53) se realizaron para explorar interfaz de agua salada (del mar) con el agua dulce del acuífero costero.



Leyenda

- Zona de estudio
- Cuenca baja del río Paz
- ★ Tomografías electricas



1:2,500,000

Elaborado:
Natalia Desiree Santamaria
Base de datos: SIG-UES



Figura 44. Mapa de Ubicación de los perfiles geofísicos en la zona de estudio. Fuente: (elaboración propia)

A continuación, se muestra los modelos de resistividad 2D LR00014, LR00015 y LR00016

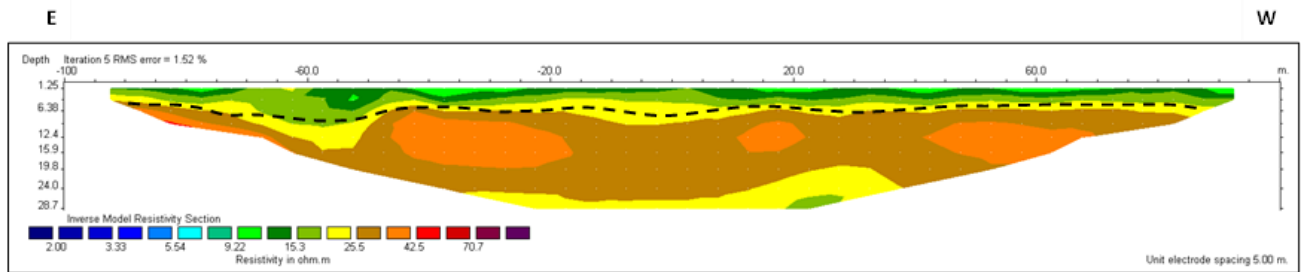


Figura 45. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00014.

Del modelo de inversión se observa que la profundidad de exploración máxima alcanzada fue de 28.7m. En los primeros 5 metros de profundidad se tiene resistividades que van de 9.22 a 25.5 $\Omega \cdot m$, lo que correspondería a una matriz de arcilla (figuras 45 46 y 47).

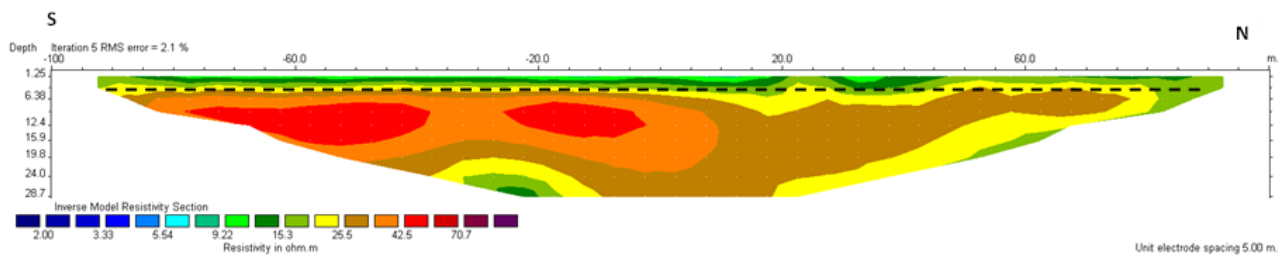


Figura 46. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00015.

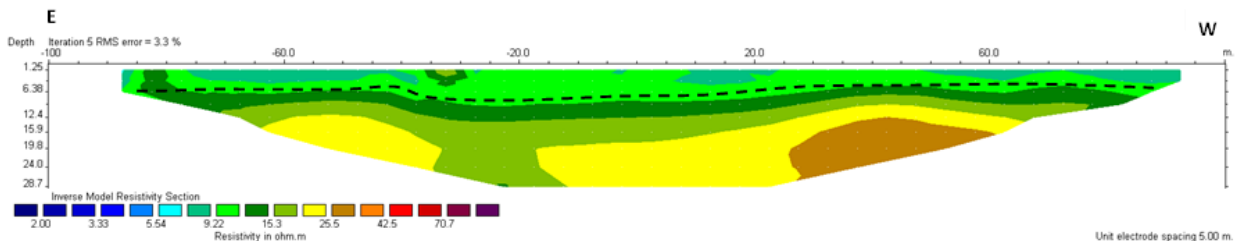


Figura 47. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00016.

Desarrollada en dirección oeste-este, el modelo LR00017 (figura 48) muestra una transición de la zona no saturada a la saturada se presenta a una profundidad aproximada de 7 m, se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz de arcilla esta situación es notoria debido a la cercanía del río Paz; sin embargo, esta prospección se llevó a cabo en los alrededores del cultivo de caña y también podría tener una influencia la extracción excesiva de agua de los pozos que rodean el cultivo.

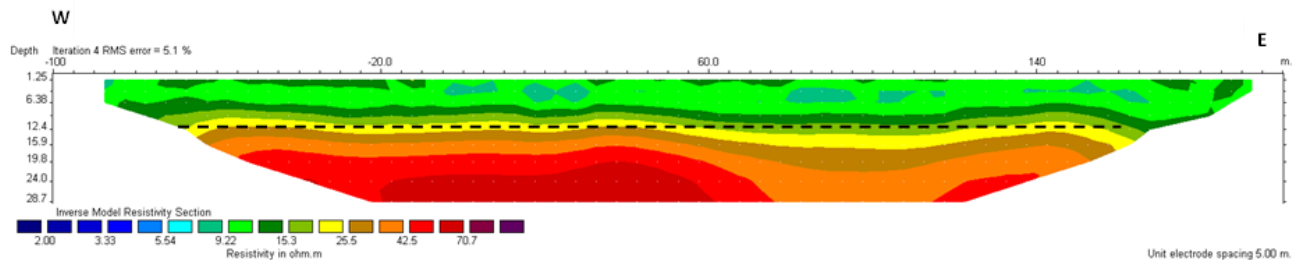


Figura 48. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00017

En la figura 49 y 50 se muestran los resultados de la inversión de los modelos que permite observar una sección de resistividad que rondan los 9.22- 15.3 $\Omega.m$, una zona de matriz arcillosa, estos modelos muestran una posible ubicación del nivel freático a una profundidad de los 9 m, esto podría estar asociado con la extracción de agua para riego en las plantaciones de caña de azúcar que abundan en la zona, además existe una cantidad muy densa de pozos en este sitio. Es posible que geomorfológicamente, esta zona pudo existir un valle que se fue rellenando por depósitos fluviales del río Paz y como consecuencia tener un nivel freático más profunda.

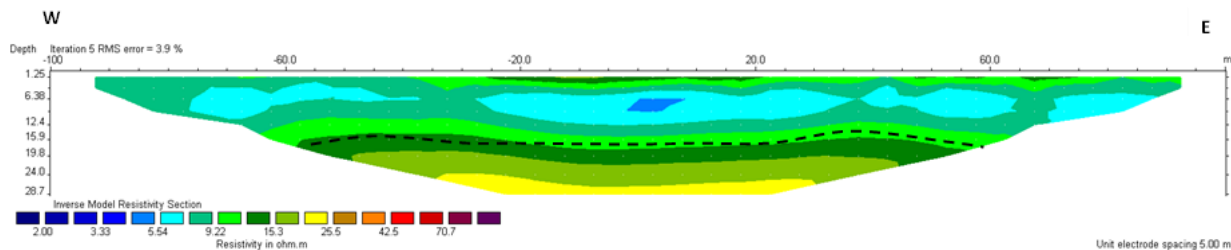


Figura 49. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00018.

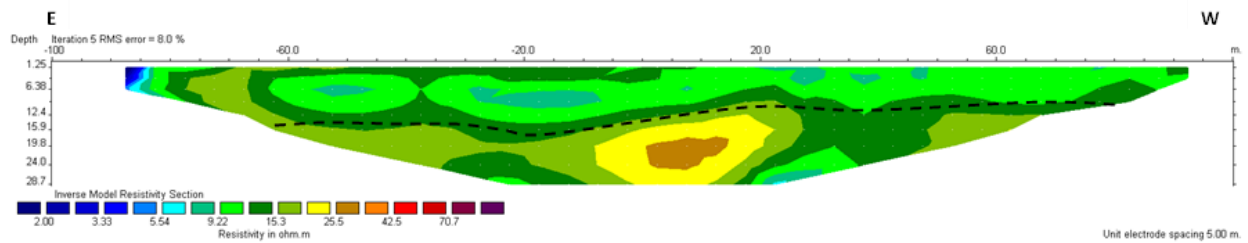


Figura 50. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00019.

El modelo de resistividad figura 51 muestra una distribución de resistividades muy heterogénea posiblemente asociada con una distribución irregular de sedimentos depositados en la historia geológica de río Paz, la resistividad esta entre 3.33 a 9.22 $\Omega.m$, mostrando una zona de matriz arcillosa, sin embargo, es posible inferir un nivel de la zona saturada a partir de los 6m de profundidad. Los tonos azules pueden estar representando estructuras de tipo canal rellenos con materiales arcillosos y salinos.

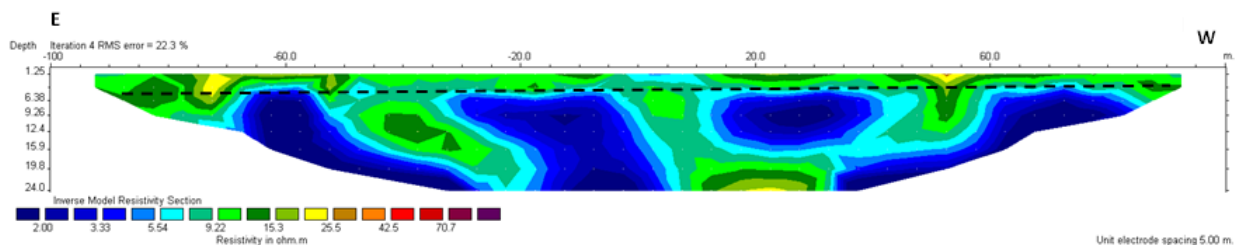


Figura 51. Tomografías eléctricas resultado del Modelo 2D del perfil LR00020.

En la figura 52 y 53 se muestra la inversión de los modelos de resistividad los cuales se realizaron para explorar interfaz de agua salada (del mar) con el agua dulce del acuífero costero. Este perfil inició en el punto de playa y se oriente al norte, el modelo muestra la interfaz de agua salada y dulce típica de un entorno costero. A medida que se avanza hacia el norte se identifican valores de resistividad eléctrica que corresponden con una zona saturada de agua salada. Esta situación corresponde con el hecho de que pozos excavados en esa zona producen aguas muy salobres, tal como lo manifiestan los pobladores de la zona, los resultados muestran una alta concentración de agua salada (valores de resistividad muy bajos) en una dirección alejándose de la playa.

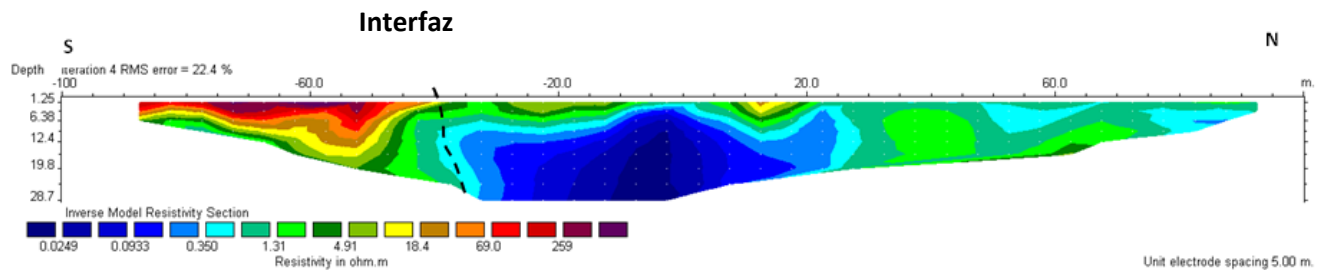


Figura 52. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00021.

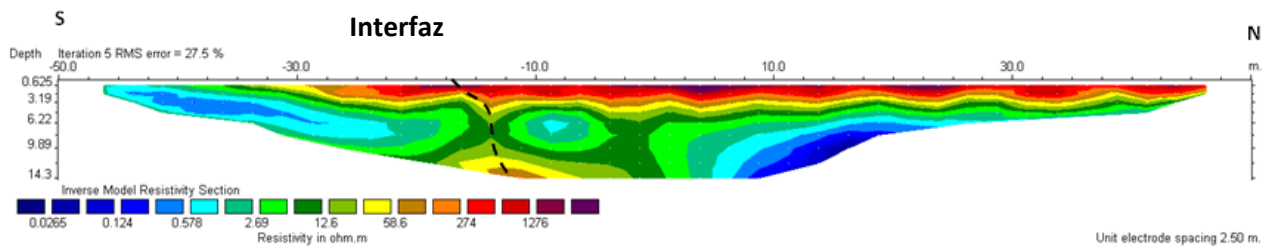


Figura 53. Tomografía eléctrica resultado del Modelo 2D del perfil LR00022.

3.4.1 Perfiles geolétricos

Para los perfiles geolétricos, se partió de los sondeos eléctricos verticales realizados en un estudio previo de dieciséis (16) SEV hechos por (GM-UNES,2013) y dos (2) SEV del estudio de Hernández G. (2016), siendo de este último estudio donde se retoman los perfiles geolétricos en base a los sondeos eléctricos verticales realizados en la zona de estudio, con el fin de mostrar los materiales en función de su comportamiento resistivo, los perfiles se ubican en figura 54 en el sentido transversal a la costa (P1 N-S) y uno paralelo (P2 P-O), con el objeto de observar las variaciones en los espesores de los estratos y comportamiento resistivo.

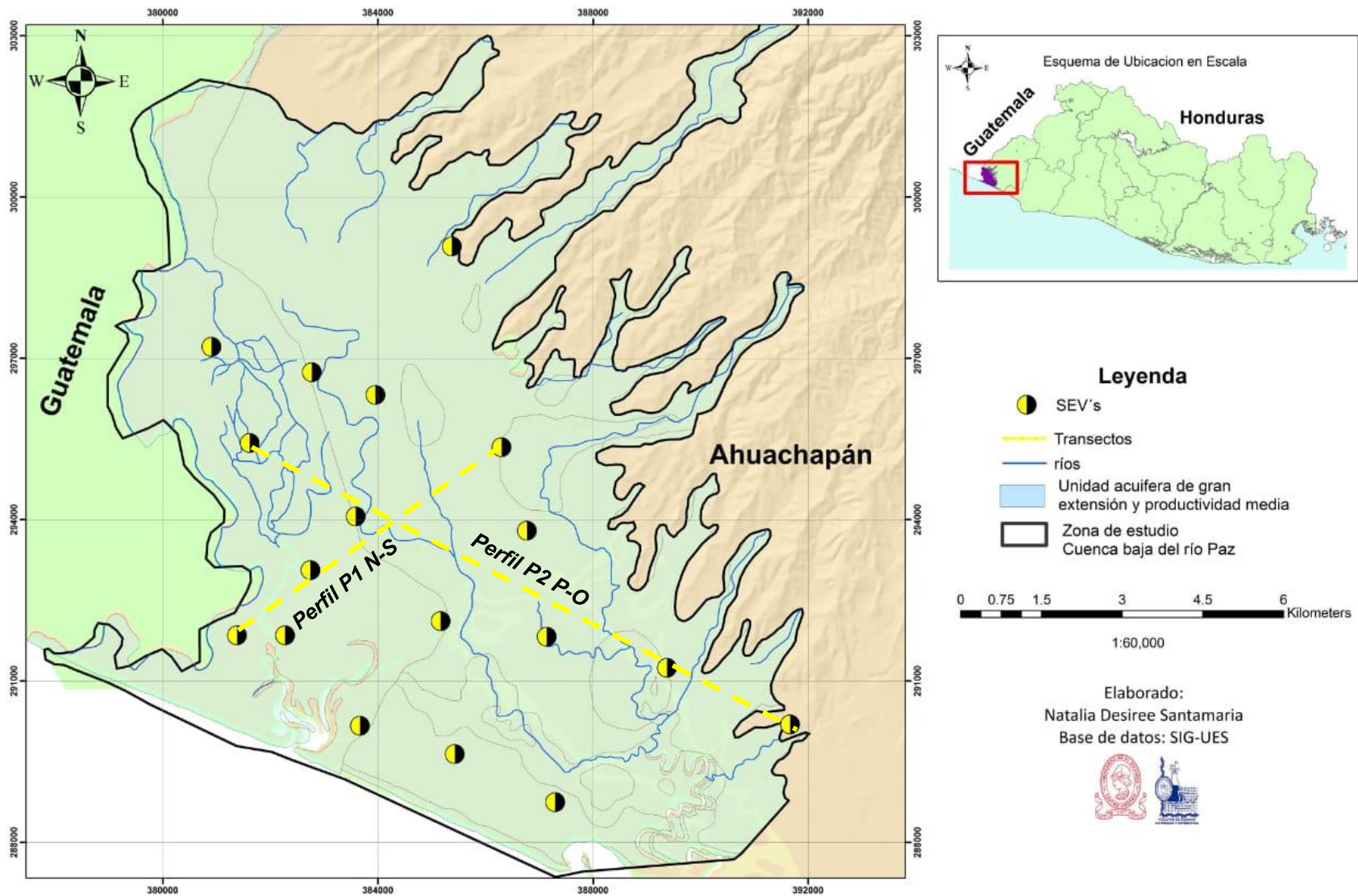


Figura 54. Secciones transversales que definen perfiles litológicos. Fuente: Hernández G. (2016) (Elaboración propia)

Se observó que el subsuelo de la zona de estudio está constituido principalmente por tres capas predominantes, las cuales presentan un comportamiento resistivo – conductivo – resistivo, en lo que respecta al paso de la corriente eléctrica. La capa resistiva, está formada por piroclastos y aluviales no consolidados, capa en la cual se localiza principalmente el agua dulce correspondiente al acuífero somero. La capa conductiva, está compuesta por material aluvial fluvial, característica que son comúnmente observada superficialmente en zona de manglares y ríos; mientras que el estrato resistivo localizado a profundidad es una capa impermeable, asociada a un basamento geológico y que puede estar constituida por aglomerados compactos no alterados (base de roca del acuífero) Hernández G. (2016)

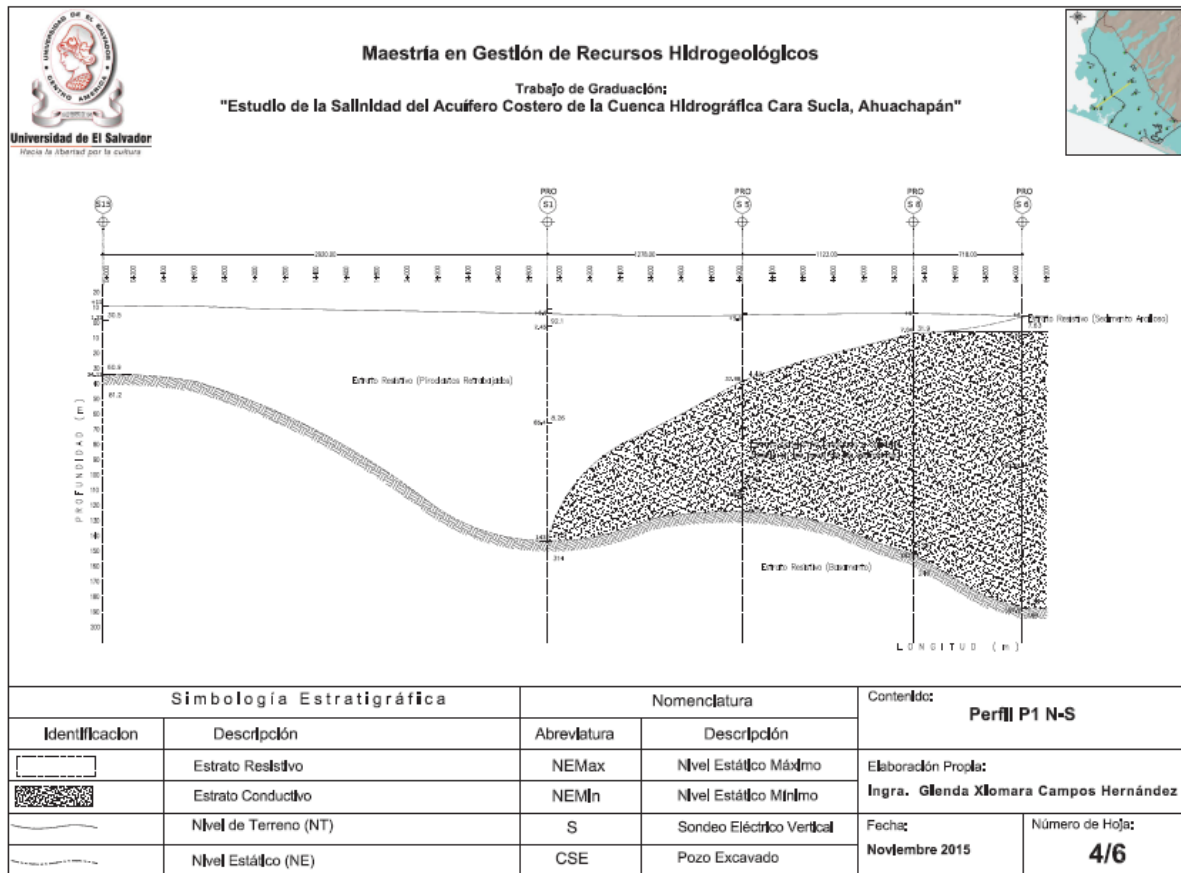


Figura 55. Perfil litológico paralelo a la costa, de norte a sur (perfil P1 N-S). Fuente: Hernández G. (2016)

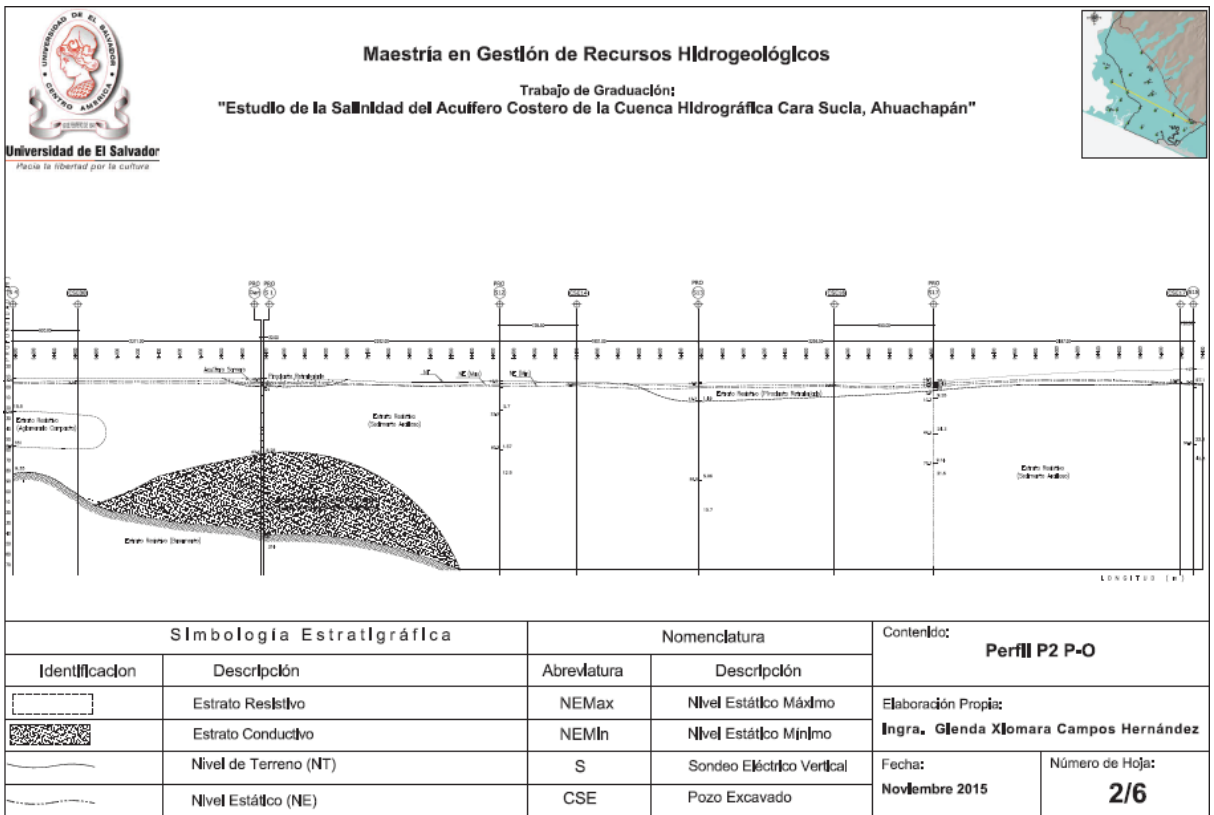
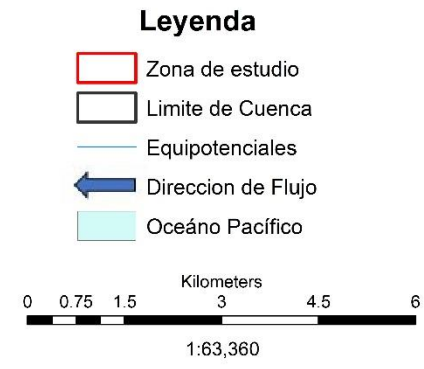
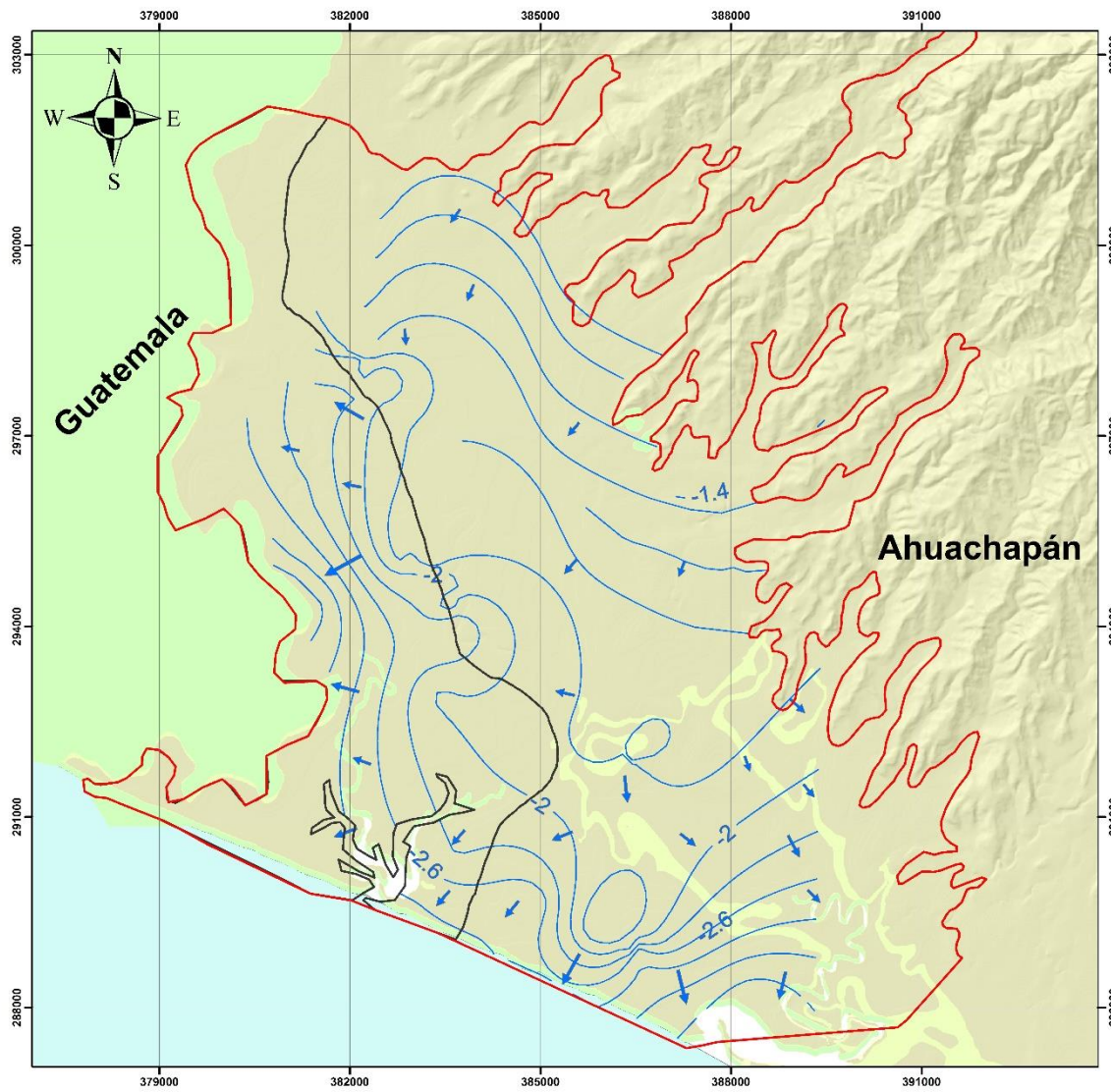


Figura 56. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P2 P-O). Fuente: Hernández G. (2016)



Elaborado:
Natalia Desiree Santamaria
Base de datos: SIG-UES



Figura 57. Mapa de equipotenciales y dirección de flujo. Fuente: LabSIG-CIMAT. (Elaboración propia)

En cuanto a la dirección del flujo de agua subterránea, se puede observar según el mapa anterior, que el acuífero presenta una condición natural de descarga, en primer lugar la dirección del flujo predominante hacia el mar en la parte derecha, es decir lo que corresponde a la cuenca entre el río Paz y el río Sunza; mientras que el acuífero que corresponde a la parte baja del río Paz, la dirección del flujo tiene una mayor tendencia hacia el río Paz que hacia el mar, las profundidades observadas son muy someras y varían desde 20 centímetros de profundidad hasta 5 metros. Sin embargo, es importante hacer notar que, por los análisis geofísicos, en la zona entre el río Paz y la comunidad El Palmo La Danta hay una variación significativa en profundidad y en dirección de flujo, que debe de estudiarse con más profundidad.

4. CONCLUSIONES

- I. Respecto a la dirección del flujo de agua subterránea, se puede concluir que el acuífero superficial presenta una condición natural de descarga predominante hacia el mar en la parte derecha del área de estudio, es decir lo que corresponde a la cuenca entre el río Paz y el río Sunza; mientras que el acuífero que corresponde a la parte baja de la cuenca del río Paz, la dirección del flujo tiene una mayor tendencia hacia el río que hacia el mar.
- II. Los análisis hidrogeoquímicos de los dos pozos, permiten una clasificación limitada del acuífero, denominando al agua como bicarbonatada sódica, sin embargo, se logra observar que está muy cerca de clasificarse como clorurada y la muestra retomada en El Palmo La Danta se clasifica como clorurada sódica. Además, los niveles de conductividad en los pozos excavados han mostrado valores muy altos de lo normal en comparación con los que presenta la OMS para agua de consumo humano.
- III. Por otro lado, los modelos de resistividad en dos dimensiones muestran una distribución relativamente uniforme de materiales donde predomina una matriz arcillosa (valores de resistividad menores a 10 Ohm.m) en los primeros 5 metros del subsuelo de acuerdo con los resultados de las figuras de la 45 a los 51. La

presencia de estos materiales puede estar controlada por la dinámica del río Paz.

- IV. En el caso de los resultados de las resistividades mostradas en las figuras 49 y 50 indican una situación particular, ya que la zona saturada se encuentra a una profundidad mayor que la de los otros perfiles, esto posiblemente asociado con el abatimiento hidráulico en el acuífero superficial debido a la demanda que origina la extracción de agua para las actividades agrícolas en las plantaciones de caña de azúcar.
- V. En cuanto a los resultados de las resistividades mostradas en las figuras 51 y 52 permitieron identificar la interfaz de agua salada (mar) del acuífero costero. El modelo indica que a medida se avanza al norte hay una zona saturada de muy baja resistividad eléctrica, esto correlaciona la presencia de agua muy salada en los pozos excavados en la zona, manifestado por los pobladores de la zona. Es importante seguir explorando la costa para identificar los límites de este acuífero salado.
- VI. La recarga potencial total del área de estudio es de $23.34 \text{ mm}^3/\text{año}$ anualmente, y su volumen promedio de agua anualmente es de $25.58 \text{ mm}^3/\text{año}$ de los cuales el 68.5 % es aportado por los pastizales, mientras que el cultivo de caña aporta un 25 %. El aporte de mangle y bosque salado es nulo para la recarga potencial. Es de tomar en cuenta que el cultivo de caña ha crecido 2.65 veces más desde el siglo pasado, por lo que la posibilidad de recarga ha disminuido significativamente, Finalmente las áreas asignadas para pastizales son las que presentan valores más altos de infiltración, por lo que son las zonas de mayor recarga en el área de estudio.

5. RECOMENDACIONES

Manejo de agua

- I. Según las recomendaciones de la FAO (Ayers & Westcot, 1994), el riego debe limitarse de bajo a medio en sitios con TDS entre 450-2000 mg/L, conductividad eléctrica entre 700-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, concentración iónica de sodio > 3 (meq), concentración iónica de cloruro entre 4-10 meq. Estos índices muestran que las medidas de restricción baja o media deben tomarse ya al inicio de la estación seca para garantizar la protección a largo plazo de los suelos y los cultivos en las comunidades de Rancho San Marco, El Chino y El Palmo La Danta.
- II. Diseñar un plan de manejo integral del recurso hídrico, en conjunto con todos los involucrados del uso y mantenimiento del agua.

Monitoreos y técnicas

- III. Los perfiles geofísicos han mostrado la presencia de agua salina en el emplazamiento de la playa de Bola de Monte. Deberían realizarse más investigaciones para determinar el alcance de esta intrusión en el terreno.
- IV. Se desconoce el origen de la salinización del agua en la zona de El Palmo La Danta y El Chino. Habría que seguir investigando para determinar el origen de esta salinidad, que podría deberse a la removilización de antiguas bolsas de agua salada, a la disolución de capas sedimentarias oceánicas, a una mala gestión de las técnicas de riego o a una combinación de estos factores.
- V. Los pozos de monitoreo pueden ser más puntos, para abarcar de forma homogénea toda el área de interés, sobre todo en el punto de la comunidad de El Palmo La Danta, ya que registra datos muy anómalos y continuar con los mismos de forma más periódica.
- VI. Agregar más análisis de iones mayores en más pozos, para categorizar mejor el

comportamiento hidrogeoquímico de la zona de estudio y precisar el mapa de uso de suelos de la zona de estudio para realizar un balance hídrico más exacto.

- VII. Establecer un programa de monitoreo que permita realizar prospecciones geofísicas al final de la época seca (marzo-abril) y final de la temporada lluviosa (septiembre-octubre), con especial énfasis en las cercanías de las zonas con plantaciones de caña de azúcar y poder correlacionar la profundidad del nivel freático con la extracción continua de agua.

- VIII. Gestionar la construcción de pozos (saca núcleos) para determinar la litología de forma más detallada, ya que la geología no es muy específica en la Zona.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado C., Barahona M (2016) “Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador”.
- Alvarado C, Wildi M, Castillo L, Santamaria N, Menjívar F., (2021) Informe hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz del municipio de San Francisco Menéndez.
- Álvarez, E., & Rodríguez Pacas, G. (2001). Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:08, Agua. Agua Potable (ICS 13.060.20;). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- Aperlo, C. A., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater, and Pollution*. The Netherlands. Custodio.
- ABEM Instrument, A. (2009). *Instruction Manual Terrameter SAS 4000/ SAS 1000*. Sweden
- BASIM/UICN, (2004). *Análisis de Actores de la Región Hidrográfica Cara Sucia San Pedro Belén Ahuachapán, El Salvador*.
- Baxter, S. (1984) “Léxico estratigráfico de El Salvador. Comisión ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (C.E.L) El Salvador.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (s.f.). *Hidrología Subterránea*. En E. Custodio, & M. R. Llamas, *Hidrología Subterránea*.

- Coto V. (2017) Tesis “Caracterización hidrogeológica y geoquímica del acuífero costero de la península de san juan el golfo, municipio de Jiquilisco y puerto el triunfo, departamento de Usulután”.
- Custodio E, (2017) Salinización de las aguas subterráneas.
- Custodio E, (2020) Educación y ciencia para salvaguardar el derecho humano al agua: papel de las aguas subterráneas.
- Dürr, F. (1960) “El Marco geológico, p 8-24, in: Energía Geotérmica, Informe 1, Servicio Geológico Nacional. El Salvador
- Duarte, J.R., (1998) Estudio hidrogeológico del acuífero de Galuchaba. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”. El Salvador.
- Deras Cortéz, J. R. (2003). Guía técnica de riegos. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
- Geólogos del Mundo (2011). “Caracterización y análisis de las amenazas de inundación e inestabilidad de ladera en la Microrregión Ahuachapán Sur. El Salvador
- González C. (2020) Estudios de infiltración y determinación de la constante de permeabilidad en los suelos.
- Gunther Schosinsky (2006) cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos.
- Gimena, E., & Llamas, M. R. (1988). Hidrología Subterránea. Omega.

- Gabriels, D., Lobo, D., & Pulido, M. (2014). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos.
- Hernández G. (2016) Tesis “Estudio de la salinidad del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán”.
- Herrera E. (2010) Informe “Dinámica Hidrogeológica en la cuenca baja del río Paz”
- Hamad, S. (2009). Geoestatistical analysis of groundwater levels in the south Al Jabal Al Akhdar area using GIS Ostrava .
- Iglesias A, Villalobos G, Rodríguez R, Minga J, (2021) Aguas Subterráneas. Exploración, evaluación, caracterización y gestión (Iglesias et al.)
- JICA (2003) Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá, Colombia.
- Lopez-Geta J, Fornés J. (2009) “Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo”
- MARN (2021) Obtenido de <http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/>
- Martinez R, (2018) Caracterización hidrogeológica del acuífero poroso en la zona del distrito de riego de zapotitán.
- MARN (2017). Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias

- Quiñonez J. (2016) informe “Impactos de la expansión en la Industria azucarera en la zona marino-costera de El Salvador: Caso zona baja del río Paz”.
- Reynolds, W. D., & Elrick, D. E. (1985). The constant head well permeameter: Effect of unsaturated flow. *Soil Science*, 139: 172-180.
- Rodríguez, M. G. (2013). Estimación de la infiltración del agua de lluvia con permeámetro de Guelph. *Revista Electrónica de Medio Ambiente UCM*
- Sahuquillo A, Cassiraga E, Solera A, Murillo J, (2010) Modelos de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas.
- SOILMOISTURE. (s.f.). GUELPH PERMEAMETER CALCULATOR SPREADSHEET. Soilmoisture Equipment Corp.
- UNES-GEOLOGOS DEL MUNDO (2012) “Gestión sustentable de la cuenca baja del río paz” Ahuachapán, El Salvador.
- Wetlands international (2010) “Dinámica hidrológica en la cuenca baja del río Paz” Ahuachapán, El Salvador.
- Weber, H, Wiesemann, G. (1978) “Mapeo geológico por la misión geológica Alemana en El Salvador en colaboración con el centro de investigaciones geotecnicas. Publicado por Bundesanstalt Für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. (Alemania)
- Wildi, M.; Jandres Vásquez, M.; Santamaría, N.; Padilla Moreno, A.; Recinos Paredes, G. V.; Villanueva Ramírez, G.; López, D., (2021). “Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador”.

ANEXOS

Anexo 1. Balances hídricos de suelos de las pruebas de permeabilidad.

Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán 2020

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	Bosque natural												
Simbología													
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]	254.00												
Kp [0.01%]	0.20												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	0.71635						por peso						
I [0.01%] =	1						(%)						
DS (g/cm ³):	1.30						(mm)						
PR (mm)	2000.00						CC 29.00 754.00						
HSi (mm)	550.00						PM 15.00 390.00						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11						(CC-PM) 14.00 364.00						
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	7.72	27.78	59.78	47.44	52.71	62.71	34.28	10.86	2.25	313.19
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	30.86	111.13	239.10	189.74	210.85	250.85	137.11	43.43	0.00	1213.07
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	482.10	451.16	430.66	415.14	424.13	478.84	601.04	647.38	700.96	754.00	550.00	526.83	
C1	0.25	0.17	0.11	0.15	0.40	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.38	
C2	0.14	0.10	0.05	0.07	0.19	0.48	0.61	0.81	1.00	0.95	0.33	0.22	
HD (mm)	92.10	61.16	40.66	56.00	145.25	327.94	400.78	468.23	561.81	501.11	203.43	136.83	
ETR (mm)	30.94	20.50	15.52	21.87	56.41	116.91	143.40	157.27	155.16	151.97	66.60	44.73	981.28
HSf (mm)	451.16	430.66	415.14	424.13	478.84	601.04	647.38	700.96	754.00	739.14	526.83	482.10	
DCC (mm)	302.84	323.34	338.86	329.87	275.16	152.96	106.62	53.04	0.00	14.86	227.17	271.90	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.65	0.00	0.00	0.00	42.65
NR (mm)	427.39	457.89	510.31	501.67	410.76	205.05	141.10	69.69	0.00	18.91	310.70	377.00	3430.44

Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Caña de azúcar, Garita palmera, Ahuachapán 2020

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	caña												
Simbología													
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]	1658.00												
Kp [0.01%]	0.20												
Kv [0.01%]	0.81												
Kfc [0.01%]	1						por peso						
I [0.01%] =	1						(%)						
DS (g/cm ³):	1.40						(mm)						
PR (mm)	1500.00						CC 23.00 483.00						
HSi (mm)	280.00						PM 10.00 210.00						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11						(CC-PM) 13.00 273.00						
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	5.00	16.67	35.87	28.46	31.63	37.63	20.57	6.51	2.25	192.25
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	122.24	263.01	208.72	231.93	275.94	150.82	47.77	0.00	1334.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	252.61	235.25	224.98	218.24	232.67	288.83	413.85	457.17	483.00	483.00	280.00	280.81	
C1	0.16	0.09	0.05	0.15	0.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	0.26	
C2	0.07	0.04	0.02	0.04	0.16	0.63	0.86	1.00	1.00	0.98	0.19	0.12	
HD (mm)	42.61	25.25	14.98	41.81	144.91	341.84	412.57	479.11	548.94	423.82	117.77	70.81	
ETR (mm)	17.36	10.27	6.75	19.14	66.08	137.99	165.39	173.92	155.16	154.54	46.95	28.20	981.75
HSf (mm)	235.25	224.98	218.24	232.67	288.83	413.85	457.17	483.00	483.00	479.29	280.81	252.61	
DCC (mm)	247.75	258.02	264.76	250.33	194.17	69.15	25.83	0.00	0.00	3.71	202.19	230.39	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.19	120.77	0.00	0.00	0.00	152.96
NR (mm)	385.88	402.80	444.98	424.85	320.10	100.15	38.31	0.00	0.00	5.20	305.35	352.01	2779.62

Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Bosque Salado, Garita palmera, Ahuachapán 2020

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	Bosque salado												
Simbología													
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]	8.90												
Kp [0.01%]	0.20												
Kv [0.01%]	0.20						por peso						
Kfc [0.01%]	0.00823						(%) (mm)						
I [0.01%] =	0.40823						CC	31.00	812.20				
DS (g/cm ³):	1.31						PM	17.00	445.40				
PR (mm)	2000.00						(CC-PM)	14.00	366.80				
HSi (mm)	550.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.20												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	7.72	27.78	59.78	47.44	52.71	62.71	34.28	10.86	2.25	313.19
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	12.60	45.36	97.61	77.46	86.08	102.41	55.97	17.73	0.00	495.21
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	18.26	65.76	141.49	112.28	124.77	148.44	81.14	25.70	0.00	717.85
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	501.09	482.49	470.12	460.73	462.48	483.71	533.12	549.90	567.04	594.72	550.00	527.91	
C1	0.15	0.10	0.07	0.08	0.17	0.37	0.45	0.52	0.61	0.56	0.33	0.22	
C2	0.09	0.06	0.03	0.04	0.08	0.20	0.23	0.27	0.35	0.32	0.20	0.13	
HD (mm)	55.69	37.09	24.72	27.93	62.44	135.92	165.18	190.58	224.04	205.29	122.33	82.51	
ETR (mm)	18.60	12.36	9.39	10.85	24.13	48.20	60.68	68.94	74.73	68.75	39.82	26.82	463.27
HSf (mm)	482.49	470.12	460.73	462.48	483.71	533.12	549.90	567.04	594.72	581.94	527.91	501.09	
DCC (mm)	329.71	342.08	351.47	349.72	328.49	279.08	262.30	245.16	217.48	230.26	284.29	311.11	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	466.60	484.76	529.04	532.53	496.37	399.87	379.49	350.14	297.92	317.53	394.59	434.12	5082.97

Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Manglar, Garita palmera, Ahuachapán 2020

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	Manglar												
Simbología													
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]	7.50												
Kp [0.01%]	0.20												
Kv [0.01%]	0.20						por peso						
Kfc [0.01%]	0.00694						(%) (mm)						
I [0.01%] =	0.40694						CC 31.00 812.20						
DS (g/cm ³):	1.31						PM 17.00 445.40						
PR (mm)	2000.00						(CC-PM) 14.00 366.80						
HSi (mm)	625.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	5.00	16.67	35.87	28.46	31.63	37.63	20.57	6.51	2.25	192.25
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	13.66	49.74	107.03	84.93	94.38	112.29	61.38	19.44	0.00	542.86
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	19.91	72.49	155.98	123.78	137.55	163.65	89.45	28.33	0.00	791.15
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	536.01	505.74	485.63	470.35	469.01	490.40	543.52	561.21	579.56	609.65	625.00	579.65	
C1	0.25	0.16	0.11	0.11	0.20	0.41	0.50	0.57	0.67	0.62	0.54	0.37	
C2	0.14	0.09	0.05	0.05	0.10	0.22	0.26	0.30	0.39	0.35	0.32	0.22	
HD (mm)	90.61	60.34	40.23	38.61	73.35	152.03	183.06	210.19	246.45	225.62	199.04	134.25	
ETR (mm)	30.27	20.12	15.28	15.00	28.35	53.91	67.25	76.03	82.20	75.56	64.79	43.64	572.39
HSf (mm)	505.74	485.63	470.35	469.01	490.40	543.52	561.21	579.56	609.65	595.46	579.65	536.01	
DCC (mm)	306.46	326.57	341.85	343.19	321.80	268.68	250.99	232.64	202.55	216.74	232.55	276.19	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	431.68	461.51	513.54	521.85	485.46	383.76	361.62	330.52	275.52	297.20	317.88	382.38	4762.91

Balance hídrico de suelos, textura de suelos: Pastizal, Garita palmera, Ahuachapán 2020

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
Zona de Estudio:	Garita Palmera												
Fecha:	9-Dec												
Textura de Suelo:	Pastizal												
Simbología													
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]	380.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.81												
Kfc [0.01%]	0.80451						por peso						
I [0.01%] =	1						CC 22.00 143.00						
DS (g/cm ³):	1.30						PM 9.00 58.50						
PR (mm)	500.00						(CC-PM) 13.00 84.50						
HSi (mm)	100.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	1.5	1.5	4.6	38.6	138.9	298.9	237.2	263.6	313.6	171.4	54.3	2.3	1526.25
Ret [mm]	1.51	1.53	4.63	5.00	16.67	35.87	28.46	31.63	37.63	20.57	6.51	2.25	192.25
Pi (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	122.24	263.01	208.72	231.93	275.94	150.82	47.77	0.00	1334.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.09
HSi (mm)	60.11	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	100.00	72.71	
C1	0.02	0.00	0.00	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.00	0.00	
HD (mm)	1.61	0.13	0.01	33.58	122.24	289.24	293.22	316.43	360.44	235.32	89.27	14.21	
ETR (mm)	1.48	0.12	0.01	33.58	96.01	168.99	177.88	173.92	155.16	151.22	75.06	12.59	1046.02
HSf (mm)	58.63	58.51	58.50	58.50	84.73	143.00	143.00	143.00	143.00	142.60	72.71	60.11	
DCC (mm)	84.37	84.49	84.50	84.50	58.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	70.29	82.89	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.75	30.84	58.02	120.77	0.00	0.00	0.00	245.39
NR (mm)	238.38	239.42	271.45	244.59	154.28	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	145.35	220.12	1518.78

Anexo 2. Análisis de muestreo en 3 pozos de agua de la cuenca baja del río Paz (enviados a la laboratorio) Agosto 2015.

**ANEXO III
ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA**



**UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 150807376-01**



Pag. 17

Laboratorio de FUSADES

DATOS GENERALES

Muestra: P 3 EL CHINO
Solicitante: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
Responsable: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
Dirección: AVENIDA EL ROCIO 104 COL.TOLUCA SUR PTE.SAN SALVADOR
Teléfono: 7882-5329 Fax: Correo Electronico

FECHAS

Recibido : 28/08/2015
Análisis : 28/08/2015
Reporte : 02/10/2015

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA*
A001 **pH	7.69		8.5	Método Electrométrico	4500-H+
A002 Conductividad Eléctrica	1375.00	µS/cm	S.R.D.	Método de Laboratorio	2510-B
A005 Magnesio	6.40	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	421.25	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	2.62	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	20.26	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E
A015 Boro	0.26	mg/L	0.50	Método de Curcumina	4500-B B
A019 Dureza Total	72.06	mg/L	500	Titración con EDTA	2340-C
A034 Nitrógeno	0.00	mg/L	S.R.D.	Macro Kjeldahl	4500-N org B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:microhmhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
*Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.8 25/02/2015

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org

Análisis de agua, agosto 2015.



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 160807375-01



Pag. 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: P 2 LA DANTA
 Solicitante: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
 Responsable: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
 Dirección: AVENIDA EL ROCIO 104 COL.TOLUCA SUR.PTE.SAN SALVADOR
 Teléfono: 7882-5329 Fax: Correo Electronico

FECHAS	
Recibido :	28/08/2015
Análisis :	28/08/2015
Reporte :	02/10/2015

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA *
A001 **pH	6.81		8.5	Método Electrométrico	4500-H+
A002 Conductividad Eléctrica	684.00	µS/cm	S.R.D.	Método de Laboratorio	2510-B
A005 Magnesio	10.98	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	265.00	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	9.02	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	3.60	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E
A015 Boro	0.61	mg/L	0.30	Método de Curcumina	4500-B B
A019 Dureza Total	96.08	mg/L	500	Titulación con EDTA	2340-C
A034 Nitrógeno	0.00	mg/L	S.R.D.	Macro Kjeldahl	4500-N org B

*S.M.W.W.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litró
 µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:millilitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
 †Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
 Gerente Unidad de Medio Ambiente

Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
 El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.6 25/02/2015

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
 E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
 www.fusades.org

Análisis de agua, agosto 2015.



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 150807374-01



Pag. 1 / 1 Laboratorio de FUSADES

DATOS GENERALES

Muestra: P I EL PALMITO
 Solicitante: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
 Responsable: JULIO CESAR QUIÑÓNEZ BASAGOITIA
 Dirección: AVENIDA EL ROCIO 104 COL.TOLUCA SUR PTE.SAN SALVADOR
 Teléfono: 7882-5329 Fax: Correo Electronico

FECHAS

Recibido :	28/08/2015
Análisis :	28/08/2015
Reporte :	02/10/2015

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA	MÉTODO	REFERENCIA*
A001 **pH	7.25		8.5	Método Electrométrico	4500-H+
A002 Conductividad Eléctrica	1007.00	µS/cm	S.R.D.	Método de Laboratorio	2510-B
A005 Magnesio	18.60	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	250.00	mg/L	200	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	4.12	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	41.77	mg/L	400	Turbidimetría	4500-SO4-E
A015 Boro	0.68	mg/L	0.30	Método de Curcumina	4500-B B
A019 Dureza Total	172.14	mg/L	500	Titulación con EDTA	2340-C
A034 Nitrógeno	0.00	mg/L	S.R.D.	Macro Kjeldahl	4500-N org B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
 µmhos:microhmhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
 UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.

!Análisis subcontratado.

OBSERVACIONES

Lic. Morena López de Cárcamo
 Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
 No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.8 25/02/2015

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
 E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
 www.fusades.org

Análisis de agua, octubre 2020.



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 201005637-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: POZO # 8, PAZ Y PROGRESO II
 Solicitante: UNES
 Responsable: MICHELL WILDI
 Dirección: SAN SALVADOR
 Teléfono: 2260-1465 Fax:

Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS	
Recibido :	26/10/2020
Análisis :	26/10/2020
Reporte :	09/11/2020

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	METODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	23.55	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Ca/3111-B	
A005 Magnesio	7.30	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Mg/3111-B	
A006 Potasio	47.20	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-K/3111-B	
A007 Sodio	26.60	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Na/3111-B	
A008 Fosfatos	0.39	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórbico	4500-P E	
A009 Sulfatos	33.17	mg/L	260	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	36.46	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	N.D	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	N.D	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 0.0000 B	226.92	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

Luc

FSC 36.01 V.13 21/09/2020

Análisis de agua, octubre 2020.



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 201006638-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: POZO # 11, DOMINGO SANCHEZ, COLONIA ISTA
 Solicitante: UNES
 Responsable: MICHELL WILDI
 Dirección: SAN SALVADOR
 Teléfono: 2250-1465 Fax: Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS	
Recibido :	26/10/2020
Análisis :	26/10/2020
Reporte :	09/11/2020

ANÁLISIS						
DETERMINACION	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	31.08	mg/L	S. R. D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Ca /3111-B	
A005 Magnesio	6.78	mg/L	S. R. D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Mg /3111-B	
A006 Potasio	74.90	mg/L	S. R. D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- K /3111-B	
A007 Sodio	27.50	mg/L	S. R. D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Na /3111-B	
A008 Fosfatos	1.31	mg/L	S. R. D.	Método de Acido Ascór	4500-P E	
A009 Sulfatos	85.74	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	50.68	mg/L	S. R. D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	10.13	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	N. D.	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 0.0000 B	204.96	mg/L	S. R. D.	Método de Titulación	2320-B

Handwritten signature

FSC 35.01 V.13 21/09/2020

Análisis de agua, octubre 2020.



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 201206906-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: MW_POZO_A-3 (10.112.20)

Solicitante: UNES

Responsable: MICHELL WILDI

Dirección: SAN SALVADOR

Teléfono: 2260-1465 Fax:

Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS

Recibido :	15/12/2020
Análisis :	15/12/2020
Reporte :	29/12/2020

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	83.95	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Ca /3111-B	
A005 Magnesio	26.75	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Mg /3111-B	
A006 Potasio	24.30	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-K /3111-B	
A007 Sodio	290.00	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Na /3111-B	
A008 Fosfatos	2.34	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórf.	4500-P E	
A009 Sulfatos	619.05	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	594.21	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	0.30	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	N.D	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 0.0000 B	732.00	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

ma.

FSC 36.01 V.13 21/09/2020

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
 E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681 • www.fusades.org

Análisis de agua, marzo 2021



Laboratorio de
FUSADES

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 201206961-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: IM_PI_18/03/21

Solicitante: UNES

Responsable: MICHELL WILDI

Dirección: SAN SALVADOR

Teléfono: 2260-1465 Fax:

Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS

Recibido :	25/03/2021
Análisis :	25/03/2021
Reporte :	09/04/2021

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	24.40	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Ca /3111-B	
A005 Magnesio	12.55	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Mg /3111-B	
A006 Potasio	21.25	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- K /3111-B	
A007 Sodio	142.75	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Na /3111-B	
A008 **Fosfatos	1.73	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórfico	4500-P E	
A009 Sulfatos	171.95	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	227.20	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	N.D	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	N.D	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 13.2000 B	469.70	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

hrc

Análisis de agua, marzo 2021



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 20120602-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: IM_P2_18/03/21

Solicitante: UNES

Responsable: MICHELL WILDI

Dirección: SAN SALVADOR

Teléfono: 2260-1465

Fax :

Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS

Recibido :	25/03/2021
Análisis :	25/03/2021
Reporte :	09/04/2021

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	31.91	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Ca /3111-B	
A005 Magnesio	9.20	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Mg /3111-B	
A006 Potasio	2.51	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- K /3111-B	
A007 Sodio	33.05	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Na /3111-B	
A008 Fosfatos	0.41	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórfico	4500-P E	
A009 Sulfatos	80.02	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	54.18	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	23.93	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	0.01	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 0.0000 B	192.76	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

lcc

Análisis de agua, marzo 2021



UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE
MUESTRA 201206963-01

Pag. 1 / 2

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: IM_P3_18/03/21

Solicitante: UNES

Responsable: MICHELL WILDI

Dirección: SAN SALVADOR

Teléfono: 2260-1465

Fax :

Correo Electronico michel.wildi@gmail.c

FECHAS

Recibido :	25/03/2021
Análisis :	25/03/2021
Reporte :	09/04/2021

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*	
A004 Calcio	90.50	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Ca /3111-B	
A005 Magnesio	40.15	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Mg /3111-B	
A006 Potasio	29.65	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- K /3111-B	
A007 Sodio	109.38	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Na /3111-B	
A008 **Fosfatos	1.44	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascórbico	4500-P E	
A009 Sulfatos	502.19	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E	
A010 Cloruros	384.49	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-Cl - B	
A011 Nitratos	6.19	mg/L	50	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B	
A012 Nitritos	N.D	mg/L	3	Colorimetría	4500-NO2-B	
A018 Carbonato y Bicarbonato	C 0.0000 B	385.52	mg/L	S.R.D.	Método de Titulación	2320-B

luc

Anexo 3. tablas de monitoreo de pozos y campaña hidrogeológica.

MAYO 2019

N°	Cantón	Coordenadas		T(°C)	pH	Cond (µS/cm)	Salinidad (mg/kg)	TDS
1	La Hachadura	N13 46.449	W090 06.172	37	7.2	1143	578	809
2	La Hachadura	N13 46.458	W090 06.211	36	6.9	1100	555	780
3	La Hachadura	N13 46.709	W090 06.844	30	7.4	830	416	589
4	La Hachadura	N13 47.205	W090 07.057	30	5.8	1045	529	742
5	La Hachadura	N13 48.325	W090 05.443	29	7.2	1041	528	736
6	La Hachadura	N13 47.908	W090 05.424	29	7.3	793	398	563
8	La Hachadura Guadalupe	N13 49.928	W090 05.810	30	6.9	475	221	340
9	Garita Palmera	N13 43.870	W090 04.671	29	8.1	517	256	368
11	Garita Palmera	N13 44.956	W090 05.152	29	7.1	1392	714	989
12	Garita Palmera	N13 45.014	W090 05.123	28	7.4	38400	2130	2780
13	Garita Palmera	N13 44.993	W090 03.175	29	7.2	853	431	608
14	Garita Palmera	N13 44.776	W090 03.035	29	8.1	6290	3610	4620
15	Garita Palmera	N13 43.918	W090 06.018	31	7.8	3050	1620	2160
16	Garita Palmera	N13 43.923	W090 06.034	30	7.9	1936	1000	1360
17	Garita Palmera	N13 44.357	W090 07.087	29	7.9	1235	630	878

ENERO 2020

N°	Cantón	Coordinante		T(°C)	pH	Cond (µS/cm)	TDS (ppm)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (%)	mV
1	La Hachadura	N13 46.449	W090 06.172	29.3	7.35	1196	595	1.85	19.71	21.4
2	La Hachadura	N13 46.458	W090 06.211	30	7.44	1042	521	1.75	24.8	28.5
3	La Hachadura	N13 46.709	W090 06.844	29.9	7.33	829.8	415.6	1.67	22.8	19.6
4	La Hachadura	N13 47.205	W090 07.057	30.1	7.2	1203	601.3	2.5	44.8	11.7
5	La Hachadura	N13 48.325	W090 05.443	29.1	7.16	1045	521.2	2.29	30.5	11.1
6	La Hachadura	N13 47.908	W090 05.424	29.1	7.35	818.3	407.9	3.45	42.3	21.6
8	La Hachadura Guadalupe	N13 49.928	W090 05.810	29.5	6.6	524.5	262.5	0.96	20.4	24.4
9	Garita Palmera	N13 43.870	W090 04.671	28.6	8.22	550.5	276.6	4.65	45.7	73.3
11	Garita Palmera	N13 44.956	W090 05.152	29.2	7.42	1322	661	3.85	51.9	23.5

12	Garita Palmera	N13 45.014	W090 05.123	28.1	7.3	4210	2105	0.86	11.5	20.7
13	Garita Palmera	N13 44.993	W090 03.175	30.2	7.07	1518	758.3	2.59	36.3	3.7
14	Garita Palmera	N13 44.776	W090 03.035	28.5	7.89	6880	3451	1.22	11.9	53.9
15	Garita Palmera	N13 43.918	W090 06.018	29.2	8.18	1426	712.3	4.67	81.4	70.9
17	Garita Palmera	N13 44.357	W090 07.087	28.7	7.81	822.3	411.2	2.32	25	50.9

FEBRERO 2020

N°	Cantón	Coordinante		T(°C)	pH	Cond (μ S/cm)	TDS (ppm)	Oxigeno (mg/L)	Oxigeno (%)	mV
1	La Hachadura	N13 46.449	W090 06.172	29.4	7.51	1152	575.8	0.21	3.6	30.5
3	La Hachadura	N13 46.709	W090 06.844	30.5	7.49	836.4	419.4	ND	ND	29.6
4	La Hachadura	N13 47.205	W090 07.057	30	7.27	1118	559.1	ND	ND	15.6
5	La Hachadura	N13 48.325	W090 05.443	29.1	7.27	1039	518.5	ND	ND	16.1
6	La Hachadura	N13 47.908	W090 05.424	29.2	7.36	797.7	398.9	ND	ND	21.8
8	La Hachadura Guadalupe	N13 49.928	W090 05.810	29.4	6.56	455.6	228.1	ND	ND	24.9
9	Garita Palmera	N13 43.870	W090 04.671	28.7	8.02	578.3	259	ND	ND	60.1
11	Garita Palmera	N13 44.956	W090 05.152	29.3	7.46	1369	684.1	ND	ND	27.9
13	Garita Palmera	N13 44.993	W090 03.175	29.7	7.09	1202	600.8	ND	ND	6.4
15	Garita Palmera	N13 43.918	W090 06.018	30.3	8.36	1469	739.6	ND	ND	79.4
17	Garita Palmera	N13 44.357	W090 07.087	28.6	7.75	1613	807.3	ND	ND	56

OCTUBRE 2020

	Cantón	Coordinante		T(°C)	pH	Cond (μS/cm)	TDS (ppm)	mV
1	La Hachadura	N13 46.449	W090 06.172	29.7	7.01	1096	346.8	20.9
3	La Hachadura	N13 46.709	W090 06.844	30°C	7.2	802	401.2	28.8
4	La Hachadura	N13 47.205	W090 07.057	29.9	6.86	1263	632.3	13
5	La Hachadura	N13 48.325	W090 05.443	29.2	6.99	1005	503.9	17.7
6	La Hachadura	N13 47.908	W090 05.424	29	6.95	979.9	490.7	17.8
8	La Hachadura Guadalupe	N13 49.928	W090 05.810	29.3	6.65	469.7	234.8	0.3
9	Garita Palmera	N13 43.870	W090 04.671	29.6	8.28	392.1	170.8	89.1
11	Garita Palmera	N13 44.956	W090 05.152	28.4	7.04	549.4	271.3	22.1
13	Garita Palmera	N13 44.993	W090 03.175	29.6	6.93	1744	872.1	12.5
15	Garita Palmera	N13 43.918	W090 06.018	30.7	8.07	759.5	380	80
17	Garita Palmera	N13 44.357	W090 07.087	28.9	7.61	933.1	476.4	52.1