Informe Hidrogeológico de la Cuenca baja del río Paz del municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán

Informe hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz del municipio de San Francisco Menéndez

Elaborado por:
M.Sc. César Armando Alvarado Batres
M.Sc. Michel Wildi
M.Sc. Luis Alfonso Castillo Ramos
Br. Natalia Desiree Santamaría Martínez
Br. Fernando Gabriel Menjívar Escobar
Este informe se elaboró en conjunto con la Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES) y el Grupo de Investigación en Hidrogeología (GIH) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador.

Ciudad Universitaria, 15 de marzo de 2021

Contenido

Agradecimientos 1
Introducción. 3
Descripción general. 3
Metodología de investigación 4
Recopilación de información. 5
Geología 7
Hidrología 8
Hidrogeología 9
• Unidades hidrogeológicas. 9
Climatología 10
Uso de suelos 11
Inventario de fuentes de agua 11
Prospección geoeléctrica y registro geofísico 16
Metodología geofísica 16
Pruebas de permeabilidad hidráulica 25
Balance hídrico de suelos 27
Balance hídrico de Schosinsky 29
Hidrogeoquímica 32
Muestreo de aguas para análisis físico-químico y de iones mayores 32
Análisis Físico-químico 35
Calidad del agua 53
Fuentes potenciales de contaminación en la zona 57
Discusión de resultados 59
- Infiltración 59
- Uso de suelo 59
- Prospección Geofísica. 60
- Balance hídrico de suelos 61
- Hidrogeoquímica 62

Modelo conceptual de agua subterránea de la cuenca baja del río Paz 65
Conclusiones. 68
Recomendaciones 70
Bibliografía 72

Anexos 73

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. 4
Ilustración 2. Descripción de la ejecución del trabajo hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz. 5
Ilustración 3. Mapa geológico de la zona de estudio. 8
Ilustración 4. Mapa hidrogeológico de la zona de estudio. 10
Ilustración 5. A la izquierda se muestra el mapa de uso de suelos de 1996 y a la derecha el mapa de uso de suelos de 2016. 11
Ilustración 6. Inventario de pozos de agua. 12
Ilustración 7. Mapa de ubicación de pozos 14
Ilustración 8. Medición de nivel estático en pozos. 14
Ilustración 9. Ubicación de los perfiles geofísicos en la zona de estudio. 17
Ilustración 10. Modelo 2D del perfil LR00014. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 19
Ilustración 11. Modelo 2D del perfil LR00015. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 19
Ilustración 12. Modelo 2D del perfil LR00016. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 20
Ilustración 13. Modelo 2D del perfil LR00017. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 20
Ilustración 14. Modelo 2D del perfil LR00018. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 21
Ilustración 15. Modelo 2D del perfil LR00019. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. 21
Ilustración 16. Modelo 2D del perfil LR00020. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. Los tonos azules pueden estar representando estructuras de tipo canal rellenados con materiales arcillosos y salinos. 22
Ilustración 17. Modelo 2D del perfil LR00021. Este perfil inició en el punto de playa y se oriente al norte, el modelo muestra la interface 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 satura 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. 22
Ilustración 18. Modelo 2D del perfil LR00015. Este perfil inició en el punto de playa y se oriente al norte, el modelo muestra la interface 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 satura 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. 23
Ilustración 19. Permeámetro de Guelph. 25
Ilustración 20. Mapa de ubicación de pruebas de infiltración. 26
Ilustración 21. Medición de parámetros físico-químicos. 32
Ilustración 22. Mapa de ubicación de pozos muestreados 33
Ilustración 23. Diagrama de Stiff 34
Ilustración 24. Diagrama de Piper 34
Ilustración 25. Gráfico de la variación de la temperatura en los pozos de monitoreo. 40
Ilustración 26. Gráfico de la variación de pH en los pozos de monitoreo. 40
Ilustración 27. Gráfico de variación de conductividad en los pozos de monitoreo. 41
Ilustración 28. Gráfico de la variación de Sólidos Totales Disueltos en los pozos de monitoreo. 42
Ilustración 29. Conductividad eléctrica de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020. 48
Ilustración 30. pH de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020. 49
Ilustración 31. Potencial Redox de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020. 50
Ilustración 32. TDS de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020. 51
Ilustración 33. Temperatura de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020. 52
Ilustración 34. Variable de conductividad en el monitoreo en los meses de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020. 43
Ilustración 35. Variable de pH en el monitoreo en el mes de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020. 44
Ilustración 36. Variable de TDS en el monitoreo en el mes de mayo 2019, enero, febrero y octubre de 2020. 45
Ilustración 37. Variable de temperatura en el monitoreo en el mes de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020. 46
Ilustración 38. Variable de redox en el monitoreo en los meses de enero, febrero y octubre de 2020. 47

Ilustración 39. 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. 61
Ilustración 40. Mapa de equipotenciales y dirección de flujo. 65

Índice de tablas.

Tabla 1. Muestra los datos de precipitación y evapotranspiración de la estación H14. 10
Tabla 2. Ubicación de pozos excavados monitoreados por UNES. 12
Tabla 3. Ubicación de pozos inventariados en la campaña hidrogeológica. 13
Tabla 4. Muestra los diferentes arreglos electródicos utilizados en las tomografías de la prospección geofísica en Garita Palmera. 17
Tabla 5. Resultados de infiltración 26
Tabla 6. Índice de Pendientes. 27
Tabla 7. Índices de Cobertura Vegetal. 28
Tabla 8. Parámetros por Textura de Suelo. 28
Tabla 9. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de mayo de 2019 35
Tabla 10. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de enero de 2020 36
Tabla 11. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de febrero de 2020 37
Tabla 12. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de octubre de 2020 38
Tabla 13. Muestra los resultados físico-químicos en la campaña hidrogeológica del mes de diciembre de 2020. 39
Tabla 14. Descripción de los pozos muestreados que comprende: nivel piezométrico en función del suelo (profundidad del agua del suelo en metros), nivel piezométrico en función de la altitud, nivel piezométrico medio anual (desviación estándar), nivel piezométrico mínimo registrado, nivel piezométrico máximo. 53
Tabla 15 Parámetros físico-químicos de los acuíferos en el día de la medición y el promedio registrado desde mayo de 2019 hasta octubre de 2020. Los parámetros reportados son la temperatura, el pH, la conductividad, el total de sólidos disueltos. 54
Tabla 16 Concentraciones medidas de los iones mayoritarios (mg/L). 55
Tabla 17 Cuadro que resume las concentraciones iónicas expresadas en miliequivalentes por litro, el balance iónico, las relaciones iónicas de determinados elementos químicos. 56
Tabla 18. Muestra los valores de infiltración básica obtenido en la campaña hidrogeológica. 59

Agradecimientos

Este trabajo de investigación se ha realizado con la ayuda de diversas instituciones y esfuerzo de muchas personas, teniendo como finalidad un estudio de calidad que sirva para la comprensión de la dinámica del agua subterránea en el sector de la cuenca baja del río Paz y además de cuantificar el recurso existente.

En primer lugar, agradecemos a la Universidad de El Salvador, en específico a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática por la colaboración en recurso humano, equipo tecnológico y logística para la ejecución de este proyecto de investigación. En especial al Grupo de Investigación en Hidrogeología (GIH) y al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección que han puesto todo su esfuerzo en culminar la investigación hidrogeológica en este lugar tan importante para el país.

También, expresamos el agradecimiento a la Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña 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, se agradece a EIRENE SUISSE, por el financiar una parte de esta investigación, ya que era esencial la colaboración de esta institución para completar la exploración del agua subterránea en la zona de interés.

Así mismo, se les agradece a todos los miembros de la Asociación Comunitaria de la Microcuenca del río Aguacate, que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible, ya que fue fundamental su colaboración.

Finalmente, agradecer a todos los que de alguna manera ayudaron para esta investigación y a todos los que se han mencionado, debido que esta es la manera en que podemos desarrollar el trabajo de investigación y responder por medio de la ciencia a las diferentes problemáticas de la sociedad salvadoreña.

INTRODUCCIÓN

(Descripción general y metodología de investigación)

Introducción.

El presente informe tiene como finalidad describir hidrogeológicamente la zona de la cuenca baja del río Paz, sobre todo el acuífero sedimentario en el municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán. Los antecedentes de investigaciones en esta zona se han revisado, para recolectar información previa en las áreas de hidrología, hidrogeología, geología, geofísica, hidrogeoquímica y meteorología.

Para llevar a cabo esta investigación, también se desarrolló una campaña hidrogeológica que tenía como objetivo 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.

Finalmente, esta investigación concluye con la caracterización hidrogeológica del área de interés, que puede servir de base para nuevas líneas de investigación, obras de protección o mitigación, proyección de desarrollo de actividades humanas y otros.

Descripción general.

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°52´53´´ y longitud oeste 89°55´04´´W 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 del mismo, dado a las planicies y cordilleras a las que pertenece.

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Metodología de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se organizan y se describen la secuencia de las actividades realizadas. Las cuales se dividen en tres partes:

1. Recopilación de la información.
2. Trabajo de campo
3. Procesamiento de datos y redacción de informe final

En el siguiente esquema se sintetiza la metodología llevada a cabo en esta investigación.

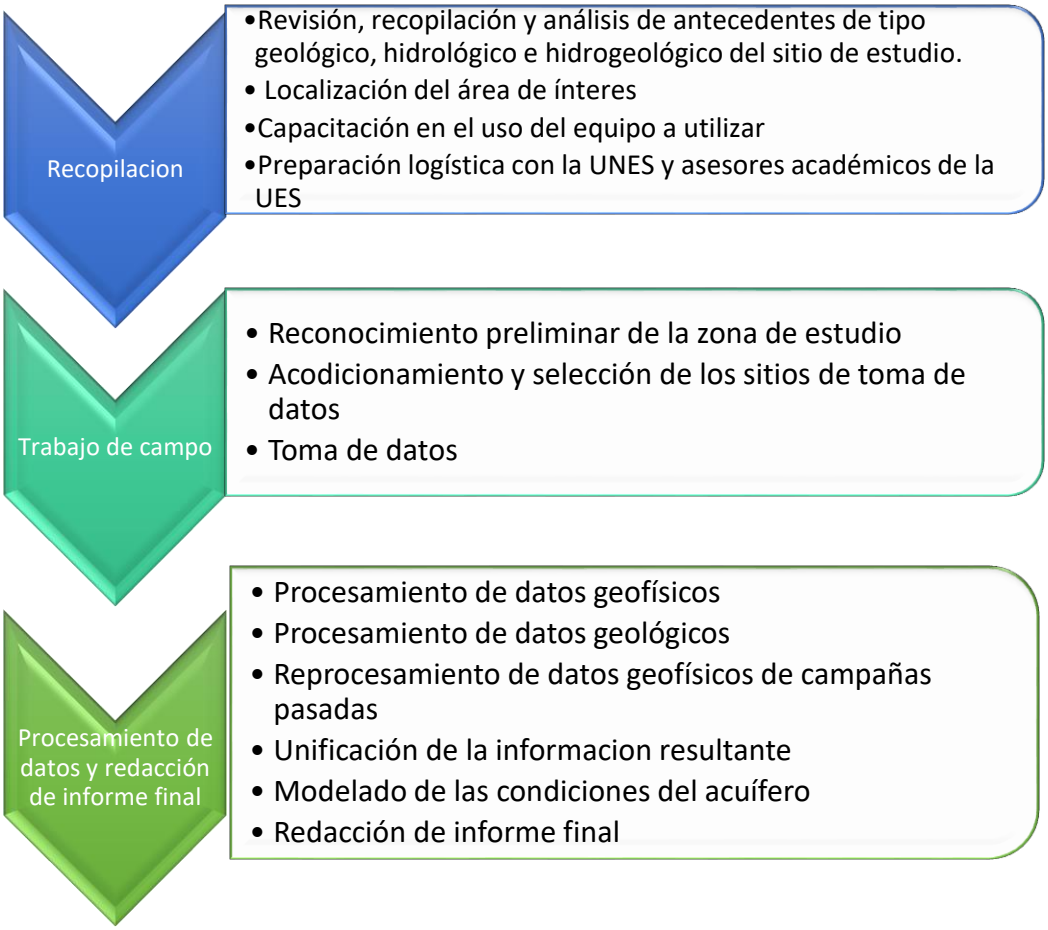


Ilustración 2. Descripción de la ejecución del trabajo hidrogeológico de la cuenca baja del río Paz.

Recopilación de información.

Se describen los diferentes elementos geomorfológicos, así como la geología regional y superficial que se encuentra en el lugar.

HIDROGEOLOGÍA

(Geología, hidrología, unidades acuíferas, climatología, uso de suelos e inventario de fuentes de agua)

Geología

Según un estudio del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la geología que predomina en este municipio son los aluviones con intercalaciones de materiales piroclásticos, sedimentos volcánicos detritos con materiales piroclásticos y corrientes de lavas intercalados, lavas andesíticas y basálticas (CNR,2004)[1]

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: 1) Depósitos acuáticos con intercalaciones de piroclastitas (Q´f), incluyendo en zonas depósitos de estuarios con o sin manglares y playa barra costera; con nivel antiguo de costa, que según la escala geológica contenida en la hoja Blatt Sonsonate del referido mapa, pertenecen al periodo Holoceno, Cuaternario de la Era Cenozoica, formación San Salvador; 2) Epiclastitas volcánicas y piroclastitas; localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas (b1), que según la escala geológica contenida en la hoja Blatt Sonsonate, pertenecen al período Mioceno, Terciario de la Era Cenozoica, formación Bálsamo, 3) Efusivas básicas intermedias, piroclastitas, epiclásicas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos b2), que pertenecen al período Mioceno-Plioceno, Terciario de la Era Cenozoica, formación Bálsamo; y en menor proporción 4) Efusivas básicas intermedias (b3), correspondientes al período Plioceno, Terciario de la Era Cenozoica, formación Bálsamo. En la siguiente figura podemos observar en detalle la geología de la zona.

[1] https://www.marn.gob.sv/descargas/Documentos/2018/anp/El%20Chino/Plan%20de%20Manejo-El%20Chino.pdf

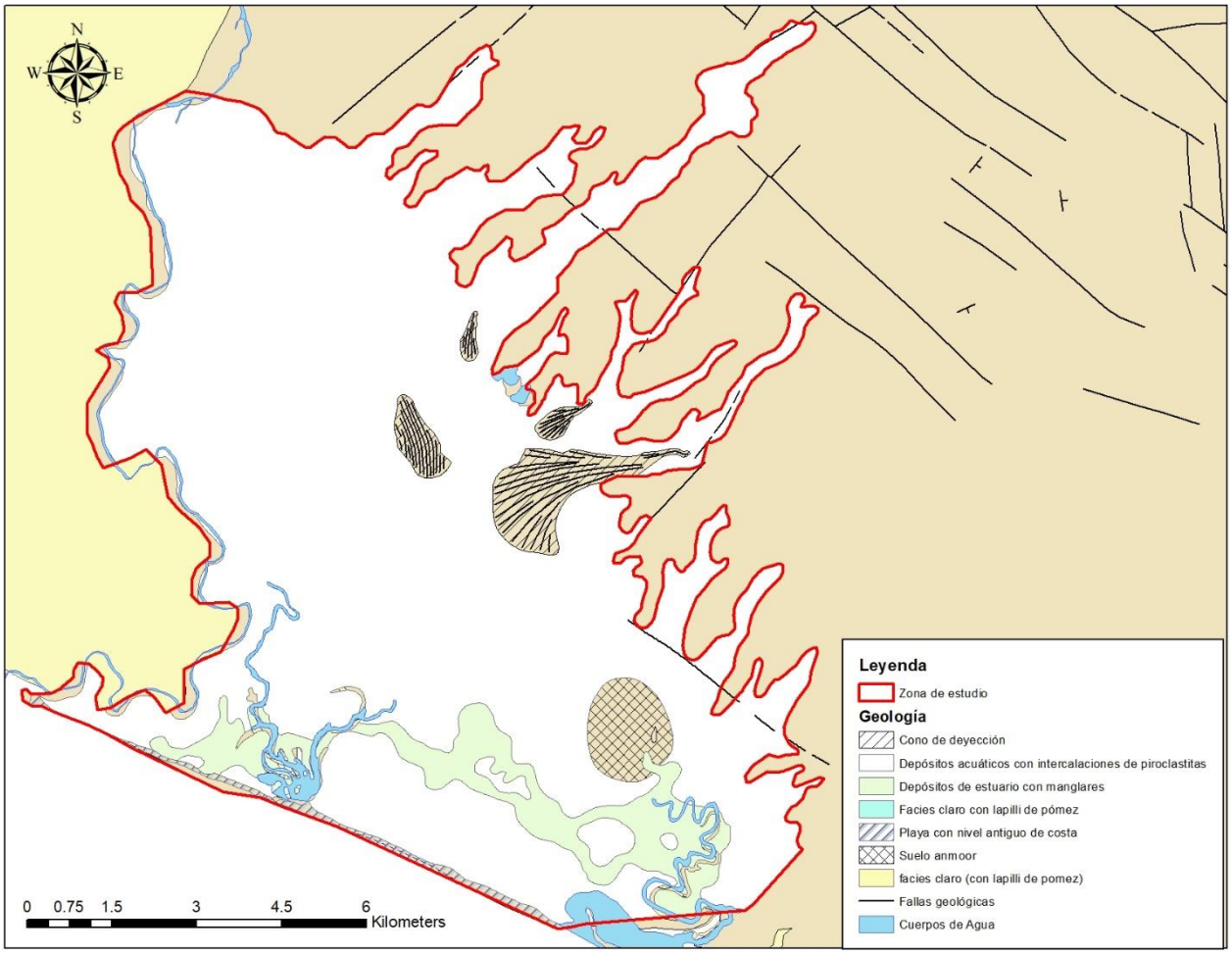


Ilustración 3. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: cobertura en base a coberturas SIG del Laboratorio de Sistemas de Información y Teledetección de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (LabSIG-CIMAT)

Hidrología

La precipitación pluvial promedio anual, según información de coberturas (shape) 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).

Hidrogeología

Las características hidrogeológicas del acuífero de la zona de estudio, está determinadas por sus materiales constituyentes. Con base en lo anterior, a continuación, se presentan las diferentes unidades hidrogeológicas comprendidas.

• Unidades hidrogeológicas.

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).

Con base en la información contenida en el Mapa Hidrogeológico de la República de El Salvador, escala 1:100,000, 2007, 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.

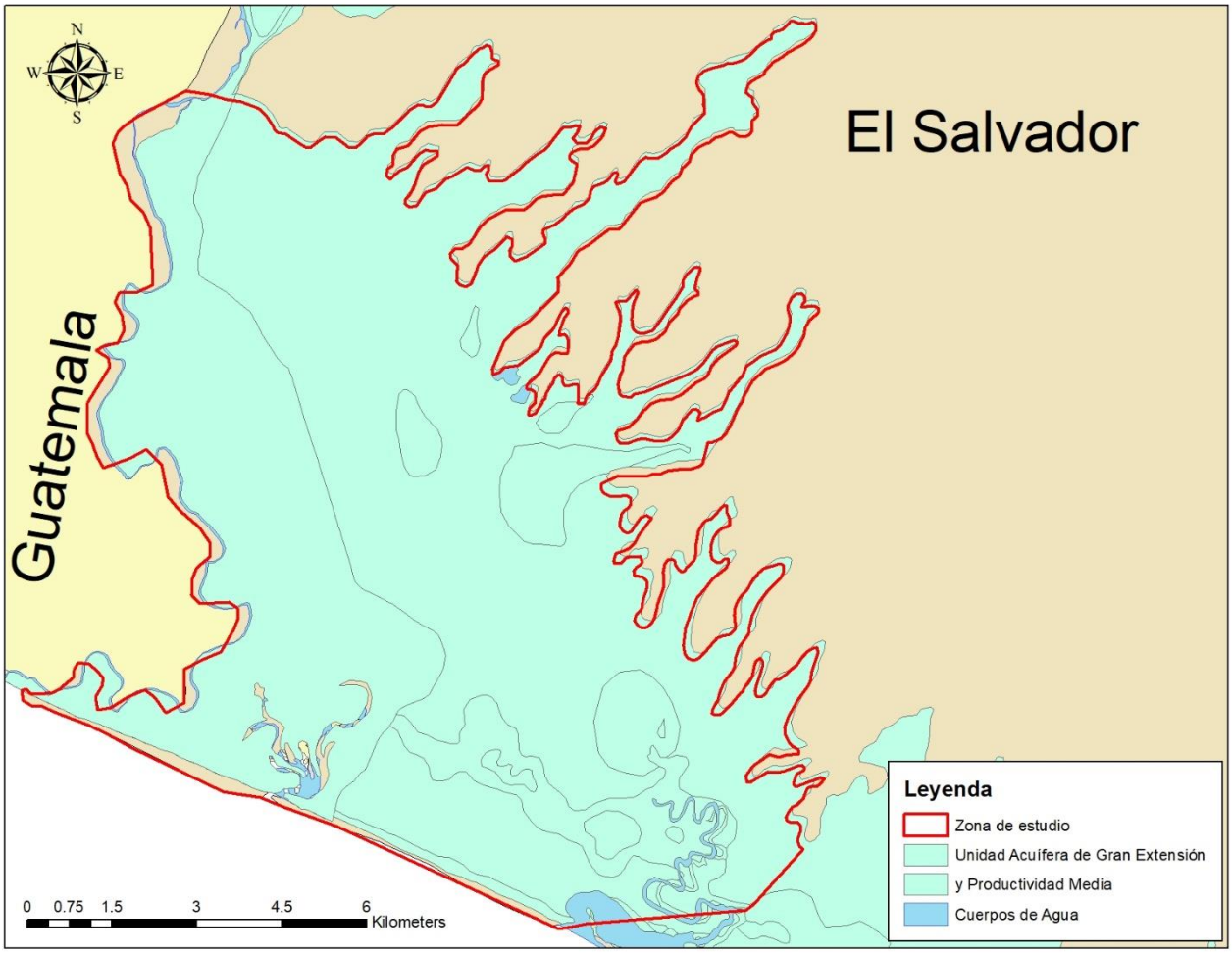


Ilustración 4. Mapa hidrogeológico de la zona de estudio. Fuente: LabSIG-CIMAT

Climatología

Para los datos de precipitación y evapotranspiración potencial se han tomado los datos de la estación meteorológica ubicada en el municipio de San Francisco Menéndez; (estación H14) que ha registrado un periodo mayor de 30 años y con la siguiente ubicación: X: 390102 y Y: 304523.

La siguiente tabla muestran los datos de precipitación y evapotranspiración potencial en mm.

Tabla 1. Muestra los datos de precipitación y evapotranspiración de la estación H14.

Precipitación												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
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	SUMA
155.5	155.1	187.0	193.7	192.0	169.0	177.9	173.9	155.2	156.0	150.1	149.8	2015.1

Uso de suelos

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; información que se confirma con base en lo observado durante el trabajo de campo realizado.

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 y de 2016.

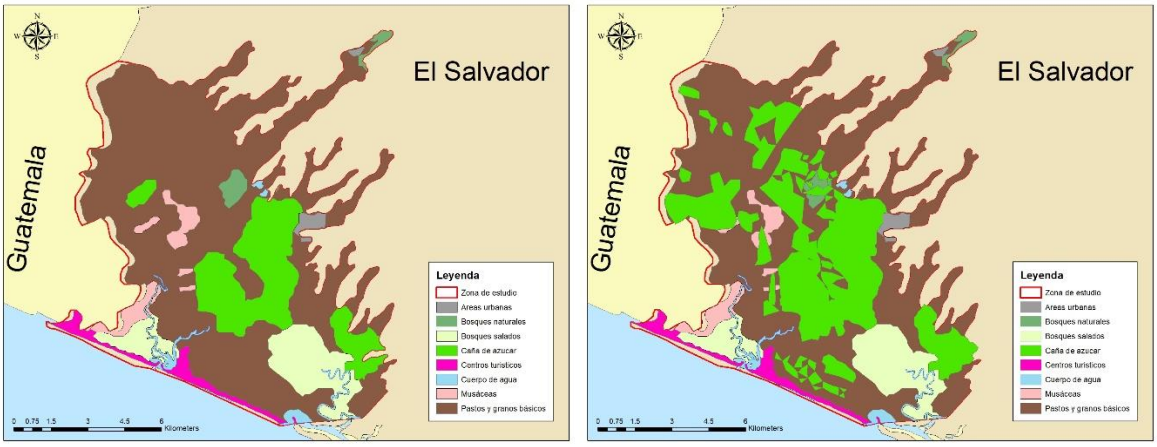


Ilustración 5. A la izquierda se muestra el mapa de uso de suelos de 1996 Fuente: LabSIGCIMAT y a la derecha el mapa de uso de suelos de 2016 Fuente: Quiñonez Basagoitia, 2016

Inventario de fuentes de agua

Esta etapa se llevó 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 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:

Tabla 2. Ubicación de pozos excavados monitoreados por UNES.

ID	Coordenadas		Nivel
a	N13° 46´44.9´´	W 90° 06´17.2´´	-0.84
b	N13° 46´45.8´´	W 90° 06´21.1´´	
c	N13° 46´70.9´´	W 90° 06´84.4´´	-3.49
d	N13° 47´20.5´´	W 90° 07´05.7´´	-13.04
e	N13° 48´32.5´´	W 90° 05´44.3´´	-7.98
f	N13° 47´90.8´´	W 90° 05´42.4´´	-14.68
g	N13° 49´92.8´´	W 90° 05´81.0´´	-23.35
h	N13° 43´87.0´´	W 90° 04´67.1´´	-11.32
i	N13° 44´95.6´´	W 90° 05´15.2´´	-10.73
j	N13° 45´01.4´´	W 90° 05´12.3´´	ND
k	N13° 44´99.3´´	W 90° 03´75´´	-0.91
l	N13° 44´77.6´´	W °90 03´03. 5´´	ND
m	N13° 43´91.8´´	W° 90 06´01.8´´	-0.18
n	N13° 43´92.3´´	W 90° 06´03.4´´	ND
ñ	N13° 44´35.7´´	W 90° 07´08.7´´	-0.12

Ilustración 6. Inventario de pozos de agua.

Tabla 3. Ubicación de pozos inventariados en la campaña hidrogeológica.

ID	Coordenadas		Nivel
1	N 13°43'18.04"	W 90°3'20.66"	-1.48
2	N 13°46'41.44"	W 90°4'49.70"	-1.62
3	N 13°46'34.24"	W 90°4'51.55"	-1.1
4	N 13°46'15.43"	W 90°4'41.44"	-2.43
5	N 13°44'51.86"	W 90°3'2.96"	-1.61
6	N 13°46'27.39"	W 90°5'0.35"	-1.58
7	N 13°43'12.01"	W 90°2'49.04"	-2.1
8	N 13°44'54.41"	W 90°3'9.08"	-0.99
9	N 13°46'8.60"	W 90°4'39.10"	-1.93
10	N 13°46'27.49"	W 90° 4'58.25"	-1.52
11	N 13°44'45.17"	W 90° 3'0.32"	-1.98
12	N 13°44'46.14"	W 90°3'3.03"	-1.16
13	N 13°44'42.43"	W 90°3'3.11"	-2.1
14	N 13°48'12.99"	W 90° 5'24.86"	-1.89
15	N 13°48'9.89"	W 90°5'26.13"	-1.25
16	N 13°48'4.21"	W 90°5'24.37"	-2.23
17	N 13°48'2.27"	W 90°5'23.13"	-2.05
18	N 13°48'0.36"	W 90°5'23.78"	-1.75
19	N 13°48'0.92"	W 90°5'21.68"	-2.07
20	N 13°47'58.21"	W 90°5'20.28"	-1.8
21	N 13°47' 51.65"	W 90°5'18.07"	-2.1
22	N 13°47'53.89"	W 90°5'15.48"	-2.34
23	N 13°47'55.67"	W 90°5'14.56"	-1.56
24	N 13°47'46.17"	W 90°5'11.48"	-2.72
25	N 13°47'42.52"	W 90°5'10.30"	-2.09
26	N 13°47'36.57"	W 90°5'8.08"	-1.73
27	N 13°45'57.97"	W 90°4'36.47"	-1.78
28	N 13°46'50.97"	W 90°4'53.34"	-2.18
29	N 13°46'46.94"	W 90°4'52.76"	-1.52
30	N 13°46'42.19"	W 90°4'50.29"	-1.34
31	N 13°46'23.16"	W 90°4'43.87"	-1.6
32	N 13°46'1.81"	W 90°4'36.99"	-1.66
33	N 13°45'54.24"	W 90°4'34.52"	-1.89
34	N 13°44'44.82"	W 90°2'58.86"	-2.71
35	N 13°44'49.17"	W 90°3'1.03"	-1.67
36	N 13°44'58.82"	W 90°3'8.63"	-0.4
37	N 13°45'0.79"	W 90°3'12.89"	-1.57
38	N 13°44'49.13"	W 90°3'5.29"	-1.6
39	N 13°43'8.11"	W 90°3'0.33"	-1.41
40	N 13°43'10.25"	W 90°3'2.73"	-1.86
41	N 13°43'16.10"	W 90°3'7.62"	-2.01
42	N 13°43'15.53"	W 90°3'14.24"	-1.37

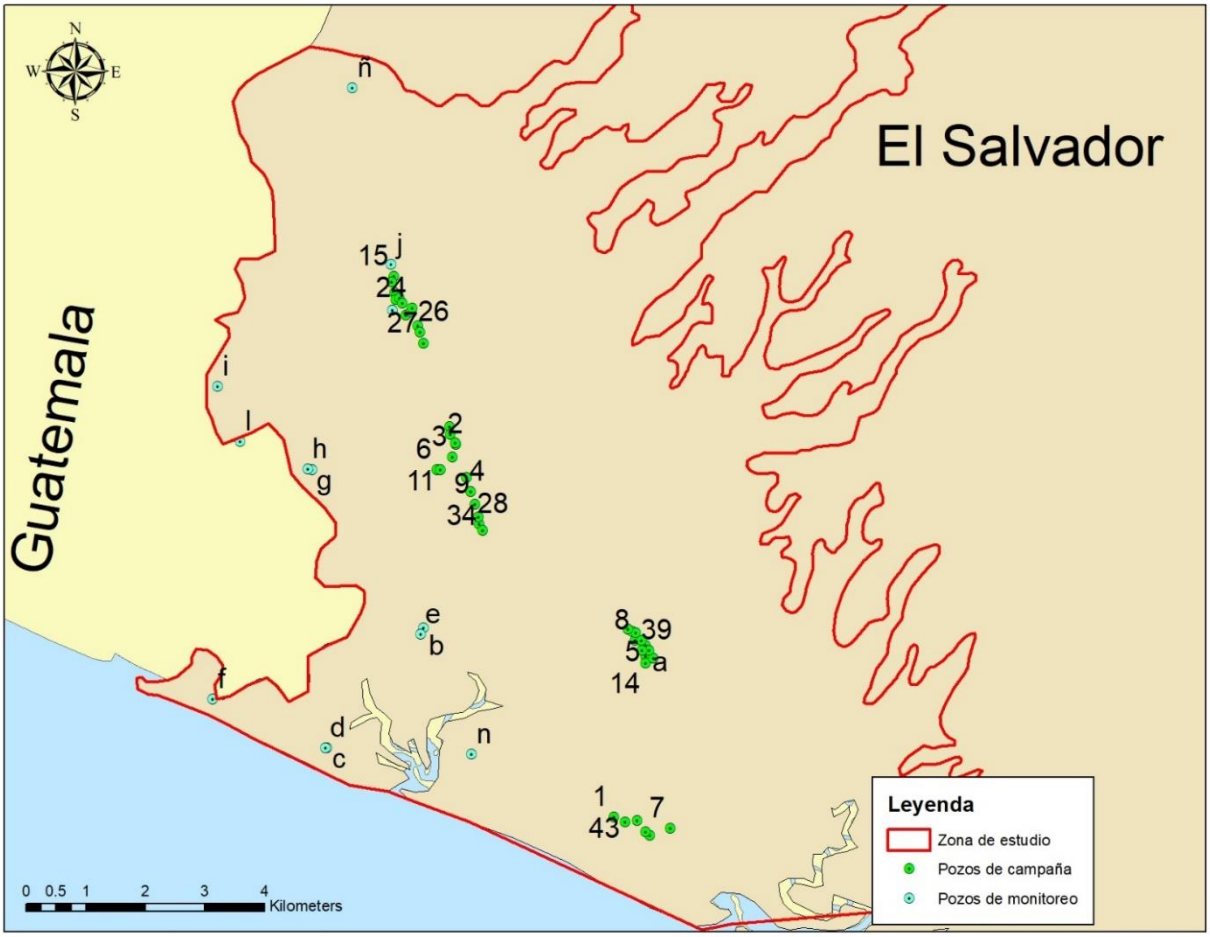


Ilustración 7. Mapa de ubicación de pozos. Fuente: LabSIG-CIMAT.

Ilustración 8. Medición de nivel estático en pozos.

GEOFÍSICA

(Prospección geoeléctrica, registro geofísico, metodología geofísica y resultados de tomografías eléctricas)

Prospección geoeléctrica y registro geofísico

El presente capítulo presenta los resultados de la campaña geofísica realizada en municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán (El Salvador) cuyo objetivo general se estableció en la determinación del nivel freático del acuífero superficial existente en la zona.

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.

La interpretación de estos modelos permitió determinar estructuras subterráneas asociadas con la zona saturada y el inicio del nivel freático en la zona de estudio.

Otros objetivos secundarios del estudio comprenden:

- Identificar la profundidad del nivel freático
- Definir las características de resistividad eléctrica de las distintas formaciones geológicas encontradas

Metodología geofísica

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.

La toma de datos de resistividad aparente se realizó en nueve perfiles distribuidos en la zona del estudio (Ilustración 9).

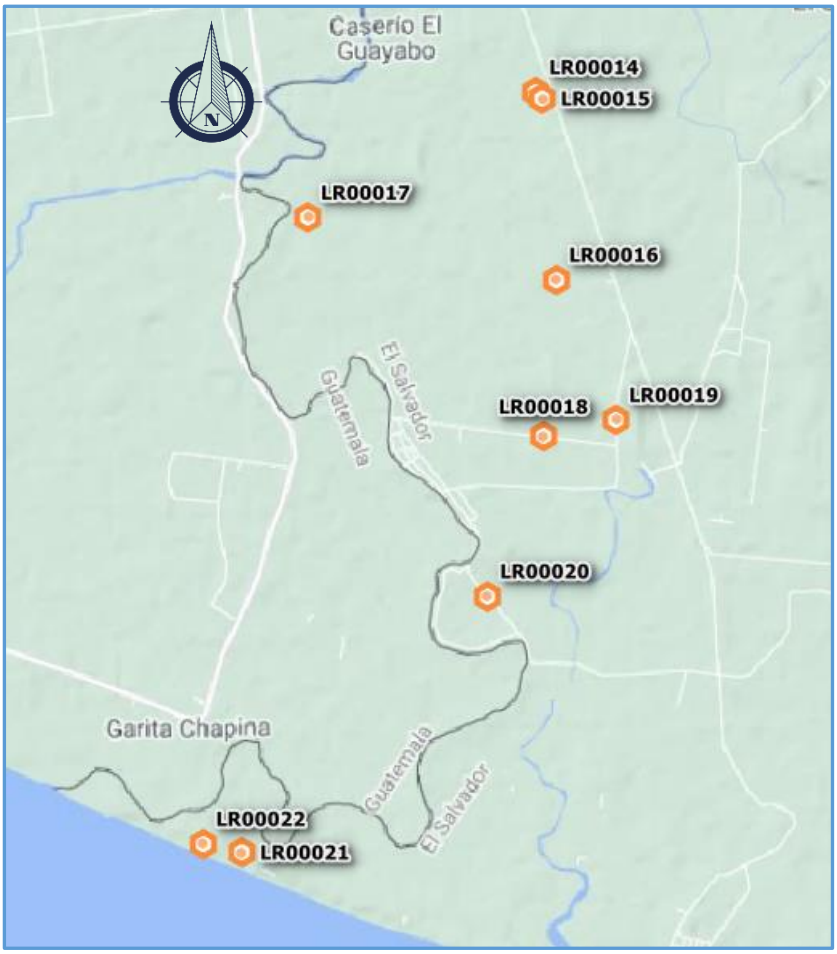


Ilustración 9. Ubicación de los perfiles geofísicos en la zona de estudio. Fuente: LabSIG-CIMAT

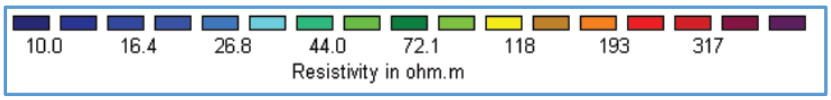
Se detalla a continuación los parámetros de cada perfil en el siguiente cuadro

Tabla 4. Muestra los diferentes arreglos electródicos utilizados en las tomografías de la prospección geofísica en Garita Palmera.

PERFIL	ARREGLO ELECTRÓDICO	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 resistivímetro 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.

Presentación de Resultados de tomografías

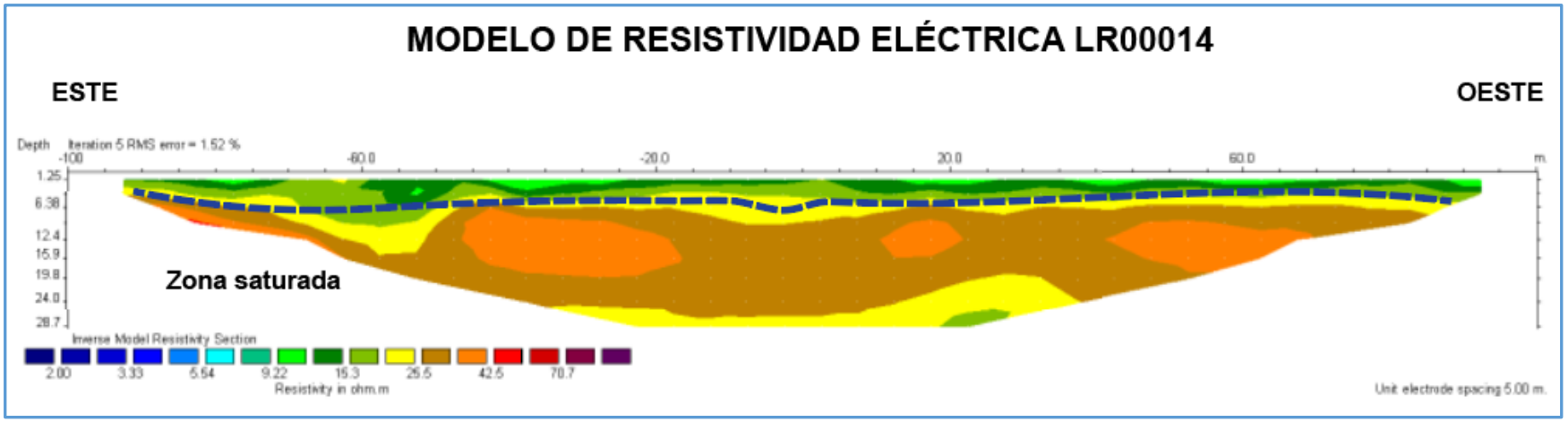


Ilustración 10. Modelo 2D del perfil LR00014. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

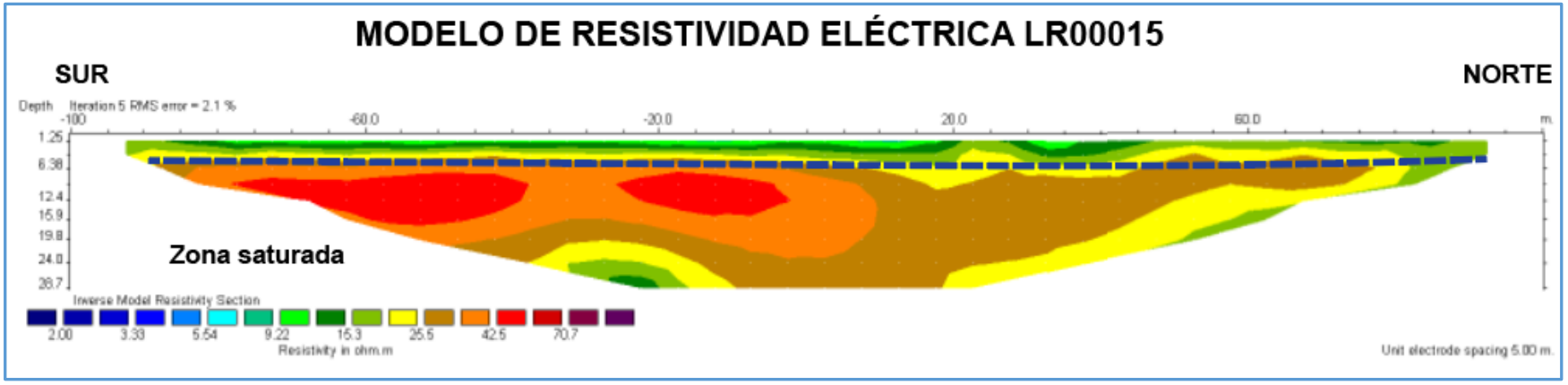


Ilustración 11. Modelo 2D del perfil LR00015. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

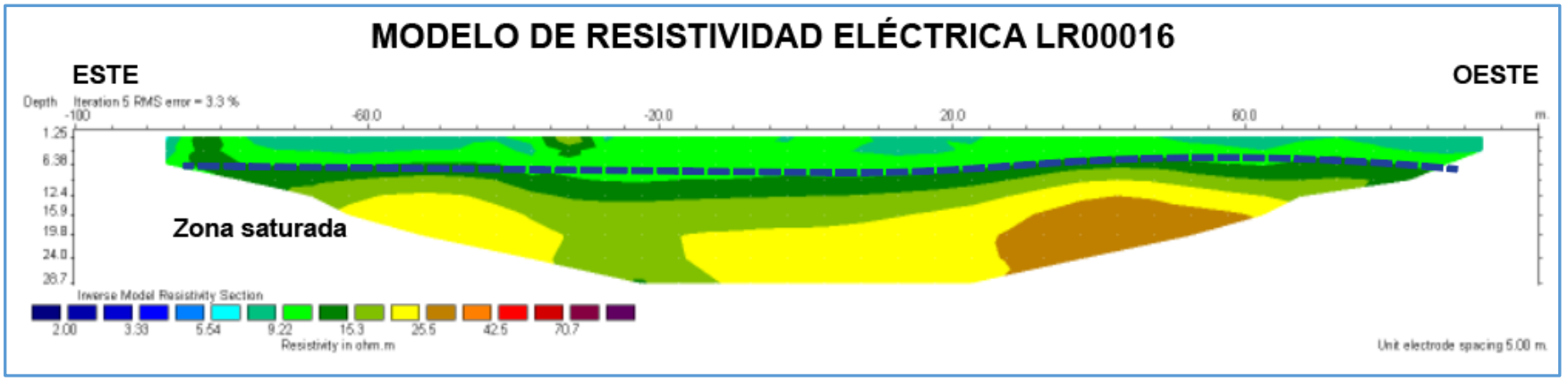


Ilustración 12. Modelo 2D del perfil LR00016. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

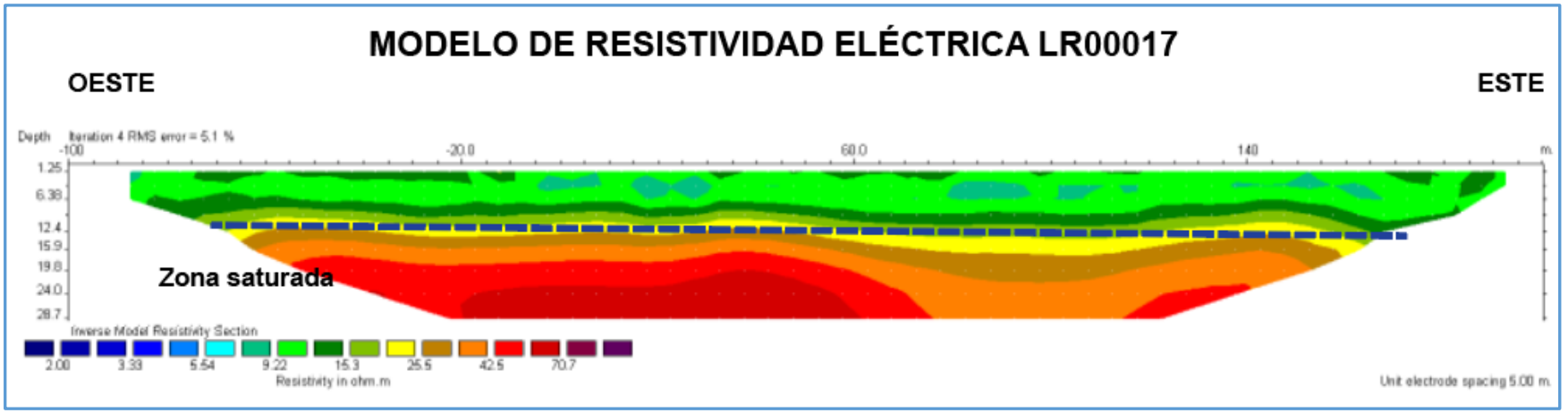


Ilustración 13. Modelo 2D del perfil LR00017. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

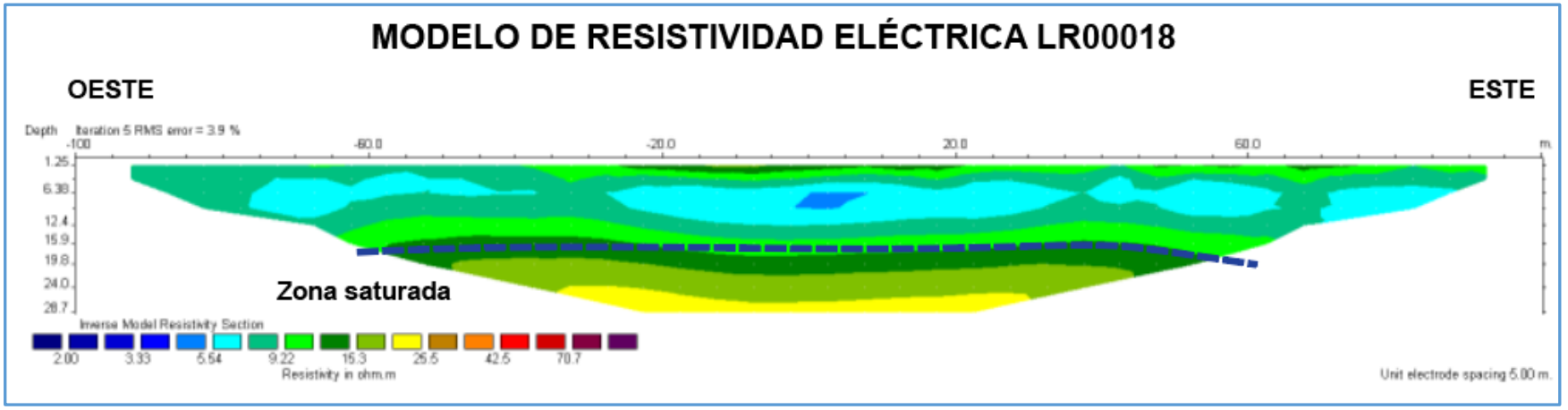


Ilustración 14. Modelo 2D del perfil LR00018. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

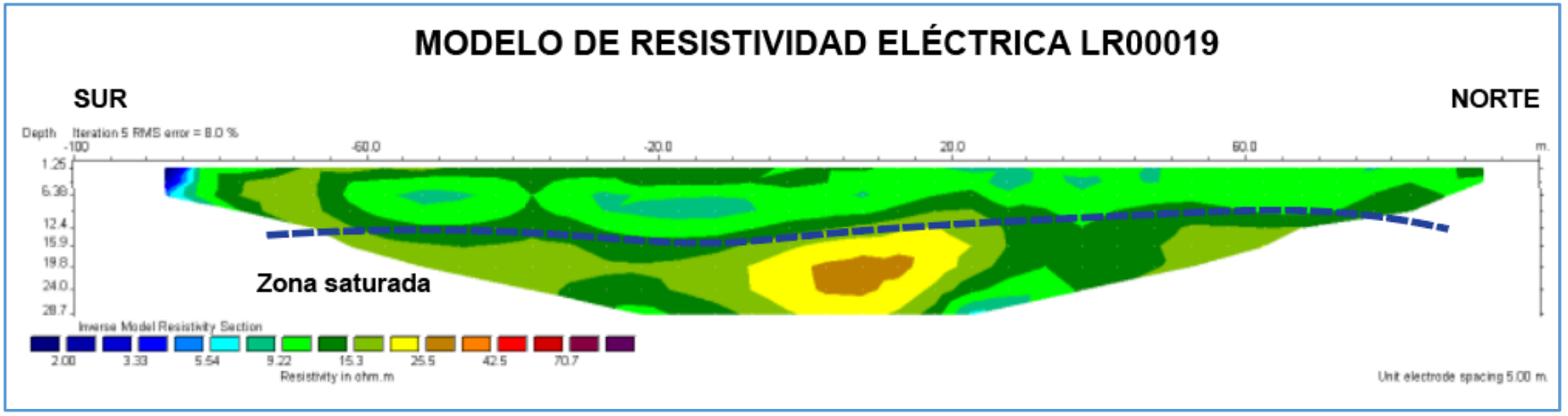


Ilustración 15. Modelo 2D del perfil LR00019. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa.

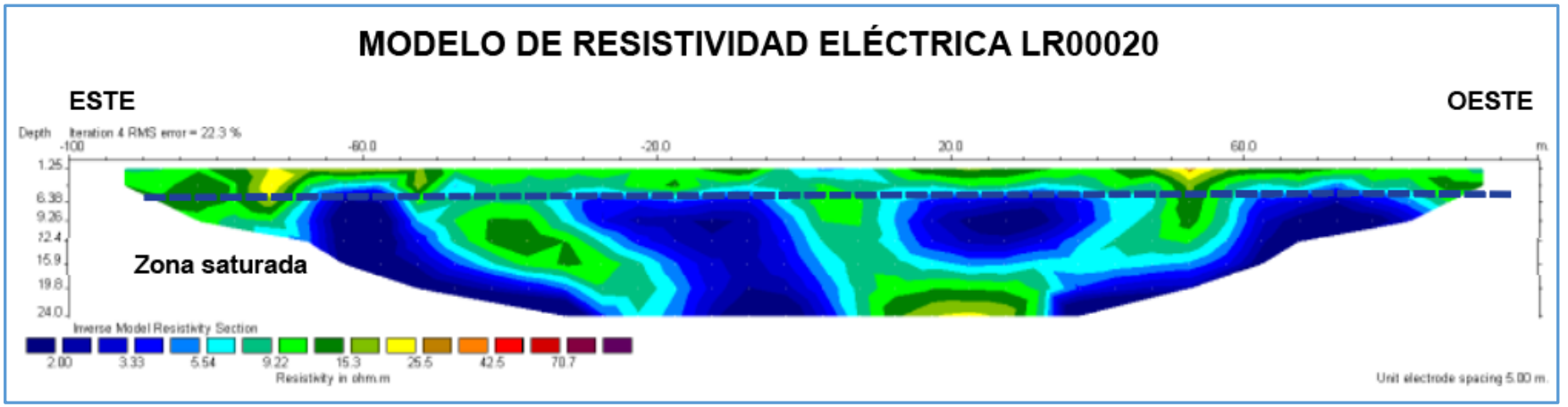


Ilustración 16. Modelo 2D del perfil LR00020. Se identifica una zona somera que corresponde a valores de resistividad asociada a una matriz arcillosa. Los tonos azules pueden estar representando estructuras de tipo canal rellenados con materiales arcillosos y salinos.

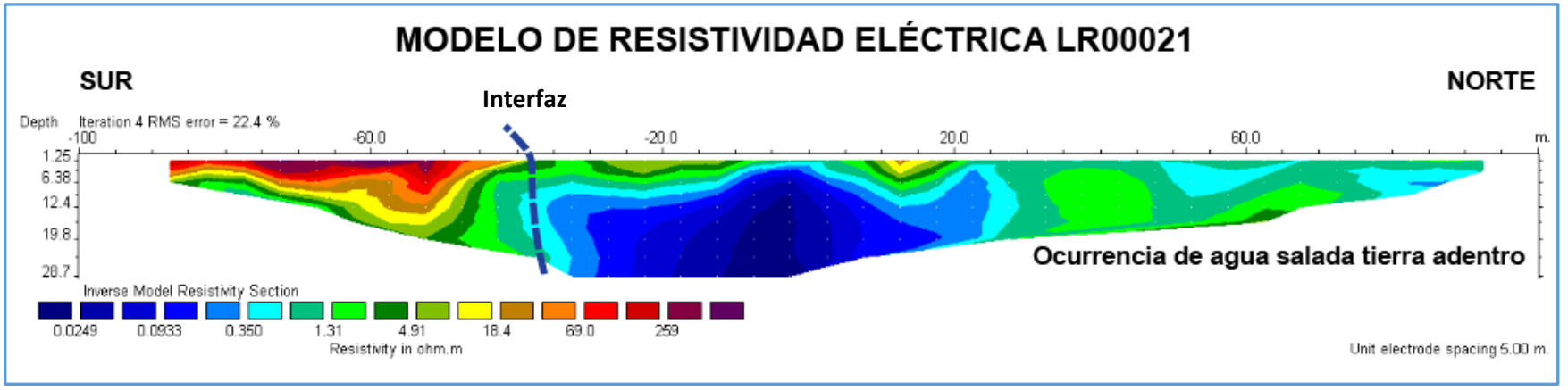


Ilustración 17. Modelo 2D del perfil LR00021. Este perfil inició en el punto de playa y se oriente al norte, el modelo muestra la interface de agua salada y dulce típica de un entorno costero. A medida que se avanza hacia el norte se identifican valores de resistividad eléctrica que corresponden con una zona satura 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.

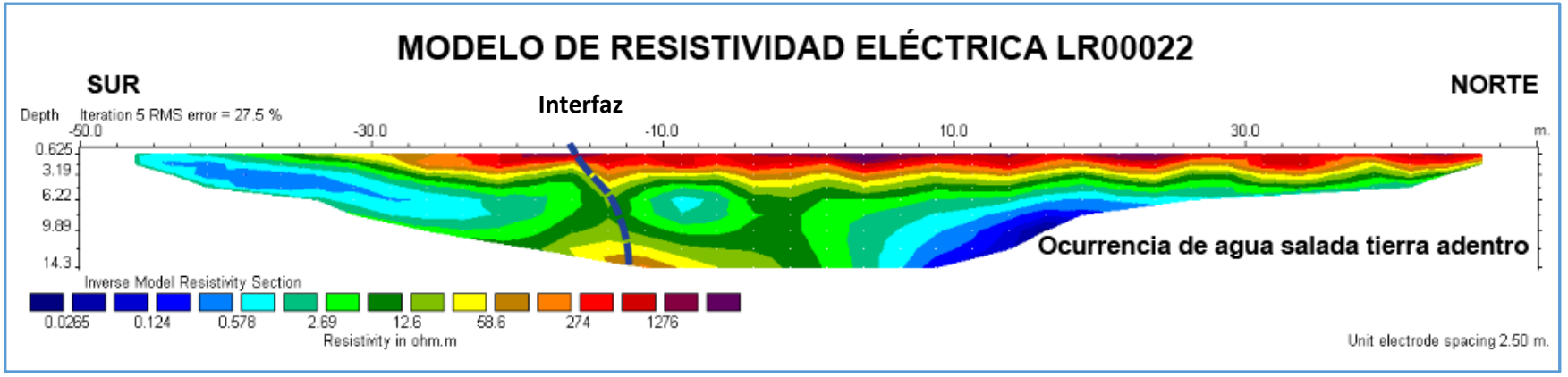


Ilustración 18. Modelo 2D del perfil LR00015. Este perfil inició en el punto de playa y se oriente al norte, el modelo muestra la interface de agua salada y dulce típica de un entorno costero. A medida que se avanza hacia el norte se identifican valores de resistividad eléctrica que corresponden con una zona satura 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.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

(Pruebas de infiltración y método de Schosinsky)

Pruebas de permeabilidad hidráulica

Se realizaron pruebas de infiltración, distribuidas en toda la zona de estudio de acuerdo a 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.

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

El Permeámetro de Guelph consiste en la base del principio físico del tubo de Marriot; es una técnica de medición del caudal a nivel constante y evalúa de manera precisa la conductividad hidráulica del suelo. Se perfora un agujero no mayor a 50 centímetros y se instala el equipo ya armado como puede visualizarse en el esquema de la ilustración 19.

Ilustración 19. Permeámetro de Guelph.

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.

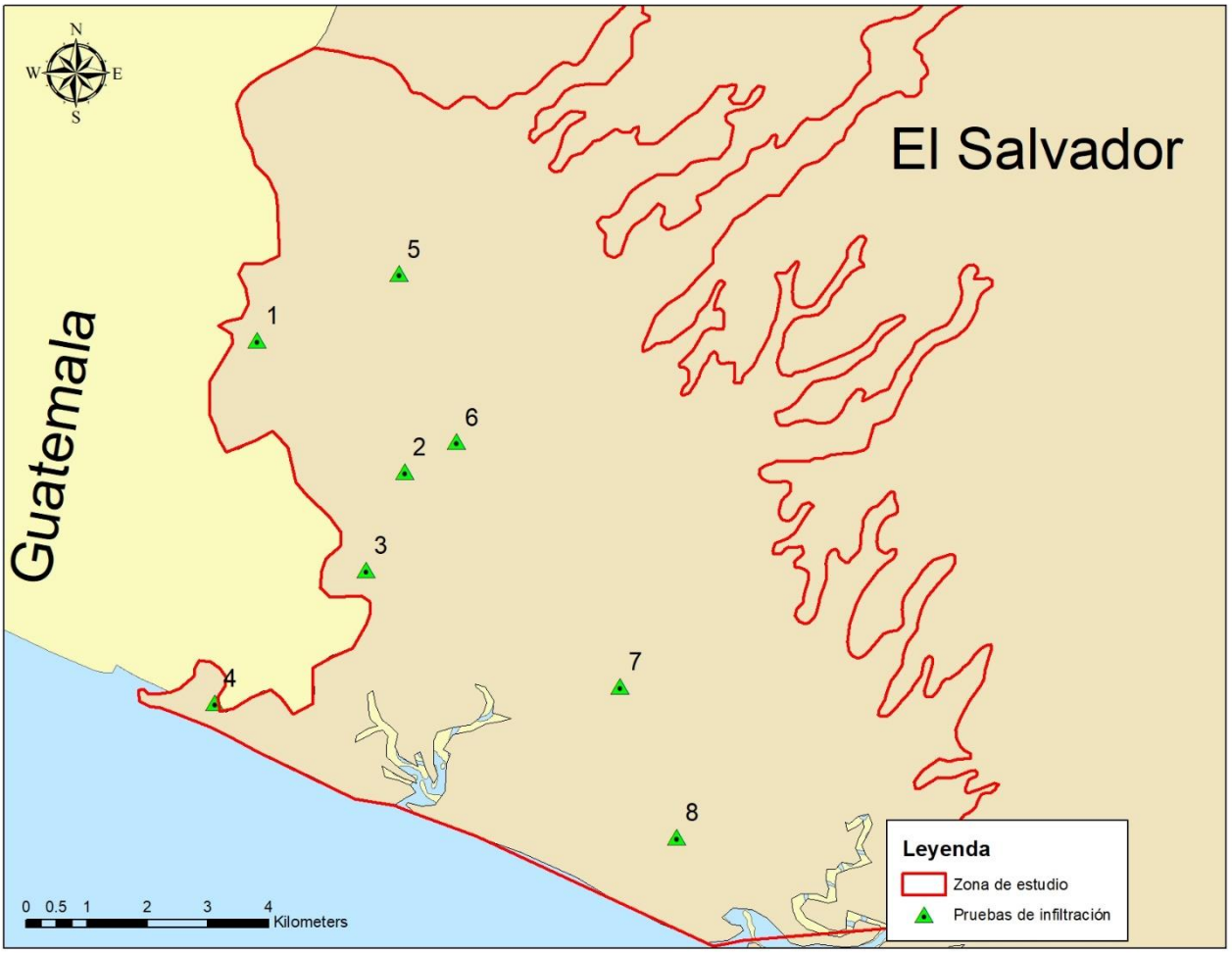


Ilustración 20. Mapa de ubicación de pruebas de infiltración. Fuente: LabSIG-CIMAT

En la ilustración 20 se puede observar la distribución espacial de las pruebas de infiltración realizadas en la zona de interés y en la tabla 5, está el resumen de los resultados obtenidos del procesamiento del cálculo de infiltración por medio de la hoja electrónica de Soilmoisture y el tipo de suelo que corresponde a cada uno de los sitios medidos.

Tabla 5. Resultados de infiltración

Prueba	ubicación	Zona UTM	Zona Simple	Metros al este	metros al norte	K (cm/min)	Tipo de uso de suelo
1	Calle Santa Teresa	15	P	812273	1526916	0.03107	Pasto
2	Calle para el Diamante	15	P	814743	1524788	0.11516	caña de azucar
3	Ruta del castaño	15	p	814133	1523150	0.03007	Pasto
4	Manglar Bola de Monte	15	p	811670	1520915	0.00062	Bosque salado
5	cho San Marcos, Santos Bo	15	p	814595	1528055	0.19892	Pasto
6	Hacienda el Diamante	15	p	815598	1525294	0.00014	caña de azucar
7	Zanjon El Chino	15	p	818367	1521301	0.00052	Bosque natural
8	Caserio el Porvenir	15	p	819346	1518826	0.01768	Pasto

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, 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 6. 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 delimitada 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 7.

Tabla 7. 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 8. 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 dela 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 21-Hachadura, 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).

Balance hídrico de Schosinsky

Con la información recopilada 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 el siguiente cuadro se muestra el balance de Schosinsky de pastizal, ya que es la recarga potencial que más aporta a la zona.

La recarga potencial total del área de estudio es de **$23_1$347 972.6 m^3 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.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Garita Palmera

Fecha: 9-Dec

Textura de Suelo: Pastizal

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
I: Infiltración.
CC: Capacidad de Campo.
PM: Punto de Marchitez.
PR: Profundidad de Raices.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.
DS: Densidad de Suelo.
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
Kp: Factor por pendiente (ver léame)
Kv: Factor por vegetación (ver léame)
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

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

	por peso (%)	(mm)
CC	22.00	143.00
PM	9.00	58.50
(CC-PM)	13.00	84.50

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

HIDROGEOQUÍMICA

(Muestreo de agua, análisis físico-químico, análisis de iones mayores, calidad de agua y fuentes potenciales de contaminación)

Hidrogeoquímica

Ciencia que estudia los caracteres y el comportamiento en la corteza terrestre de los diferentes elementos químicos, su distribución cuantitativa, sus combinaciones, así como sus migraciones. La hidrogeoquímica, se limita al estudio de los aspectos geoquímicos del agua en sí y sus relaciones con las rocas de la corteza terrestre (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

Ilustración 21. Medición de parámetros físico-químicos.

Muestreo de aguas para análisis físico-químico y de iones mayores

A partir de la información recopilada y facilitada por la Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES), se realizaron 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 enero de 2020, febrero de 2020 y octubre del año 2020, 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.

Para el caso de análisis de iones mayores se han escogido tres puntos, ubicados en La Hachadura, Garita Palmera y la comunidad El Palmo La Danta. En la ilustración 22, podemos observar la distribución espacial de los puntos con su respectivo diagrama de Stiff, mientras que en la ilustración 23 se observa el análisis individual de Stiff y en la ilustración 24 el diagrama de Piper, que nos permite clasificar el agua subterránea para esos sitios.

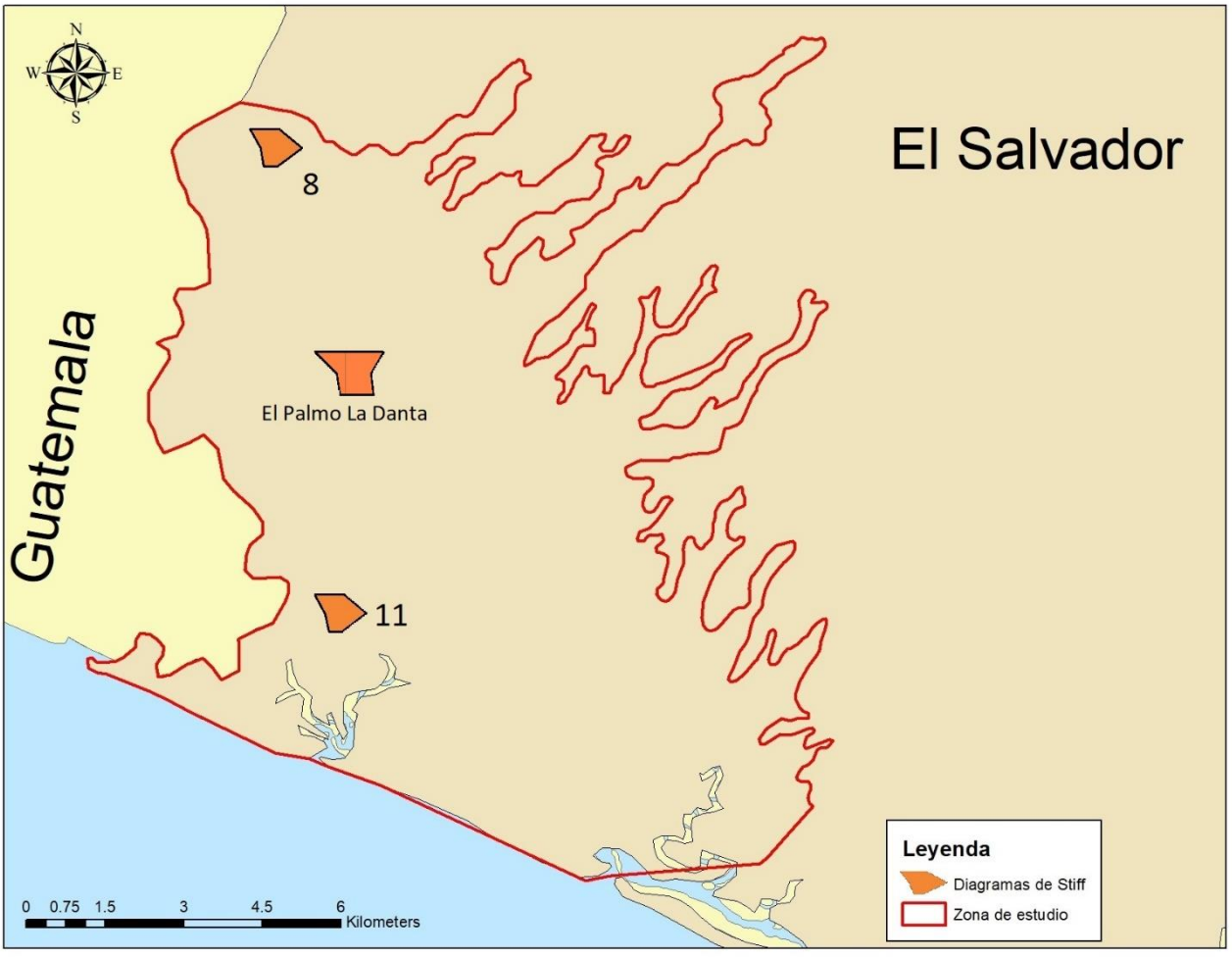


Ilustración 22. Mapa de ubicación de pozos muestreados. Fuente: LabSIG-CIMAT

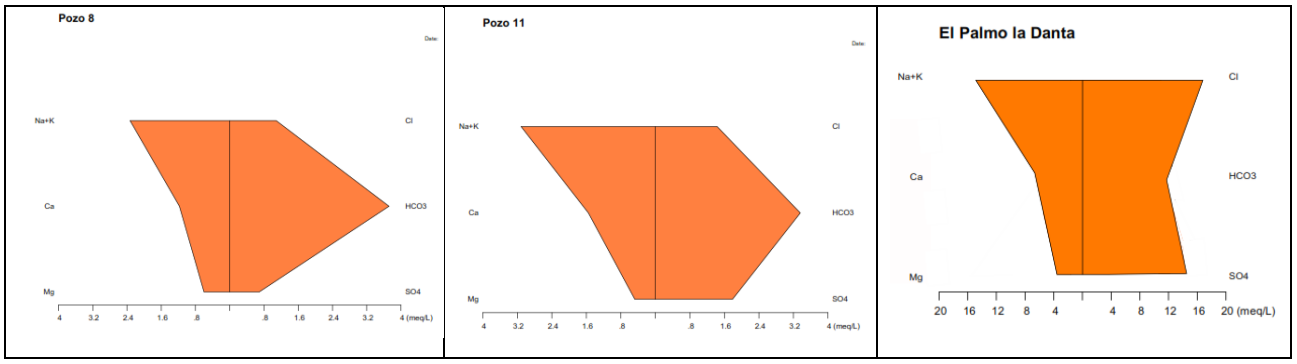


Ilustración 23. Diagrama de Stiff

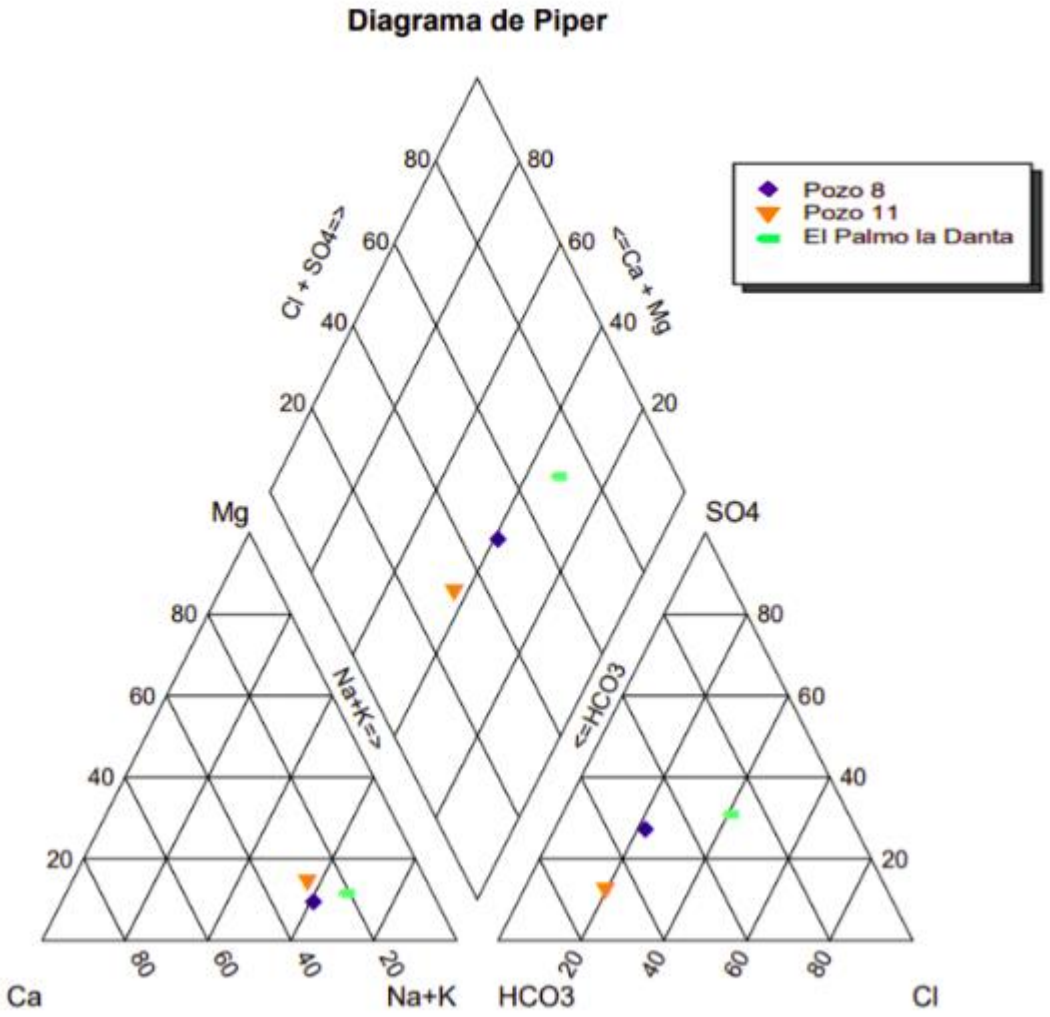


Ilustración 24. Diagrama de Piper

Análisis Físico-químico

El monitoreo continuo de variables físico-químicas se ha realizado por varios meses, por parte de personal de la UNES y del Asociación Comunitaria de la Microcuenca del Aguacate ACMA, entre los parámetros que se miden son los siguientes: conductividad, pH, temperatura, potencial redox, sólidos totales disueltos (TDS) y salinidad. A continuación, se presenta el cuadro resumen de los datos obtenidos durante las fechas siguientes: mayo de 2019, enero de 2020, febrero de 2020, octubre de 2020 y la medición durante la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

Tabla 9. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de mayo de 2019

N°	Canton	Coordinante		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	3840	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

*Es de tomar en cuenta que el número 7 y 10 no se obtuvieron los resultados físico-químicos, no fue posible medir, aunque estaban contemplados en el monitoreo. También es importante notar el valor de conductividad del pozo 12, que está muy por encima de lo normal.

Tabla 10. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de enero de 2020

N°	Canton	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

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

Tabla 11. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de febrero de 2020

N°	Canton	Coordinante		T(°C)	pH	cond (µS/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

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

ND: No Disponible.

Tabla 12. Muestra los resultados físico-químicos en el monitoreo del mes de octubre de 2020

N°	Canton	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

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

Tabla 13. Muestra los resultados físico-químicos en la campaña hidrogeológica del mes de diciembre de 2020.

#	Comunidad	x	y	Temp	TDS (ppm)	pH	mV	cond (µS/cm)
1	El Porvenir	818457	1518888	27.7	288.1	7.67	-57.1	578
2	El Palmo La Dante	815704	1525111		466.9	6.99	-20.8	940.8
3	El Palmo La Dante	815651	1524889		692.5	7.29	-36.6	1256
4	El Palmo La Dante	815962	1524314	28.9	649.4	7.29	-36.9	1300
5	El Chino	818954	1521780	28.1	696.1	7.17	-31	1392
6	El Palmo La Dante	815389	1524675	26	723.3	7.53	-50.1	1449
7	El Porvenir	819410	1518714	28.1	728.3	7.47	-47	1458
8	El Chino	818769	1521856	28.3	894.7	7.04	-24.5	1789
9	El Palmo La Dante	816035	1524105	29.6	916.2	7.37	-40.9	1833
10	El Chino	818873	1521858	28.6	1257	7.49	-48.2	2510
11	El Palmo La Dante	815452	1524679	26.1	1503	7.33	-38.9	3000
12	El Chino	8119036	1521575	29.6	1940	7.38	-41.8	3880
13	El Chino	818954	1521604	28.9	3538	6.88	-14.6	7090
14	El Chino	818953	1521490	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.

El análisis de los datos físico-químicos se realiza por medio de gráficos de las variables en función de los pozos monitoreados. También por la distribución de los parámetros físico-químicos de forma espacial en el área de estudio. 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, o porque 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.

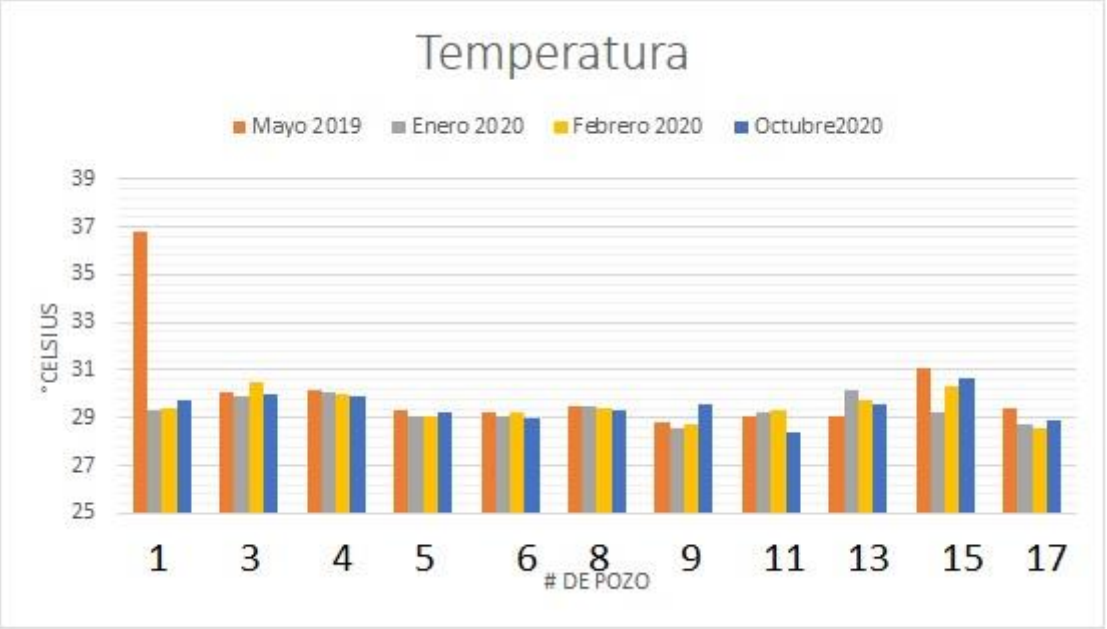


Ilustración 25. Gráfico de la variación de la temperatura en los pozos de monitoreo.

La temperatura media 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, con una variación media de 0,1 a 0,8 °C.

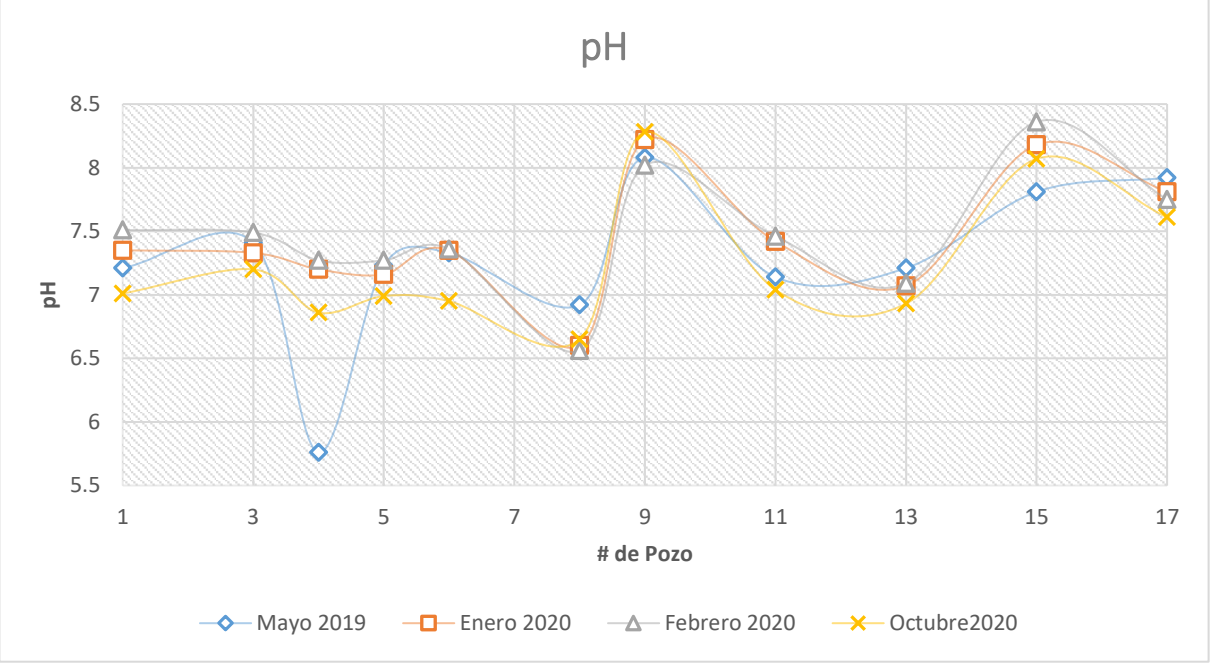


Ilustración 26. Gráfico de la variación de pH en los pozos de monitoreo.

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).

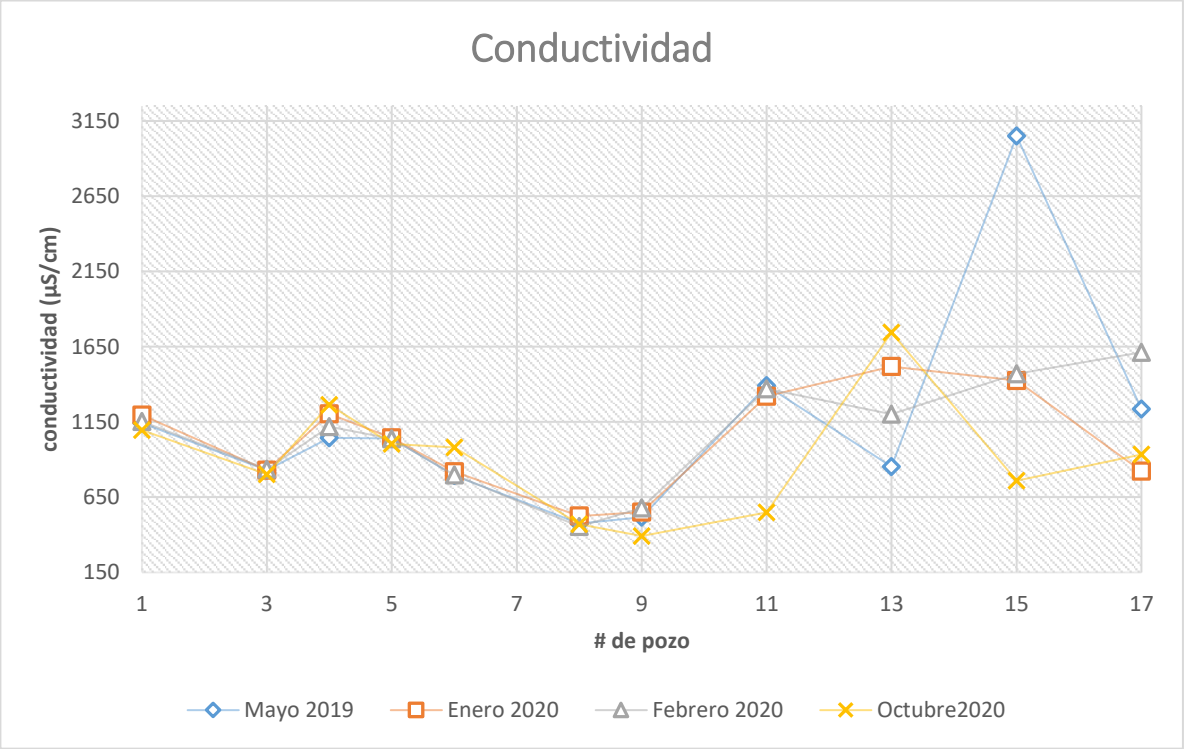


Ilustración 27. Gráfico de variación de conductividad en los pozos de monitoreo.

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 µS/cm (Paz y Progreso II) y 1676 µS/cm (El Tamarindo). Las variaciones de conductividad del agua del acuífero varían anualmente entre 30 µS/cm (Paz y Progreso II) y 971 µS/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 µS/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 µS/cm.

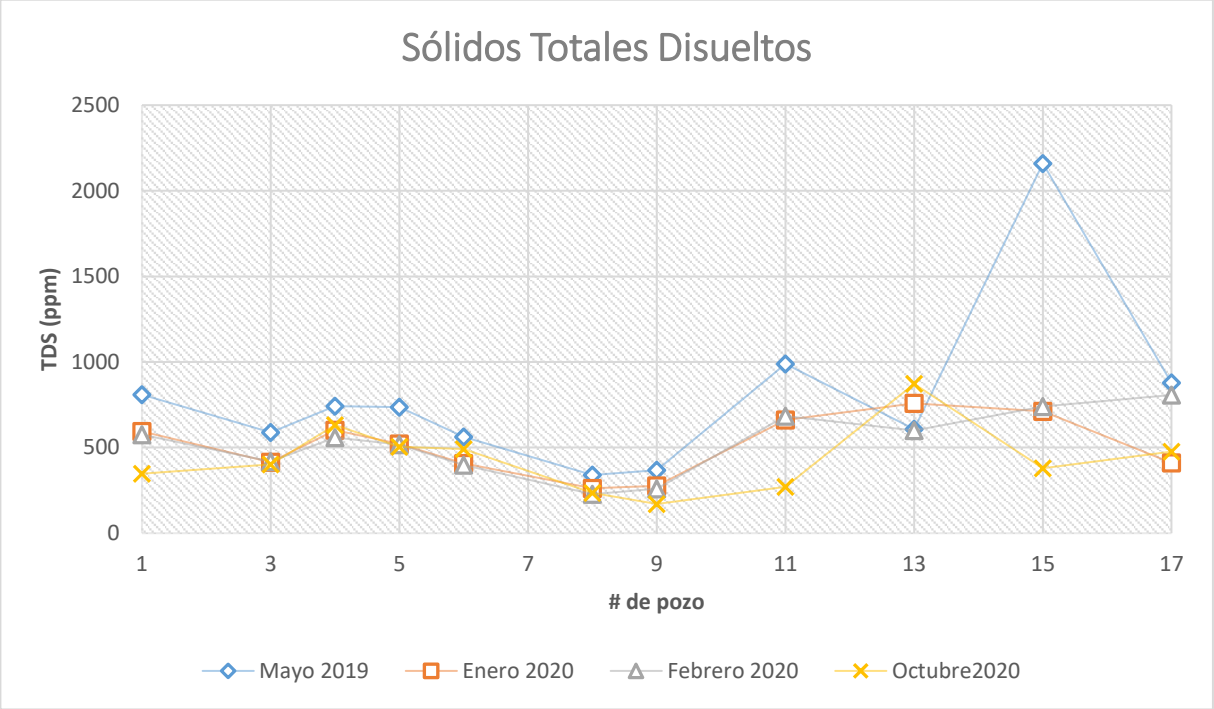


Ilustración 28. Gráfico de la variación de Sólidos Totales Disueltos en los pozos de monitoreo.

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.

A continuación, se presentan los mapas físico-químicos de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

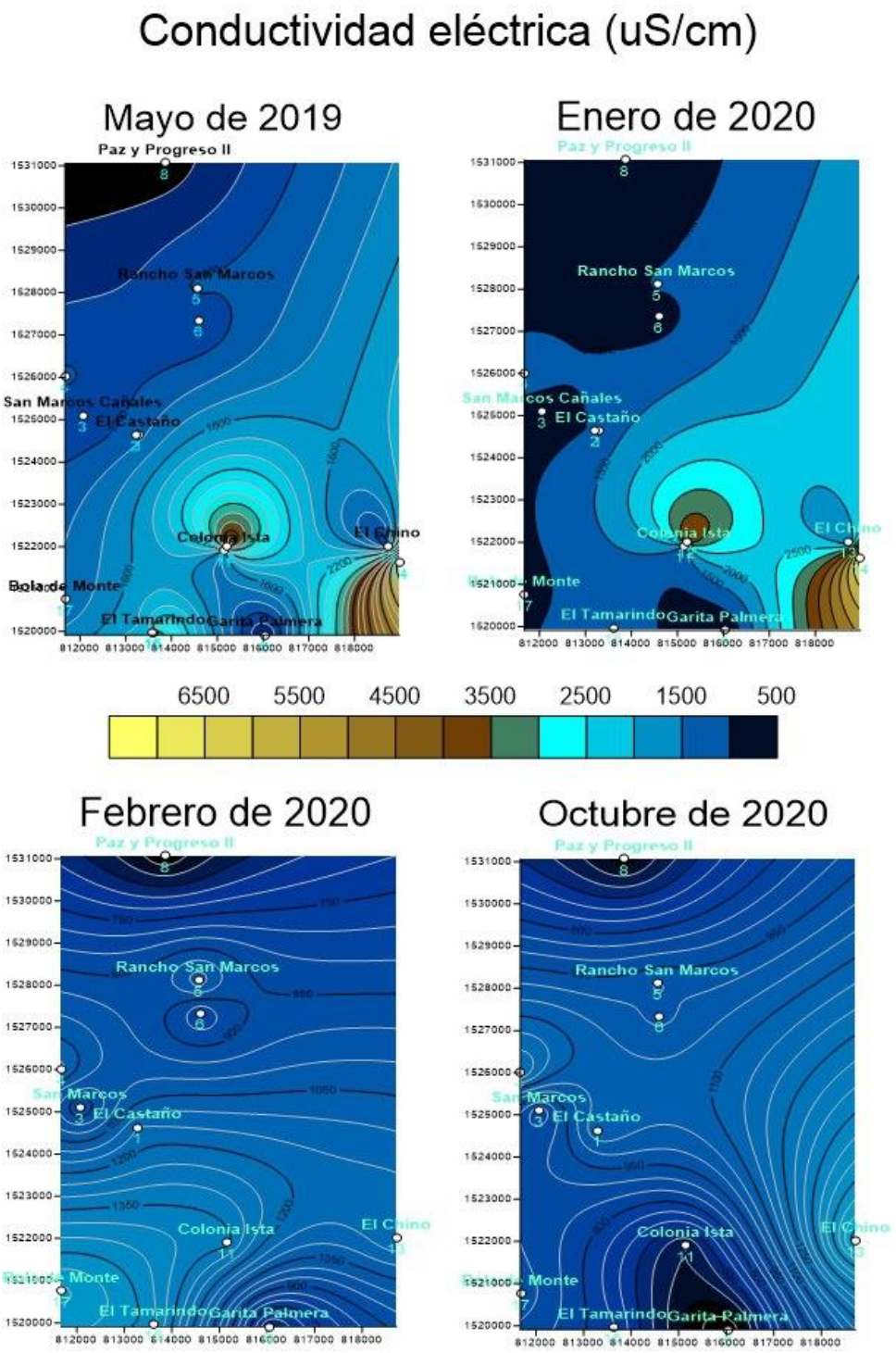


Ilustración 29. Variable de conductividad en el monitoreo en los meses de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020.

El mes de mayo presenta los valores más altos de conductividad con "puntos álgidos" en las comunidades de El Chino, Colonia Ista y El Tamarindo.

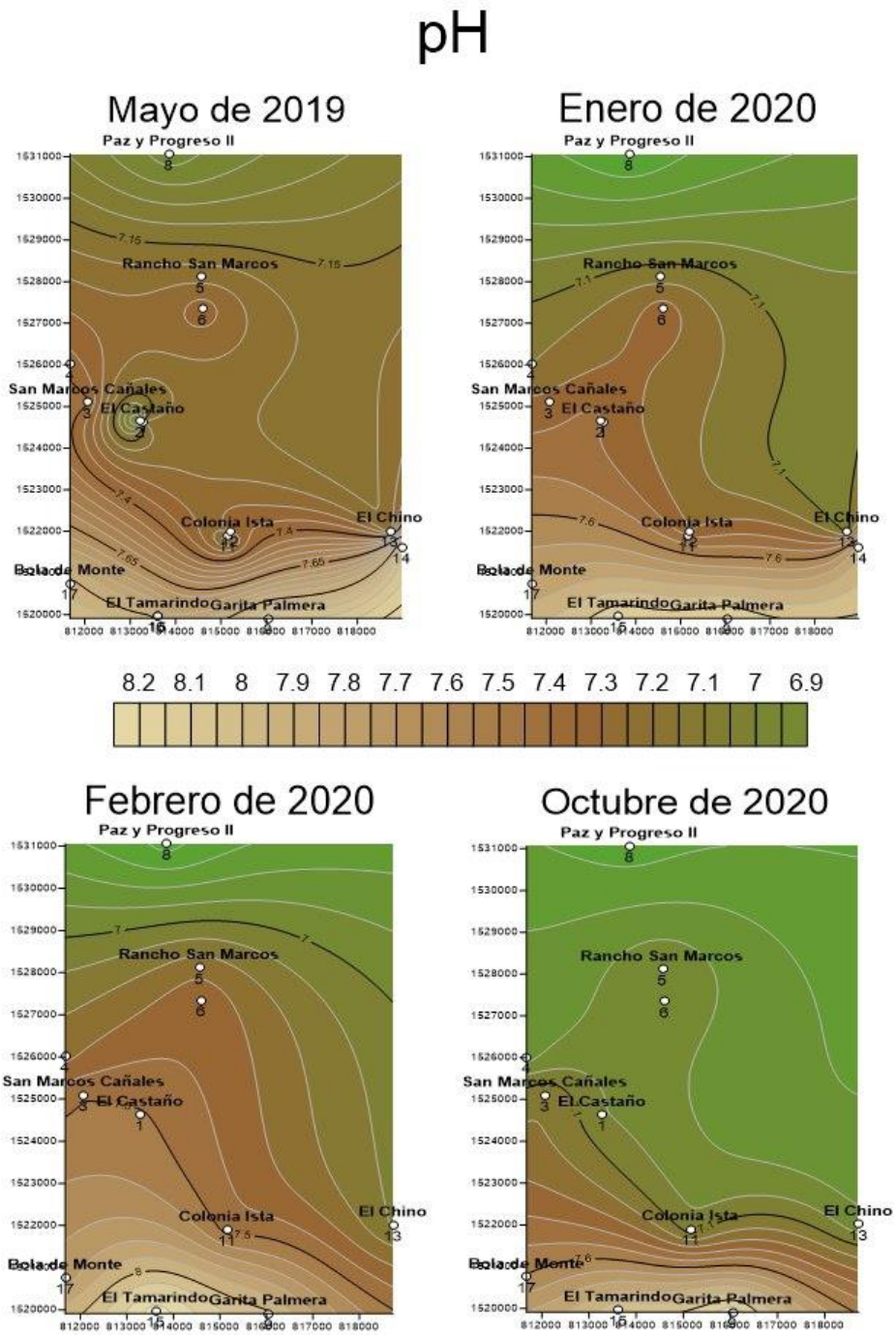


Ilustración 30. Variable de pH en el monitoreo en el mes de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020.

En la cuenca, hay un perfil de pH con valores más ácidos aguas arriba (Sur) y luego más básicas aguas abajo, cerca de la playa. A lo largo de los meses, los valores más ácidos se encuentran en octubre, al final del periodo de lluvias.

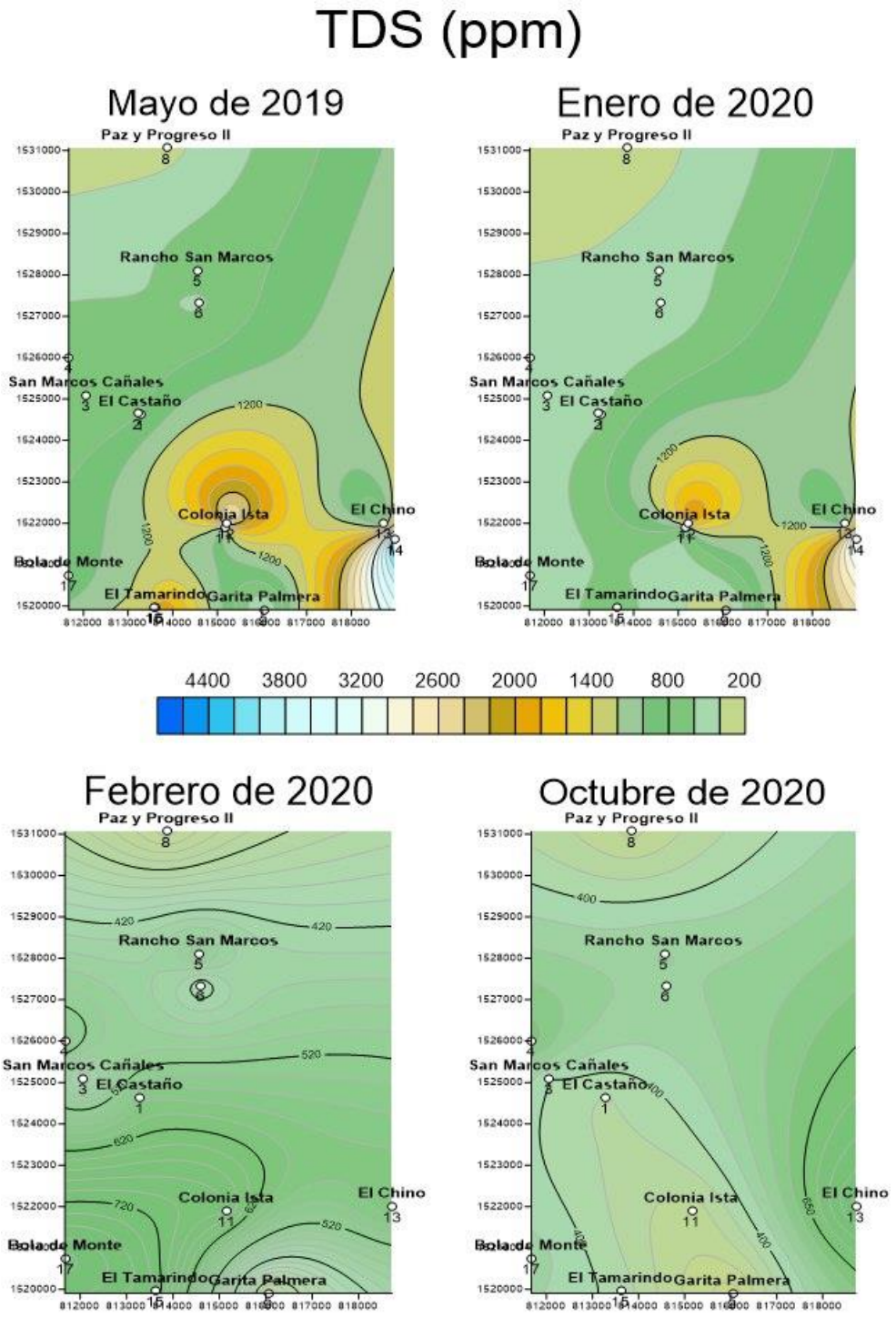


Ilustración 31. Variable de TDS en el monitoreo en el mes de mayo 2019, enero, febrero y octubre de 2020.

Las zonas con altas concentraciones de sal disuelta se ubican alrededor de la comunidad de El Chino y la colonia Ista.

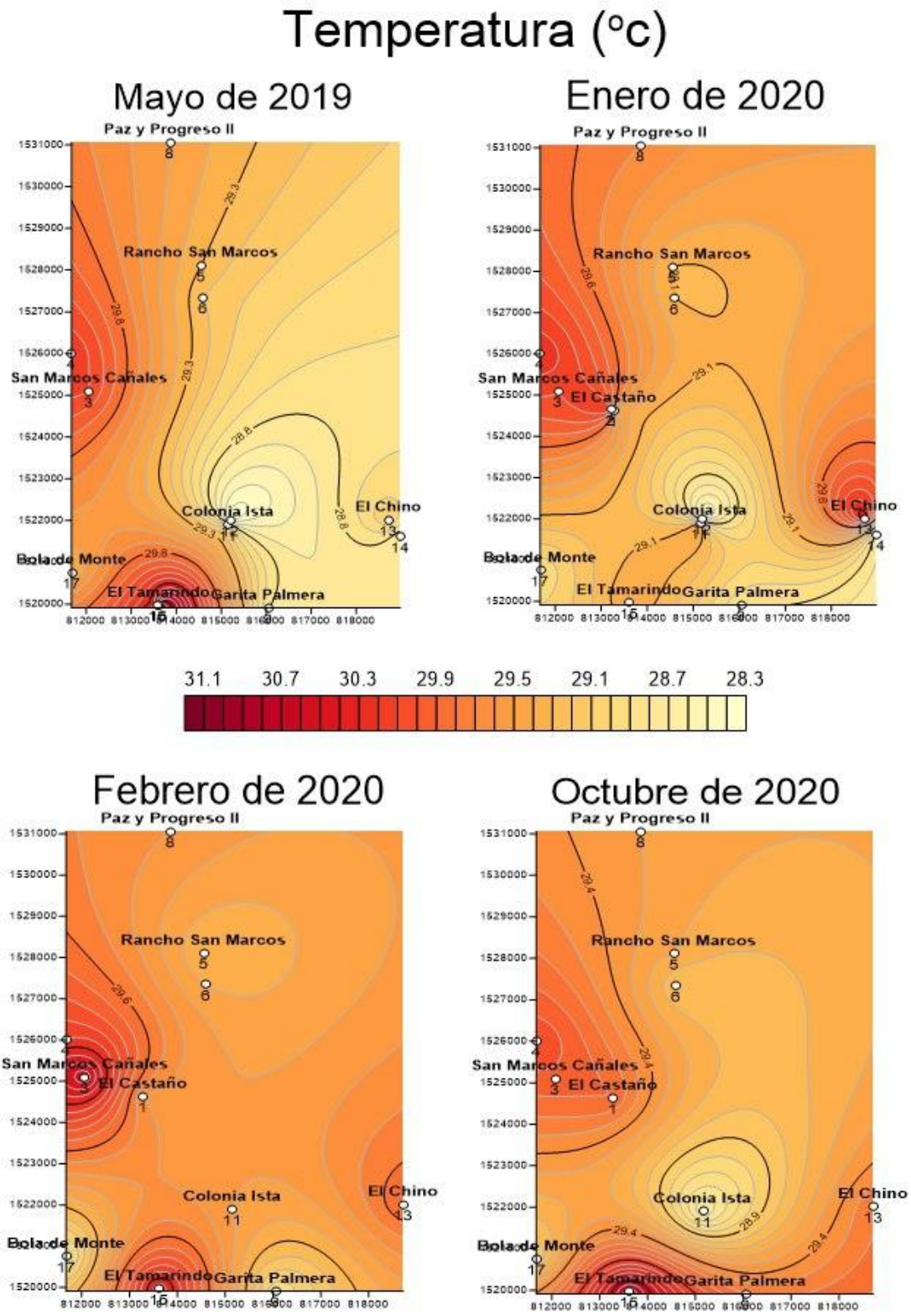


Ilustración 32. Variable de temperatura en el monitoreo en el mes de mayo de 2019, enero, febrero y octubre de 2020.

Las temperaturas son bastante estables durante el año y no existe un perfil espacial pronunciado.

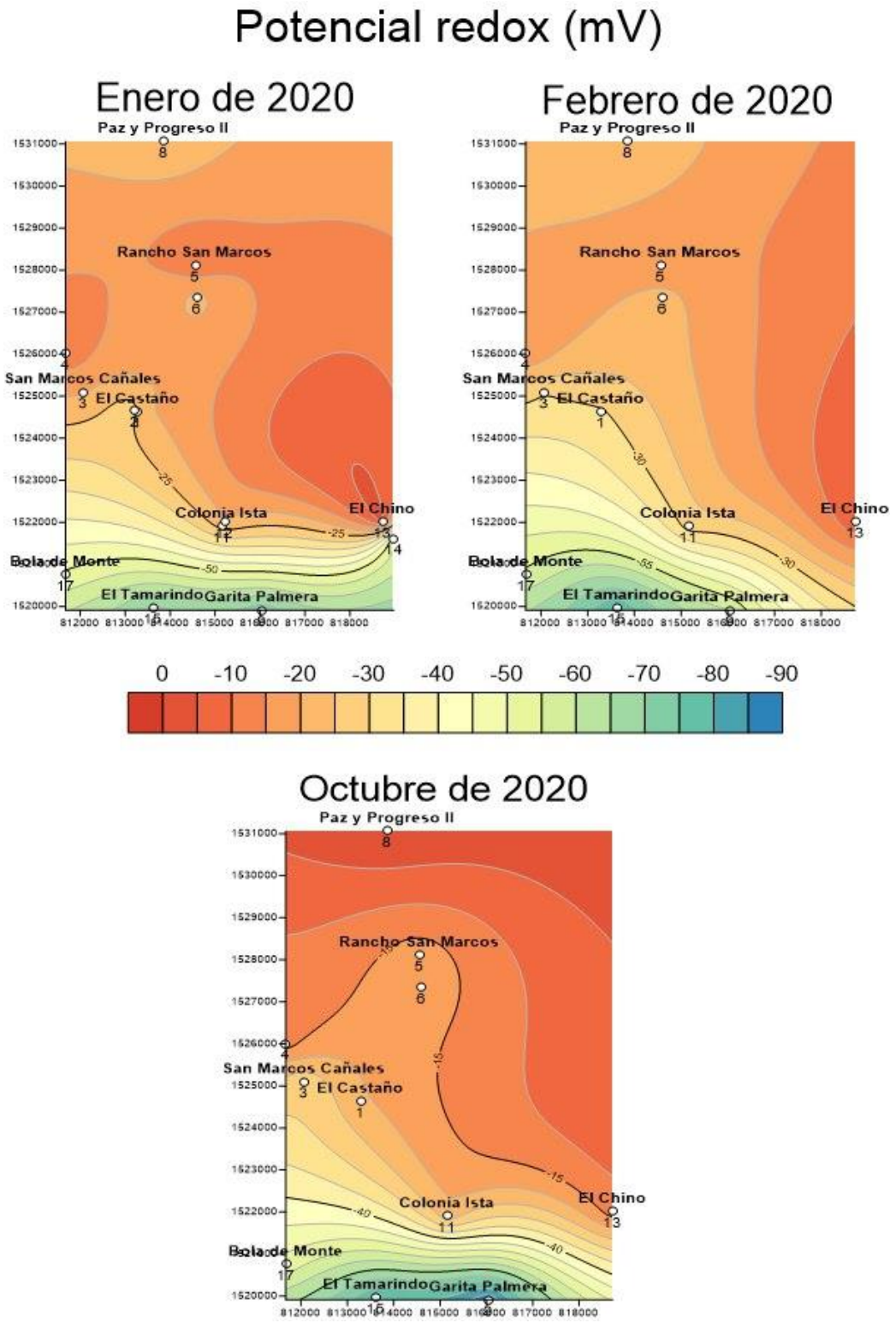


Ilustración 33. Variable de redox en el monitoreo en los meses de enero, febrero y octubre de 2020.

El potencial muestra el mismo perfil que el pH, con aguas más oxidantes cerca de la zona costera que aguas arriba de la cuenca

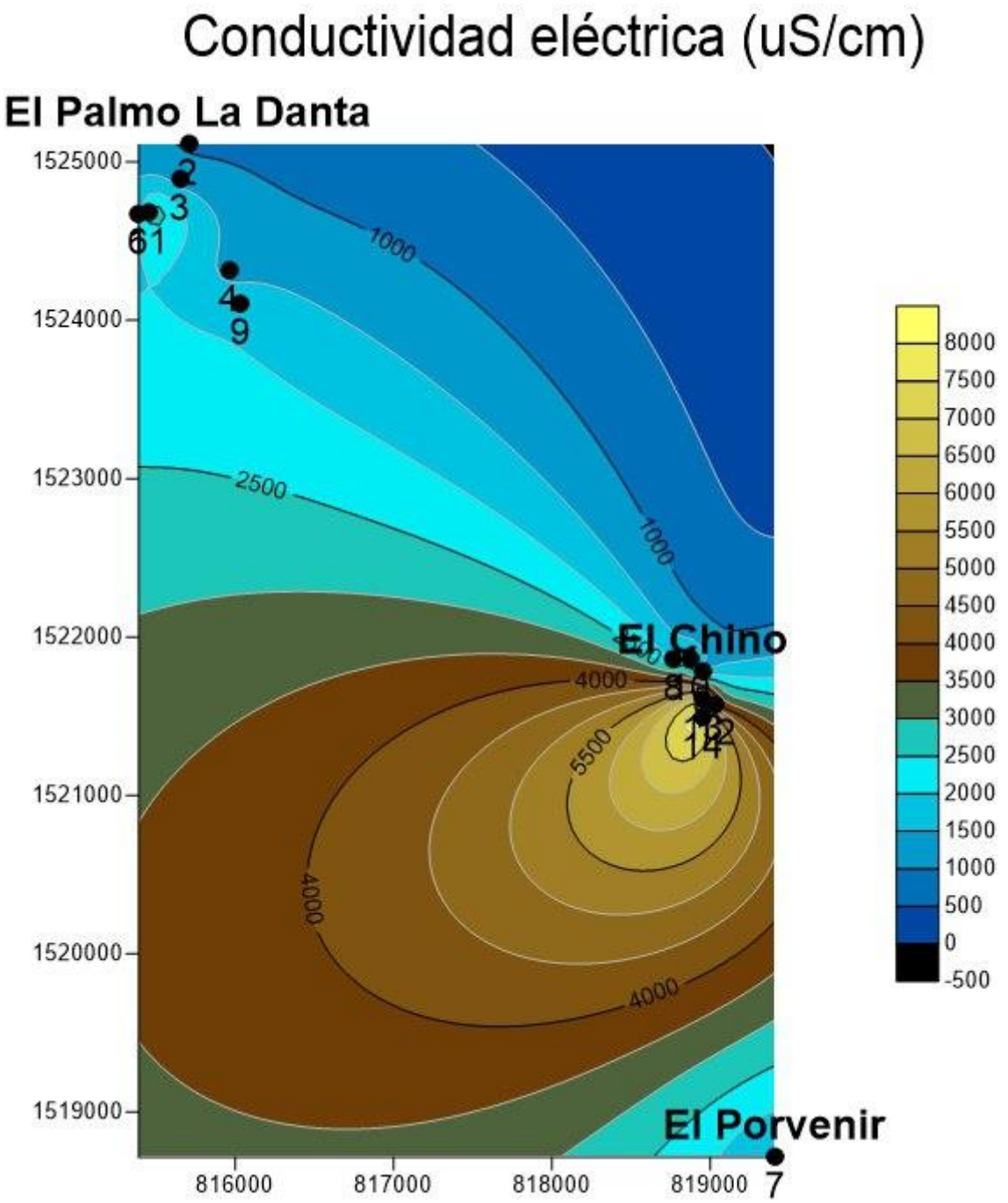


Ilustración 34. Conductividad eléctrica de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

Los pozos de las comunidades de El Chino y El Palmo La Danta tienen niveles de conductividad de altos a muy altos. La zona de El Porvenir se caracteriza por el agua dulce.

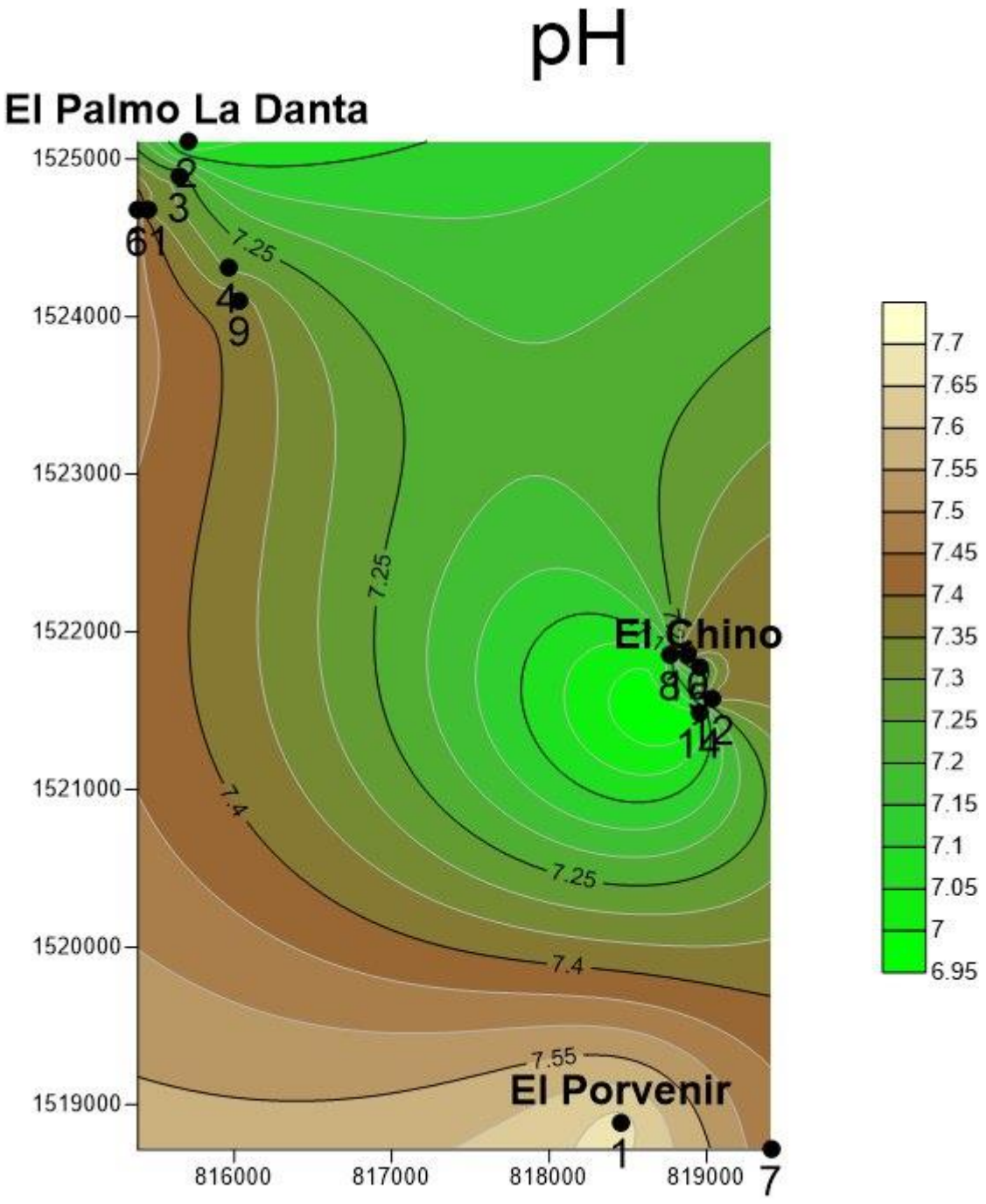


Ilustración 35. pH de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

Las temperaturas en la zona de estudio son relativamente homogéneas. Una ligera acidificación de las aguas subterráneas se localiza en la comunidad de El Chino y más arriba hacia El Palmo La Danta.

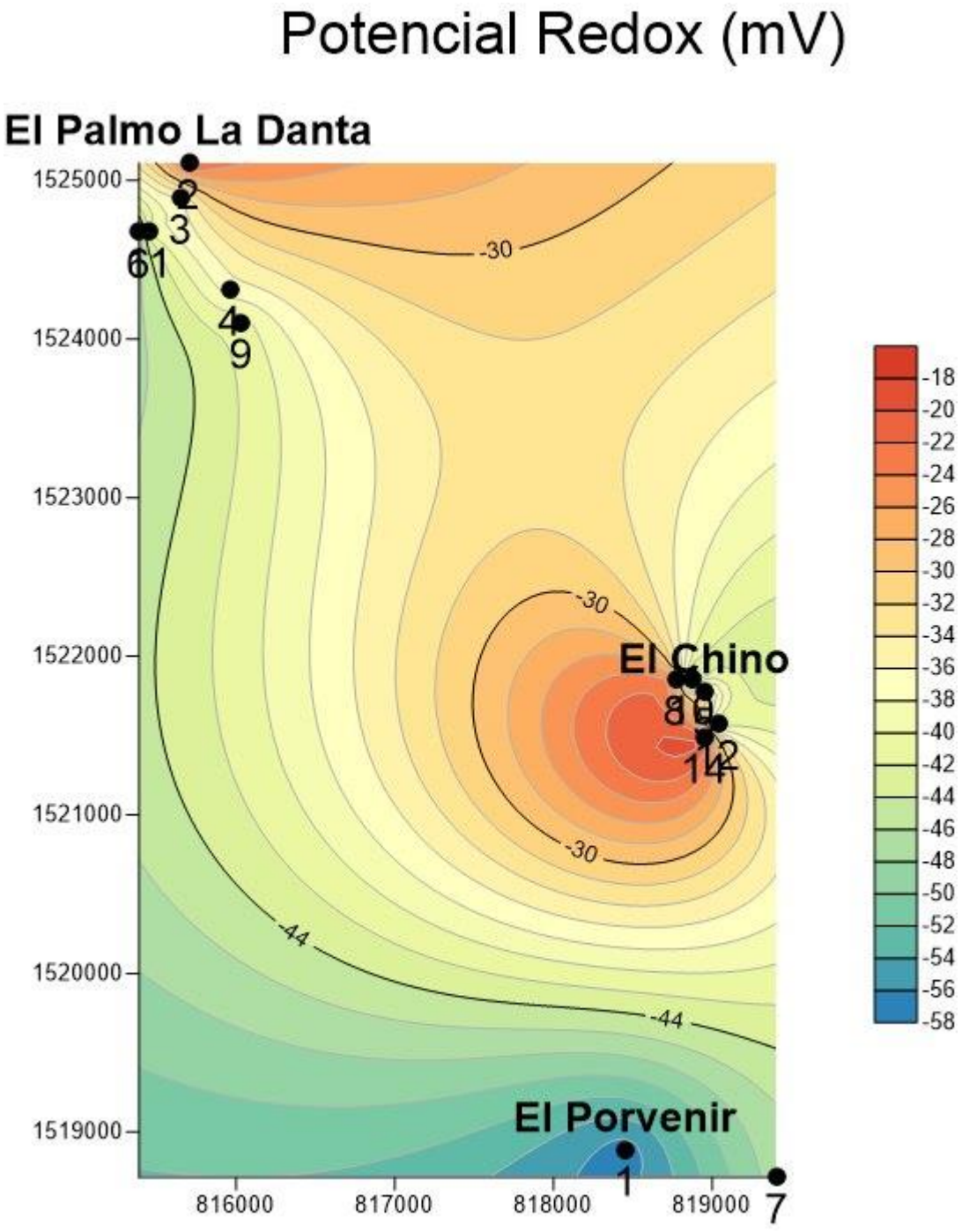


Ilustración 36. Potencial Redox de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

Las comunidades de El Chino y El Palmo La Danta tienen agua con menor potencial de oxidación que la comunidad de El Porvenir.

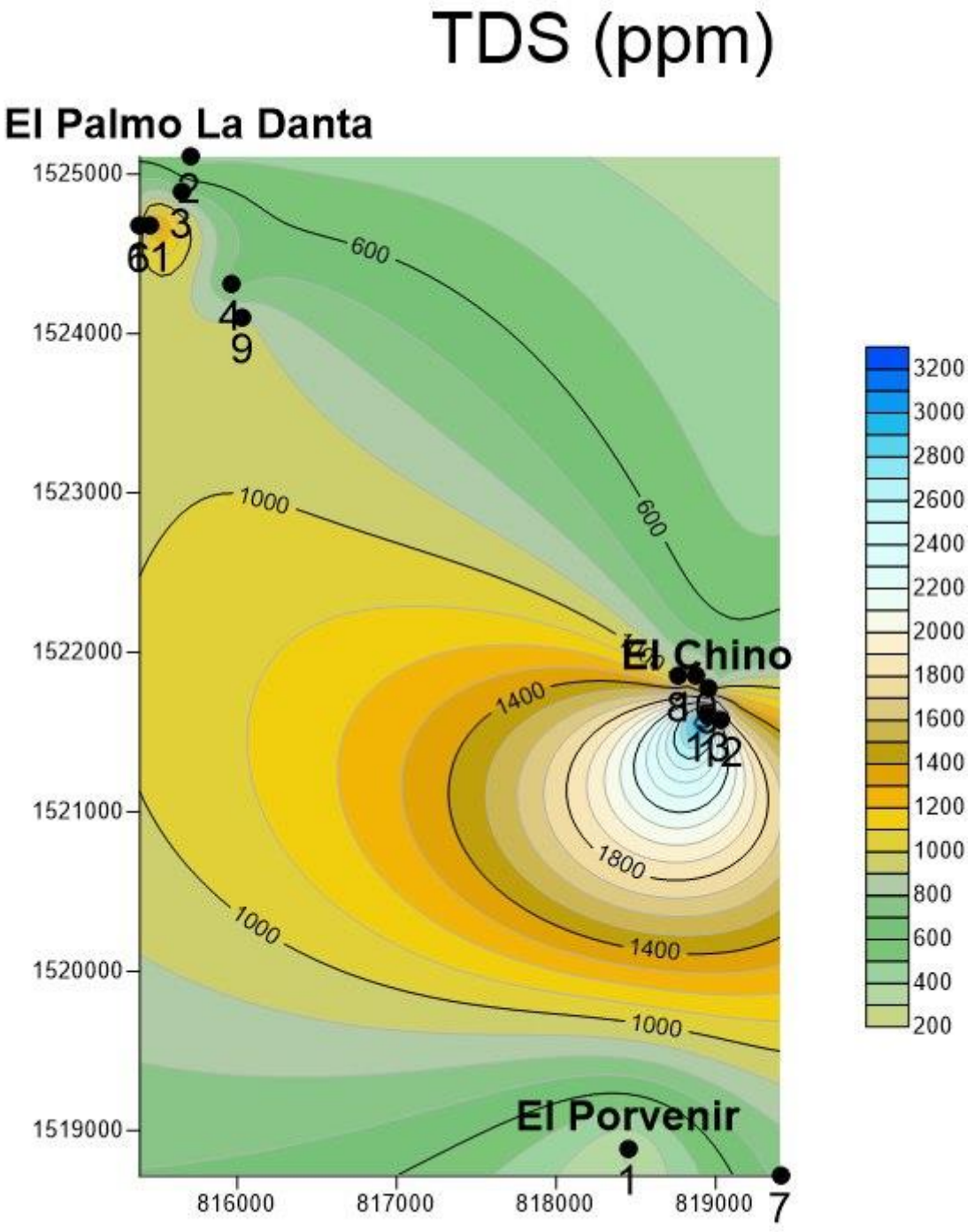


Ilustración 37. TDS de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

Los pozos de las comunidades de El Chino y El Palmo La Danta tienen niveles de agua disuelta de altos a muy altos considerando que son aguas dulces. La zona de El Porvenir se caracteriza por el agua dulce.

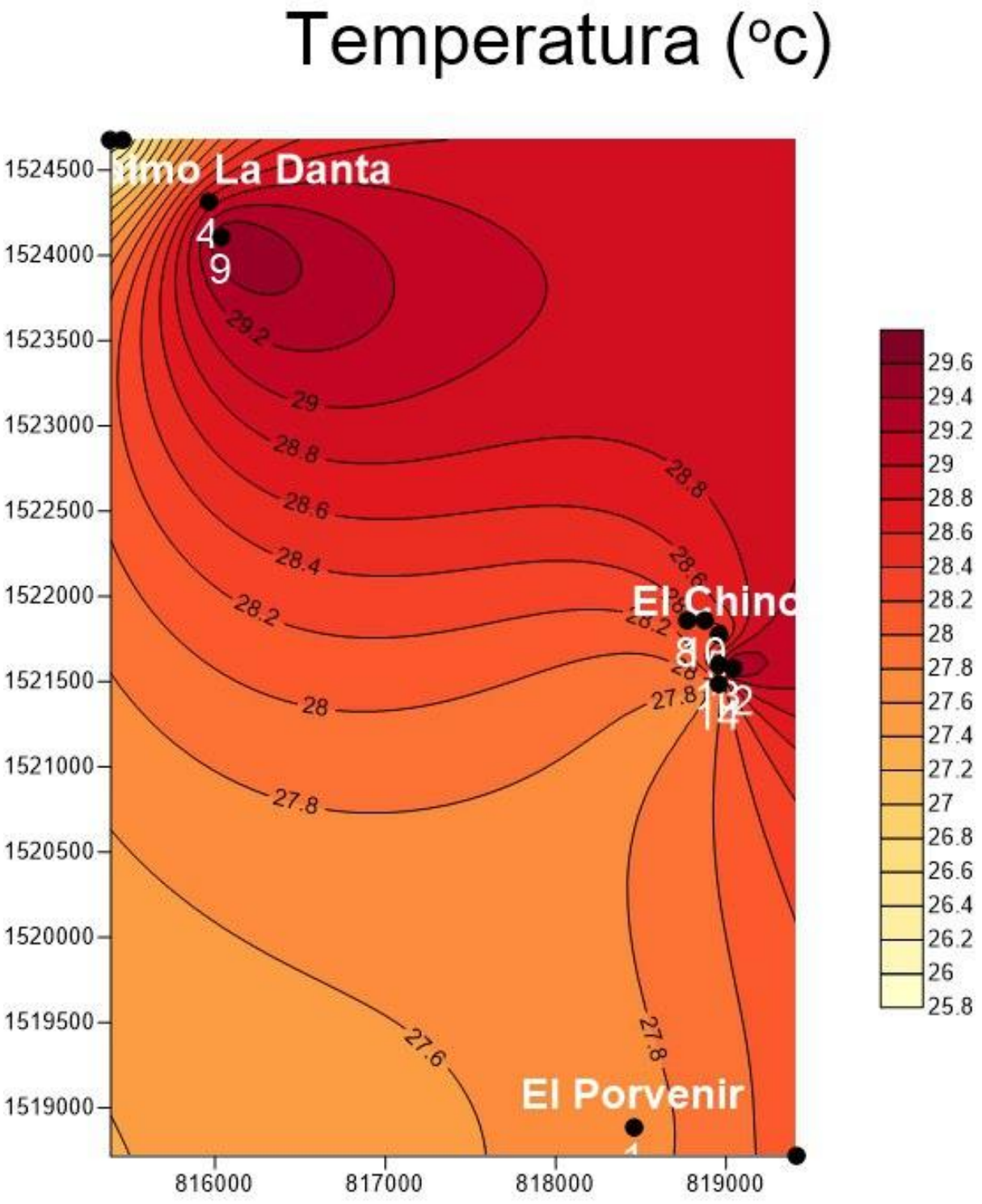


Ilustración 38. Temperatura de la campaña hidrogeológica en diciembre de 2020.

En la zona del bosque de El Palmo La Danta se encontraron valores de temperatura ligeramente inferiores.

Calidad del agua

La profundidad a la que se encuentra el acuífero y el nivel de los acuíferos en función del nivel del mar en el día de la toma de muestras se indican en las dos primeras líneas del cuadro que figura a continuación (Tabla 14). Los puntos de medición se han ordenado de izquierda a derecha según su elevación sobre el nivel del mar, comenzando por el pozo más aguas arriba hasta el pozo más aguas abajo.

A fin de situar el nivel de los acuíferos en función de sus variaciones durante el año, el promedio anual de las mediciones a lo largo de 12 meses, así como los máximos y mínimos registrados, se consignan también en el mismo cuadro sobre la base de los datos mensuales de febrero de 2019 a enero de 2020.

Tabla 14. Descripción de los pozos muestreados que comprende: nivel piezométrico en función del suelo (profundidad del agua del suelo en metros), nivel piezométrico en función de la altitud, nivel piezométrico medio anual (desviación estándar), nivel piezométrico mínimo registrado, nivel piezométrico máximo.

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E2 Rancho San Marcos	E3 San Marcos Cañales	E4 El Chino	E5 Colonia Ista	E6 El Palmo La Danta
Profundidad al agua	6.1	2.5	3.1	2.0	2.5	1.98
Nivel del acuífero (msnm)	23.88	9.50	5.90	2.00	12.47	ND
Nivel anual del acuífero (SD)	23 (0.7)	7.9 (0.7)	4.2 (0.8)	0.8 (0.9)	11.4 (0.9)	ND
Nivel mínimo del acuífero	22.16	6.93	2.65	-0.97	9.80	ND
Nivel máximo del acuífero	24.50	9.25	5.50	2.40	12.82	ND

ND: No disponible

Todos los puntos del acuífero muestreado son acuíferos de baja profundidad, especialmente los puntos E2 a E6 (2 a 3,1 metros). El punto E1 es la estación de referencia situada en la parte superior de la cuenca (unos 24 metros sobre el nivel del mar). El agua en este punto proviene de un acuífero de origen volcánico y no es vulnerable a la contaminación de la superficie. Por el contrario, los puntos E2 a E6 están situados en acuíferos porosos compuestos de arena y grava no consolidados (MARN, 2013). Este tipo de acuíferos es muy productivo (buena rentabilidad en términos de volúmenes de agua disponibles y se recargan fácilmente). Sin embargo, también son mucho más sensibles a la contaminación de la superficie (por ejemplo, los fertilizantes, algunos plaguicidas). Los acuíferos de las comunidades de San Marcos Cañales y El Chino están muy cerca del nivel del mar (5.9 y 2

metros). El mes de muestreo (octubre de 2020) corresponde casi al nivel máximo registrado en el período comprendido entre febrero de 2019 y enero de 2020.

En la tabla siguiente (Tabla 15) se resumen los parámetros físico-químicos, incluidos la temperatura, el pH, la conductividad y el total de sólidos disueltos. Cada parámetro va acompañado del promedio medido en mayo de 2019, febrero y octubre de 2020.

Tabla 15 Parámetros físico-químicos de los acuíferos en el día de la medición y el promedio registrado desde mayo de 2019 hasta octubre de 2020. Los parámetros reportados son la temperatura, el pH, la conductividad, el total de sólidos disueltos.

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E2 Rancho San Marcos	E3 San Marcos Cañales	E4 El Chino	E5 Colonia Ista	E6 El Palmo La Danta
T(°C)	24.5	29.2	30	29.6	28.4	26.1
Media mayo 2019-octubre 2020	29.4 (0.1)	29.2 (0.1)	30.1 (0.3)	29.7 (0.5)	29 (0.4)	ND
pH	6.7	7.0	7.2	6.9	7.0	7.33
Media mayo 2019-octubre 2020	6.7 (0.2)	7.2 (0.1)	7.4 (0.1)	7.1 (0.1)	7.3 (0.2)	ND
conductividad (µS/cm)	470	1005	802	1744	549	3000
Media mayo 2019-octubre 2020	481 (30)	1033 (19)	825 (15)	1329 (388)	1158 (407)	ND
TDS (ppm)	235	504	401	872	271	1503
Media anual	266 (51)	570 (111)	456 (89)	710 (130)	651 (294)	ND
ND: No Disponible						

Según los pocos datos disponibles, los valores de temperatura y pH están cerca del promedio anual. Las aguas son de neutras a ligeramente ácidas (pH por debajo de 7). Esto podría explicarse por las precipitaciones (agua acida) que se produjeron en los días anteriores a la toma de muestras y los elementos presentes en los suelos (iones disueltos).

Las conductividades y los TDS medidos en las comunidades de Rancho San Marcos (1005 µS/cm), El Chino (1744 µS/cm) y El Palmo La Danta son altos en comparación con la estación de referencia (E1 470 µS/cm). Las estaciones de la Colonia Ista y El Chino tienen importantes fluctuaciones de conductividad en la capa freática durante el año (±400 µS/cm).

La siguiente tabla (Tabla 16) resume los resultados obtenidos para los análisis de iones principales en tres pozos comunitarios (E1, E5, E6). El pozo E1 representa el punto de referencia que caracteriza el tipo de agua presente en el acuífero aguas arriba de los cultivos. El agua es del tipo bicarbonatada

sódica porque su composición está formada principalmente por bicarbonato como aniones y sodio como catión.

Un aumento de las concentraciones de nitratos y fosfatos de aguas arriba a aguas abajo de la cuenca podría indicar una contaminación por los fertilizantes NPK. Los nitratos están ausentes en las aguas de referencia arriba de la cuenca (E1) y se encuentran en los acuíferos aguas abajo (E4). Los fosfatos aumentan en un factor significativamente más alto (3,4) que todos los demás iones (0,8-1,6). Sin embargo los análisis de iones mayoritarios no muestran excesos en las normas de agua potable para los nitratos (50 mg/L) y nitritos (3 mg/L) (Alvarez & Rodriguez Pacas, 2001) incluso tienen valores de concentraciones bajos que pueden ser explicados por la temporada de lluvias.

Sin embargo, los parámetros físico-químicos medidos y las concentraciones de determinados iones mayoritarios hacen que el agua de pozo sea inaceptable para el consumo humano, no por factores toxicológicos, sino por criterios de aceptabilidad gustativa. La OMS recomienda una carga de TDS de <600mg/L y concentraciones de sulfato de <250mg/L y de sodio de <200 mg/L (WHO, 2006). Estos factores explican que comunidades como El Chino y El Palmo La Danta ya no utilicen el agua de sus pozos para beber o cocinar.

Tabla 16 Concentraciones medidas de los iones mayoritarios (mg/L).

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E5 Colonia Ista	E6 El Palmo La Danta
Ca^{2+}	23.55	31.08	83.95
Cl^{-}	38.45	60.68	594.21
CO_3^{2-}/HCO_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

La siguiente tabla presenta las concentraciones en miliequivalentes por litro para calcular el balance iónico y las relaciones iónicas según la metodología presentada por Zúñiga et al., (2010) para el estudio de la salinización en la zona costera de Antioquia (Colombia).

Tabla 17 Cuadro que resume las concentraciones iónicas expresadas en miliequivalentes por litro, el balance iónico, las relaciones iónicas de determinados elementos químicos.

	E1 Paz y Progreso II meq/L	E5 Colonia Ista meq/L	E6 El Palmo La Danta meq/L
Ca^{2+}	1.18	1.55	4.20
Cl^-	1.08	1.71	16.76
CO_3^{2-}/HCO_3^-	3.72	3.36	12.00
K^+	1.21	1.92	0.62
Mg^{2+}	0.30	0.24	1.10
Na^+	1.12	1.20	12.61
NO_2^-	0.00	0.00	0.00
NO_3^-	0.00	0.17	0.00
PO_4^{2-}	0.01	0.03	0.05
SO_4^{2-}	0.69	1.79	12.89
Balance iónico	-1.70	-1.37	-6.40
Imbalance de carga (Cl)	-18.21	-11.45	-10.63
rMg/rCa	0.26	0.15	0.26
rNa/rCa	0.95	0.77	3.01
rNa/rCa+Mg	0.76	0.67	2.38
rCl/rHCO3	0.29	0.51	1.40
rSO4/rCl	0.64	1.04	0.77

El error en el balance iónico oscila entre el 11 y el 18%, lo cual es bastante elevado pero sigue siendo un nivel aceptable según Nordstrom et al., (2009). Un balance iónico que no está en equilibrio puede ser el resultado de la falta de análisis de elementos minoritarios presentes en altas concentraciones (por ejemplo, metales traza), de un error en los análisis analíticos o de un agua ácida (contribución de iones H+) (Zúñiga et al., 2010).

La relación de iones rNa/rCa y rNa/rCa+Mg aumenta drásticamente de 0,95 y 0,76 entre el sitio de referencia de Paz y Progreso II a 3,01 y 2,38 en El Palmo La Danta, lo que muestra un aumento de los iones de sodio. Este es también el caso de rCl/rHCO3 que aumenta de 0,29 a 1,4 que muestra un aumento de los niveles de cloruro en el agua. Las aguas interiores contienen una proporción de 0,1 a 5 y de 20 a 50 en el agua de mar. Según un estudio realizado en esta zona, esta salinización no procede de la intrusión salina del mar, sino del uso del suelo y del riego (Campos Hernández, 2016).

Fuentes potenciales de contaminación en la zona

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, como de manera natural debido al uso de agroquímicos a lo largo de toda la zona de estudio.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

(Infiltración, uso de suelo, prospección geofísica, balance hídrico de suelos e hidrogeoquímica)

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.

- 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 el cuadro siguiente.

Tabla 18. Muestra los valores de infiltración básica obtenido en la campaña hidrogeológica.

Prueba	Ubicación	Infiltración (cm/min)	cm/hr	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.

- 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, el aumento de uso de suelo en cultivo de caña si se ha visto aumentado significativamente. 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.

- Prospección Geofísica.

Los modelos de resistividad 2D muestran una distribución de materiales superficiales conformados por una matriz de arcillas en los primeros 5 metros de profundidad en la mayoría de los perfiles explorados (Ilustración 10, 11 y 12).

El modelo LR00017 (Ilustración 13) muestra una transición de la zona no saturada a la saturada se presenta a una profundidad aproximada de 7 m, esta situación es notoria debido a la cercanía del río Paz; sin embargo, está 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.

Los modelos LR00018 (Ilustración 14) y LR00019 (Ilustración 15) muestra 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 y que tienen una cantidad muy densa de pozos en este sitio. Por otro lado, 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 profundo.

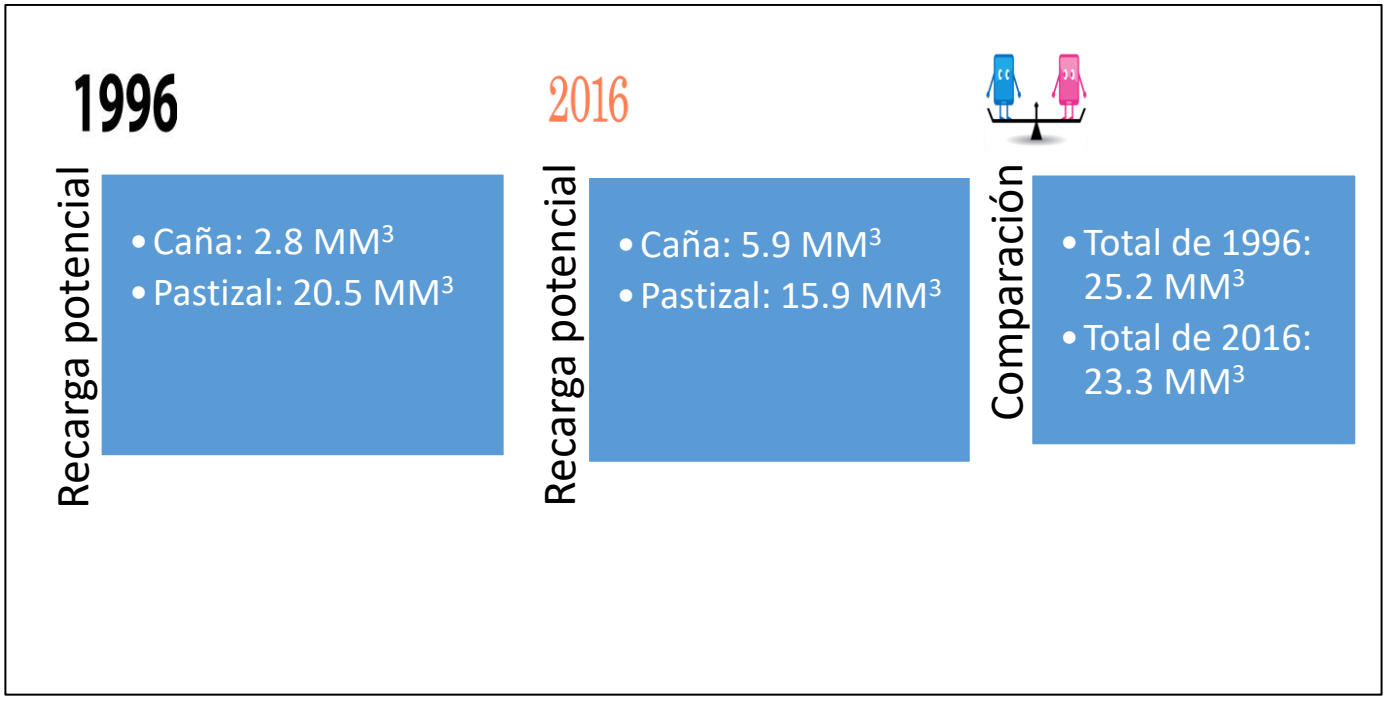
El modelo LR00020 (Ilustración 16) muestra una distribución de resistividades muy heterogénea posiblemente asociada con una distribución irregular de sedimentos depositados en la historia geológica de río Paz, sin embargo, es posible inferir un nivel de la zona saturada a partir de los 6m de profundidad.

Los modelos LR00021 (Ilustración 17) y LR00022 (Ilustración 18) se realizaron para explorar interfaz de agua salada (del mar) con el agua dulce del acuífero costero. Los resultados muestran una alta concentración de agua salada (valores de resistividad muy bajos) en una dirección alejándose de la playa.

- Balance hídrico de suelos

Para el cálculo de balance hídrico se relacionó 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.

Ilustración 39. 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.

- Hidrogeoquímica

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

En primer lugar, 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 media del 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.

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.

Los valores de conductividad 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.

Finalmente, los resultados de iones mayores nos permiten clasificar el agua subterránea como bicarbonatada sódica para el pozo 8 y 11, mientras que el pozo ubicado en El Palmo La Danta se clasifica como clorurada sódica. Es de hacer notar que en el pozo 11 y 8 tiene una considerable aportación de potasio y en el pozo de El Palmo La Danta los valores de sodio, cloro y sulfato son muy altos, además del excesivo valor de cloruro. Es importante notar que la distribución espacial (Ilustración 24) 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 cloro y sulfato en el agua subterránea.

MODELO CONCEPTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO PAZ

Modelo conceptual de agua subterránea de la cuenca baja del río Paz

A partir de la información geológica e hidrogeológica que se ha recolectado y la interpretación de perfiles geoeléctricos 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 (Q´f), incluyendo en zonas depósitos de estuarios con o sin manglares y playa barra costera, los cuales pertenecen al periodo Holoceno, Cuaternario de la Era Cenozoica. Hidrogeológicamente, el área de estudio está constituida básicamente por la Unidad Hidrogeológica: Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media, según el Mapa Hidrogeológico de la República de El Salvador.
Además, las propiedades hidráulicas que caracterizan la zona de interés, se define como un acuífero libre y según Campos Hernández (2016) la conductividad hidráulica varía de 1.22 a 54.83 m/d.

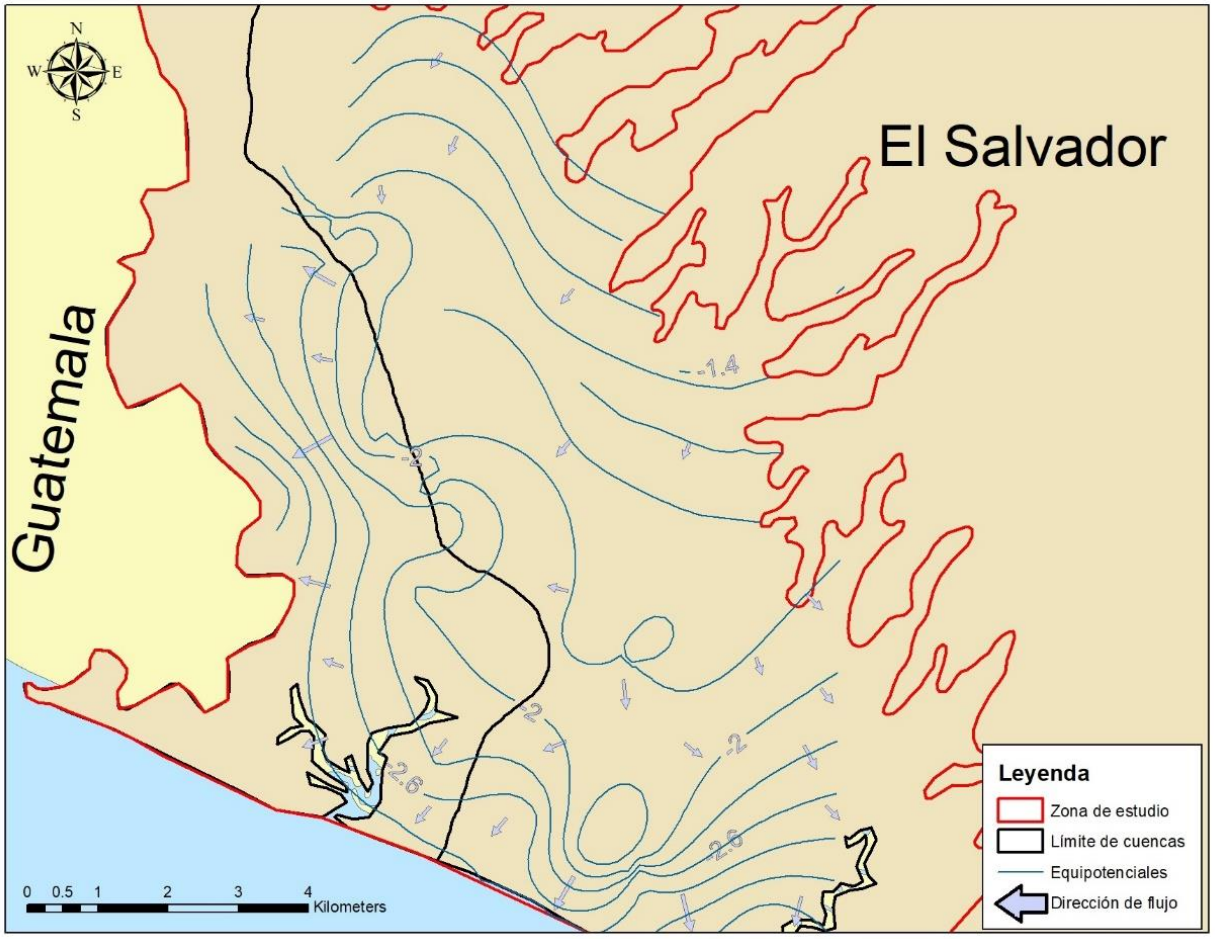


Ilustración 40. Mapa de equipotenciales y dirección de flujo. Fuente: LabSIG-CIMAT.

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 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

En Primer lugar, 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 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.

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 por arriba de lo normal.

Los análisis físico-químicos nos permiten observar los puntos de mayor concentración en conductividad y TDS, en los sitios de Garita Palmera y El Palmo La Danta. Además, el incremento de pH y potencial redox es en dirección norte-sur, es decir, que aumenta en la medida que se acerca a la costa. El seguimiento de los parámetros físico-químicos ha permitido poner de manifiesto los problemas de salinización de los acuíferos en las proximidades de las comunidades de El Palmo La Danta y El Chino. Se encontraron valores muy altos de conductividad y de sales totales disueltas ya al final del periodo de lluvias. Según el seguimiento anual, se espera que esta situación empeore durante la estación seca, con niveles probablemente más altos en abril o mayo. Este fenómeno de salinización también se observó con los análisis de los iones mayores, que mostraron un aumento de los iones cloruro y sodio, pero también de los sulfatos de agua arriba a agua abajo. El sulfato de potasio y el sulfato de amonio se utilizan en los cultivos como fertilizantes y podrían ser las fuentes de las contaminaciones.

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 para los perfiles LR00014 al LR00020. La presencia de estos materiales puede estar controlada por la dinámica del río Paz.

En el caso de, los perfiles LR00018 y LR00019 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.

En cuanto a los perfiles LR00021 y LR00022 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, esto último manifestado por los pobladores de la zona. Es importante seguir explorando la costa para identificar los límites de este acuífero salado.

Finalmente, la recarga potencial total del área de estudio es de **23_1 347 972.6 m^3 anualmente**, 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.

Recomendaciones

Manejo de agua

- 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 µS/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.

- Diseñar un plan de manejo integral del recurso hídrico, en conjunto con todos los involucrados del uso y mantenimiento del agua.

Monitoreos y técnicas

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

Bibliografía

- Alvarez, E., & Rodriguez Pacas, G. (2001). *Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:08, Agua. Agua Potable* (ICS 13.060.20; p. 20). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). *Water quality for agriculture: Vol. M–56*. http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm#TOC
- Campos Hernández, G. X. (2016). *Estudio De La Salinidad Del Acuifero Costero De La Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán.* Universidad de El Salvador.
- Custodio, E. & Llamas, M., (2001). *Hidrología Subterránea*. Barcelona, España: Ediciones Omega.
- Jiménez, F. (2005). *Evapotranspiración*. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CR), Turrialba, C.R.
- MARN. (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2013* (p. 32). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Nordstrom, D., Mccleskey, R., & Ball, J. (2009). Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid–sulfate waters. *Applied Geochemistry*, *24*, 191–207. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.11.019
- Schosinsky, G. & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 34-35, pp. 43-55.
- WHO. (2006). *Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: Incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3 rd ed.* (ISBN 92 4 154696 4; p. 595). World Health Organization.
- Zúñiga, V. P., Azofeifa, I. V., Vargas Quinteros, M. C., & Hartig, F. A. (2010). *Hydrogeochemistry in the coastal aquifer of the Uraba region*. *9*(17), 11.

Anexos

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 infilta.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raices.	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		por peso	
Kfc [0.01%]	0.71635		(%)	(mm)
I [0.01%] =	1	CC	29.00	754.00
DS (g/cm^3):	1.30	PM	15.00	390.00
PR (mm)	2000.00	(CC-PM)	14.00	364.00
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	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 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 infilta.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raices.	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
I [0.01%] =	1
DS (g/cm^3):	1.40
PR (mm)	1500.00
HSi (mm)	280.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	23.00	483.00
PM	10.00	210.00
(CC-PM)	13.00	273.00

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 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 infilta.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raices.	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 HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Garita Palmera

Fecha: 9-Dec

Textura de Suelo: Linea de costa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infilta.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raices.	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]	2000.00
Kp [0.01%]	0.20
Kv [0.01%]	0.75
Kfc [0.01%]	1
I [0.01%] =	1
DS (g/cm^3):	1.70
PR (mm)	100.00
HSi (mm)	15.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	9.00	15.30
PM	4.00	6.80
(CC-PM)	5.00	8.50

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)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	15.00	6.80	
C1	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.39	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	122.24	271.51	217.22	240.43	284.44	159.32	55.97	0.00	
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	33.58	96.01	168.99	177.88	173.92	155.16	108.32	55.97	0.00	969.82
HSf (mm)	6.80	6.80	6.80	6.80	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	15.30	6.80	6.80	
DCC (mm)	8.50	8.50	8.50	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	8.50	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	17.73	94.02	30.84	58.02	120.77	42.50	0.00	0.00	363.89
NR (mm)	163.99	163.55	195.46	168.59	96.01	0.00	0.00	0.00	0.00	47.70	102.65	158.33	1096.27

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 infilta.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raices.	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 HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Garita Palmera

Fecha: 9-Dec

Textura de Suelo: Pastizal

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
I: Infiltración.
CC: Capacidad de Campo.
PM: Punto de Marchitez.
PR: Profundidad de Raices.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.
DS: Densidad de Suelo.
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR
Kp: Factor por pendiente (ver léame)
Kv: Factor por vegetación (ver léame)
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

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

	por peso (%)	(mm)
CC	22.00	143.00
PM	9.00	58.50
(CC-PM)	13.00	84.50

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

FUSADES
Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social

LAB Laboratorio de FUSADES

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE

INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE

MUESTRA 201006637-01

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***	MÉTODO	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	25.80	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3500- Na /3111-B
A008	**Fosfatos	0.39	mg/L	S.R.D.	Método de Acido Ascór	4500-P E
A009	Sulfatos	33.17	mg/L	250	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010	Cloruros	36.45	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

FSC 36.01 V 13 21/09/2020

FUSADES
Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social

LAB Laboratorio de FUSADES

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE

INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE

MUESTRA 201005635-01

DATOS GENERALES SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE *

Muestra: POZO # 11, DOMINGO SANCHEZ, COLONIA ISTA
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

ANALISIS

	DETERMINACION	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A004	Calcio	31.09	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

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

FUSADES
Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social

LAB Laboratorio de FUSADES

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE

INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA POTABLE

MUESTRA 201206906-01

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 Ascór	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

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

Tabla de monitoreo de pozos y campaña hidrogeológica.

						May-19		
N°	Cantón	Coordinante		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-20						
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 (µS/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		
N°	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

	Campaña hidrogeológica diciembre 2020							
#	Comunidad	x	y	Temp (°C)	TDS (ppm)	pH	mV	Cond (µS/cm)
1	El Porvenir	818457	1518888	27.7	288.1	7.67	-57.1	578
2	El Palmo La Danta	815704	1525111		466.9	6.99	-20.8	940.8
3	El Palmo La Danta	815651	1524889		692.5	7.29	-36.6	1256
4	El Palmo La Danta	815962	1524314	28.9	649.4	7.29	-36.9	1300
5	El Chino	818954	1521780	28.1	696.1	7.17	-31	1392
6	El Palmo La Danta	815389	1524675	26	723.3	7.53	-50.1	1449
7	El Porvenir	819410	1518714	28.1	728.3	7.47	-47	1458
8	El Chino	818769	1521856	28.3	894.7	7.04	-24.5	1789
9	El Palmo La Danta	816035	1524105	29.6	916.2	7.37	-40.9	1833
10	El Chino	818873	1521858	28.6	1257	7.49	-48.2	2510
11	El Palmo La Danta	815452	1524679	26.1	1503	7.33	-38.9	3000
12	El Chino	8119036	1521575	29.6	1940	7.38	-41.8	3880
13	El Chino	818954	1521604	28.9	3538	6.88	-14.6	7090
14	El Chino	818953	1521490	27.8	3960	6.98	-19.7	7900

Registro fotográfico de campaña geofísica, San Francisco Menéndez, Ahuachapán

Equipo que realizo la campaña geofísica diciembre 2020 en Ahuachapán Sur

- Grupo de Investigación en Hidrogeología
- Unidad Ecológica Salvadoreña

Foto 1. Preparación e instalación del lugar para ubicar la estación, para la toma de tomografías eléctrica, en el municipio de San francisco Menéndez, Ahuachapán.

Foto 2. Para la toma de datos se utilizó el resistivimetro ABEM Terrameter 1000 en configuración de tomografía eléctrica 2D, donde se realizaron en 9 perfiles distribuidos en la zona de estudio.

Foto 3. Para la toma de datos de resistividad aparente se ocuparon dos cables de 100 mts donde se suma un total de 41 electrodos para la tomografía eléctrica.

Foto 4. Para cada perfil realizado Se verifico si cada electrodo estaba conectado, ya que el método utilizado fue el de corriente directa

Foto 5. Ejemplo de conexión de electrodos

Foto 6. En algunos electrodos fue necesario verter un poco de agua, para poder lograr una mejor conductividad.

Foto 7. Se realizaron pruebas de infiltración, distribuidas en toda la zona de estudio

Foto 8. Ensamble del equipo de infiltración

Foto 9. Para las pruebas de infiltración, el equipo utilizado fue el permeámetro de Guelph

Foto 10. Por medio del desarrollo de las pruebas de infiltración, se determina la capacidad de infiltración del suelo.

Foto 11. El permeámetro de Guelph, consiste en la base del principio físico del tubo Marriot, donde se perfora un agujero no mayor a 50 centímetros y se instala el equipo ya armado, donde en la parte superior del tubo se vierte el agua, luego se observa el nivel del agua y la velocidad del deceso de esta.

Foto 12. Toma de muestras físico-químicas, de los pozos de la zona de estudio.

Foto 13. Mediciones del nivel de agua de los pozos.