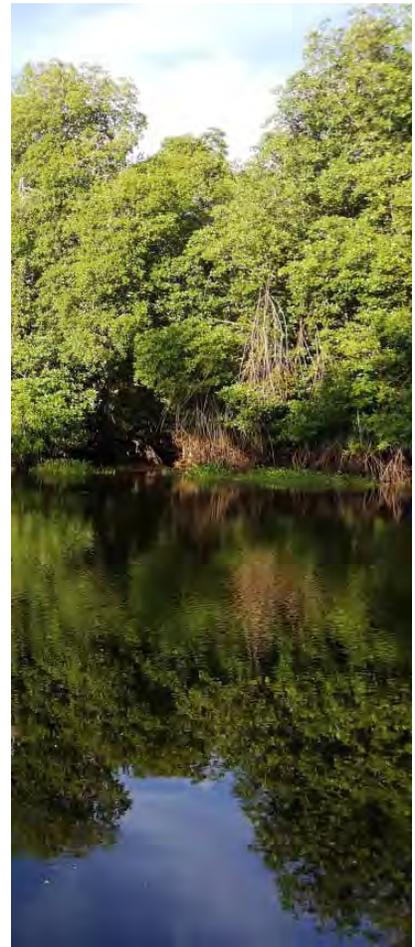




USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DEL MANCHÓN-GUAMUCHAL, GUATEMALA

Proyecto de Biodiversidad de USAID Guatemala

15 de octubre de 2020

Esta publicación fue producida para ser revisada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Fue preparada por Chemonics International Inc.

ESTUDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL ACUÍFERO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DEL MANCHÓN-GUAMUCHAL, GUATEMALA

Contrato No. 72052018C000002

Foto de portada: Los manglares forman parte de la flora característica de la Costa del Pacífico. (Credit: Mario Díaz/USAID).

DISCLAIMER

Los puntos de vista del autor expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del Gobierno de los Estados Unidos.

CONTENIDO

Acrónimos	iii
Glosario.....	iv
Resumen ejecutivo	v
1. Objetivos	vi
1.1. Objetivo general.....	vi
1.2. Objetivos específicos.....	vi
2. Antecedentes.....	1
3. Metodología	3
3.1. Materiales y equipo.....	3
3.2. Procedimiento.....	3
4. Información general.....	5
4.1. Ubicación.....	5
4.2. Fisiografía.....	6
4.3. Geología.....	7
4.4. Climatología.....	8
4.5. Hidrología.....	9
4.6. Uso de la tierra.....	10
4.7. Suelos	11
5. Resultados	12
5.1. Niveles freáticos y su variación.....	12
5.1.1 Niveles del 1 al 4 de septiembre.....	12
5.1.2 Niveles del 21 al 23 de septiembre.....	14
5.1.3 Variación de niveles freáticos	16
5.2. Parámetros fisicoquímicos de campo	19
5.2.1 Tendencias fisicoquímicas generales	19

5.2.2 Distribución espacial de la conductividad eléctrica.....	21
5.2.3 Distribución espacial de salinidad	24
5.2.4 Distribución espacial de pH	26
6. Conclusiones.....	29
7. Recomendaciones.....	30
8. Referencias.....	31
9. Anexos	34
I. Guía de campo para la medición de niveles y calidad de agua subterránea	34
II. Boleta de campo	36
III. Oficios emitidos por CONAP en apoyo a ICC	37
IV. Obicación de los pozos medidos.....	39

ACRÓNIMOS

Concejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)	1
conductividad eléctrica (CE)	3
Consejos Comunitarios de Desarrollo Urbano y Rural (COCODE)	2
Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).....	8
Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)	1
metros sobre el nivel del mar (msnm).....	13
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).....	10
Oxígeno disuelto (OD).....	3
potencial de hidrógeno (pH)	3

GLOSARIO

Agua subterránea	Cuerpo de agua almacenada bajo la superficie, ya sea en el suelo o subsuelo.
Porosidad	Porcentaje de espacio vacío en un volumen determinado de roca o suelo.
Acuífero	Cuerpo de roca o sedimentos con la capacidad de retener agua en su porosidad y una productividad que permita su aprovechamiento.
Recarga	Volumen de agua que alimenta a un acuífero desde la superficie o la zona no saturada, incluyendo flujo desde ríos, lagunas, y drenaje de riego.
Nivel freático	Nivel al que el suelo se encuentra completamente saturado. Se puede expresar como profundidad desde la superficie, o una altura con respecto al nivel del mar.
Flujo Subterráneo	Movimiento de masas de agua en el suelo debido a diferencias de potencial energético. El agua subterránea se mueve desde un potencial alto a uno bajo siguiendo

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio resume los esfuerzos por generar una línea base exploratoria del estado de los acuíferos cercanos al área del Manchón-Guamuchal en Guatemala. La información acá presentada corresponde a mediciones llevadas a cabo entre el 1 al 23 de septiembre de 2020, separadas en dos campañas de 4 y 3 días de campo respectivamente. Durante estas campañas se hizo una medición de niveles freáticos y varios parámetros fisicoquímicos de campo, específicamente los valores de pH, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, color y olor.

Los resultados muestran una heterogeneidad importante en los materiales de los acuíferos del área, con una respuesta diferente ante los fenómenos estresantes en el sistema subterráneo. Las mediciones permitieron aproximar las direcciones de flujo subterráneo, identificándose dos direcciones regionales. Para la región más alejada de la costa, el flujo subterráneo es principalmente hacia la costa, en dirección NNE a SSO, mientras que en el cordón litoral el flujo predominante es paralelo a la costa con variaciones en la dirección de flujo dependiendo del momento de medición.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluados en este estudio, se observó una región con niveles de salinidad altos, que no se pudieron vincular de manera directa a procesos de intrusión marina. Por otra parte, los procesos involucrados en las variaciones fisicoquímicas del agua subterránea en el área de estudio parecen mostrar regiones con importantes interacciones con otros cuerpos de agua superficial.

Finalmente se sugieren algunos pasos a seguir con el objetivo de continuar estudiando los procesos esbozados en esta primera exploración del área en la que el agua subterránea es vital para los habitantes de la región y, posiblemente, para el ecosistema de manglar predominante en el área.

I. OBJETIVOS

I.1. OBJETIVO GENERAL

Medir de niveles y otros parámetros de campo en pozos comunitarios del acuífero superior en el área del Manchón-Guamuchal para identificar posibles áreas sensibles a contaminación por intrusión salina, así como posibles interacciones con cuerpos de agua superficial y otros ecosistemas.

I.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar puntos de extracción de agua subterránea para la medición de niveles y otros parámetros fisicoquímicos de campo
- Medir y mapear profundidades del manto, niveles freáticos y otros parámetros fisicoquímicos de campo en el área de estudio
- Identificar posibles señales de intrusión salina en los pozos medidos
- Identificar indicios de interacciones entre el acuífero freático y otros cuerpos de agua para generar propuestas para futuros estudios

2. ANTECEDENTES

El 16 de marzo de 2020, el presidente de la República de Guatemala anunció por cadena nacional la suspensión de actividades del sector público y privado, como parte de las medidas para mitigar la propagación del COVID-19 («Coronavirus», 2020). Debido a dichas medidas, fué necesario aplazar la primera campaña de medición hasta nuevo aviso. Considerando el inicio de la temporada de lluvias a finales de mayo, técnicos trataron de ponerse en contacto con algunas de las comunidades de la región. Debido a diferentes retenes y cordones epidemiológicos a lo largo de la carretera, el acceso fue imposible (Figura 1).



Figura 1. Bloqueo a la entrada de la Aldea El Chico.

Como segunda opción, se contactó al Director Regional del Concejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) de la Costa Sur, (Anexo III). Con esta coordinación, técnicos capacitaron a personal local del CONAP en el procedimiento para la medición de niveles en pozos, entregando el material necesario, así como combustible y aceite para los desplazamientos de los empleados del CONAP (Figura 2). Desafortunadamente, los datos de niveles que se levantaron no se pudieron georreferenciar, imposibilitando el uso de esta información en este estudio (Figura 3).



Figura 2. Entrega de materiales y equipo a personal del CONAP, 9 de junio de 2020.

medidas de pozos de Aldea El Chico VER
Retatuteu

1	Maribel Bonilla	Mt-250 - Brocal - 75 ctm
2	Susai Pineda	Mt-260 - Brocal - 4 ctm
3	Juana Pimentel	Mt-2 - Brocal - 60 ctm
4	Cecilia Betancur	Mt-2 - Brocal - 75 ctm
5	Aurora el basuras	Mt-2 - Brocal - 40 ctm
6	Eduardo Velasquez	Mt-270 - Brocal - 75 ctm
7	Elsa Bonilla	Mt-2-40 - Brocal - 76 ctm
8	Carmela Bonilla	Mt-29 - Brocal - 60 ctm
9	Isabelda Batista	Mt-3-25 - Brocal - 90 ctm
10	Rebeca mendes	Mt-2-30 - brocal - 40 ctm
11	Lidia Trinidad	Mt-2-15 - brocal - 35 ctm
12	Felipe Pineda	Mt-7-78 - brocal - 50 ctm
13	Carlos Bonilla	Mt-7-50 - Brocal - 40 ctm

Figura 3. Resultados del monitoreo realizado por personal del CONAP. Aldea El Chico, 10 y 11 de junio de 2020.

Finalmente, gracias al apoyo brindado por los señores [REDACTED], propietarios de fincas que colindan con el área de estudio, fue posible entablar una comunicación directa con personal de los Consejos Comunitarios de Desarrollo Urbano y Rural (COCODE) de las diferentes Aldeas. Este contacto fue determinante al posibilitar el ingreso y transporte del personal dentro del área, llegando a monitorear 66 pozos repartidos en seis comunidades. Desafortunadamente para el segundo monitoreo, debido al recrudecimiento de la salud pública en la Aldea El Chico, 17 pozos no se pudieron medir una segunda vez.

Debido a los problemas relacionados a la situación de salud pública por la pandemia de COVID-19, así como las restricciones de tiempo, el segundo monitoreo se realizó con sólo 17 días de diferencia del primer monitoreo. Esta cercanía entre monitoreos limita el alcance de las interpretaciones. Sin embargo, la estación meteorológica del ICC Chiquirines, la más cercana al área de estudio, registró un total de 256 mm de precipitación acumulada entre las dos fechas de monitoreo. Este acumulado es importante, considerando que el área recibe en promedio cerca de 1100 mm anuales.

3. METODOLOGÍA

El monitoreo se realizó siguiendo la “Guía de campo para la medición de niveles y calidad de agua subterránea” que se resume a continuación y puede ser consultada en los anexos (Anexo I). La información resultante fue digitada en hojas de cálculo de Excel, y posteriormente fue analizada en el programa de geoestadística Surfer®. Los mapas fueron elaborados empleando QGIS® y ArcGIS®.

3.1. MATERIALES Y EQUIPO

El monitoreo tuvo como objetivo hacer un diagnóstico exploratorio de niveles y parámetros de campo. Para tal objetivo se emplearon los siguientes equipos y materiales:

- Navegador GPS Garmin y celular con conectividad GPS
- Sonda de nivel graduada
- Sonda multiparamétrica de conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T), marca HANNA HI98192.
- Sonda de medición de Oxígeno Disuelto (OD), marca Ohaus starter 300D.
- Sonda de medición de potencial de hidrógeno (pH), marca Ohaus starter 300.
- Cubo, balde o cubeta.
- Boleta de campo para el registro de la información (Anexo II)

3.2. PROCEDIMIENTO

El procedimiento empleado en los monitoreos se detalla en la Figura 4.



Figura 4. Diagrama con el procedimiento empleado en los monitoreos.

En total se lograron monitorear los niveles de 66 pozos comunitarios, registrando 9 variables. La información recolectada se resume en la Tabla I.

Tabla I

Número de pozos medidos por variable y fecha de monitoreo		
Variable	1 al 4 de septiembre	21 a 23 de septiembre*
Nivel	66	49
Características fisicoquímicas	59	43

* No se pudo acceder a la aldea El Chico.

4. INFORMACIÓN GENERAL

4.1. UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra en el Pacífico de Guatemala, cercana a la frontera Sur con México (Sanchez, 1998). Es el humedal marino costero más grande de la Costa del Pacífico de Guatemala, se encuentra al Suroeste en los municipios de Ocos, en el departamento de San Marcos, y al Sureste en los municipios de Retalhuleu y Champerico, en Retalhuleu. Sus coordenadas son 14°22'48" Norte, 92°01'27" Oeste. Cuenta con más de 25,000 ha. de extensión, de las cuales hay 7650 ha de mangle rodeadas por fincas privadas, constituyendo la región con mayor cobertura de manglar de Guatemala. (FIIT, 1995; Sanchez, 1998; Sigüenza & Aguirre, s. f.)

El humedal se encuentra dentro del Área de Protección Especial, según la ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89); fue establecido desde 1995, en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales. Debido a que la mayoría del área es propiedad privada, su administración y medidas de conservación, están a cargo de los dueños de las fincas. En el caso de Finca Tamaxán, por ser Reserva Natural Privada, está coadministrada por el propietario y el CONAP (Dix & Fernandez, 2001).

Las comunidades que se encuentran en el área de estudio (Figura 5) son: El Manchón-Guamuchal, El Mango, El Chico, Tres Cruces, Tilapa y Tamashán. El agua para uso doméstico en el municipio proviene de fuentes subterráneas, debido a que carecen de nacimientos y fuentes superficiales, extraerla implica gasto energético, por medio de motores de combustión interna, energía eléctrica o humana, elevando el costo de la misma (SEGEPLAN, 2010) y aumenta el riesgo de sobreexplotación del acuífero.

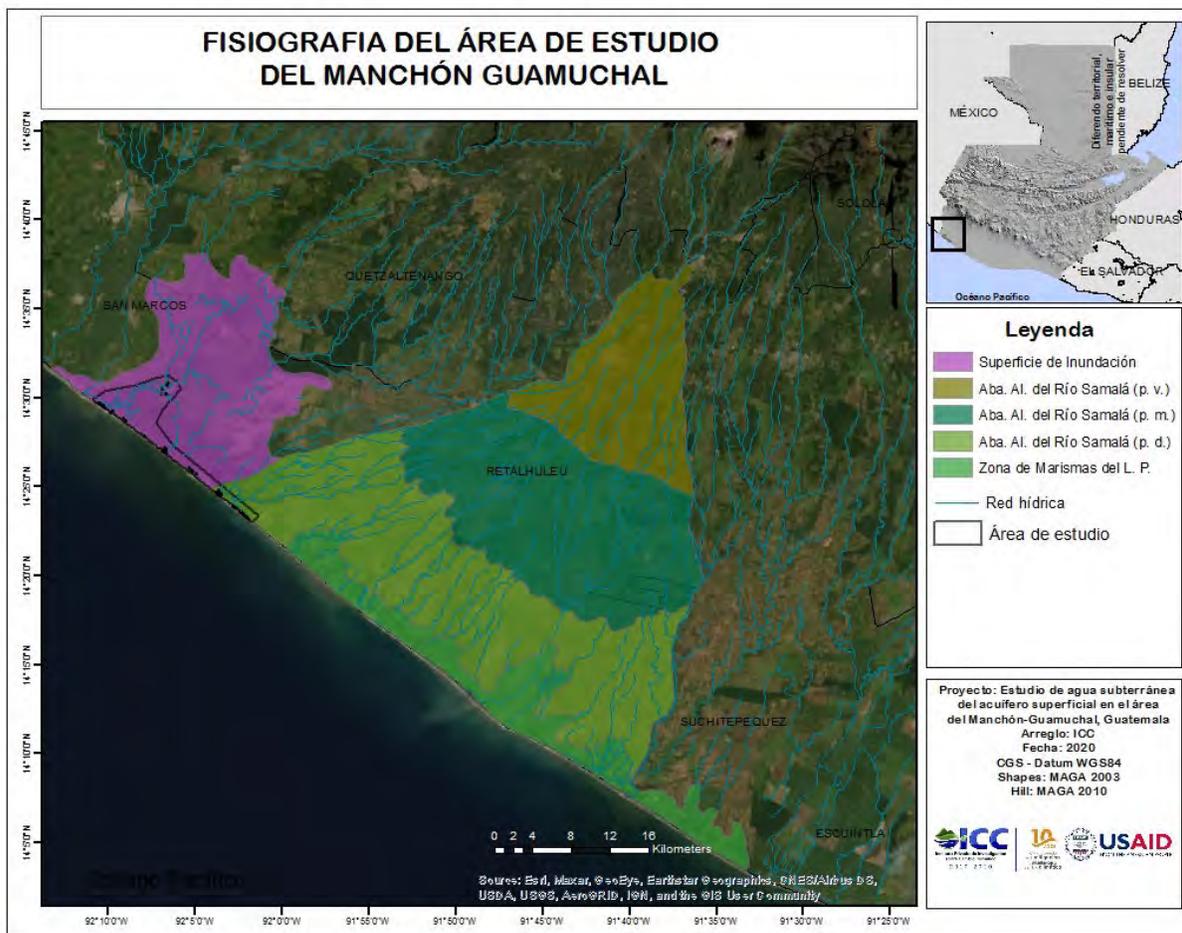


Figura 6: Fisiografía del área de estudio.

4.3. GEOLOGÍA

Dentro de los abanicos aluviales se caracteriza la presencia de rocas reciente del cuaternario (Figura 7) que continúan el proceso de deposición y formación, estas se denominan rocas sedimentarias (Herrera, 2005). En la parte sur del país, a lo largo de la franja costera del Pacífico se ubican este tipo de rocas, y esto responde a la relación con la carga sedimentaria que se transporta a través de las corrientes de agua, siendo una actividad natural por estar ubicada dentro del drenaje de la cadena volcánica de la costa del Pacífico, y su recurrente actividad ha permitido el constante depósito de material dendrítico por la erosión de las partes altas, como los depósitos dispersos suscitados por la exposición del complejo Santa María, generando cambios fisiográficos en la zona (CONAP, 2010).

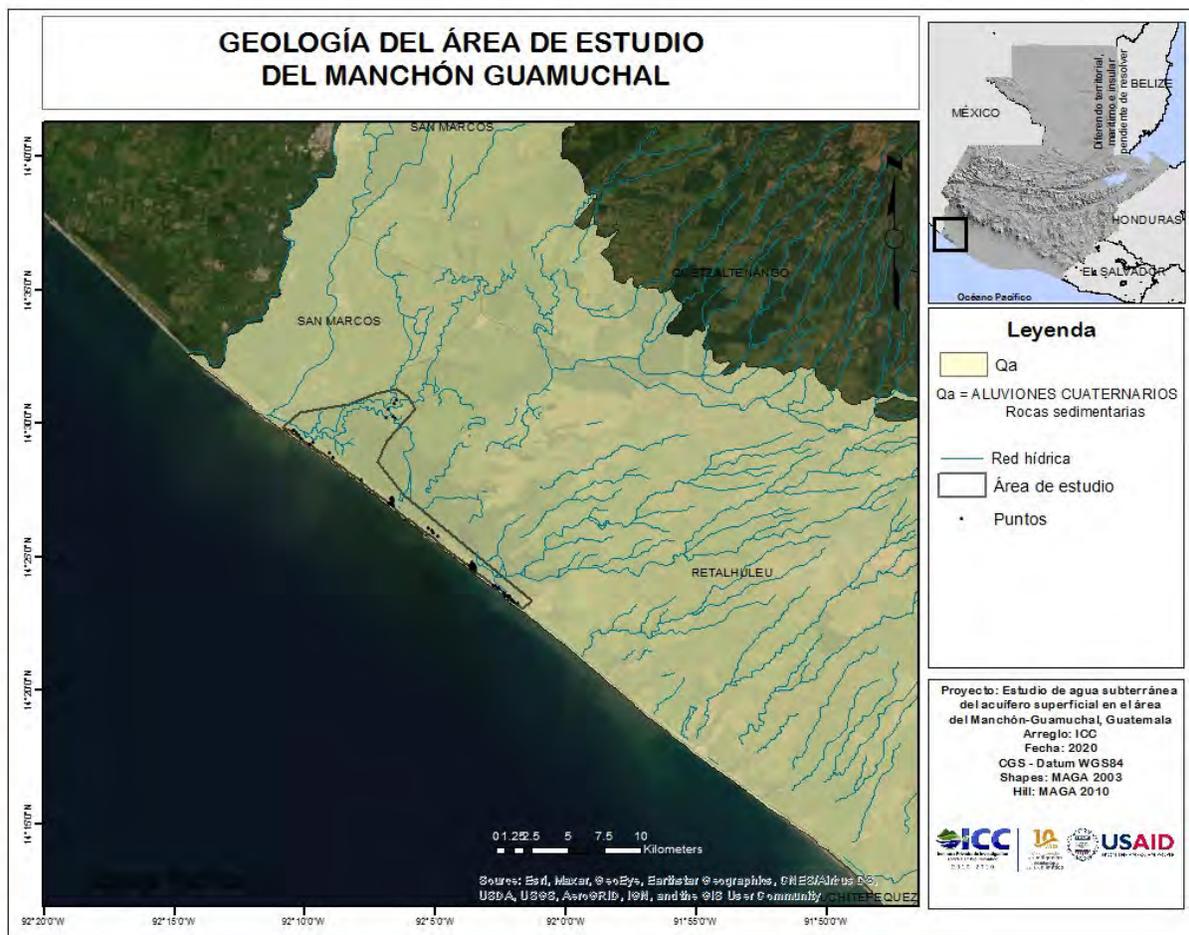


Figura 7: Geología del área de estudio. Modificado de MAGA, 2001.

4.4. CLIMATOLOGÍA

La precipitación promedio que se ha registrado dentro del área de estudio ha sido de 800 mm, según registros del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Con registro desde el 2017 a la fecha, la estación del ICC más cercana ha registrado un máximo de hasta 545.5 mm en un día. Las partes altas de la cuenca, se registran precipitaciones de más de 3000 mm anuales, presentando una incidencia de manera indirecta y significativa en la parte baja.

En cuanto a clima, la zona se caracteriza por ser cálido, común en la franja costera del Pacífico. La temperatura media anual oscila entre los 26°C, presentando una mínima de 24°C y una máxima de 29°C, según registro de estación meteorológica del ICC.

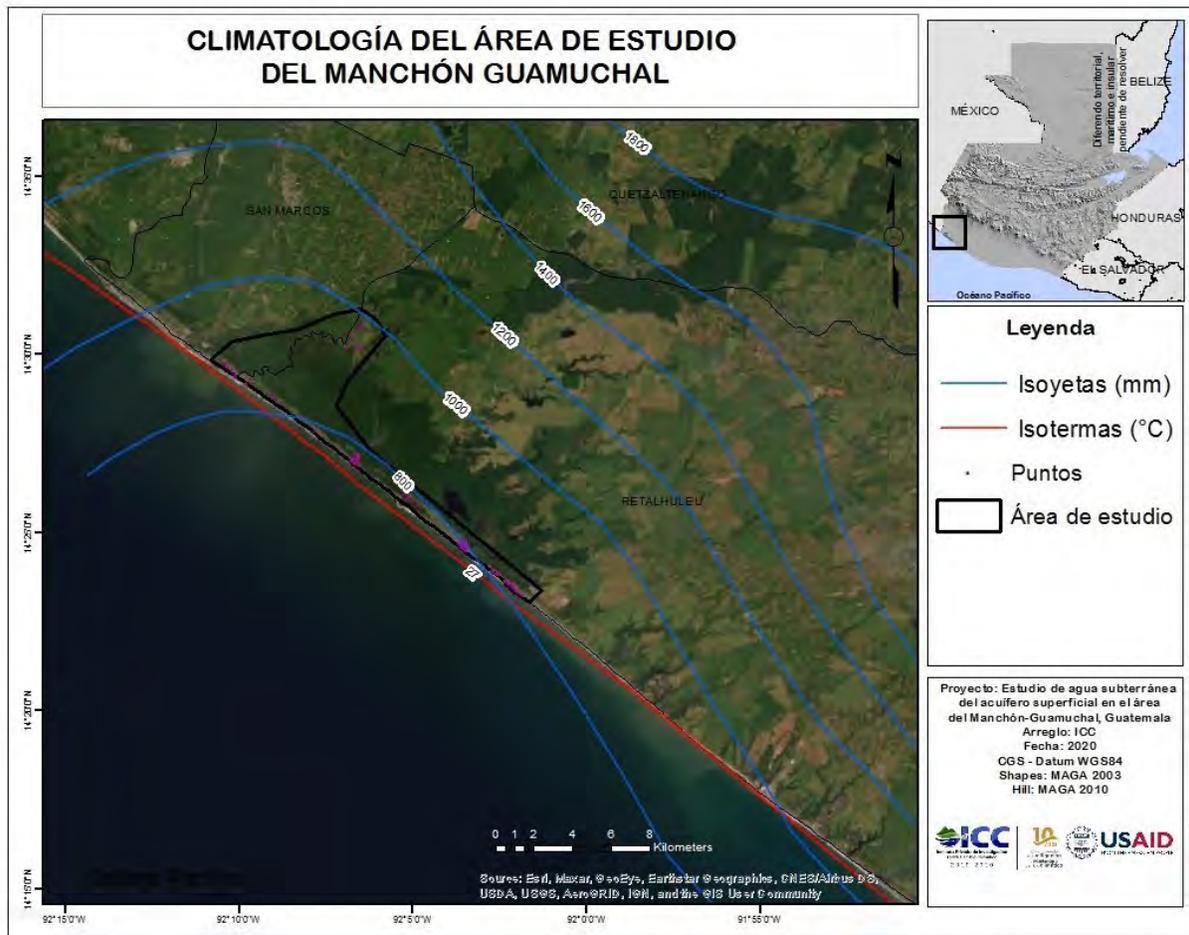


Figura 8: Climatología del área de estudio. Modificado de INSIVUMEH, 2003b, 2003a.

4.5. HIDROLOGÍA

Las cuencas de los ríos Naranjo y Ocosito predominan dentro del área de estudio, presentando una influencia en la zona, condicionado principalmente por los regímenes de lluvia. Por su ubicación, la dinámica de mareas influye en la región, formado lagunas salubres y esteros, esto siendo favorable por la topografía (ondulaciones) presentes.

El humedal Manchón-Guamuchal juega un papel importante en la retención de sedimentos transportados por los ríos y otros afluentes (quíneles, ríos primarios y secundarios), siendo que en temporada de lluvia estos pueden llegar hasta la desembocadura (Figura 9). Las modificaciones fisiográficas dadas por el complejo del Santa María, la ubicación o dirección de cauces fue modificado. Derivado de ciertas problemáticas dentro de la zona de amortiguamiento, se realizó una serie de quíneles que permitiera al agua llegar a la desembocadura.

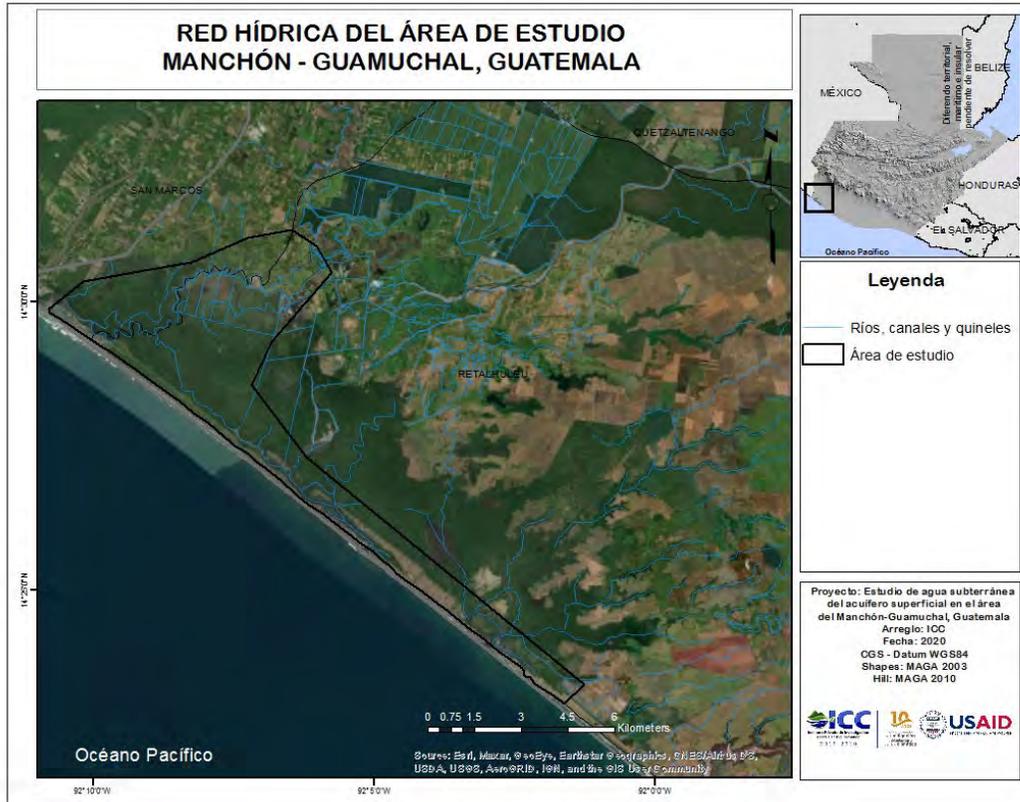


Figura 9: Red hídrica del área de estudio

4.6. USO DE LA TIERRA

Según la denominación de grupos de uso de la tierra establecidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el área de estudio se encuentra una zona de humedales y tierras de inundación (Figura 10). Aledaño a la zona de amortiguamiento del Manchón-Guamuchal, se encuentra cultivo de banano, palma de aceite y caña de azúcar. A nivel local, como medida de subsistencia de algunas comunidades, se presentan cultivos anuales.

Una de las principales actividades productivas dentro del área y por las condiciones de la zona, predominan el camarón y ganadería, sin embargo, por ser tierras de inundación estas actividades tienen el riesgo de ser afectadas de manera recurrente.

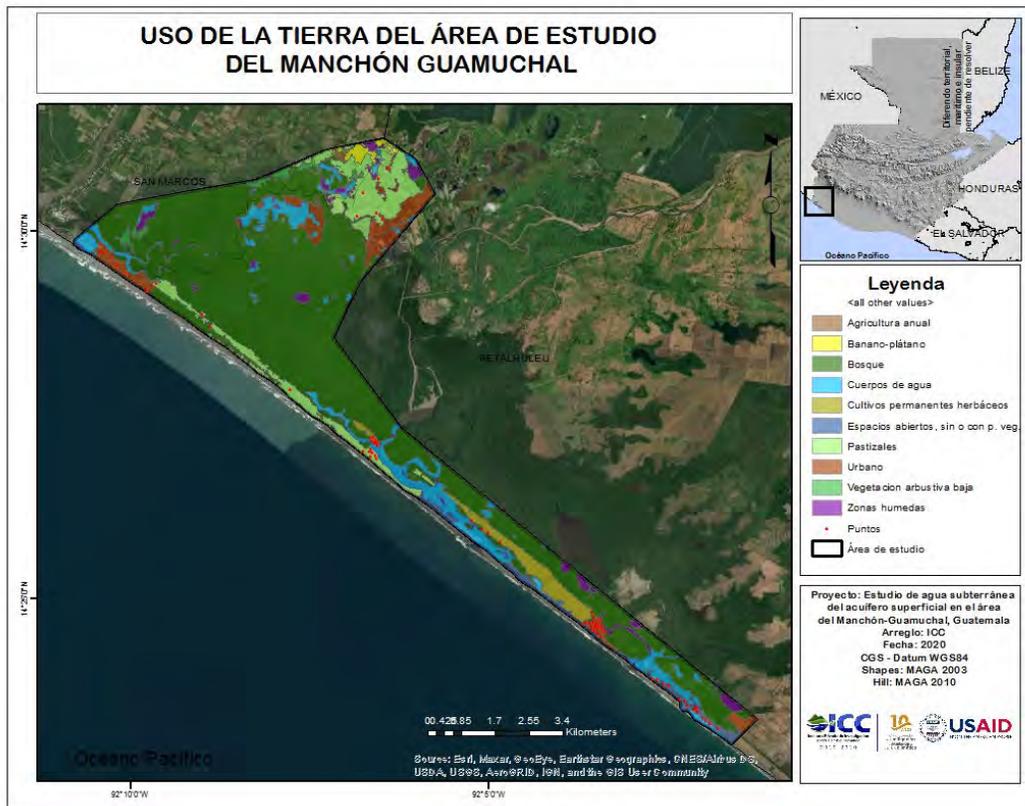


Figura 10: Uso de la tierra del área de estudio. Modificado de MAGA, 2010.

4.7. SUELOS

Dentro del área de estudio predominan los suelos franco-arcillosos con una cobertura del más del 80% y suelos arenosos principalmente ubicados sobre la franja costera. Los suelos franco-arcillosos se caracterizan por los conglomerados en forma de terrón con gran cohesión en la composición de sus partículas, haciendo que presente una deficiencia en su infiltración, mientras que los suelos arenosos presentan una alta capacidad de infiltración.

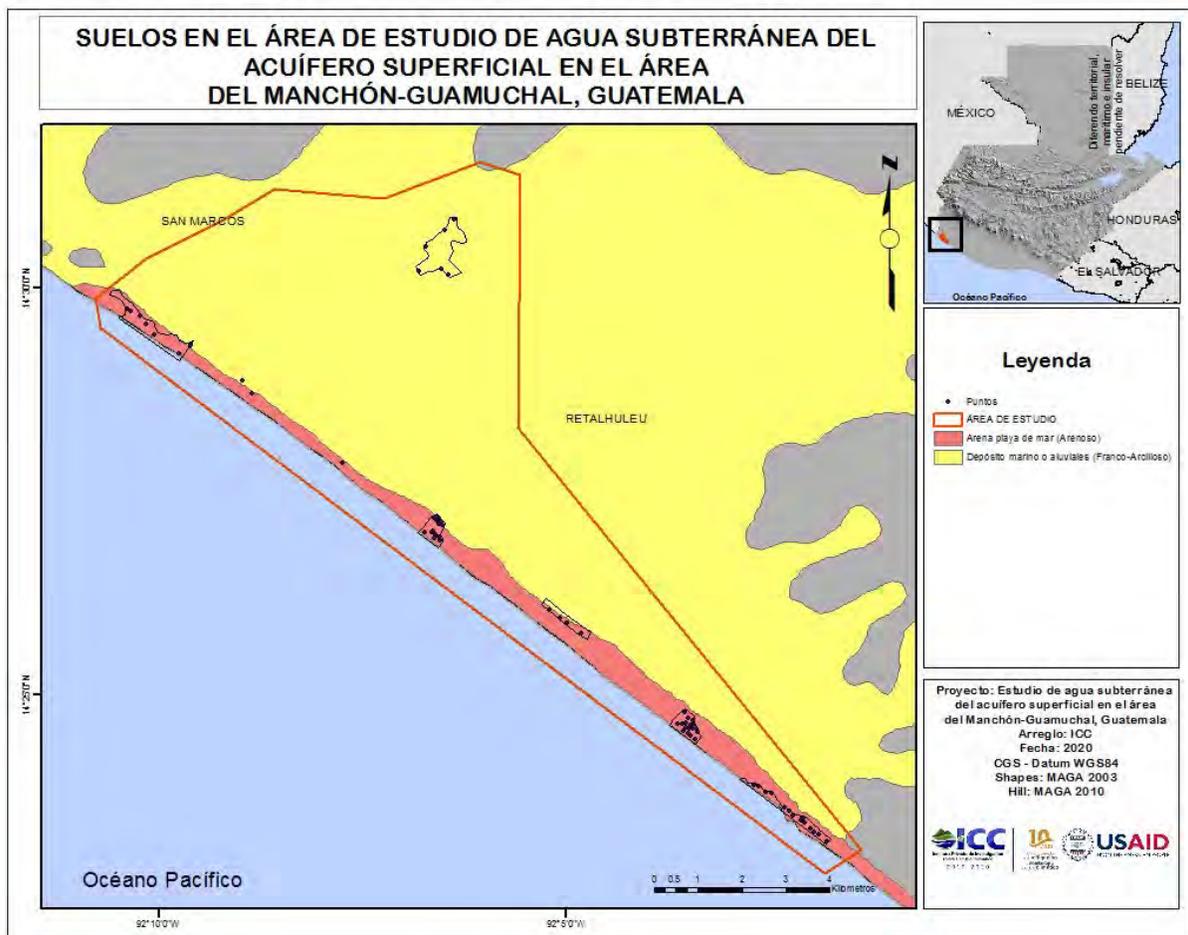


Figura 11. Mapa de suelos del área de estudio. (Modificado de MAGA, 2001).

5. RESULTADOS

5.1. NIVELES FREÁTICOS Y SU VARIACIÓN

La profundidad de los niveles freáticos en el área de estudio se midió en dos ocasiones. La primera medición se realizó entre el 1 y 4 de septiembre de 2020, mientras que la segunda se llevó a cabo entre el 21 y el 23 de septiembre 2020. Estos datos fueron tratados en QGIS para transformar las coordenadas de grados decimales a coordenadas planas y generar los mapas. Surfer fue utilizado para realizar las interpolaciones, siguiendo el método de Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés).

5.1.1 NIVELES DEL 1 AL 4 DE SEPTIEMBRE

Para el monitoreo realizado entre el 1 y el 4 de septiembre de 2020, los niveles freáticos oscilaron entre los -2 y 8.5 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los valores más altos se encontraron en las aldeas Tamashán, El Mango y El Chico, mientras que los valores más bajos se encontraron en la región occidental de Tilapa y las aldeas El Manchón y Tres Cruces (Figura 12). Se aprecia entonces un sistema que muestra dos altos y tres bajos freáticos que podría revelar una posible relación con algunos cuerpos de agua superficiales. Esto parece verse reforzado por el contraste marcado entre los puntos al oriente y occidente del río Ocosito en la región de Tilapa, en donde los puntos ubicados al occidente del río muestran niveles más bajos con respecto a los pozos ubicados al oriente de este cauce.

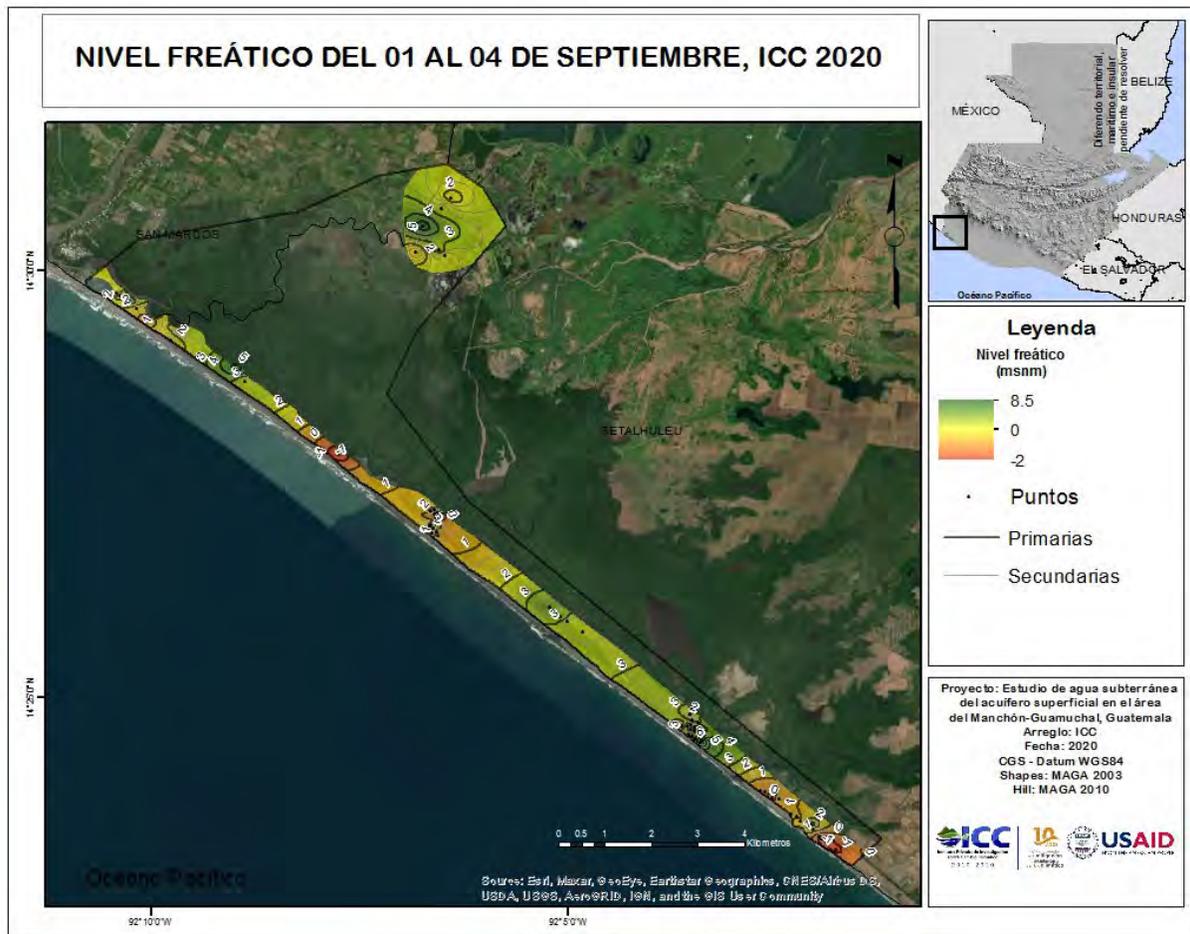


Figura 12. Mapa de nivel freático para el primer monitoreo, del 1 al 4 de septiembre 2020.

La Figura 13 muestra la posible dirección de flujo presente en el momento del monitoreo. De manera general se puede observar que la dirección preferencial en el cordón litoral es de suroriente a noroccidente, fluyendo desde la aldea El Chico hacia Tilapa. La segunda dirección preferencial parece ser perpendicular a la primera, yendo desde Tamashán hacia el mar, siguiendo el gradiente topográfico. Es

importante recalcar que estas direcciones de flujo son resultantes del proceso de interpolación, por lo que es posible que no reflejen la situación a una escala más pequeña.

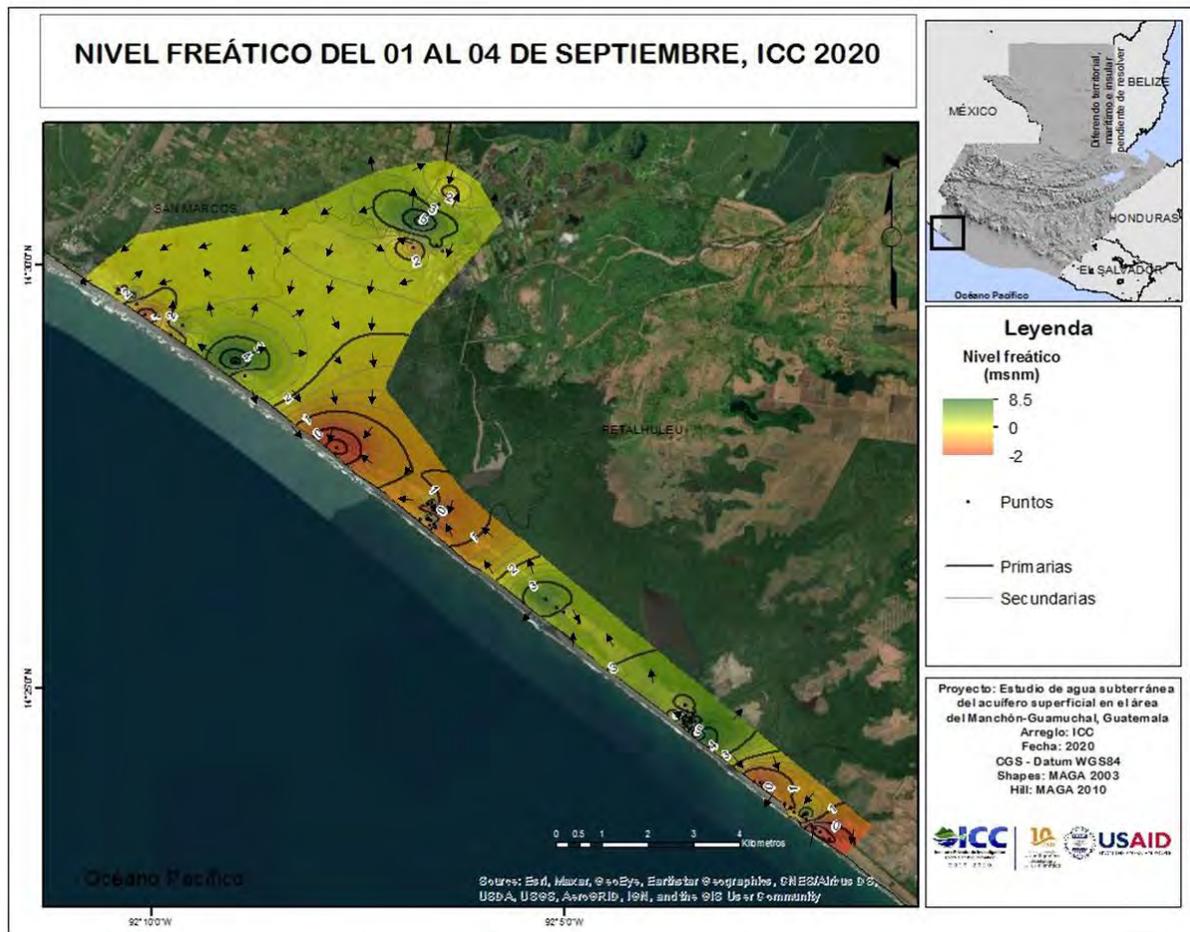


Figura 13. Mapa de niveles piezométricos con potenciales direcciones de flujo subterráneo presentes del 1 al 4 de septiembre, 2020.

5.1.2 NIVELES DEL 21 AL 23 DE SEPTIEMBRE

Como se mencionó en la sección 2, para el segundo monitoreo no fue posible medir los pozos de El Chico. Sin embargo, es posible apreciar que la misma configuración de niveles altos y bajos se mantiene con respecto a las mediciones del 1 al 4 de septiembre. De manera general, se observa una tendencia al aumento de nivel, posiblemente relacionado a las fuertes precipitaciones que se presentaron en la región asociadas a las tormentas tropicales Nana y Wilfred. Las variaciones de nivel serán discutidas en la sección 5.1.3.

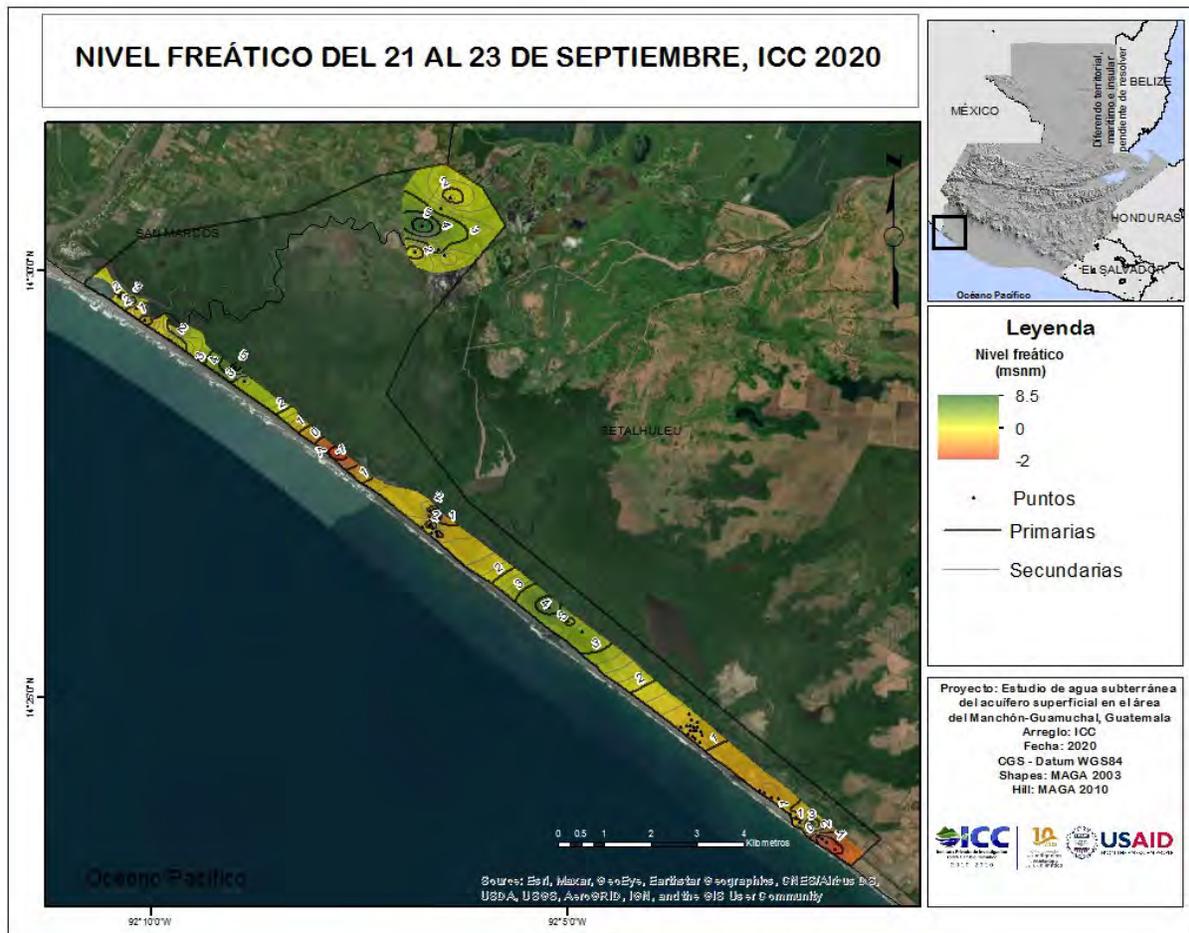


Figura 14. Mapa de nivel freático para el primer monitoreo, del 21 al 23 de septiembre 2020.

Al observar las direcciones aproximadas de flujo (Figura 15), el mayor cambio se encontró en la región central del cordón litoral, en la aldea El Mango, donde se presentó un aumento considerable en los niveles. Este aumento, sumado a la ausencia de información de la aldea El Chico, generó un aparente cambio en la dirección de flujo sobre el cordón litoral, yendo de El Mango hacia el Manchón.

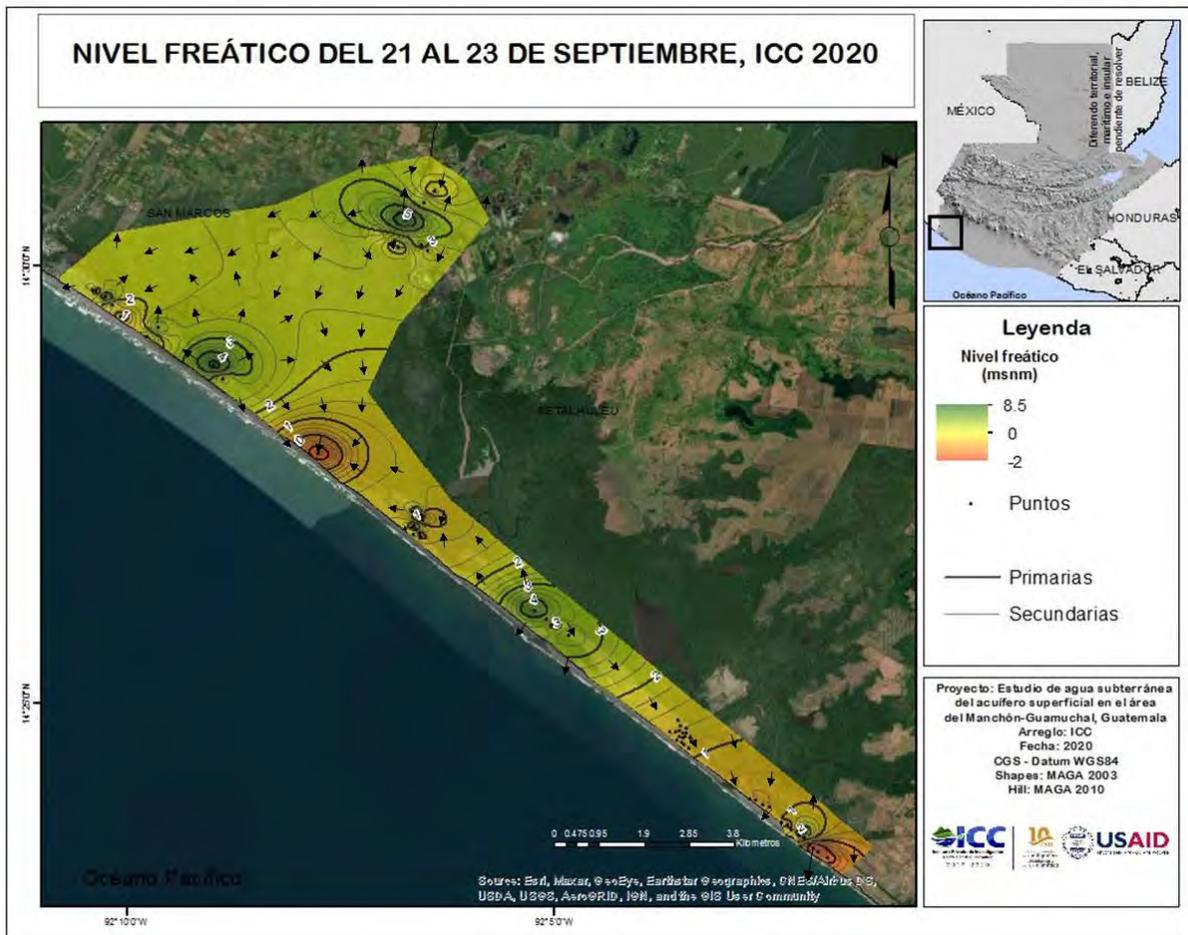


Figura 15. Mapa de niveles piezométricos con potenciales direcciones de flujo subterráneo presentes del 21 al 23 de septiembre, 2020

5.1.3 VARIACIÓN DE NIVELES FREÁTICOS

Para visualizar de mejor manera las variaciones de nivel freático que ocurrieron entre las dos mediciones, se elaboró un mapa de burbujas (Figura 16) donde las burbujas amarillas y verdes representan ausencia de cambio y un cambio positivo (aumento de nivel freático o disminución de la profundidad al manto) respectivamente. En general se observan tres áreas distintas, con el área central del cordón litoral siendo en su totalidad aumento o ausencia de cambio en los niveles, mientras que en los extremos la tendencia fue a mantenerse o disminuir. Esta tendencia es más notoria para el extremo occidental del área de estudio en la región de Tilapa y Tamashán.

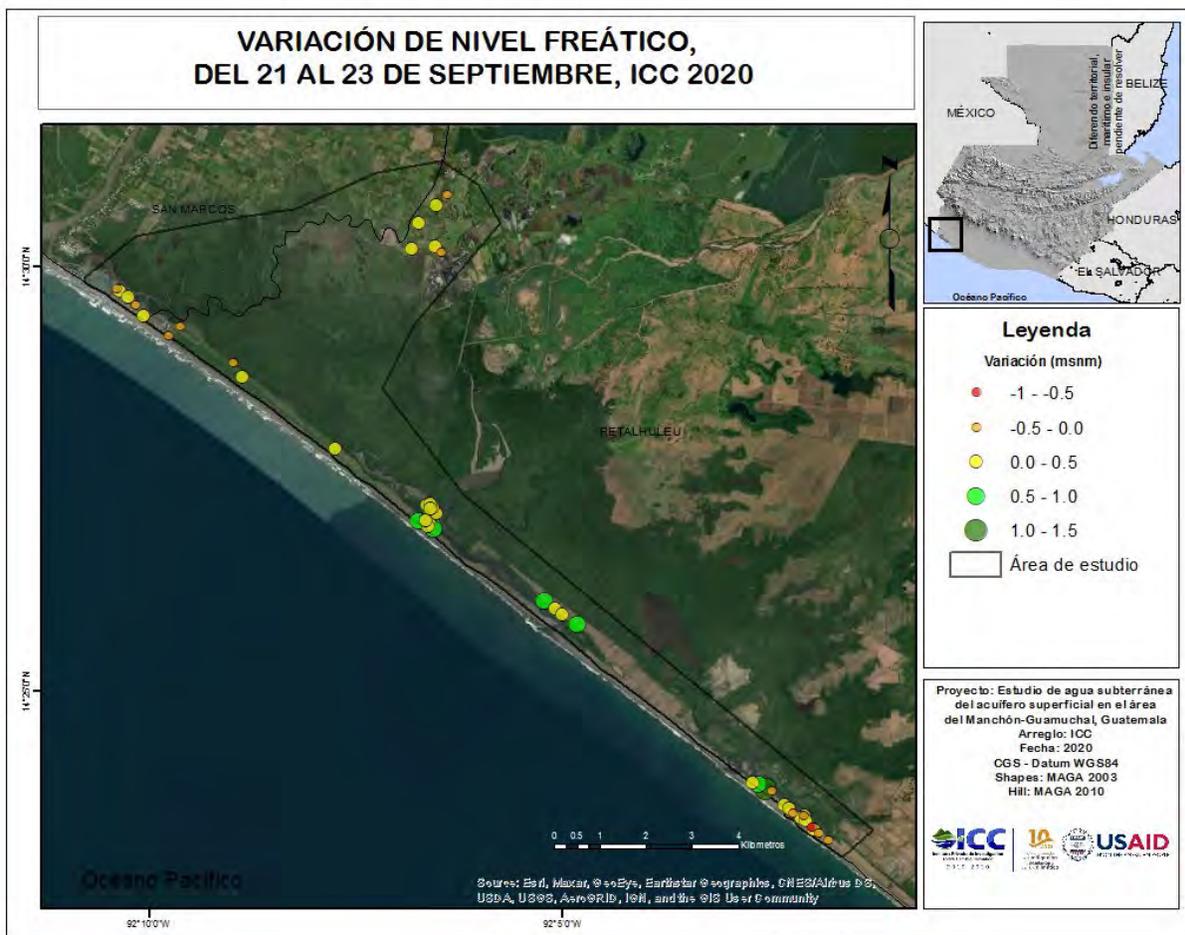


Figura 16. Mapa de variación de niveles, comparando las mediciones obtenidas entre el 1 y el 4 de setiembre contra las mediciones obtenidas entre el 21 y el 23 del mismo mes.

Estas variaciones, a pesar de no ser concluyentes, pueden indicar una anisotropía o heterogeneidad en el acuífero ya sea en sus materiales o sus propiedades hidrogeológicas. Asumiendo que los factores estresantes se mantienen relativamente homogéneos a lo largo del área de estudio (intensidad de explotación y recarga, entre otros) dichas variaciones podrían deberse a varios factores, como la posición relativa a la Laguna Colorada, una asimetría en la capacidad de transporte de sedimentos desde el continente hacia la costa o fuentes y edades diferentes para estas regiones con respuestas diferentes.

Para explorar estas variaciones de mejor manera, se realizó un análisis de variogramas multidireccionales en Surfer. De manera general, cuando las observaciones se encuentran con una distribución relativamente homogénea y existe una correlación matemática entre los valores, el variograma seguirá una tendencia suave, con un valor asintótico al que tenderá la gráfica (Figura 17).

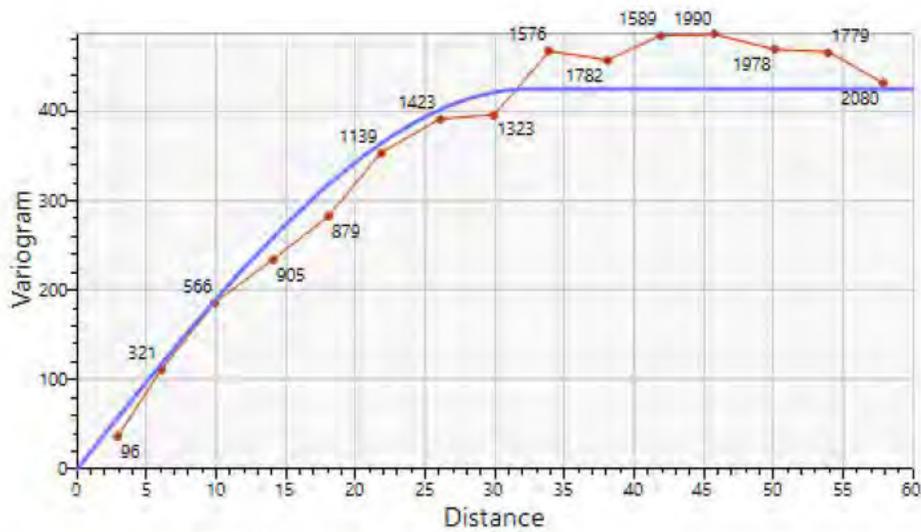


Figura 17. Ejemplo de un Variograma típico. Tomado de Golden Software, 2020.

Para el caso del área de estudio, los variogramas direccionales (Figura 18) muestran lo que se conoce como un variograma con efecto de agujero (Pyrzcz & Deutsch, 2003). Este fenómeno ocurre en áreas donde la variación local es superior a la variación global. De manera general, este tipo de variogramas se interpreta como típico de campos con “islas” o lentes locales en lugar de regiones con una correlación general. Este fenómeno se observa tanto para el Variograma en la dirección 60° , perpendicular a la costa (Figura 18.A), como para la dirección 150° que representa la dirección paralela a la costa (Figura 18.B). En conclusión, durante la escala de tiempo observada, así como la densidad y distribución de puntos de muestreo llevados a cabo en este estudio, los niveles freáticos no indican una correlación espacial significativa. Estos resultados soportan las observaciones discutidas en las secciones anteriores.

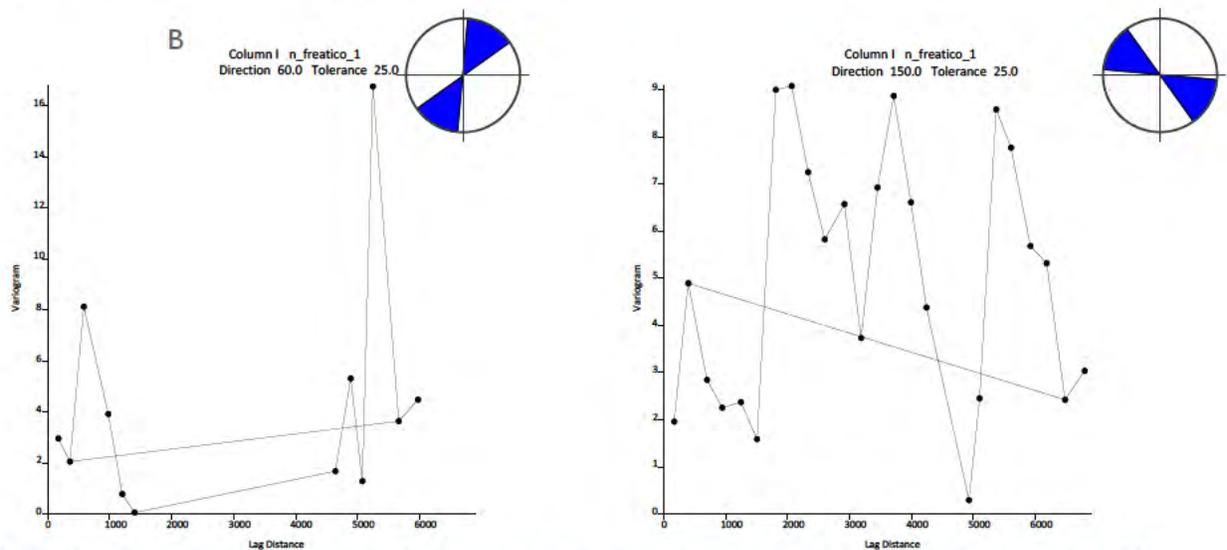


Figura 18. Variogramas direccionales perpendiculares a la costa (A) y paralelos a la costa (B) con un ángulo de tolerancia de 25° .

Al confrontar estos resultados en el contexto del tipo de suelo en el que se encuentran (Figura 11), es posible proponer un modelo conceptual en el que el cordón litoral correspondería a un acuífero costero, mientras el área continental correspondería a un acuífero aluvial. En este caso, las variaciones texturales presentadas en la Figura 11 explicarían parcialmente las observaciones y resultados de los análisis previamente discutidos. Es importante resaltar que la escala del mapeo de suelos (MAGA, 2003) es nacional, mientras que el presente estudio es de escala local, por lo que algunos detalles no encajarán apropiadamente.

5.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE CAMPO

Durante la medición de niveles se hizo un muestreo exploratorio de calidad de agua con parámetros de campo. De manera general, las propiedades del agua subterránea van a ir cambiando en la dirección de flujo debido a un mayor tiempo en contacto con las rocas, así como posibles interacciones con otros acuíferos o cuerpos de agua (Freeze & Cherry, 1979; Sun & Gui, 2015). En esta sección se analizan de manera general las tendencias presentadas, entrando en detalle en el comportamiento espacial de algunas de estas variables.

5.2.1 TENDENCIAS FISICOQUÍMICAS GENERALES

Por tal motivo, los parámetros de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (STD), salinidad y conductividad eléctrica (EC) fueron graficados en función de la distancia a la costa (Figura 19).

Al observar la información de temperatura en la Figura 19 es claro que, a medida que los pozos se acercan a la costa, empieza a haber fuentes de alteraciones que aumentan la dispersión de los datos. Si consideramos el acuífero como un sistema cerrado, la temperatura del agua subterránea sería relativamente estable siguiendo una tendencia. En el caso del área de estudio, las variaciones de temperatura (Figura 19.A) evidencian una serie de interacciones con otros cuerpos de agua con temperaturas diferentes a la del acuífero regional. Una tendencia similar se observa al analizar las concentraciones de oxígeno disuelto y pH.

Para el caso del OD (Figura 19.B), los valores esperados en acuíferos con poca interacción con otros cuerpos de agua suelen ser bajo debido al consumo de oxígeno en varias reacciones de oxidación (por ejemplo, la oxidación de materia orgánica en el suelo durante la infiltración). Un río en condiciones naturales, por ejemplo, los valores de OD suelen ser altos debido a la constante interacción con la atmósfera y la precipitación (Rajwa-Kuligiewicz et al., 2015). En el caso del río Ocosito, el INSIVUME reportó en su boletín 22 de calidad de agua un promedio de saturación de oxígeno de 5.86 mg/l a la altura de la estación hidrométrica de Caballo Blanco (INSIVUMEH, 2019), acercándose a los valores superiores presentes en el área de estudio. Estos valores altos, entonces, son posibles indicadores de mezcla de agua subterránea con agua superficial.

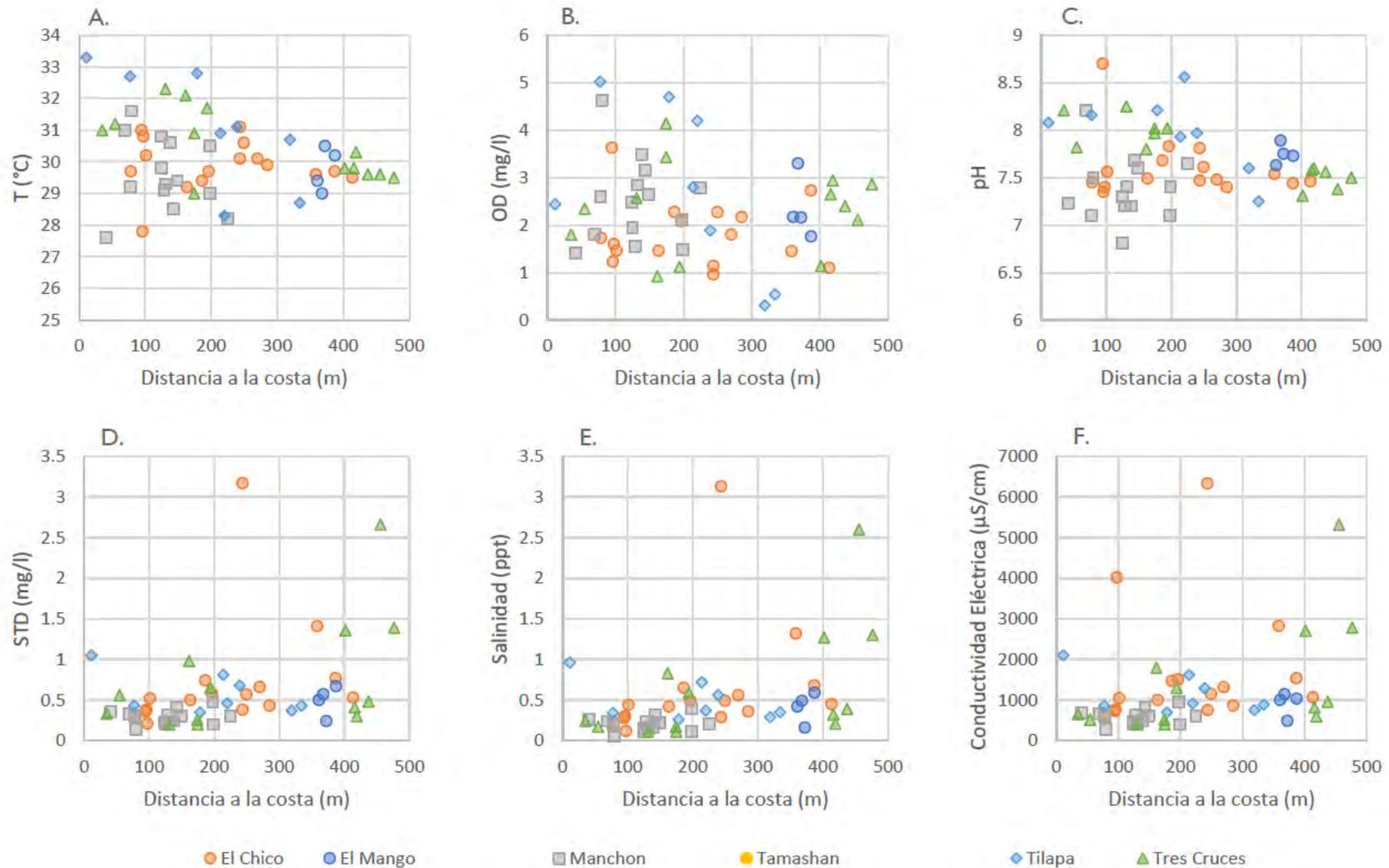


Figura 19. Dispersogramas de A. temperatura (T), B. concentración de oxígeno disuelto (OD), C. pH, D. Sólidos totales disueltos (STD), E. salinidad y F. conductividad eléctrica en función de la distancia a la costa, con detalle de los primeros 500 m.

El caso es similar para el pH (Figura 19.C), en el cual el valor promedio en Caballo Blanco fue de 7.7 (INSIVUMEH, 2019). Al observar la distribución de pH en el área de estudio, la mayoría de los puntos se encuentran entre la banda de 7 a 8, con un sesgo hacia valores altos.

En este caso, una potencial fuente de alcalinidad es la disolución de calcita (CaCO_3), siguiendo la Reacción I donde el aumento de iones OH^- aumenta el pH en el agua. Respecto a la posible fuente de calcita, los sedimentos marinos suelen tener abundancia de fragmentos de conchas y otros restos biológicos compuestos principalmente de este mineral. El aumento de pH que se observa en la Figura 19.C sería consistente con esta teoría, ya que se observa una tendencia al aumento con la disminución de la distancia a la costa. Sin embargo, la poca información que se tiene no permite tener certeza de estos procesos.



Por otra parte, las mediciones de STD (Figura 19.D) y salinidad (Figura 19.E) son derivadas de la medición de CE (Figura 19.F) por el equipo, siguiendo las ecuaciones descritas en el manual de operación de la sonda HI98192 (Hanna Instruments, 2016). Estas mediciones muestran que no parece haber un proceso de salinización a gran escala, aunque las mediciones se llevaron a cabo durante los meses más lluviosos del año. El momento de la medición puede ser de gran relevancia, toda vez que la variación de niveles descrita en la sección 5.1.3 parece indicar que el acuífero costero responde rápidamente ante eventos de precipitación. Para determinar con precisión los posibles fenómenos de intrusión salina, en caso de presentarse, se necesitan más mediciones de niveles y perfiles iónicos completos de las muestras para poder tener un panorama de la hidroquímica del agua en la región.

5.2.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La distribución espacial de la conductividad eléctrica (EC) para el primer monitoreo (Figura 20) muestra que los valores más altos se encuentran en Tamashán, a una distancia de 5 km de la costa. Otra región de interés es la aldea Tres Cruces, en el medio del área de estudio (Figura 20, recuadro verde), debido a que la parte norte de la aldea se encuentra separada de la parte sur por un canal. En esta región, el canal separa dos grupos de CE distintos, con la sección norte presentando valores mayores a la sección sur. Esta división podría ser un indicador de que las dos secciones tienen fuentes de recarga diferentes, así como una posible conexión con el agua del canal.

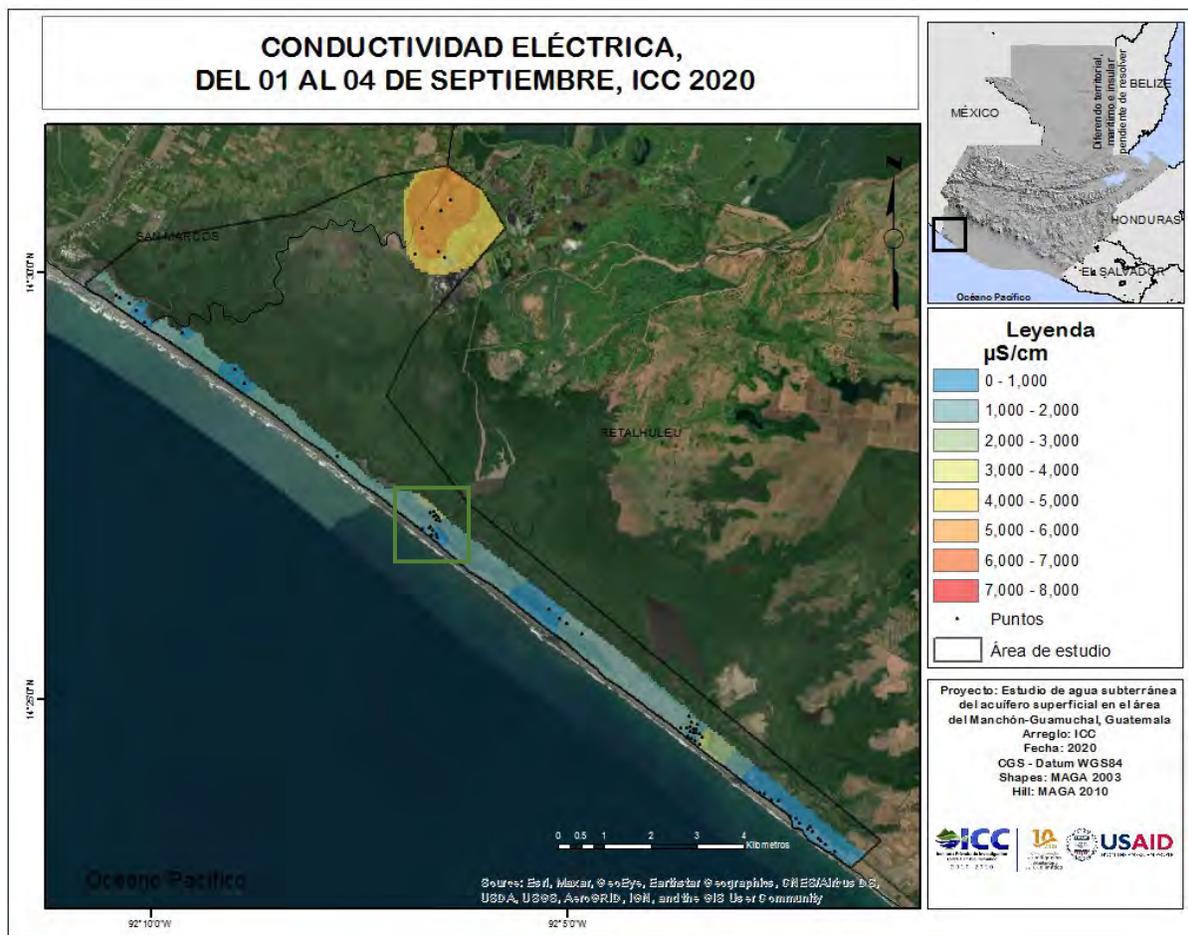


Figura 20. Mapa de CE para el primer monitoreo del 1 al 4 de septiembre, 2020. La aldea Tres Cruces se señala en el recuadro verde.

Para el segundo monitoreo (Figura 21), la mayoría de las áreas mostraron una disminución en la CE. La excepción más importante es en el área de Tamashán, donde un pozo marcó la CE más alta (7584 µS/cm). Estos valores de CE son altos en comparación a otras mediciones realizadas por el ICC en otros acuíferos de la costa sur de Guatemala, en los que los valores de CE más altos están alrededor de 2000 µS/cm.

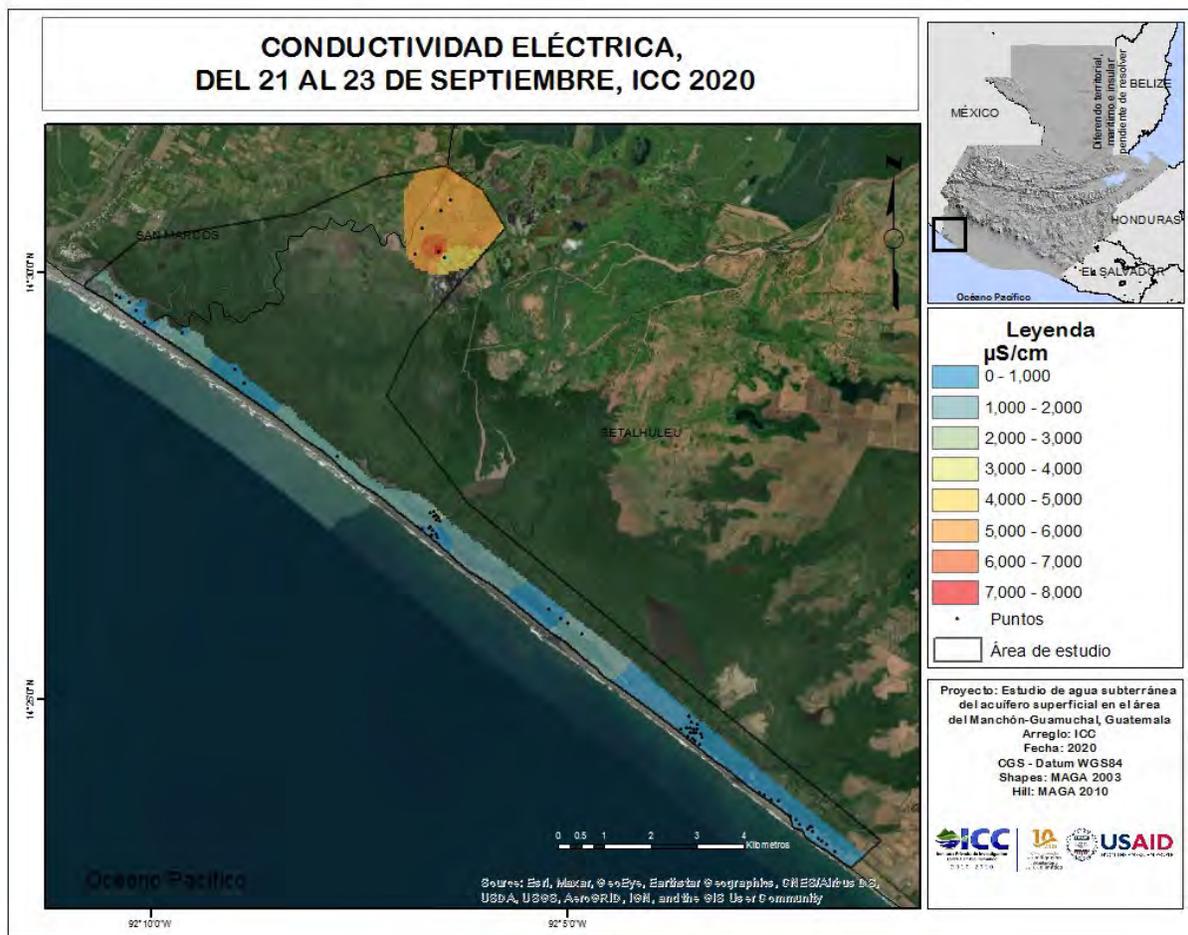


Figura 21. Mapa de CE para el segundo monitoreo, del 21 al 23 de septiembre, 2020.

Existen múltiples formas en las que el agua puede alcanzar valores altos de CE, como por ejemplo fuentes naturales de sal en el suelo o fuentes de contaminación antropogénica como aguas negras, además de posibles interacciones con agua de mar. A pesar de que la causa más común de aumento de CE en acuíferos costeros es debido a intrusión de agua de mar en el acuífero, usualmente es un problema de extensión regional, y no localizado. Por otra parte, de manera general un aumento en el nivel freático indica un aumento del flujo subterráneo hacia el área desde la región circundante siguiendo la dirección de flujo regional. Por lo tanto, el aumento en conductividad eléctrica con un aumento en el nivel freático presente en el área de Tamashán (Figura 22) posiblemente provenga de una fuente diferente a intrusión marina debido a que el agua con alta conductividad eléctrica parece provenir del acuífero en la dirección del flujo regional, que en este caso es del continente hacia el mar, o una fuente superficial de agua salobre.

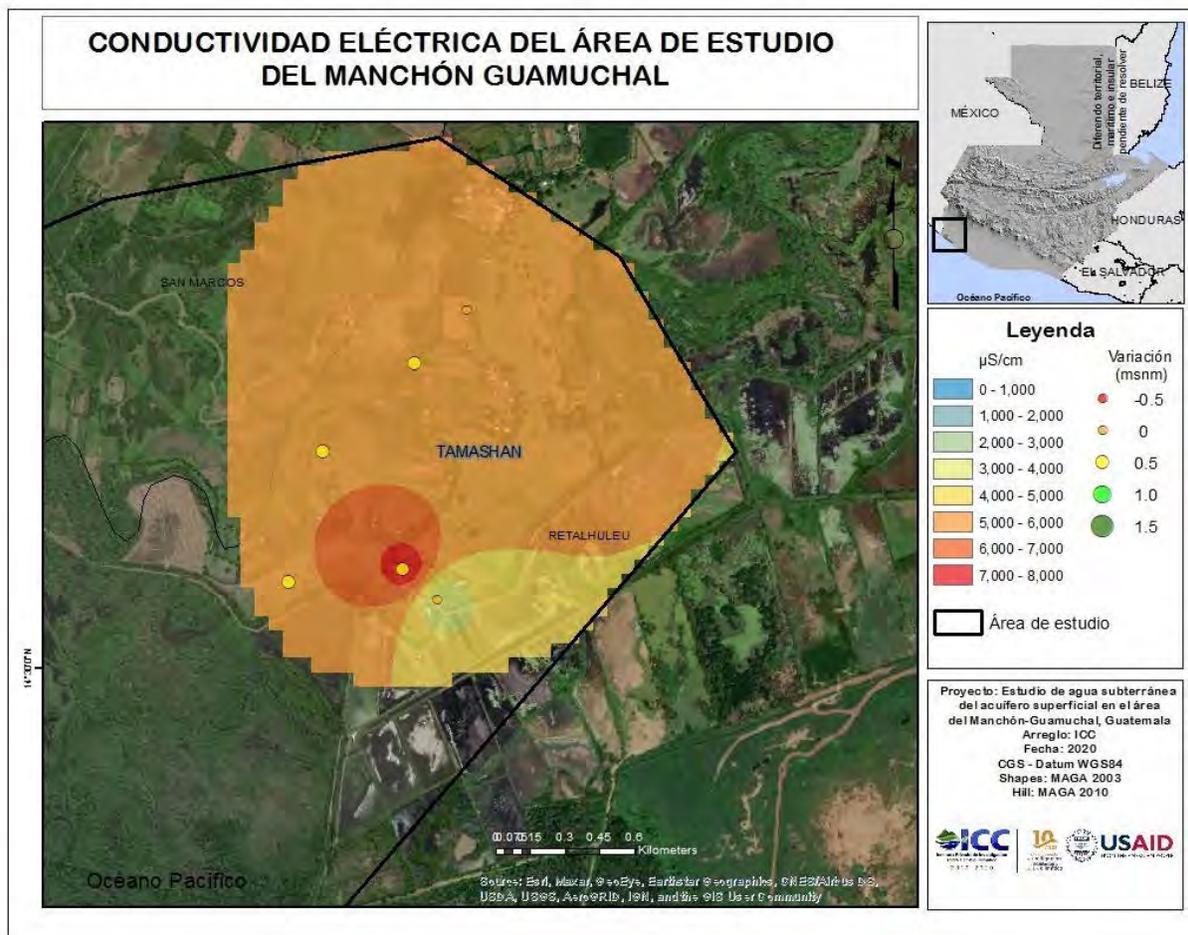


Figura 22. Detalle de la conductividad eléctrica con el aumento de nivel freático en Tamashán para el segundo monitoreo, del 21 al 23 de septiembre, 2020.

5.2.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SALINIDAD

La concentración de sales en el agua subterránea que se midió en este estudio corresponde a un cálculo realizado por el equipo de medición. Esto significa que la distribución de la salinidad va a seguir un patrón similar al presentado en la sección anterior. En el caso del primer monitoreo (Figura 23), el valor máximo de salinidad se encontró en el área de Tamashán con una concentración de 3.13 ppt. Otra región con valores altos de salinidad es la parte norte de la aldea Tres Cruces, con concentraciones entre 1.1 y 2.61 ppt. Estos valores contrastan fuertemente con los de la parte sur de Tres cruces, con valores entre 0.07 y 0.53 ppt.

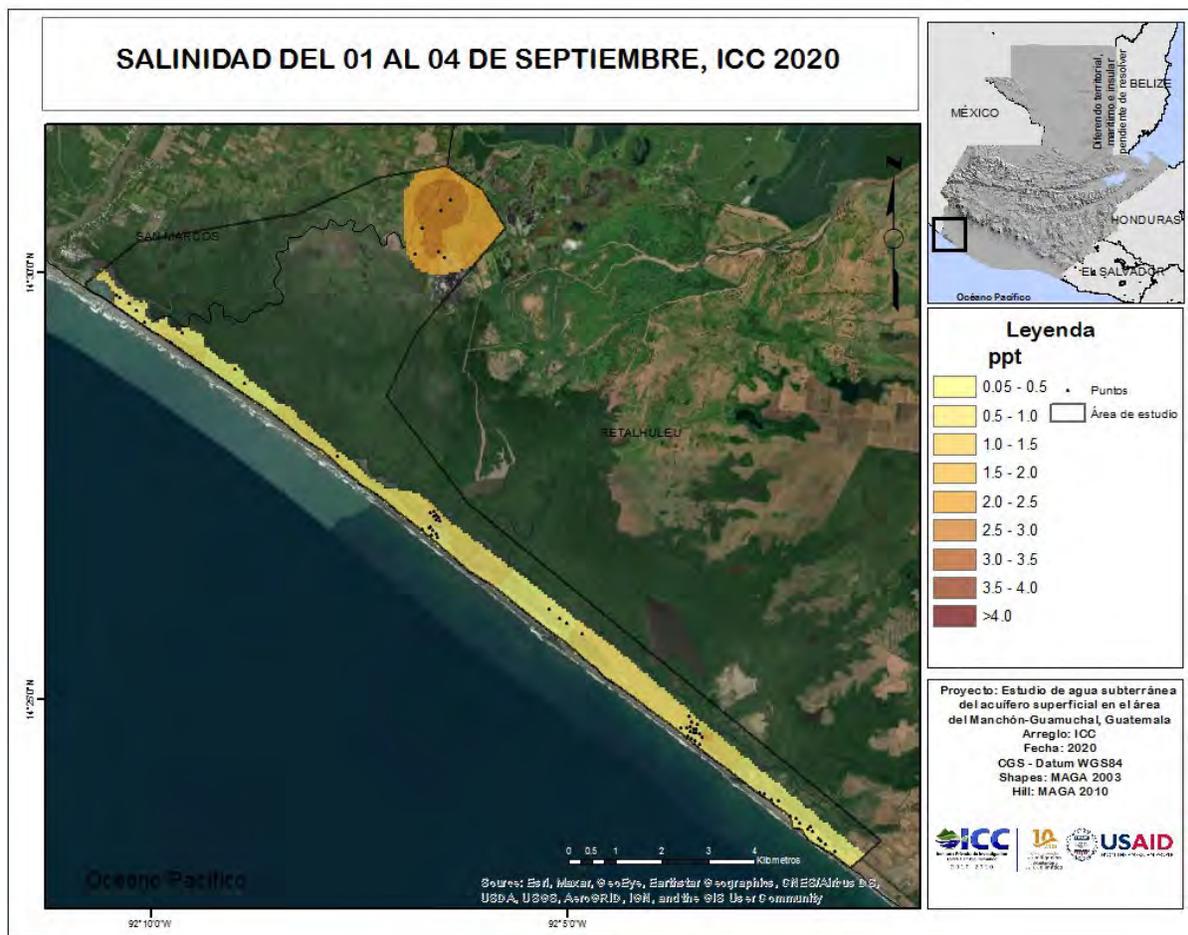


Figura 23. Mapa de salinidad para el primer monitoreo del 1 al 4 de septiembre, 2020.

Para el segundo monitoreo (Figura 24), la mayoría de las áreas mostraron una disminución en la salinidad. La región de Tamashán mostró un aumento, donde un pozo marcó la salinidad más alta con un valor de 3.81 ppt. Para la aldea Tres Cruces, el área completa mostró una disminución en la salinidad, haciendo a la región de Tamashán la única que mostró un aumento significativo en su salinidad. Las concentraciones de salinidad encontrados en Tamashán son altos en comparación a otras mediciones realizadas por el ICC en varios acuíferos de la costa sur de Guatemala, en los que los valores de salinidad más altos están alrededor de 1.1 ppt.

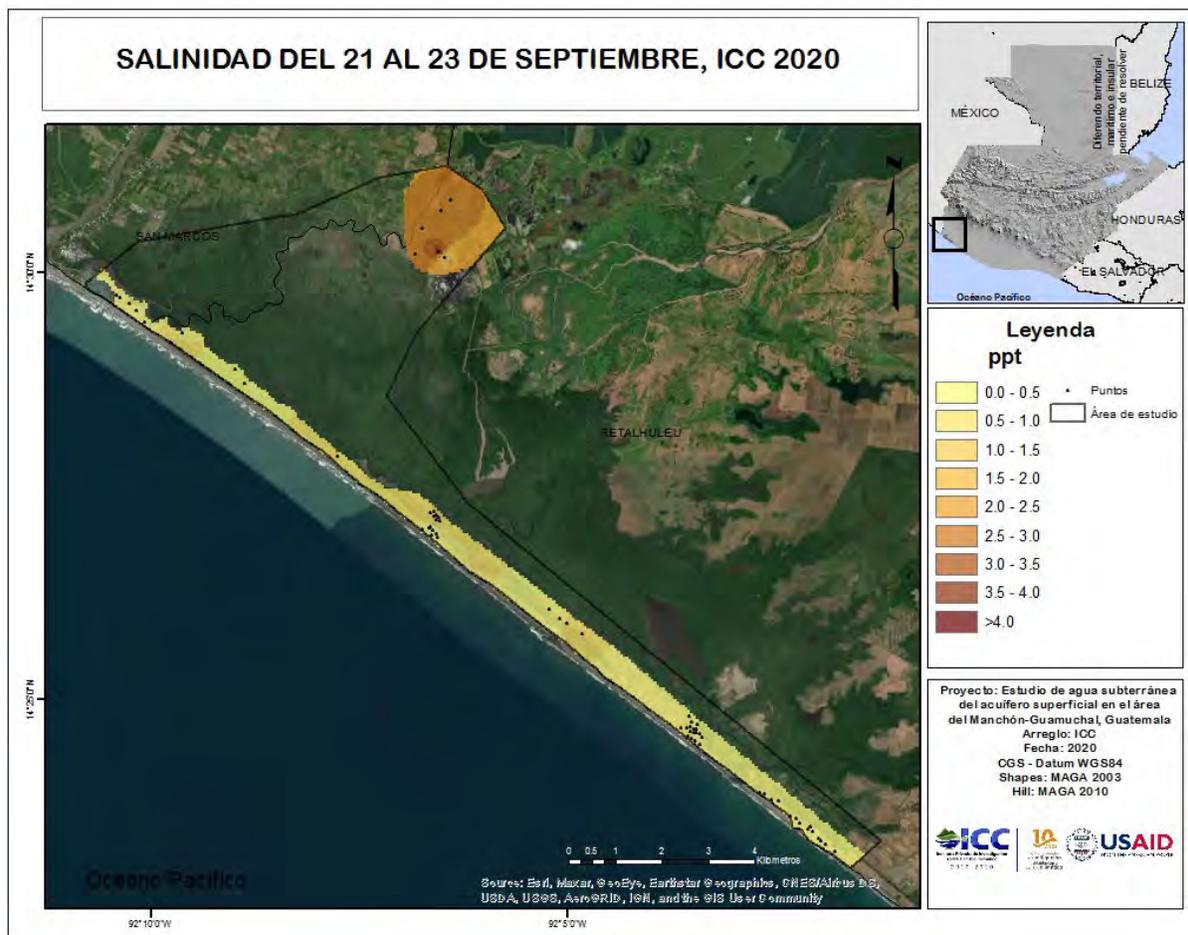


Figura 24. Mapa de salinidad para el segundo monitoreo, del 21 al 23 de septiembre, 2020.

5.2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PH

El área presenta una amplia distribución de pH, como se discutió en la sección 5.2.1. En esta sección se analiza con mayor detalle la distribución espacial del pH en conjunto con la información discutida en las secciones anteriores.

La Figura 25 muestra la distribución espacial del pH para el primer monitoreo. Se observa en general un contraste entre el área de Tamashán y el cordón litoral, con valores más ácidos en Tamashán comparado con el litoral. Para el cordón litoral, el pH medido osciló entre 6.8 y 8.7, con una tendencia a valores arriba de 7.5. Estos valores de pH son consistentes con mediciones realizadas por el ICC en otros acuíferos de la costa sur de Guatemala.

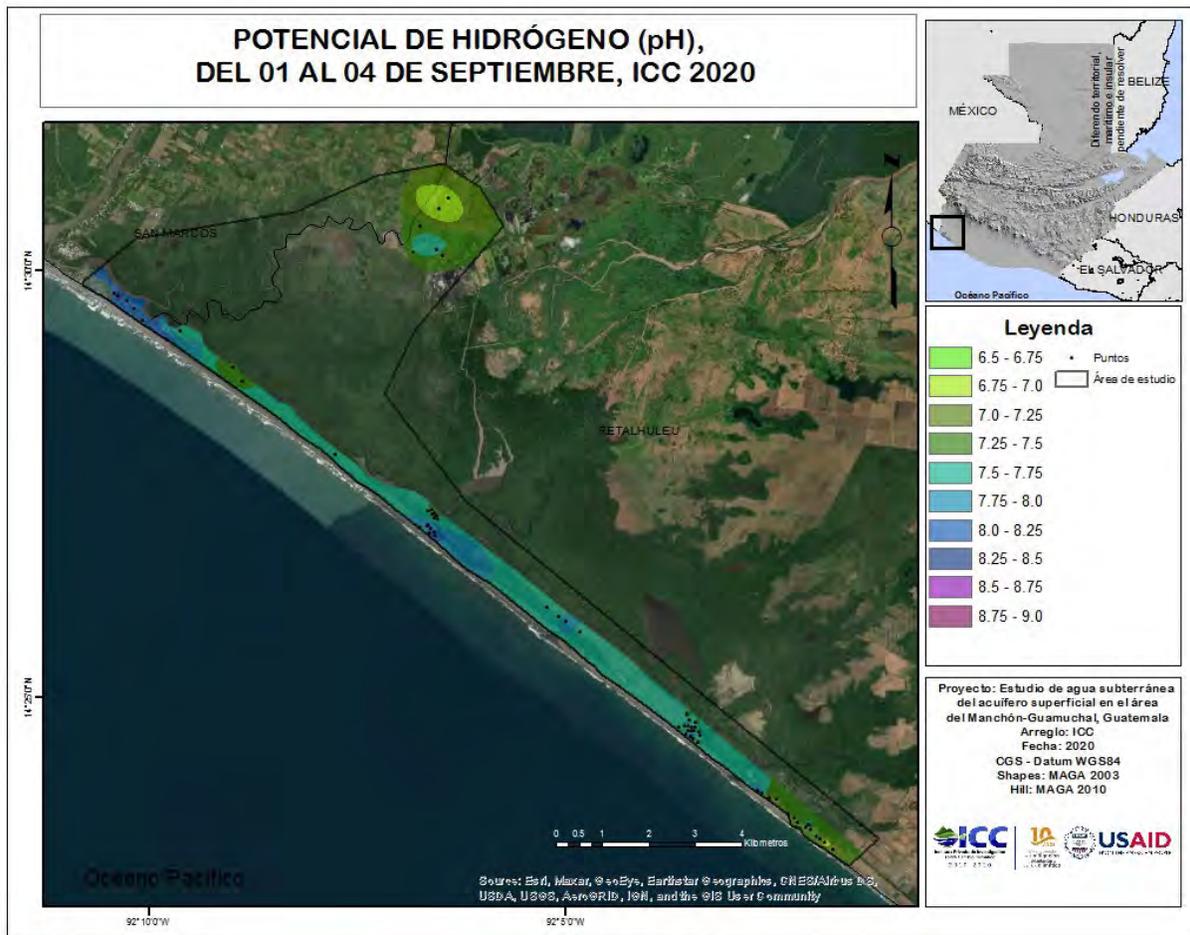


Figura 25. Mapa de pH para el primer monitoreo del 1 al 4 de septiembre, 2020.

Al comparar los resultados de pH obtenidos en el primer monitoreo con los del segundo monitoreo (Figura 26), el área en general experimenta una acidificación menor (en promedio una disminución de 0,1 unidades) salvo en algunas regiones del cordón litoral que experimentaron un marcado aumento de pH en hasta 1.3 unidades.

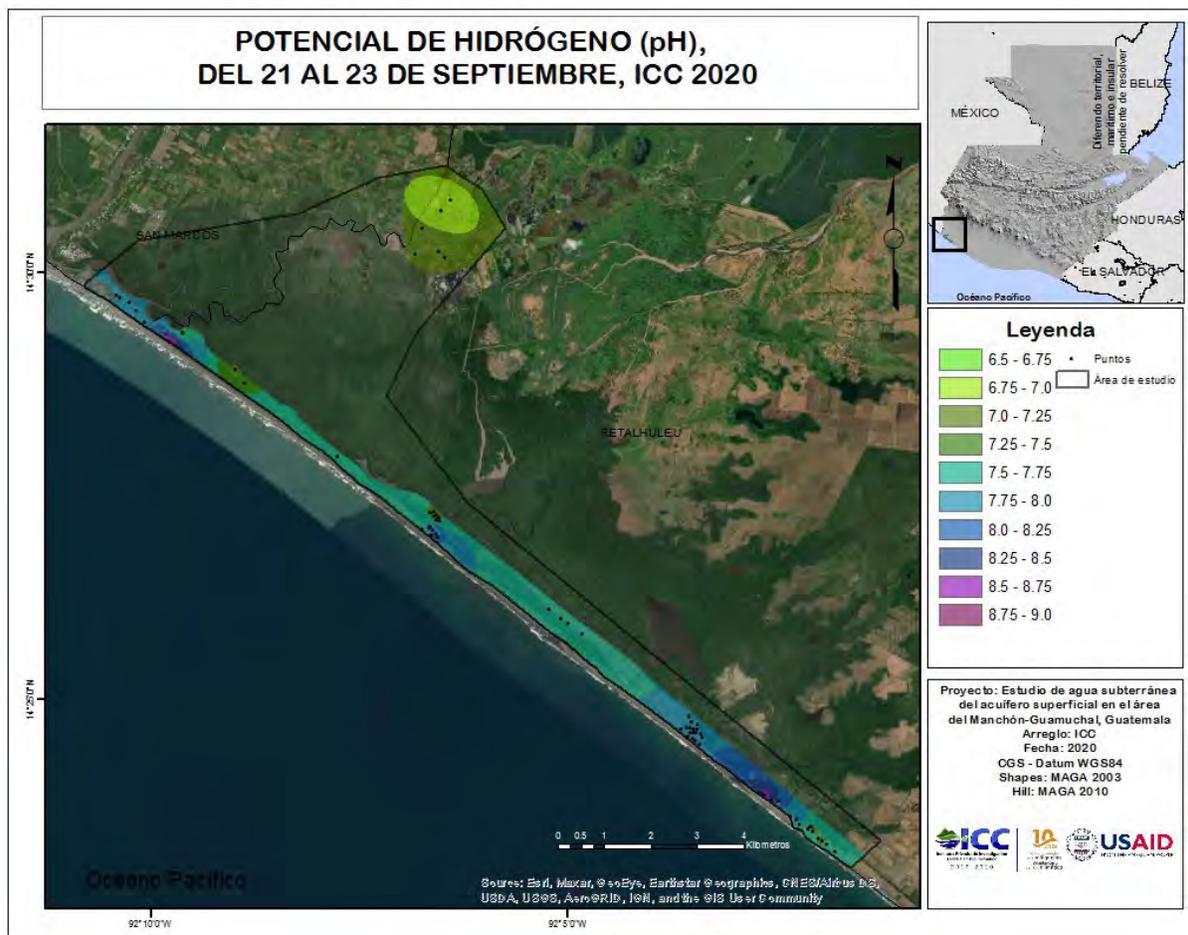


Figura 26. Mapa de pH para el segundo monitoreo, del 21 al 23 de septiembre, 2020.

Con la información disponible no es posible determinar los procesos afectando las variaciones de pH observadas en el área. Sin embargo, al comparar las variaciones en pH y en salinidad (Figura 27) pareciera que los procesos están relacionados. Esta relación parece ser significativamente diferente para la aldea El Manchón y la región norte de la aldea Tres Cruces, donde el cambio de pH no viene acompañado de una variación en salinidad.

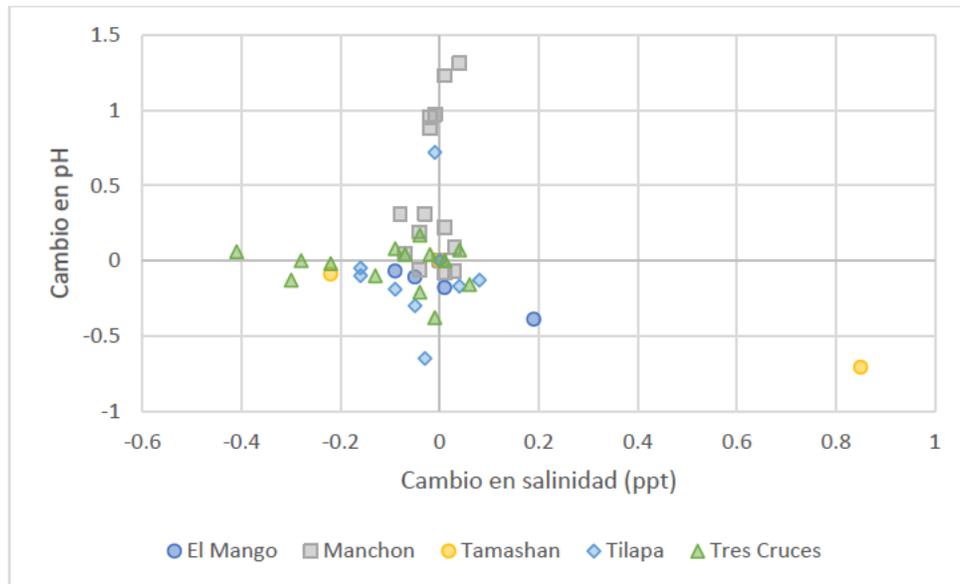


Figura 27. Comparación entre la variación en pH y salinidad en el área de estudio.

6. CONCLUSIONES

La información presentada en este informe corresponde a un estudio exploratorio de 66 puntos de extracción de agua subterránea, por lo que las conclusiones y recomendaciones están limitadas por la cantidad de información levantada, así como por el marco temporal en el que se llevó a cabo. Sin embargo, se dieron hallazgos que deberán guiar los futuros esfuerzos investigativos en la región.

En estos 66 puntos se midieron niveles freáticos y otras variables fisicoquímicas de campo. De manera general se observó una independencia en la respuesta de los niveles freáticos ante los eventos de precipitación que se presentaron en el área. Esto es importante, ya que puede indicar diferencias en la susceptibilidad ante contaminación, intrusión marina y disminución de niveles por sobreexplotación. Esta independencia hidráulica parece venir acompañada de una independencia de algunos procesos hidroquímicos para la región oriental (El Manchón) del resto del área.

A escala regional no se encontraron indicaciones claras de intrusión marina. En cambio, hay algunas indicaciones de que los valores altos de salinidad encontrados en el área puedan estar relacionados a fuentes superficiales o geogénicas de contaminación. Se requieren perfiles completos de la composición iónica del agua subterránea, así como más información de los niveles freáticos para poder determinar la fuente de esta salinidad.

La información recolectada no permite cuantificar el vínculo entre los acuíferos estudiados y el bosque de manglar en la región. Sin embargo, la información levantada si muestra que el agua subterránea se encuentra a profundidades tales que permite la interacción entre el bosque y el manto freático. Para realizar una cuantificación de estas interacciones, es necesario hacer estudios detallados de niveles freáticos a una menor escala, así como análisis de isótopos estables, entre otros.

7. RECOMENDACIONES

Como pasos a seguir, se recomienda continuar con el registro de los niveles freáticos en la región, toda vez que el agua subterránea juega un papel vital en la vida diaria de las comunidades, y será cada vez más importante en la adaptación al cambio climático. Se recomienda a su vez aumentar la red de monitoreo para incluir el marco regional en el que se dan estas interacciones, para así facilitar la detección temprana de amenazas a la calidad y cantidad de agua en los acuíferos.

Al considerar la rápida respuesta del acuífero costero, así como la marcada dependencia como fuente de agua de los habitantes de esta región, es importante realizar campañas de monitoreo de calidad que incluyan análisis de coliformes, metales pesados y compuestos orgánicos. Estos monitoreos servirán para determinar la calidad del agua, así como desarrollar alertas ante cambios en esta calidad.

Finalmente, es importante realizar campañas de concientización sobre el agua subterránea para sensibilizar a los usuarios del recurso, así como capacitar a las comunidades en buenas prácticas para el uso racional del agua. Estas acciones permitirán aumentar la resiliencia de las comunidades ante fuentes de estrés sobre el sistema acuífero.

8. REFERENCIAS

- Coronavirus: Giammattei suspende actividades de sector público y privado – Prensa Libre. (2020, marzo 26). *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/politica/coronavirus-giammattei-suspende-actividades-de-sector-publico-y-privado/>
- Dix, M., & Fernandez, J. F. (Eds.). (2001). *Inventario nacional de los humedales de Guatemala*. UICN-Mesoamérica.
- FIIT. (1995). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar*. Fundación Interamericana de Investigación Tropical.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
- Golden Software. (2020). *Variogram modelling for kriging in Surfer—A tutorial*. Golden Software Support. <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/articles/360040228013>
- Hanna Instruments. (2016). *Instruction manual for HI98192*. http://shop.hannasingapore.com/media/pdf/man98192_20_11_14_single.pdf
- INSIVUMEH. (2003a). *Mapa de Isotermas* [Map].
- INSIVUMEH. (2003b). *Mapa de Isoyetas* [Map].
- INSIVUMEH. (2019). *Boletín No. 22 año 2019* (N.º 22; p. 119). INSIVUMEH. <https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2019/10/Boletin-No-22-a%C3%BIo-2019-1.pdf>

MAGA. (2001a). *Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala* [Map].

MAGA. (2001b). *Mapa Geológico de la República de Guatemala* [Map].

MAGA. (2010). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra*. [Map].

Pyrz, M. J., & Deutsch, C. V. (2003). The Whole Story on the Hole Effect. *Geostatistical Association of Australasia, Newsletter*. 18.

Rajwa-Kuligiewicz, A., Bialik, R. J., & Rowiński, P. M. (2015). Dissolved oxygen and water temperature dynamics in lowland rivers over various timescales. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(4), 353-363. <https://doi.org/10.1515/johh-2015-0041>

Sanchez, R. (1998). *Capacitación y tecnificación en el cultivo de concha de burro (Anadara grandis). Educación Ambiental a escolares de nivel primario y diagnóstico de pesca artesanal en el área del humedal Manchón Guamuchal*. [Informe de EPS]. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. Universidad de San Carlos de Guatemala.

SEGEPLAN. (2010). *Plan de desarrollo Retalhuleu. Retalhuleu*.

Sigüenza, R., & Aguirre, G. (s. f.). *La Conservación del Humedal Manchón Guamuchal en Guatemala: Un Reto para la Iniciativa Privada*. Proyecto Manglares (INAB-UICN-UE) Granjas Acuícolas S.A. Recuperado 12 de octubre de 2020, de <http://www.gbf.ch>

Sun, L., & Gui, H. (2015). Hydro-chemical evolution of groundwater and mixing between aquifers: A statistical approach based on major ions. *Applied Water Science*, 5(1), 97-104.
<https://doi.org/10.1007/s13201-014-0169-7>

9. ANEXOS

I. GUÍA DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES Y CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

Medición de nivel y conductividad eléctrica de pozos comunitarios

Guía de procedimientos

El objetivo de este documento es brindar una guía de campo para la medición de niveles freáticos y piezométricos, así como los parámetros de campo para la evaluación de calidad del agua subterránea. Los implementos necesarios para el proceso acá descrito son:

- Navegador GPS o celular con conectividad GPS
- Sonda de nivel graduada
- Sonda paramétrica de conductividad eléctrica y temperatura
- Cubo, balde o cubeta.
- Boleta de campo para el registro de la información

Al aproximarse a una propiedad se debe realizar una inspección visual del área para detectar estructuras o elementos relevantes para la medición como la proximidad a la costa, ríos u otros cuerpos de agua. Algunas estructuras humanas son relevantes también, como salineras, basureros o letrinas. Es importante registrar la presencia de estos elementos, así como una distancia aproximada al pozo que se va a medir. Esta información permitirá detectar posibles alteraciones en los datos.

Una vez registradas las observaciones, se procede a escribir los detalles de ubicación geográfica (finca, aldea u otra referencia general), las coordenadas geográficas (longitud y latitud) en grados decimales y la altitud (altura sobre el nivel del mar) en metros. Una vez se ha ubicado geográficamente el pozo se procede a describir las características físicas del pozo como la altura del brocal (en cm) y la profundidad total del pozo (en metros o especificar). En caso de que la profundidad total no sea conocida, se puede emplear la sonda de nivel para estimar esta medida.

El siguiente paso es la toma de la medida de la profundidad a la que se encuentra el espejo de agua dentro del pozo. Para esto se emplea la sonda de nivel que alumbrará una vez la punta metálica entra en contacto con el agua. Es muy importante asegurarse de que la punta está seca antes de iniciar la medición. Para que esta medición sea más precisa, es importante que el pozo haya tenido un tiempo de reposo, y que no haya bombeos u extracciones al momento de hacer la medición. En caso de que el pozo haya estado siendo utilizado, se debe registrar el tiempo transcurrido desde esa extracción.

Luego de determinar la profundidad a la que se encuentra el agua en el pozo, se procede a tomar una muestra de agua con el cubo o balde. Para la toma de muestra se recomienda sacar alrededor de 4 o 5 cubetas antes de realizar la medición de los otros parámetros a medir. Una vez se toma la muestra a medir, se debe registrar cualquier olor o color extraños. Mientras se registra la

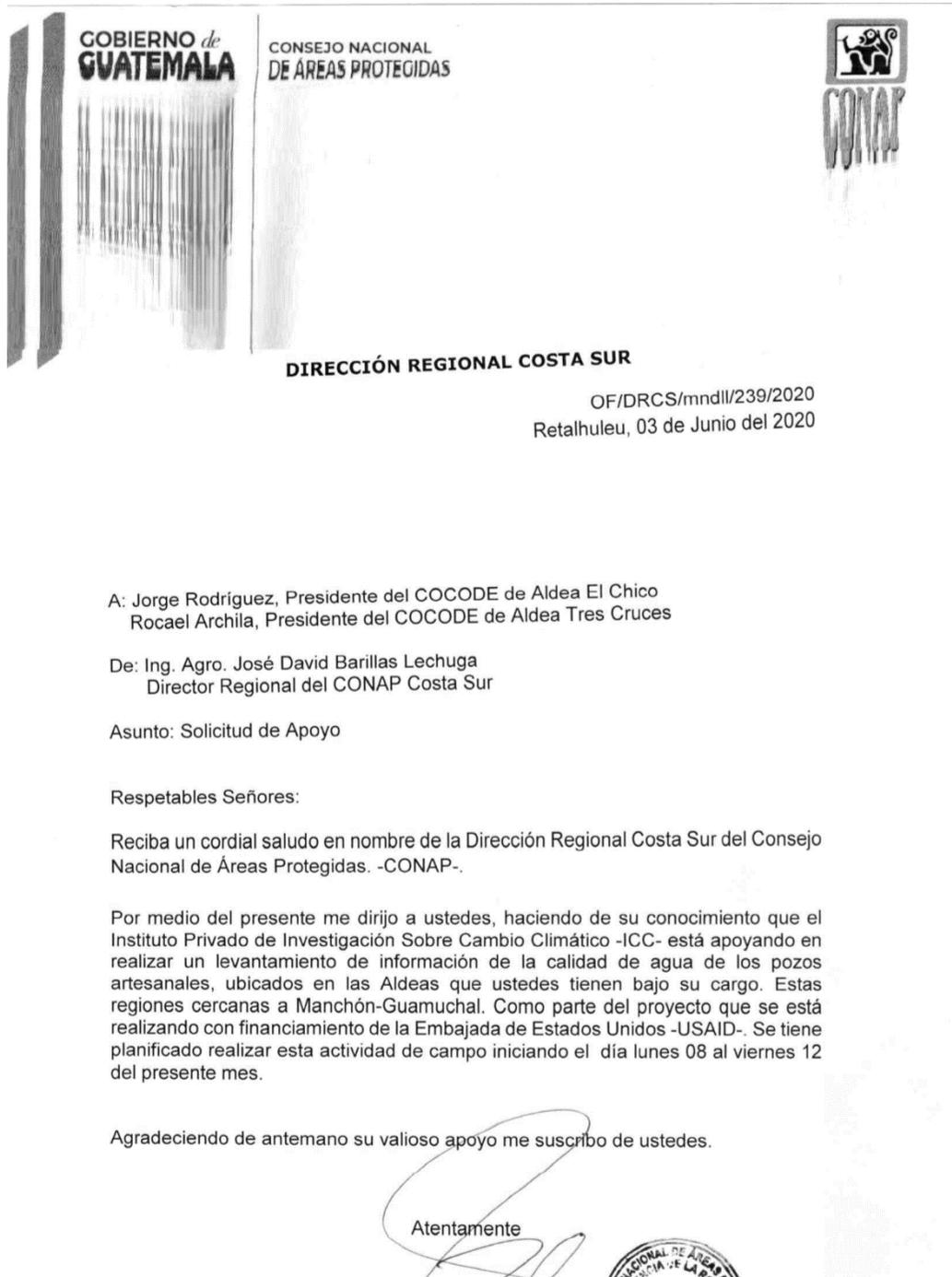
Guía de medición de pozos y monitoreo de parámetros fisicoquímicos en pozos
ICC 2020 | Página 1 de 2

información de olor y color, se debe encender la sonda de conductividad eléctrica y se sumerge la parte del sensor en el agua. Es importante esperar unos minutos mientras el sensor termina de medir y los valores dejan de cambiar. Esto suele tardar unos pocos minutos. Se debe registrar el valor de conductividad eléctrica y la temperatura.

Para finalizar la medición, es importante recuperar todo el equipo y asegurarse que la sonda de nivel está seca, que el sensor de conductividad eléctrica esté limpio (muy importante cuando los valores de conductividad son muy altos) y el aparato GPS está apagado.

Es muy importante asegurarse de que el punto está debidamente ubicado, pues será visitado de nuevo para comparar las mediciones que se harán en otro momento.

III. OFICIOS EMITIDOS POR CONAP EN APOYO A ICC





GOBIERNO de
GUATEMALA

CONSEJO NACIONAL
DE ÁREAS PROTEGIDAS



DIRECCIÓN REGIONAL COSTA SUR

OF/DRCS/mndII/240/2020
Retalhuleu, 03 de Junio del 2020

A: Ovidio Venancio Rodríguez Pimentel
Mayra Elizabeth Martínez López
Guarda Recursos del -APE- Manchón Guamuchal

De: Ing. Agro. José David Barillas Lechuga
Director Regional del CONAP Costa Sur

Asunto: Solicitud de Apoyo

Respetables Señores:

Reciba un cordial saludo en nombre de la Dirección Regional Costa Sur del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. -CONAP-.

Por medio del presente me dirijo a ustedes, haciendo de su conocimiento que el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático -ICC- está apoyando en realizar un levantamiento de información de la calidad de agua de los pozos artesanales, ubicados en las Aldeas que ustedes tienen bajo su cargo. Estas regiones cercanas a Manchón-Guamuchal. Como parte del proyecto que se está realizando con financiamiento de la Embajada de Estados Unidos -USAID-. Se tiene planificado realizar esta actividad de campo iniciando el día lunes 08 al viernes 12 del presente mes.

Agradeciendo de antemano su valioso apoyo me suscribo de ustedes.

Atentamente

Ing. Agro. José David Barillas
Dirección Regional Costa Sur
CONAP



C.c. Archivo

4ta avenida "C" 1-15 zona 1 Retalhuleu
PBX (502) 77712201

www.conap.gob.gt

Síguenos en: [conap_gobgt](#) [conap_sur](#)

IV. UBICACIÓN DE LOS POZOS MEDIDOS.

ID	UBICACIÓN	X	Y	BROCAL
15	El Mango	-92.0802	14.4292	0.3
16	El Mango	-92.0831	14.4313	0.8
17	El Mango	-92.0846	14.4323	0.5
18	El Mango	-92.0868	14.4340	0.6
13	Las Morenas	-92.1062	14.5139	0.2
14	Las Morenas	-92.1082	14.5118	0
25	Manchón	-92.0352	14.3910	0.3
26	Manchón	-92.0348	14.3913	0.4
27	Manchón	-92.0346	14.3914	0.65
28	Manchón	-92.0368	14.3919	0
29	Manchón	-92.0375	14.3929	0.45
30	Manchón	-92.0386	14.3934	0.5
31	Manchón	-92.0411	14.3964	0.4
32	Manchón	-92.0424	14.3967	0.6
33	Manchón	-92.0438	14.3977	0.5
34	Manchón	-92.0449	14.3980	0.3
35	Manchón	-92.0343	14.3905	0.4
36	Manchón	-92.0325	14.3885	0.6
37	Manchón	-92.0332	14.3891	0.4
38	Manchón	-92.0316	14.3879	0.5
39	Manchón	-92.0297	14.3865	0.3
1	Tamashán	-92.1074	14.5026	0.3
2	Tamashán	-92.1087	14.5038	0.25
11	Tamashán	-92.1133	14.5033	0.7
12	Tamashán	-92.1119	14.5084	0.95
40	Tilapa	-92.1290	14.4640	0.5
41	Tilapa	-92.1476	14.4782	0.12
42	Tilapa	-92.1494	14.4810	0
43	Tilapa	-92.1601	14.4882	0.2
44	Tilapa	-92.1625	14.4864	0
45	Tilapa	-92.1731	14.4955	0.4
46	Tilapa	-92.1724	14.4951	0
47	Tilapa	-92.1706	14.4941	0.79
48	Tilapa	-92.1692	14.4925	0.3
49	Tilapa	-92.1675	14.4903	0.4
3	Tres Cruces	-92.1089	14.4519	0.5

ID	UBICACIÓN	X	Y	BROCAL
4	Tres Cruces	-92.1092	14.4524	0.6
5	Tres Cruces	-92.1097	14.4530	0.45
6	Tres Cruces	-92.1104	14.4528	0.3
7	Tres Cruces	-92.1093	14.4489	0.5
8	Tres Cruces	-92.1104	14.4486	0.15
9	Tres Cruces	-92.1107	14.4499	0
10	Tres Cruces	-92.1105	14.4501	0.3
19	Tres Cruces	-92.1091	14.4482	0.75
20	Tres Cruces	-92.1122	14.4498	0.9
21	Tres Cruces	-92.1100	14.4495	0.1
22	Tres Cruces	-92.1094	14.4516	0.65
23	Tres Cruces	-92.1099	14.4522	0.3
24	Tres Cruces	-92.1087	14.4513	0.36