

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE POSTGRADOS



**ESTUDIO DE LA SALINIDAD DEL ACUIFERO COSTERO DE  
LA CUENCA HIDROGRÁFICA CARA SUCIA,  
AHUACHAPÁN.**

PRESENTADO POR:

**GLENDA XIOMARA CAMPOS HERNÁNDEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**MAESTRA EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLOGÍCOS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2016.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO :

**LICDO. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE POSTGRADOS**

DIRECTORA DE ESCUELA :

**MSc. PATRICIA HAYDEÉ ESTRADA DE LÓPEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE POSTGRADOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**MAESTRA EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS**

Título :

**ESTUDIO DE LA SALINIDAD DEL ACUÍFERO COSTERO DE  
LA CUENCA HIDROGRÁFICA CARA SUCIA,  
AHUACHAPÁN.**

Presentado por :

**GLENDA XIOMARA CAMPOS HERNÁNDEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

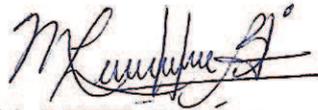
**MSc. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN**

Salvador, febrero 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director

:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Lizeth B. de Calderón', written in a cursive style.

**MSc. MARCIA LIZETH BARRERA DE CALDERÓN**

## DEDICATORIA

En primer lugar dedico este logro a Dios Todopoderoso y a la intercesora Virgen María, por haberme brindado la oportunidad de ser estudiante de la Maestría y brindarme sabiduría e inteligencia para llegar a feliz término con éste triunfo.

A mis padres, Antonio Campos y Rosa Hernández de Campos, por su incondicional apoyo en mis proyectos en todas las etapas de mi vida. Completamente agradecida estoy porque hicieron una excelente tarea al formarme con valores que no son posible lograrlos didácticamente con literatura. Ustedes serán siempre un ejemplo de lucha para alcanzar las metas propuestas y por ello los admiro, respeto y amo con todo mi corazón.

A mis hermanos, Edwin y Erick, por el apoyo y comprensión en mis afanes y sacrificios de superación personal y aunque a veces la distancia nos dispersa, sé que siempre cuento con ustedes, por la unión de sangre y amor que fue fomentada por nuestros padres. Asimismo agradezco a Dios por regalármelos como hermanos, porque mediante ustedes puedo tener la gracia de ser tía, ya es un hecho con Angelito y Hissellita y en algún momento espero tener más sobrinos aportados por Erick.

A mi familia en general, por impulsarme y apoyarme en el desarrollo de mis propósitos y objetivos planteados.

A todos mis hermanos en Cristo (de la comunidad), por compartir grandes momentos de bendición y pruebas, pero siempre tengo la certeza de contar con sus oraciones; gracias le doy a Dios por regalármelos como parte de mi historia y ser muy especiales en mi vida, principalmente E.C., porque siempre he contado con su apoyo.

Finalmente quiero pedir disculpas si no he profundizado en lo mucho que se ha vivido y las muestras de agradecimiento individual para cada uno. También las disculpas del caso por aquellos que aprecio mucho y que me haría falta papel para mencionarlos, prometo dedicarles mis futuros proyectos.

*A todos ustedes en nombre de Dios, dedico este logro.*

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a todas las personas que han contribuido a la realización de esta investigación, especialmente:

A mi asesora de tesis, Maestra e Ingeniera Marcia de Calderón, por su compromiso, dedicación y tiempo en la revisión y seguimiento de la investigación; deseo que Dios le recompense y le conceda muchas bendiciones en su vida.

A las Maestras e Ingenieras: Patricia Estrada y Tania Torres, por su apoyo y profesionalismo en sus funciones como directora de postgrados y coordinadora de maestría, respectivamente.

A los jurados, profesores, amigos y destacados profesionales en la rama de la Hidrogeología, especialmente al Licenciado y Maestro Dagoberto Arévalo, por su dedicación e interés en el desarrollo de la presente investigación. A los Maestros: Mario Guevara, Laura Gil y Randy Merlos, por compartir su amplio conocimiento, dedicación y pedagogía para transferir información.

A todos los docentes de la Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos por su excelente desempeño durante el postgrado, condición que permitió el presente logro.

Al compañero de maestría y amigo, ingeniero Luis Chipagua por su apoyo y tiempo en el desarrollo de todo el trabajo de campo; tanto como al apoyo moral en momentos de agotamiento y tiempo empleado en discutir las diferentes temáticas de la presente investigación. También a los compañeros: Eva Corina Rodríguez y Alexis Polanco, por promover la culminación de nuestros estudios, siendo ello un objetivo común.

A mis amistades cercanas y excompañeros en el ámbito laboral, por impulsarme en la culminación del presente estudio, especialmente al amigo ingeniero Paul Eduardo Rivas, por su apoyo e ideas en la parte gráfica de los perfiles litológicos del estudio; se les aprecia mucho.

A todos los compañeros durante la Maestría, en especial a la fórmula Luis Chipagua, Álvaro Amaya y Aura Canacas con quienes convivimos experiencias que serán inolvidables, mismo que permitió un caminar bastante ameno. Muchas gracias y estoy plenamente convencida que son grandes profesionales y excelentes personas.

*¡Gracias a Dios por permitirme la bendición de haber contado con su apoyo!*

## RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación consiste en la caracterización de la salinidad en el acuífero costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, a partir de la valoración Hidrogeológica, Hidrogeoquímica y Geofísica del agua subterránea, para lo cual se estudió y analizó información relacionada existente (datos geofísicos, parámetros hidráulicos del acuífero a partir de ensayos en pozos, mapas topográficos y temáticos) e interpretación de información obtenida como parte de la presente investigación (geofísica, recarga acuífera con base en el sistema de flujo, parámetros físico-químicos) que en conjunto han permitido realizar la caracterización requerida para el acuífero.

Cabe destacar que la zona de estudio fue previamente analizada, dentro de un enfoque de salinidad con tendencia a la determinación de calidad de agua y afectación en la calidad de vida de los habitantes de la zona; mientras que la presente investigación contiene un aporte técnico con enfoque en la caracterización e identificación de salinidad, tanto como sus posibles causas.

Como parte de la caracterización y a partir de la investigación, fue posible identificar dos (2) Unidades Hidrogeológicas existentes en la zona de estudio, siendo éstas: Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media y Rocas No Acuíferas. Asimismo se identificó las elevaciones topográficas de dicha zona, mismas que se encuentran entre 1 a 20 m y la orientación general de la dirección del flujo subterráneo regional, en sentido NS (Norte-Sur) hacia la costa. También se determinó que la cota piezométrica máxima registrada es de 23 msnm., en las cercanías de la frontera La Hachadura, mientras que las mínimas corresponden específicamente al nivel del mar, por lo que el gradiente hidráulico medio es del orden de 0,002. Es importante destacar que con base en lo observado se determinó que el acuífero presente en la zona de estudio corresponde a un acuífero libre y con buena permeabilidad, en vista que se encuentra superficialmente a presión atmosférica y con valores de conductividad hidráulica (K) que oscilan entre 1.22 y 54.83 m/día.

## CONTENIDO

<b>I. ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 CONTEXTO.....	16
1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	19
1.4 PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.5 OBJETIVOS.....	20
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.7 BENEFICIOS ESPERADOS .....	22
1.8 DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.9 ANTECEDENTES .....	24
1.9.1 ESTUDIOS PREVIOS.....	24
1.9.2    GEOLOGÍA .....	27
1.9.3    USO DE SUELO.....	27
1.9.4    HIDROLOGÍA.....	28
1.9.5    HIDROGEOLOGÍA.....	28
1.9.6    ENTORNO SOCIOECONÓMICO.....	29
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>31</b>
2. 1 HIDROGEOLOGÍA.....	31
2.1.1 CONCEPTOS BÁSICOS .....	31
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS.....	32
2.1.3 SISTEMAS DE FLUJO.....	37
2.2 HIDROGEOQUÍMICA.....	41
2.2.1 ORIGEN Y PROPIEDADES GEOQUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS DISUELTAS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	41
2.2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FISICOQUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA. .....	42
2.2.3 EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS EN LOS ACUÍFEROS.....	43

2.3 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA .....	45
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS .....	45
2.3.2 PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS .....	46
2.3.3 MÉTODOS GEOELÉCTRICOS.....	47
2.4 INTRUSIÓN SALINA .....	50
2.4.1 ANTECEDENTES GENERALES SOBRE INTRUSIÓN SALINA .....	50
2.4.2 PROCESOS DE SALINIZACIÓN.....	54
2.4.3 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA DE INTRUSIÓN SALINA MEDIANTE TÉCNICAS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES (ADAPTADO DE ESPINOZA C., 2005). .....	55
2.4.4 MÉTODOS DIRECTOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA.....	65
<b>III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>71</b>
3.1 ACTIVIDADES DE CAMPO Y GABINETE DESARROLLADAS. ....	72
3.2 HERRAMIENTAS HIDROGEOLÓGICAS APLICADAS. ....	74
3.3 TRABAJO DE CAMPO.....	75
3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE AGUA.....	75
3.3.2 MONITOREO DE NIVELES FREÁTICOS.....	76
3.3.3 MUESTREO FÍSICO-QUÍMICO. ....	78
3.3.4 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	80
3.3.5 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN. ....	81
3.3.6 AFOROS EN RÍOS. ....	83
<b>IV. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>84</b>
4.1 GEOLOGÍA Y USO DE SUELO .....	84
4.2 INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA.....	85
4.3 ISOFREÁTICAS Y DIRECCIÓN DEL FLUJO.....	87
4.4 PROCESAMIENTO, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS GEOFÍSICO DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	91
4.5 HIDROGEOQUÍMICA.....	100
4.5.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	100

4.5.2 CONTENIDO DE SALES DISUELTAS.....	103
4.5.3 OTROS PARÁMETROS HIDROGEOQUÍMICOS.....	103
4.6 PRUEBAS ADICIONALES .....	112
4.6.1 AFOROS EN RÍOS. ....	112
4.6.2 INFILTRÓMETRO DOBLE ANILLO Y PERMEÁMETRO GUELPH. ....	114
4.7 MODELO CONCEPTUAL.....	116
4.7.1 ESPESOR DEL ACUÍFERO.....	116
4.7.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS. ....	116
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>121</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>123</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de ubicación de la zona de estudio.....	18
Figura 2.1. El ciclo hidrológico.....	31
Figura 2.2. Esquema de acuífero.....	37
Figura 2.3. Sistemas de flujo de agua subterránea. ....	40
Figura 2.4. Cuña de agua salada en un acuífero costero. Formación de conos de agua salada debajo de captaciones.....	51
Figura 2.5. Contaminación salina en un pozo profundo. Contaminación por infiltración de agua salada inducida por bombeo.....	51
Figura 2.6. Interfase de intrusión de agua salina, en un acuífero costero no confinado bajo condiciones hidrostáticas.....	55
Figura 2.7 Estrategia básica de diagnóstico, identificación, caracterización y remediación ...	64
Figura 3.1. Pozo identificado como CSE10, localizado sobre la Carretera del Litoral, a la altura del desvío hacia La Hachadura.....	76
Figura 3.2. Pozo perforado identificado como CSP04, propiedad de ASEPROS, municipio de Cara Sucia .....	77
Figura 3.3. Pozo excavado identificado como CSE15, propiedad de Francisca Perdomo, caserío El Chino.....	78
Figura 3.4. En la fotografía de la izquierda, se observa equipo multiparámetro empleado para la medición. En la fotografía de la derecha, se observan los equipos uniparámetros empleados para la medición de Ph y TDS.....	79
Figura 3.5. Equipo multiparámetro empleado para la medición, durante los muestreos de agua en pozos.....	80
Figura 3.6. Desarrollo de SEV. Resistivímetro propiedad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).....	81
Figura 3.7. Prueba de infiltración en caserío El Chino, mediante el empleo de un infiltrómetro Guelph .....	82
Figura 3.8. Prueba de infiltración, mediante el empleo del método Doble Anillo. Caserío El Chino. ....	82

Figura 3.9. Aforo mediante el empleo de molinete propiedad del MARN. Río San Francisco	83
Figura 4.1. Estratigrafía superficial de la zona de estudio, localizada en las inmediaciones de la Carretera del Litoral .....	84
Figura 4.2. Pozos monitoreados en la zona de estudio.....	86
Figura 4.3. Piezometría y dirección del flujo, jornada realizada en noviembre 2012.....	88
Figura 4.4. Piezometría y dirección del flujo, período noviembre 2012 a septiembre 2013. ..	89
Figura 4.5. Localización de SEV realizados en la zona de estudio.....	92
Figura 4.6. Secciones transversales que definen perfiles litológicos. ....	94
Figura 4.7. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P2 P-O).....	97
Figura 4.8. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P3 N-S).....	98
Figura 4.9. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P3 N-S).....	99
Figura 4.10. Mapas de isoconductividad, período noviembre 2012 a septiembre 2013.....	101
Figura 4.11. Diagramas de Piper de muestreos realizados en la zona de estudio. ....	109
Figura 4.12. Mapa de diagramas de Stiff correspondientes al primer muestreo realizado en la zona de estudio. ....	110
Figura 4.13. Mapa de diagramas de Stiff correspondientes al segundo muestreo realizado en la zona de estudio. ....	111
Figura 4.14. Mapa de trayectoria de los ríos de la zona de estudio. ....	113
Figura 4.15. Mapa de trayectoria de los ríos de la zona de estudio. ....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Métodos geoelectricos.....	48
Tabla 4.1 Resultados de la relación cloruro-bicarbonato .....	104
Tabla 4.2 Resultados de la relación magnesio-calcio. ....	105
Tabla 4.4 Concentraciones máximas admisibles según la normativa aplicable en el país.....	108
Tabla 4.5. Resumen de Resultados de aforos en la zona de estudio. ....	114
Tabla 4.6. Resumen de Mediciones realizadas con permeámetro Guelph y con infiltrómetro Doble Anillo en la zona de estudio. ....	115

## NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS

mol/L	Mol por cada litro (medida de concentración)
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
L/s	Litro por segundo (medida de caudal)
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno leída al quinto día.
mg/L	Miligramo por cada litro (medida de concentración)
Na <sup>+</sup>	Catión sodio
Mg <sup>2+</sup>	Catión magnesio
Ca <sup>2+</sup>	Catión calcio
Cl <sup>-</sup>	Anión cloro
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Anión Sulfato
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Anión bicarbonato
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical
etc.	Etcétera

## I. ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Tomando en consideración que el recurso hídrico es una necesidad social y que cada día en nuestro país aumenta la presión demográfica, disminuye la capacidad de infiltración de los suelos como producto del incremento en la deforestación y los niveles de vulnerabilidad cada vez son más evidentes; aunado a que en general los recursos naturales son utilizados de forma insostenible y que muy probablemente con el avance del tiempo se alcance una categoría de estrés hídrico, con pleno conocimiento de que buena cantidad de la población aún no posee acceso directo al recurso agua, mismo que es indispensable para el desarrollo de la vida de los seres humanos.

Cabe indicar que en el país, se han realizado estudios de caracterización de acuíferos, a partir de la información de la geología superficial, con estudios puntuales sobre calidad de agua e hidrogeoquímica. Sin embargo, en muy pocos casos se dispone de información detallada en cuanto al modelo conceptual de acuíferos profundos [información geológica, hidrogeológica, geofísica y los parámetros indicadores del comportamiento del flujo subterráneo], evolución del agua subterránea y/o procesos de contaminación; así tampoco se ha determinado la condición de salinización origen y/o causa de ésta en los acuíferos costeros.

A partir de lo anterior, se ha definido la zona de estudio como la zona sur de la delimitación oficial de la cuenca hidrográfica Cara Sucia y la carretera del Litoral (CA-02), localizada en el departamento de Ahuachapán, la cual presenta algunos problemas en cuanto al aprovechamiento del recurso agua en la zona costera del país, dadas las condiciones de abastecimiento del vital líquido; se consideró necesario realizar la presente investigación, a fin de disponer de información integral que permita a las entidades relacionadas con abastecimiento y/o aprovechamiento de los recursos naturales tomar decisiones encaminadas a facilitar los recursos a la población y brindar información para la adecuada utilización y/o protección de dichos recursos, considerando además alguna información aislada existente.

Al respecto, la presente investigación “*Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán*”, desarrolla la caracterización de la salinidad del

acuífero costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, mediante la evaluación de información Geofísica existente y/o generada durante el estudio, así como a partir de parámetros físicos de campo e hidrogeoquímica del agua subterránea. Lo anterior, como parte de una mejor gestión del recurso hídrico, específicamente en la zona sur del departamento de Ahuachapán.

El documento está constituido básicamente en siete capítulos: El capítulo I contiene en general, la descripción del área de estudio, la definición del problema y preguntas de investigación, objetivos, justificación, beneficios esperados, delimitación y limitaciones de investigación, así como los antecedentes. El capítulo II contiene el marco teórico general, que incluye la conceptualización y teoría fundamental sobre los métodos y/o técnicas empleadas. El capítulo III describe la metodología de la investigación, la cual contiene una estructura como sigue: actividades de campo y gabinete, herramientas hidrogeológicas aplicables y obtención de la información. El Capítulo IV contiene los resultados obtenidos que de manera general presenta la información recabada y generada, caracterización del acuífero, a partir de parámetros hidráulicos del mismo, así como procesamiento, interpretación y análisis de la información, lo cual permitió determinar el modelo hidrogeológico conceptual. En el capítulo V se presentan las Conclusiones y los capítulos VI y VII corresponden con las Recomendaciones y Referencias Bibliográficas, respectivamente.

## **1.2 CONTEXTO**

La zona de estudio, forma parte de la región hidrográfica Cara Sucia-San Pedro Belén también denominada Región C, según el Plan Maestro para el Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos [PLAMDARH] (MAG-PNUD, 1981), misma que se caracteriza por contar con potencial hídrico superficial y subterráneo, belleza escénica, condiciones edáficas propicias para la producción agrícola e interconexión fronteriza, etc. (ver figura 1.1); por ello dicha zona, se hace atractiva para propuestas de desarrollo y crecimiento socioeconómico.

Con base en lo anterior, es posible indicar que en la zona de estudio el uso del recurso hídrico se ha visto incrementado por una serie de factores, entre ellos, el crecimiento poblacional e iniciativas orientadas a promover los sectores productivo e industrial. Aunque es posible pensar que este proceso puede generarse únicamente en áreas potencialmente desarrolladas, se presenta

también en zonas con poco desarrollo social. Para el caso, el crecimiento de la demanda del agua en la zona Sur de Ahuachapán se está dando en forma acelerada y está siendo utilizada para diversos usos (UICN, 2004), entre ellos producción agropecuaria, producciones de cultivos de caña de azúcar y ganadería, entre otros.

Cabe indicar, que en El Salvador el crecimiento de la población ha llevado al aumento considerable en la demanda de agua, ocasionando en algunos lugares su escasez, condición por la cual resulta importante una gestión cuidadosa del recurso hídrico. Sobre este respecto, en los acuíferos costeros se requiere una adecuada gestión, debido a la vulnerabilidad en la calidad de las aguas, como consecuencia de las constantes extracciones a causa de la demanda por los usos del agua en la zona. Con base en lo anterior y en vista de la explotación que se produce en estas zonas, específicamente cuando los niveles de extracción superan la capacidad de recarga de dichos acuíferos, principalmente para satisfacer requerimientos agrícolas y relacionados al desarrollo urbano y turístico; generalmente se está frente a un escenario de sobreexplotación del recurso hídrico, dando origen y/o intensificando el problema de contaminación por salinización de las aguas subterráneas, el cual muy probablemente puede ser atribuido al fenómeno conocido como Intrusión Salina, el cual podría producirse a una tasa mayor que la esperada bajo condiciones controladas de extracción.

Cabe indicar que una creciente salinización de las aguas, se manifiesta una vez que se ha sobrepasado la capacidad de recarga del acuífero y por lo tanto la penetración de la cuña salina se transforma en un proceso inevitable y difícil de remediar. Dicha situación, tiene especial importancia en un país como El Salvador, ya que a lo largo de su territorio dispone de una extensa longitud costera, caracterizada por presentar una gran cantidad de asentamientos poblacionales, en donde la demanda del recurso hídrico se ve incrementada en forma continua debido principalmente a las exigencias no controladas de abastecimiento por parte de la población. Con base en lo anterior, la evaluación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, debe realizarse con rigurosidad, incluyendo una total comprensión acerca del uso y del desarrollo de ambos recursos, vistos como un conjunto interactivo e interdependiente (UICN, 2004).

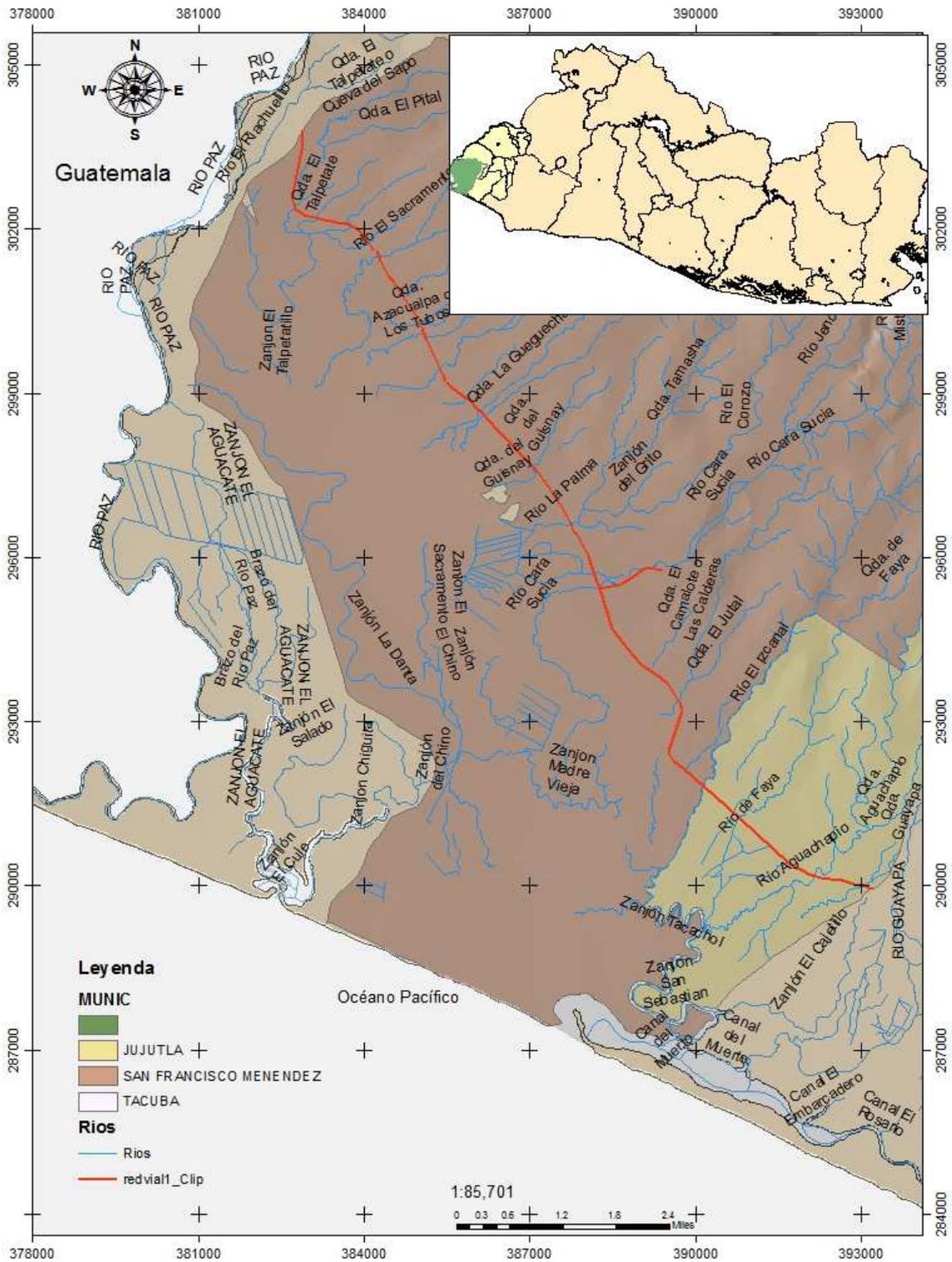


Figura 1.1. Esquema de ubicación de la zona de estudio.  
Fuente: Elaboración propia, a partir de coberturas MARN.

### 1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

El acuífero costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, es un recurso importante para el abastecimiento de la población en la zona occidental del país y el cual con base en estudios previos, ha presentado índices de contaminación que se atribuyen al efecto salino.

Al respecto, es posible indicar que la escasez y el alto grado de contaminación de los recursos hídricos en El Salvador, hace cada vez más difícil el abastecimiento de agua potable a la población. El contar con agua de calidad y obtener la cantidad adecuada son dos retos para los administradores del recurso tanto a nivel gubernamental como comunal (UICN, 2005).

Consientes que el agua es un elemento básico para la vida de los seres humanos, las plantas y los animales, es además, imprescindible para el desarrollo de la agricultura e industria de un país, su escasez o abundancia determinan el potencial productivo de una región. Sin embargo, son los seres humanos quienes más inciden en la calidad y disponibilidad del agua tanto superficial como subterránea, pues a medida que las poblaciones crecen, la necesidad de abastecimiento es mayor y al mismo tiempo la cantidad apta para el consumo disminuye (UICN, 2005).

Con base en lo anterior, se indica en términos generales, la importancia del uso sostenible, la gestión y protección del agua, la cual requiere del estudio detallado de algunas zonas, principalmente costeras, dado que en sectores específicos ya ha sido identificado algunos índices de salinización. Al respecto y considerando que a nivel de país se requiere potenciar la investigación en el aspecto hidrogeológico, que además permita evaluar opciones prácticas de solución al tema de abastecimiento del recurso hídrico en zonas costeras, y que sea apta para el consumo humano, se pretende que la investigación denominada “*Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán*”, permita realizar la caracterización en general del acuífero costero, hidrogeológico e hidrogeoquímico de dicha cuenca hidrográfica, mediante la investigación principalmente geofísica e hidrogeoquímica del agua subterránea, tanto como la caracterización de la salinidad presente en el acuífero. Lo anterior, dado el desconocimiento del comportamiento del sistema acuífero y la salinidad presente en la zona de estudio; lo cual, se espera sea útil para las instancias y/o instituciones gubernamentales relacionadas

con el abastecimiento y monitoreo del recurso; así como constituir la base para investigaciones posteriores de interés nacional.

#### **1.4 PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Con el objeto de dar solución a la problemática anteriormente planteada se espera solucionar las siguientes interrogantes.

- 1.Cuál es la principal causa de salinización del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, ¿Qué factores estarían interviniendo?
2. ¿Cuál es la tendencia del comportamiento hidrodinámico del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán?
3. ¿Desde una perspectiva hidrogeoquímica, qué características podrían identificar al acuífero costero de la cuenca Hidrográfica Cara Sucia Ahuachapán?

#### **1.5 OBJETIVOS**

##### **1.5.1 Objetivo General**

Caracterización del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, mediante la evaluación Hidrogeológica, Hidrogeoquímica y Geofísica del agua subterránea, para el estudio de la salinidad.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

1. Fundamentar la hidrogeología del acuífero presente en la zona costera de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, mediante la revisión de la información existente y/o la medición de parámetros físicos del agua.

2. Realizar la caracterización hidrogeoquímica del acuífero costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, a partir del análisis de resultados químicos obtenidos, de la extracción de muestras de agua.

3. Identificación y descripción de la salinidad, a partir de información existente u obtenida del empleo de métodos geofísicos e información hidrogeoquímica e hidrológica previamente analizada.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

En vista que el agua subterránea sufre diferentes demandas como resultado de los usos del agua a nivel nacional y por consiguiente en zonas costeras, donde la mayor demanda está relacionada con el riego para la producción agrícola, el desarrollo turístico y abastecimiento doméstico; condición que muy probablemente con el paso del tiempo ha generado una intensa demanda en el acuífero y que podría ser la causa principal de la salinidad presente en el mismo, dada la sobreexplotación a la que se ve expuesto, lo que genera un fenómeno de desplazamiento tierra adentro de la cuña salina, conocido como intrusión.

Cabe indicar, que el problema de salinización comienza a manifestarse crecientemente, debido a una posible sobre explotación del acuífero de la zona de estudio, a partir de lo cual se prevé que a futuro se genere contaminación de las aguas subterráneas como efecto de la salinización y se constituya una limitante en la satisfacción de la demanda del recurso hídrico en esa zona.

Debido a la importancia que representa este fenómeno, es necesario desarrollar un conocimiento más completo del comportamiento y evolución del sistema de agua subterránea; conscientes que el acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, es la fuente de abastecimiento humano de la zona y es imprescindible para el desarrollo de la agricultura, que es parte de uno de los principales ejes de acción en dicho sector.

Con base en lo antes expuesto, surge la necesidad de estudiar la salinidad existente en el acuífero costero de la zona, a fin de determinar el origen y/o las causas de ésta, a partir de lo cual muy probablemente se podrá establecer si la salinidad presente corresponde a una condición local o generalizada en esa zona, dado que en acuíferos costeros la salinidad normalmente está asociada a procesos de intrusión salina; no obstante que existe la posibilidad que tenga un origen por la conjunción con otros aspectos hidroclimatológicos e hidrodinámicos. Lo anterior, a fin de evaluar alternativas de solución adecuadas ante las limitantes de abastecimiento de agua en la zona.

### **1.7 BENEFICIOS ESPERADOS**

Con el desarrollo de la investigación, se espera determinar las principales causas de salinización del acuífero costero de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán, a partir de la correspondiente evaluación Hidrogeológica, Hidrogeoquímica y Geofísica del agua subterránea; proporcionando elementos que pueden ser considerados en la toma de decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos en la zona de estudio.

Así también, se tendrá como beneficio un mayor conocimiento de las propiedades del acuífero, desde las diferentes perspectivas de evaluación hidrogeológica, hidrogeoquímica y geofísica, que de manera integral permitirá identificar posibles iniciativas y/o sugerencias de remediación y/o prevención de la sobreexplotación del acuífero y por consiguiente de la salinización del mismo.

### **1.8 DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se limitó a la zona sur (costera) de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, específicamente incluyendo la delimitación oficial de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, excepto que al norte el límite de la zona de estudio es la carretera del litoral (CA-02), constituido principalmente por la Unida hidrogeológica: Acuífero Poroso, con base en el contenido del mapa hidrogeológico elaborado por ANDA, año 2007; considerando que el estudio no incluyó la zona alta de la cuenca hidrográfica antes relacionada, misma que está constituida por la Unidad Hidrogeológica: Rocas no Acuíferas. El período en el que se realizó el levantamiento de información de campo, incluyendo muestreos y obtención de resultados de laboratorio, comprendió

aproximadamente un año (12 meses) entre Noviembre/2012 y Noviembre/2013, lo que comprendió medición de parámetros propios del acuífero, a partir de la obtención de parámetros fisicoquímicos de campo, muestreos hidrogeoquímicos representativos e implementación de métodos geofísicos.

Aunque la motivación para realizar la investigación consistió en la identificación de las principales causas de salinización del agua subterránea de la zona de estudio, el trabajo no involucró la temática de calidad de agua, únicamente se centró en la evaluación Hidrogeológica, Hidrogeoquímica y Geofísica del acuífero.

Es importante indicar que hubo limitantes de acceso a la información existente en instituciones públicas, aun siendo solicitada para propósitos académicos; se suma el limitado apoyo de algunas instituciones en cuanto a la disponibilidad de equipos de medición y en general para el desarrollo de pruebas y muestreos de campo. Lo anterior, no obstante que el personal técnico profesional de dichas instituciones, muestran interés en la temática de investigación; a partir de lo cual se confirmó que las gestiones de apoyo institucionales demandan demasiado tiempo, dado que corresponden a procesos lentos y complejos y por consiguiente, resulta en restricción para el desarrollo normal de investigaciones como la presente. No obstante lo anterior y luego de varias gestiones realizadas, la presente investigación fue posible con el apoyo del MARN, en cuanto a equipo de medición y análisis químico de dos (2) muestreos; así como el apoyo de ANDA en cuanto a la ejecución y análisis de dos (2) sondeos eléctricos verticales (SEV).

Sobre este respecto, se indica que se requiere de recursos económicos importantes para investigaciones de ésta índole. Debido a lo anterior, para el desarrollo de investigaciones que contengan todos los elementos necesarios, se requiere del aporte de instituciones gubernamentales, las cuales muy difícilmente pueden dedicar recursos a proyectos de investigación que no obstante son de interés institucional, no están incluidos en su programación de trabajo y por consiguiente no cuentan con presupuesto disponible.

## **1.9 ANTECEDENTES**

Como parte de la misión encomendada a la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA) *“Proveer agua apta para el consumo humano con la calidad y cantidad que la población demanda; ... manteniendo el equilibrio ecológico de los Recursos Hídricos”* (<http://www.anda.gob.sv/index.php>), dicha institución en la objetiva búsqueda de fuentes de abastecimiento, se dio a la tarea en enero 2012 (según reporte litológico), de desarrollar en la zona sur de Ahuachapán, específicamente en la zona de la Hacienda La Danta (9 msnm), la exploración mediante la perforación de un pozo para la extracción de agua y abastecimiento domiciliar, realizado, la cual al ser sometida a los controles de calidad practicados por la institución (ANDA), se identificó índices de salinidad en el agua subterránea de la zona, desconociéndose el origen de dicha salinización.

Por lo anterior, y considerando la demanda y necesidad de agua que existente en la zona de estudio; la ANDA llevo a cabo la perforación de otro pozo, el cual fue finalizado en junio de 2012 (según el informe técnico de la Unidad Hidrogeológica de ANDA), localizado en la zona del caserío Santa Elena, Cantón Cara Sucia, Municipio de San Francisco Menéndez, hacia cantón Corozo, Ahuachapán; sitio con una mayor elevación respecto del nivel del mar (56 msnm), y en el cual al verificar los parámetros de calidad de agua, se determinó que es apta para el consumo humano. Lo anterior, a partir de información de los muestreos puntuales de las aguas subterráneas, realizados por la ANDA, e información del monitoreo desarrollado previamente por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

### **1.9.1 Estudios Previos**

Se han desarrollado diversos estudios relacionados con la hidrogeología de la zona de estudio, entre los cuales se citan:

**1.9.1.1** Documento: “Análisis de Actores de la Región Hidrográfica Cara Sucia – San Pedro Belén, Ahuachapán, El Salvador”, proyecto UICN/BASIM, 2004.

El estudio hace una relación de diferentes interesados en los recursos hídricos de la Región C. Se hace una presentación general sobre cuáles son las razones de conflictos por el uso del recurso hídrico y quiénes pueden ser aquellos que incidan en orientar el uso eficiente y sostenible del agua; haciendo notar que las relaciones existentes entre los diversos actores en la Región C, son tan débiles que es necesario buscar un mecanismo que permita fortalecer el entendimiento entre ellos.

**1.9.1.2** Documento: “Calidad de Agua en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.”, proyecto UICN/BASIM, 2005.

La investigación incorpora los resultados de monitoreo en agua superficial y subterránea realizados por el Proyecto UICN/BASIM y por distintas OG y ONG en la zona de influencia del proyecto durante los años 1999 a 2005. Al respecto, el estudio indica que la calidad del agua al Sur de Ahuachapán, no experimentó ninguna mejora durante el período en que se llevaron a cabo los estudios (1999 a 2005), por el contrario su calidad decae con el paso del tiempo, debido a factores como el crecimiento poblacional en torno a los recursos hídricos, la falta de políticas de saneamiento por parte de Gobierno Central y gobiernos municipales y del precario sistema de agua potable.

Cabe indicar que la información a partir de la cual se concluyó en este estudio, corresponde a parámetros que a su juicio de las organizaciones que realizaron el estudio, brindan la información necesaria, tomando como base la norma Salvadoreña de agua potable, avalada por la Organización Mundial de la Salud (OMS); tales como: pH, Temperatura, Conductividad, DBO5, Nitratos, Fosfatos, Nitritos, Cloruros, Hierro, Manganeso, Coliformes Totales y Fecales, así como Escherichia Coli; de los cuales según se indica en el documento, el pH y la temperatura se midieron en Campo y las muestras para análisis químicos y bacteriológicos se determinaron en laboratorio.

**1.9.1.3** Documento: “Estado de los Recursos Hídricos en la Región Hidrográfica Cara Sucia – San Pedro Belén, en la Zona Sur de Ahuachapán, El Salvador”, proyecto UICN/BASIM, 2004.

El Proyecto presenta una recopilación breve de las principales características físicas y ambientales que posee la región hidrográfica Cara Sucia-San Pedro Belén, también denominada

Región C, en el cual se ha determinado que el agua constituye un componente clave para el desarrollo social y productivo en la zona Sur de Ahuachapán. Así también, se indica que las fuentes de agua provienen principalmente de los ríos y del acuífero costero Occidental; identificando que se ha incrementado la cobertura de agua potable por medio de una red de sistemas de abastecimiento, de la cual un 60% del agua es explotado del acuífero costero.

**1.9.1.4** Documento: “Plan de Monitoreo para sistemas de abastecimiento de pozos perforados en el Sur de Ahuachapán, El Salvador” y “Plan de Monitoreo para Sistemas de Abastecimiento de Río o Nacimiento en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.”, proyecto UICN/BASIM, 2005.

El documento describe el plan de monitoreo anual de calidad de agua potable captada de pozos perforados para abastecer a menos de 5 mil usuarios y de 5 mil a 100 mil habitantes. El plan básicamente es el mismo para ambos casos, con algunas excepciones particulares.

**1.9.1.5** Documento: “Uso de Agua en Sistemas de Riego en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.”, proyecto UICN/BASIM, 2005.

Este documento resulta de sistematizar la bibliografía identificada sobre el tema en cuestión y la información recopilada con los usuarios de los sistemas de riego de la Región C.

**1.9.1.6** Detección de la Salinidad en el Acuífero de la Cuenca Baja del Río Paz. San Francisco Menéndez. Ahuachapán El Salvador, por Geólogos del Mundo y Unidad Ecológica Salvadoreña (GM-UNES, 2013).

El estudio, describe el estado del acuífero costero de la cuenca baja del Río Paz, enfocándose principalmente en la detección de la salinidad presente en éste, y que afecta la calidad de vida de los habitantes de las distintas comunidades de la zona.

Cabe indicar que en el estudio se indica que la presencia de agua salobre en algunos pozos ubicados en las casas de los habitantes de las distintas comunidades presentes y el interés por determinar las causas a este fenómeno, ha sido el indicador que motivó dicho estudio.

### **1.9.2 Geología**

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, epiclastitas 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.

Cabe indicar que se tiene conocimiento que el espesor de la formación geológica principal de la zona, según la información contenida en el Léxico Estratigráfico elaborado por la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL, 1984), es de aproximadamente 150 m.

### **1.9.3 Uso de Suelo**

Con base en la información contenida en el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra; actualización realizada por la Universidad de El Salvador en el año 2,010, se tiene que los principales usos de suelo son: a) Bosque, b) Bosque de mangle, c) Café, d) Caña de Azúcar, e) Cuerpos de Agua, f) Cultivos Irrigados, g) Granos Básicos, h) Mosaico de Cultivos y Pastos, i)

Palmeras Oleíferas, j) Pastos Cultivados, k) Platanales y Bananeras, l) Sistemas Agroforestales, m) Tejido Urbano y n) Vegetación Herbácea Natural; información que se confirma con base en lo observado durante el trabajo de campo realizado.

#### **1.9.4 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 zona alta 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).

Es importante destacar que la escorrentía superficial y/o subsuperficial de la zona de estudio, se conduce principalmente hacia los ríos Zanjón La Danta, Zanjón del Chino, Santa Rita, San Francisco y Cara Sucia. Asimismo, y considerando que se está en presencia de un medio poroso (según el mapa hidrogeológico de ANDA, 2007), el agua lluvia que se infiltra en el suelo, se almacena en formaciones geológicas superficiales porosas, drenando (mediante sus poros) por efecto de la gravedad.

#### **1.9.5 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.

Asimismo, en lo que respecta a la formación Bálsamo, la zona de estudio está constituida en pequeña proporción, por la Unidad Hidrogeológica: ***Rocas no Acuíferas***, la cual están comprendida por flujos de macizos de lava, intercalados con tobas aglomeradas y brechosas, además de lahares cementados, que disponen de conductividades hidráulicas muy bajas o casi nulas, por su baja porosidad, debido a su alto grado de compactación y cementación. Se considera que constituyen el basamento de los acuíferos identificados en la zona de estudio y la profundidad a la que se encuentra esta Unidad, puede superar los 100 m.

Asimismo, el mapa existente cuenta con información piezométrica, que para la Zona de Estudio varía entre las elevaciones de 1 a 20 m y la dirección de flujo en general presenta una orientación NS (Norte-Sur). También es posible observar la localización de tres (3) pozos perforados, mismos que fueron monitoreados como parte de la presente investigación; asimismo, se identifican seis (6) pozos excavados, e información química relacionada.

### **1.9.6 Entorno Socioeconómico**

En la zona de estudio correspondiente al departamento de Ahuachapán, la mayor parte de la población se ocupa en tareas agropecuarias, los principales productos agrícolas cultivados son el algodón y producción de cereales, caña de azúcar, cacao hortalizas y frutas (limón, coco y marañón), está destinada al consumo interno. Asimismo, la actividad turística cuenta con infraestructura específica en la playa de Garita Palmera; no obstante que con el proyecto

RENACER desarrollado en el Cantón Cara Sucia, Municipio de San Francisco Menéndez, iniciado en 2002, se está impulsando el manejo económico por medio del manejo de pequeñas granjas de aves y conejo, así como del cultivo de camarones y la pesca artesanal, a fin de potenciar el turismo local. La principal vía de comunicación a la zona, es la carretera que corre por el sur del país (línea de costas) y enlaza el país con Guatemala (Estudio de Capacidad productiva de los Departamentos de Ahuachapán y Sonsonate, trabajo de graduación, 2006, obtenido el 01 de noviembre de 2012, en [http://www.umoar.edu.sv/tesis/Ingenieria Industrial](http://www.umoar.edu.sv/tesis/Ingenieria%20Industrial)).

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 HIDROGEOLOGÍA

En este capítulo se definirán algunos conceptos hidrogeológicos básicos, que se podrán emplear para comprender con mayor claridad las secciones y capítulos posteriores.

#### 2.1.1 Conceptos Básicos

- *Ciclo Hidrológico*

La circulación sin fin del agua entre el océano, atmósfera y la tierra es llamada Ciclo Hidrológico (Freeze y Cherry, 1979). El 97% de la cantidad total del agua en la tierra contenida en los océanos; las capas de hielo y los glaciares contienen el 2% (ver figura 2.1); el agua subterránea contiene el 1% de la cantidad total de agua; los ríos y lagos contienen el 0.009% mientras que el 0.001% está presente en la atmósfera (Appelo & Postma, 2005).



Figura 2.1. El ciclo hidrológico. Fuente: U.S. Geological Survey (USGS), tomada de la dirección <http://www.usgs.gov/> en fecha 01/04/2013.

- ***Hidrogeología Subterránea***

Constituye en la actualidad el campo más activo y también más significativo, pues su desarrollo está permitiendo la profundización de los conceptos básicos (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

- ***Acuífero***

Etimológicamente la palabra acuífero está compuesta por dos palabras que provienen del latín, aqua y fero que significan agua y llevar, respectivamente (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

Un acuífero se define como un estrato, formación o unidad geológica porosa y con permeabilidad no nula, capaz de almacenar y transmitir agua por medio de sus poros, grietas o fracturas [Adaptado (Custodio, E. y Llamas, M., 2001 y Freeze y Cherry, 1979)].

No todas las formaciones geológicas, rocas o en general, poseen la misma facilidad para transmitir y proporcionar agua en cantidades apreciables económicamente (Custodio, E. y Llamas, M., 2001). En este trabajo, cuando hagamos referencia a un acuífero lo haremos como unidad acuífera.

Algunos ejemplos de las rocas que forman los acuíferos son: aluviones de ríos, formados por una mezcla de gravas y arenas, las areniscas poco cementadas, algunos tipos de rocas volcánicas, formaciones calcáreas muy karstificadas (Custodio, E. y Llamas, M., 2001), rocas permeables sedimentarias tales como areniscas y calizas y densamente rocas volcánicas fracturadas y cristalinas (Freeze y Cherry, 1979).

### **2.1.2 Clasificación de Acuíferos**

A la secuencia de estratos, formaciones o unidades geológicas que sobreyacen, subyacen o limitan lateralmente a los acuíferos se les conoce como: acuicludo, acuitardo y acuífugo.

Etimológicamente acuicludo, acuitardo y acuífugo están compuestas por dos palabras en latín, (coincidiendo las tres palabras con aqua que significa agua) cludo o claudere, tardo o tardare,

fugo o fugere que significan encerrar o cerrar, impedir o retardar, ahuyentar o huir, respectivamente (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

- ***Un acuicludo***

Se define como el estrato o formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, es incapaz de transmitir cantidades significativas de agua bajo gradientes hidráulicos ordinarios [Adaptado (Custodio, E. y Llamas, M., 2001 y Freeze y Cherry, 1979)], además de muy difícil recuperación. Por ejemplo: arcillas por lo general. Así también, en los sistemas hidrológicos subterráneos constituyen estratos o formaciones geológicas confinantes (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

- ***Un acuitardo***

Se define como el estrato o formación geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente, por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos. Un ejemplo típico es un nivel de arcillas limosas o arenas y rocas cristalinas densas (Custodio, E. y Llamas, M., 2001; Freeze y Cherry, 1979).

- ***Un acuífugo***

Se define como el estrato o formación geológica absolutamente impermeable, es decir, no tiene la capacidad de almacenar ni transmitir el agua. Por ejemplo: un macizo granítico no alterado, o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación (Custodio, E. y Llamas, M., 2001). Los acuífugos constituyen estratos o formaciones geológicas completamente confinantes en los sistemas hidrológicos subterráneos.

**2.1.2.1 Acuíferos dependiendo de las características de los estratos o formaciones geológicas,** se pueden clasificar de acuerdo a sus características litológicas, tipo de porosidad y la presión hidrostática a la que se encuentre.

**a. Características litológicas:**

Según las características litológicas de la unidad acuífera se clasifica en: detrítica, carbonatada, aluvial y volcánica, es decir:

- ***Unidad acuífera detrítica***

Está formada por masas de rocas fragmentadas, como arenas o gravas, que almacenan el agua en los espacios intersticiales. Su capacidad de contener y transmitir agua es función del porcentaje de huecos disponibles entre sus partículas. Se localiza en material geológico cuyo origen está en relación con el proceso de erosión, arrastre y sedimentación.

- ***Unidad acuífera carbonatada***

Está formada por un estrato de alta porosidad primaria, por ejemplo: caliza, dolomía, mármol y alguna marga calcárea, aunque su permeabilidad está en relación a su porosidad secundaria, desarrollada a través de procesos de disolución química a lo largo de fracturas, conocido como karstificación, como sucede en las calizas y dolomitas compactas.

- ***Unidad acuífera aluvial***

Estrato o capa formada en ambiente fluvial y de abanico, con permeabilidad no nula, se apoya sobre un material de menor permeabilidad, por ejemplo: una capa arcillosa o la superficie freática libre, se encuentra a unos metros o decenas de metros de profundidad.

- ***Unidad acuífera volcánica***

Está formado por rocas volcánicas de elevada permeabilidad y presencia de cavidades o vesículas, más o menos comunicadas entre sí, que son producto de la liberación de gases o circulación hídrica durante los procesos efusivos (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

**b. Tipo de porosidad**

Según la porosidad que presente la unidad acuífera, se clasifica como: kárstica, fisurada y porosa, es decir:

- ***Unidad acuífera kárstica***

También llamada unidad acuífera química o por disolución. Algunas rocas son disueltas por el agua y forman una estructura geológica típica llamada karst, capaz de almacenar gran cantidad de agua. Habitualmente las calizas son las rocas que forman karst, pero también las dolomías, los yesos y las sales pueden formarlo. Se desarrollan fundamentalmente sobre roca carbonatada, aunque puede albergarlo una formación evaporítica.

- ***Unidad acuífera fisurada***

Es aquella en la que el agua circula a través de las fisuras o grietas que hay entre las rocas. Está compuesto por capas o estratos que desarrollan porosidad secundaria, es decir, por la presencia de fracturas o grietas debido a fallas, o diaclasas.

- ***Unidad acuífera porosa***

También llamada unidad acuífera no consolidada. Está formada por sedimentos granulares como las arenas o areniscas, en el cual el agua ocupa poros existentes entre los granos de arena.

### ***c. Presión hidrostática***

Según la estructura geológica de los materiales que conforman a la unidad acuífera y las condiciones hidráulicas del agua que contiene puede ser confinada, libre y semiconfinada (ver figura 2), es decir:

- ***Unidad acuífera confinada***

También se le llama unidad acuífera cautiva, a presión (Custodio, E. y Llamas, M., 2001). Es una formación geológica permeable, confinada entre dos capas o estratos de baja permeabilidad (acuicludos), tanto superior como inferiormente, todo el espesor del acuífero está saturado. El agua

del acuífero está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contiene (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

A causa del exceso de extracción del agua subterránea, a ésta unidad acuífera se le puede considerar como unidad acuífera libre, debido a que el nivel freático desciende y el agua no estaría en contacto directo con la capa o estrato de baja permeabilidad superior o acuícludo.

- ***Unidad acuífera libre***

También se le llama unidad acuífera no confinada o freática. Es aquella en la cual existe una superficie libre del agua contenida en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

- ***Unidad acuífera con características semiconfinadas***

Ésta unidad acuífera consiste de formaciones que son separadas por acuitardos, acuícludos o acuífugos, en las cuales existe un intercambio de agua entre los acuitardos y la unidad acuífera. A este sistema de unidad acuífera–acuitardo se le llamará aquí, unidad acuífera semiconfinada. En algunos textos (Custodio, E. y Llamas, M., 2001), se define a la unidad acuífera semiconfinada como un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro (parte inferior) y/o el techo (parte superior) que los encierra no sea totalmente impermeable sino un acuitardo, es decir un material que permita la filtración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del mismo.

En algunas zonas, ésta unidad acuífera pueden considerarse como unidad acuífera libre, a causa del exceso de extracción del agua subterránea (ver figura 2.2).

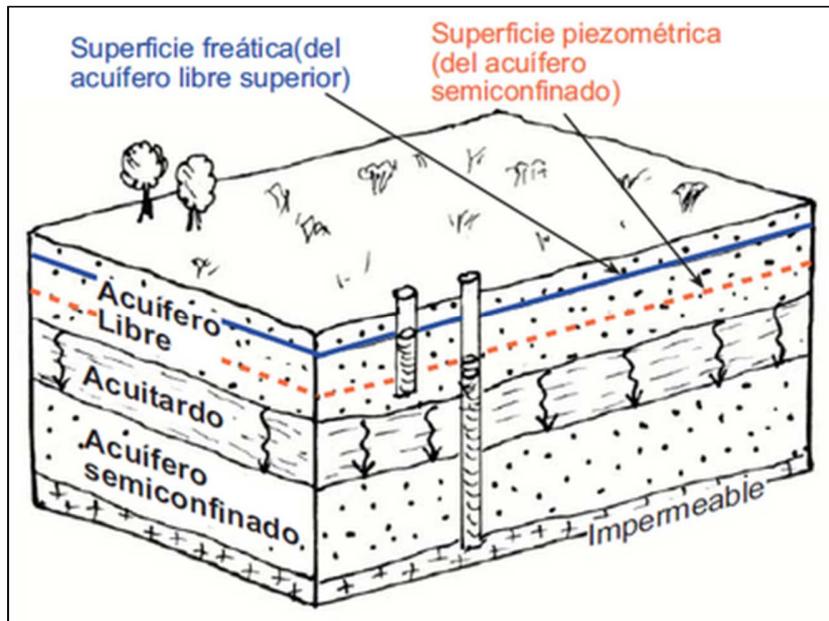


Figura 2.2. Esquema de acuífero. Fuente: tomada de la dirección [acuífers-b-2012.wikispaces.com](http://acuífers-b-2012.wikispaces.com), en fecha 01/04/2013.

### 2.1.3 Sistemas de Flujo

El concepto de los sistemas de flujo de agua subterránea ayuda al entendimiento del comportamiento químico o hidráulico del agua subterránea y también explica fenómenos ambientales que están relacionados con la extracción de agua.

Desde hace mucho tiempo se reconoce el papel importante del agua subterránea en muchos procesos geológicos pero fue hasta los años 60-70's cuando se comprendió que esta conexión tiene una causa, los sistemas de flujos de agua subterránea (Tóth, 2000), citado en (Leyva E., D.F., 2010).

Tóth (1970, citado en Leyva E., D.F., 2010) define ambiente hidrogeológico como un modelo conceptual de los parámetros morfológicos, geológicos y climáticos que determinan los atributos principales de un régimen del agua subterránea en un área determinada. Los seis atributos o parámetros principales que definen un régimen de agua subterránea son: el contenido de agua en las rocas, la geometría de los sistemas de flujo, la descarga específica, la composición química del agua, la temperatura y la variación temporal de todos los anteriores.

Los parámetros de un régimen del agua subterránea están controlados por tres componentes del ambiente hidrogeológico: topografía, geología y clima. El movimiento del agua subterránea

depende principalmente de su energía potencial y gradiente hidráulico. La forma básica de los sistemas de flujo proviene del concepto de la continuidad hidráulica en una cuenca unitaria en donde se define una zona de recarga con un flujo descendente, una zona de tránsito con un flujo horizontal y una zona de descarga con un flujo ascendente (Tóth, 1995, citado en Leyva E., D.F., 2010).

- ***Zona de recarga***

Reúnen una serie de factores que propician la infiltración de agua hasta alcanzar el agua subterránea, el nivel piezométrico relativamente alto y decrece con la profundidad, de modo que existe un flujo vertical descendente y divergente, y el nivel freático es profundo (Tóth, 2000, citado en Leyva E., D.F., 2010).

- ***Zona de tránsito***

Es una parte intermedia donde se produce la circulación del agua desde la zona de recarga hasta la de descarga, la altura piezométrica apenas varía con la profundidad, las isopiezas son prácticamente verticales y el flujo es predominantemente horizontal (Tóth, 2000, citado en Leyva E., D.F., 2010).

- ***Zona de descarga***

Es donde el valor del nivel piezométrico aumenta con la profundidad y el flujo es vertical ascendente y convergente, en casos emergiendo del subsuelo, contribuyendo junto con el agua de escorrentía (exceso de lluvia) a la formación de fuentes superficiales de agua [manantiales, lagos, flujo base de ríos, lagunas costeras, (Tóth, 2000, citado en Leyva E., D.F., 2010)].

Las dimensiones espaciales del acuífero y su estructura condicionan la formación de diferentes sistemas de flujo de agua subterránea. Se pueden diferenciar tres sistemas principales de flujo de agua subterránea: local, intermedio y regional (Tóth, 2000, citado en Leyva E., D.F., 2010).

Algunas manifestaciones de la presencia de diferentes sistemas de flujo son muy comunes en las observaciones en el campo como: la superposición vertical de diferentes tipos de sistemas

de flujo en una región y la existencia de la recarga o descarga de sistemas de flujo de diferente jerarquía en la misma región.

Principalmente los sistemas de flujo se diferencian por la profundidad del recorrido y sus características hidrogeoquímicas (ver figura 2.3). El contenido de elementos químicos en el agua subterránea es dependiente del medio geológico y generalmente aumenta al ampliar la escala espacial y temporal, en especial en el contenido de elementos traza. A continuación se explican las diferencias entre los sistemas de flujo en forma comparativa:

- *Sistema de flujo local*

Es aquel donde su zona de recarga y descarga se encuentran a corta distancia, el agua tiene una profundidad somera, baja salinidad, alto contenido de oxígeno disuelto, bajo pH, valor más positivo en Eh, una temperatura cercana a la del ambiente y puede variar cuando cambian las estaciones del año. La presencia del flujo local se limita a una cuenca (Hergt, 2009; Peñuela-Arévalo, 2007, citado en Leyva E., D.F., 2010).

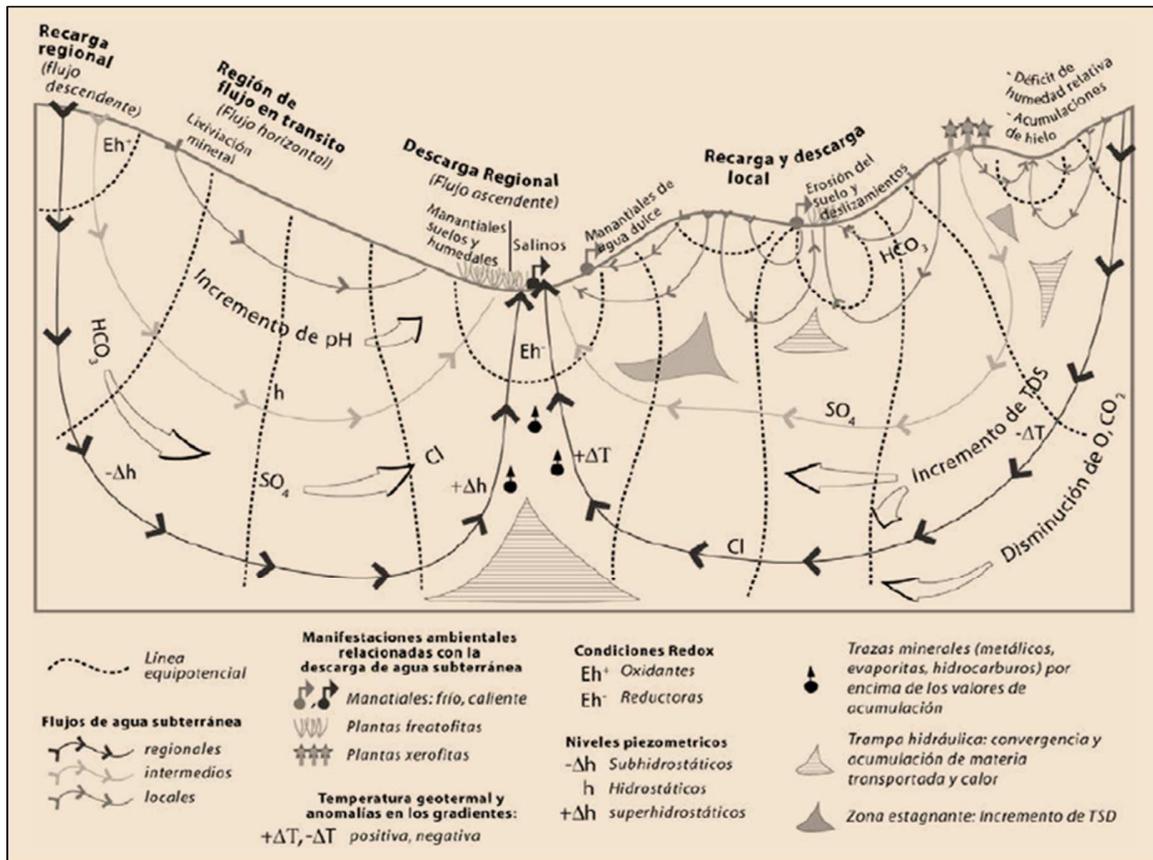


Figura 2.3. Sistemas de flujo de agua subterránea. Efectos y manifestaciones del flujo gobernado por gravedad en una cuenca regional (Leyva E., D.F., 2010).

- **Sistema de flujo intermedio**

Su recorrido es más profundo que la de un flujo local, puede pasar el límite de descarga a una cuenca topográficamente más baja, incluyendo dentro de su extensión la presencia de varios flujos locales, el agua tiene mayor concentración de sales disueltas, menor contenido de oxígeno disuelto, mayor contenido de sólidos totales disueltos (STD), pH más alto, menor  $Eh$  con respecto al de un flujo local, una temperatura más elevada que la de un flujo local. Este sistema se diferencia con la de flujo local porque presenta movimiento vertical descendente del agua con mayores gradientes hidráulicos, el flujo lateral se lleva a cabo a mayor profundidad y mayor distancia, el movimiento del agua vertical ascendente tiene mayor velocidad (Hergt, 2009; Peñuela-Arévalo, 2007, citado en Leyva E., D.F., 2010).

- ***Sistema de flujo regional***

Es el que circula a mayor profundidad a comparación de un flujo local e intermedio, iniciando en los terrenos de mayor altitud y finalizando en las zonas más bajas donde descarga, por lo que se pueden encontrar varios sistemas de flujo local sobre éste y al menos uno de tipo intermedio. Las características químicas específicas del agua de este flujo incluyen un alto contenido en sales disueltas, bajo contenido de oxígeno disuelto, pH alto tendiendo a ser más alcalino, Eh negativo, alta temperatura (Hergt, 2009; Peñuela–Arévalo, 2007, citado en Leyva E., D.F., 2010).

Los flujos se separan por la densidad como consecuencia de su temperatura y el contenido químico. Pero también existen mezclas de los sistemas de flujo sobre todo durante la extracción del agua en los pozos perforados a una profundidad límite donde se encuentran en zonas de contacto entre dos sistemas de flujo diferentes o si existe una conexión hidráulica en un sistema Acuífero.

## **2.2 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).*

### **2.2.1 Origen y Propiedades Geoquímicas de las Sustancias Disueltas en las Aguas Subterráneas.**

En agua subterránea natural la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de esos iones se encuentran presentes casi siempre y la suma representa casi la totalidad de los iones disueltos; estos son los iones fundamentales o mayoritarios (aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato, carbonato y nitrato, y los cationes: sodio, calcio, magnesio y potasio) y sobre ellos descansará la mayor parte de los aspectos químicos e hidrogeoquímicos (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

Es frecuente que los aniones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) y el catión potasio ( $\text{K}^+$ ) se consideren dentro del grupo de iones fundamentales aun cuando en general su proporción es pequeña. Otras veces se incluye además el ion ferroso ( $\text{Fe}^{++}$ ).

Entre los gases deben considerarse como fundamentales el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y el oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) y entre las sustancias disueltas poco ionizadas o en estado coloidal son importantes los ácidos y aniones derivados de la sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que los anteriores y se llaman iones menores a aquellos que se encuentran habitualmente formando menos del 1% del contenido iónico total y elementos traza a aquellos que aunque presentes están por lo general en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales.

Las aguas subterráneas llamadas dulces (“fresh wáter”, en inglés) contienen como máximo 1000 o quizá 2000 ppm de sustancias disueltas; si el contenido es mayor, por ejemplo hasta 5000 ppm se llama *aguas salobres* y hasta 40000 ppm *aguas saladas* (Custodio, E. y Llamas, M., 2001). Generalmente, los Sólidos Totales Disueltos (TDS por sus siglas en inglés), es el parámetro que se utiliza para medir esta característica del agua.

## **2.2.2 Características Químicas, Fisicoquímicas y Físicas del agua.**

### **2.2.2.1 Características Químicas y Fisicoquímicas**

Tales como: Concentración de hidrogeniones, pH (%), Alcalinidad, TAC y TA (meq/ = 50 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Dureza (meq/ = 50 ppm  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), Demanda química de oxígeno, DQO (ppm de  $\text{O}_2$ ) y Demanda bioquímica de oxígeno, DBO (ppm de  $\text{O}_2$ ), (adaptado de Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

### **2.2.2.2 Características Físicas**

Tales como: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), Color (ppm de Pt), Turbidez o turbiedad (ppm  $\text{SiO}_2$ ) y Materia en suspensión (ppm), adaptado de Custodio, E. y Llamas, M., 2,001.

### **2.2.3 Evolución Geoquímica de las Aguas en los Acuíferos.**

Se presenta una visión de la evolución de la composición química de las aguas subterráneas desde que se produce la recarga hasta el momento en que aflora en ríos y manantiales o son extraídas con pozos. Se tiene en cuenta la influencia de los regadíos y también la del mar en regiones costeras (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

#### **2.2.3.1 Adquisición de sales durante la infiltración**

##### ***a. Concentración del agua lluvia***

Si la pluviometría es mayor que la evapotranspiración, existe un lavado continuo del suelo y todas las sales que se aportan pasan a los acuíferos subyacentes (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

Si la evapotranspiración real es menor que la pluviometría, el agua lluvia no alcanza a los acuíferos subyacentes y las sales aportadas por ella misma o tomadas de la parte superior del terreno se acumulan en el mismo pudiendo llegar a formar costras potentes. En realidad después de lluvias intensas, parte del agua infiltrada puede llegar a eludir la evapotranspiración y alcanza el acuífero, pero con una concentración de sales muy elevada, ya que recoge las solubles aportadas por lluvias anteriores (Custodio, 1,974), citado en (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

Es frecuente que durante ciertas épocas del año la evapotranspiración potencial sea mayor que la pluviometría; en esos periodos de tiempo no se produce recarga alguna y las sales aportadas por la lluvia se acumulan en el suelo. En la época húmeda se puede producir recarga pues hay sobrantes de agua después de reconstruir la reserva de humedad del suelo; las primeras fracciones de esa infiltración pueden ser notablemente más salinas que las siguientes debido al lavado de las

sales solubles depositadas en la época seca precedente. Del mismo modo puede justificarse variaciones en la salinidad del agua de recarga de un año a otro, según sea la pluviometría anual (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

#### ***b. Incremento de salinidad***

Si el agua que se infiltra alcanza directamente el nivel freático a través de conductos de circulación rápida, apenas existe contacto con los materiales del terreno no saturado; tal sucede en zonas calizas desprovistas de suelo o en la infiltración directa en los ríos. El terreno apenas tiene ocasión de aportar sales y las principales reacciones que tienen lugar son las de oxidación de la materia orgánica aportada por la lluvia o el agua fluvial a expensas del oxígeno disuelto; en esta reacción se produce anhídrido carbónico que se suma al ya disuelto antes de comenzar la infiltración (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

#### **2.2.3.2 Movimiento del agua subterránea y su composición química**

*“Los tiempos de contacto con los materiales del acuífero son muy variados, tanto mayores cuanto mayor sea la profundidad y menor la permeabilidad, y por eso las aguas profundas suelen ser más salinas que las más próximas a la superficie, dado que la oportunidad para disolver sales es mayor. Es de notar que el tiempo de contacto con el terreno de las aguas de circulación regional puede ser de muchos miles de años”* (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

En las aguas que circulan a gran profundidad no solo el largo tiempo de contacto favorece la cesión de sales sino también la mayor temperatura y las elevadas presiones (Maclay y Winter, 1,967), citado en (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

#### **2.2.3.3 Acción de los fenómenos modificadores en zonas costeras**

*“En acuíferos costeros no se produce mezcla notable entre el agua dulce del acuífero y el agua marina; solo se tiene una zona de transición, llamada interfase, cuyo ancho es variable según las fluctuaciones del nivel del acuífero, la oscilación de la marea, la frecuencia de tormentas, la dispersividad del acuífero, etc.”* (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

Si se produce una intrusión de agua salada en un acuífero que anteriormente contenía agua dulce, el agua marina encuentra sedimentos en equilibrio; el agua marina cede iones alcalinos al terreno contra iones alcalinotérreos para tender a acercarse a la relación del agua dulce. Un índice del inicio o establecimiento de un estado de intrusión marina es una rápida elevación del contenido en ion cloruro (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001), por lo que es un ión de relevante importancia en el presente estudio (ver apartado: Contenido del ión cloruro, subsección 2.4.3.1 Técnicas Convencionales, de la sección 2.4.3 Diagnóstico del Problema de Intrusión Salina mediante Técnicas Convencionales y no Convencionales).

## **2.3 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA**

Conscientes que es una rama reciente de la física aplicada y dedicada al estudio y reconocimiento del terreno con fines más o menos prácticos y se define como: *“la ciencia y técnica que, a partir de fenómenos físicos, naturales o provocados, trata de conocer la distribución de los materiales en el subsuelo y sus propiedades”* (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

### **2.3.1 Clasificación de métodos**

#### **2.3.1.1 Magnético (Natural)**

Con base en la susceptibilidad magnética, los suelos se clasifican en paramagnéticos (susceptibilidad positiva) o diamagnéticos (negativa). Su presencia modifica la distribución del campo magnético terrestre, condición que permite la identificación cualitativa de la situación en el subsuelo.

*“Su carácter cualitativo, motiva que se emplee poco en hidrogeología y normalmente en grandes extensiones poco pobladas y conocidas”* (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

Entre todos los métodos geofísicos, estos son los que tienen la mayor variedad de instrumentos que cualquiera y muestran una gran diversidad geográfica, ya que la mayoría son solo utilizados en la zona donde fueron desarrollados. Los primeros fueron usados en 1,935 por Karl Sundberg en Suecia para la exploración de minerales, y también para el mapeo estructural en la

exploración de hidrocarburos. La mayoría estuvo disponible comercialmente después de la Segunda Guerra Mundial, y particularmente después de 1,960.

La gran ventaja de estos es que no requieren contacto con el suelo, lo que hace más rápida y económica la medición. Además permiten su utilización en barcos o aviones. La interpretación es complicada porque requiere considerable tiempo en análisis de modelos computacionales. Estos métodos no permiten una interpretación cuantitativa (dimensiones y profundidad), pero detectan muy bien los materiales conductores en mediciones de reconocimiento. Tampoco permiten investigar a profundidades mayores de unas decenas de metros. Para entender el funcionamiento de estos métodos es necesario familiarizarse con la generación y propagación de los campos electromagnéticos, recordando algunos conceptos físicos elementales.

#### **2.3.1.2 Gravimétrico (Natural)**

El método estudia anomalías de la gravedad en la superficie terrestre y es útil para determinar la existencia de fallas importantes, que pongan en contacto rocas de diferente densidad y para deducir la estructura del basamento en estudios regionales.

#### **2.3.1.3 Eléctrico Resistivo**

Todo método de resistividad eléctrica estima a profundidad, la resistividad eléctrica de las rocas del subsuelo. La resistividad de las rocas depende directamente de su compactación e inversamente de su porosidad, permeabilidad, saturación y temperatura.

### **2.3.2 Propiedades eléctricas de las rocas**

La Resistividad es la propiedad más importante. Se define como la resistencia medida en Ohmios entre dos caras opuestas de un cubo de material con dimensiones unitarias.

La ley fundamental en que se basa toda la geoelectrica es la Ley de Ohm, mediante la cual se relaciona el Potencial Eléctrico  $V$  (Tensión o Voltaje), con la Intensidad de Corriente  $I$  y la Resistencia  $R$  del medio por el cual circula la corriente.

La Conductividad, es la inversa de la Resistividad. Se distinguen dos clases de conductividad: La metálica o electrónica, que es la que tienen todos los materiales metálicos que pueden transportar electrones, como la Pirita, la Galena, el Sulfuro de Cobre, la magnetita, etc. La electrolítica es la que se presenta en minerales y rocas aislantes (arenas cuarzosas o areniscas) que conducen la electricidad a través del agua de impregnación que llena los poros.

Esa propiedad física también depende del contenido electrolítico del fluido que circula entre las rocas y del tipo e intensidad de alteración. Las rocas compactas y sanas se caracterizan por valores superiores a 1000 Ohm.m ( $\Omega$ .m), mientras que las rocas alteradas a arcillas (“barros”) poseen resistividades desde 5 a 20  $\Omega$ .m. Las arenas de grano grueso saturadas son eléctricamente más conductoras que las arenas de grado fino. En diversos resultados experimentales, publicados en la literatura de los métodos geoelectricos, se encuentran arenas gruesas saturadas y limpias con resistividades menores a 100  $\Omega$ .m.

### 2.3.3 Métodos Geoelectricos

El principio en el que se basa este método consiste en interpretar los distintos materiales del subsuelo, a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica. Y según la corriente sea generada y aplicada al suelo o provenga de fuentes existentes, habrá dos categorías de métodos: los de **Corrientes Artificiales** y los de **Corrientes Naturales**. A su vez, según el tipo de corriente que circule por el suelo, los métodos se subdividen en los de **Corriente Continua** y los de **Corriente Alterna**. Sobre esta base, los agrupamos de la siguiente manera:

Tabla 2.1. Métodos geoelectricos. Fuente: Adaptada de apuntes de prospección geoelectrica para geólogos (Estrada L., 2008).

<b>Métodos Geoelectricos</b>		
<b>Tipo de Corriente</b>	<b>Naturales</b>	<b>Artificiales</b>
Continua	Potencial Espontáneo	Equipotenciales Resistividades (SEV-Calicatas) Polarización Inducida Temporal
Alterna	Corrientes Telúricas, Magnetotelúrica	Inclinación de campo, VLF, GPR de los cuadros o Turam del compensador-Slingram Polarización Inducida.

No obstante que existieron experiencias de mediciones en el año 1,830, se considera como el inicio de las exploraciones geoelectricas en 1,930 por parte del francés Schlumberger y el norteamericano Wenner. A partir de esa fecha, se han venido mejorando las técnicas y el instrumental hasta lograrse una sólida base teórica, que permitió desarrollar sofisticados programas de computadoras para interpretar los resultados. El método geoelectrico es probablemente el más utilizado para investigaciones a poca profundidad y muy especialmente para la búsqueda de napas freáticas o reservorios de agua.

### 2.3.3.1 Método de Resistividad

Es el método más usado de la geoelectrica y se presenta para su interpretación en dos modalidades: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y Calicatas, según el propósito geológico. Los sondeos verticales, consisten en determinar la variación de la resistividad con la profundidad en un punto "O", ubicado en el centro de AB. Esto se logra ampliando la separación de los electrodos de corriente AB hasta seis veces desde dicho centro, de modo que la corriente penetre cada vez a mayor profundidad. Los sucesivos valores de "ρ" determinados corresponden a distintas profundidades, siempre bajo el punto central. Esto se realiza manteniendo fijos los electrodos de potencial MN, pero cuando la tensión en el voltímetro es muy pequeña por la distancia a los electrodos de corriente, se expanden los MN y se realizan dos mediciones con las dos (2) últimas posiciones de los AB, para asegurar el ensamble de todos los tramos.

### ***Arreglo geoelectrico Schlumberger***

La variedad del método geoelectrico de corriente directa (DC, entre dos electrodos), es el arreglo Schlumberger. En cada punto de observación o sitio de sondeo eléctrico se determina un conjunto de resistividades eléctricas “aparentes” o medidas en función directa de la separación de dos (2) electrodos de corriente. Para obtener cada dato de resistividad aparente se inyecta en el subsuelo una corriente eléctrica directa “DC” conocida entre dos electrodos de corriente (A, B), y se mide una diferencia de potencial eléctrica entre otros dos electrodos (M, N), conocidos como electrodos de potencial.

Los dipolos de corriente eléctrica (A, B) y los de potencial eléctrico (M, N) se disponen colinealmente. Cuando se inyecta corriente eléctrica en el circuito que forma A y B con la tierra, la corriente fluye a través de las capas del subsuelo. La profundidad que la corriente alcanza depende de la resistividad eléctrica de las capas y de la potencia del equipo transmisor de corriente. El campo eléctrico que se induce en el subsuelo tiene asociado un campo de potenciales eléctricos y la diferencia de éste se mide entre los electrodos M y N. Al conocer la intensidad de corriente inyectada entre A y B, la diferencia de potencial entre M y N y la geometría del arreglo (en este caso Schlumberger), se calcula la resistividad eléctrica aparente o medida del subsuelo para una posición particular de electrodos. Este proceso se repite para diversas posiciones de A y B, las cuales equidistan del centro del SEV. De esta manera se obtiene el conjunto de resistividades aparentes del subsuelo bajo el sitio del sondeo. La corriente eléctrica cambia de sentido con el tiempo para garantizar una señal de potencial eléctrica que pueda ser compensada por anisotropía y límites electrónicos.

Cabe indicar que, *registros eléctricos de algunos pozos de El Salvador, se indica que se han obtenido resultados de resistividad eléctrica de 50  $\Omega.m$  para aglomerados. Cuando los estratos rocosos contienen fluidos con alta salinidad, proveniente del océano, se encuentran reportes con resistividades eléctricas menores a 3  $\Omega.m$ .* (GM-UNES, 2013).

## 2.4 INTRUSIÓN SALINA

### 2.4.1 Antecedentes generales sobre intrusión salina

Los acuíferos costeros entran en contacto con el océano en las cercanías de la línea de costa y bajo condiciones naturales, el agua dulce es descargada en el mar, estableciéndose la condición de equilibrio que sólo sufre modificaciones naturales a muy largo plazo, debidas a cambios climáticos o movimientos relativos entre la tierra y el mar.

Sin embargo, al existir actividad de carácter antrópico, esta condición natural entre el agua dulce y agua salada, se ve modificada con una intensidad muy superior a la normal, dando origen a un problema de gran complejidad, puesto que además del problema del movimiento del agua subterránea, se suma la existencia de un agua de densidad diferente y miscible, presentándose pequeñas diferencias de viscosidad y a veces de temperatura.

En las zonas costeras, debido al desarrollo poblacional que demanda el recurso hídrico subterráneo, el flujo de agua dulce que naturalmente es descargado hacia el mar, disminuye paulatinamente debido a la acción antrópica, y por consiguiente causa la incorporación de agua salada a los acuíferos, dando origen al fenómeno de Intrusión Salina.

En términos generales, se llama *intrusión salina* al movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando u ocupando el volumen correspondiente al agua dulce. El agua captada en un acuífero costero se contamina (saliniza) cuando la zona activa de la captación se ve afectada por la zona de mezcla de ambos fluidos o por la propia agua salada. Sin embargo, no es este el único proceso de salinización, puesto que si la captación se establece en una masa de agua subterránea dulce por sobre el agua salada, puede producirse una ascensión de agua salada formando un domo o cono salino (ver figura 2.4) en la zona de la extracción del recurso hídrico (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

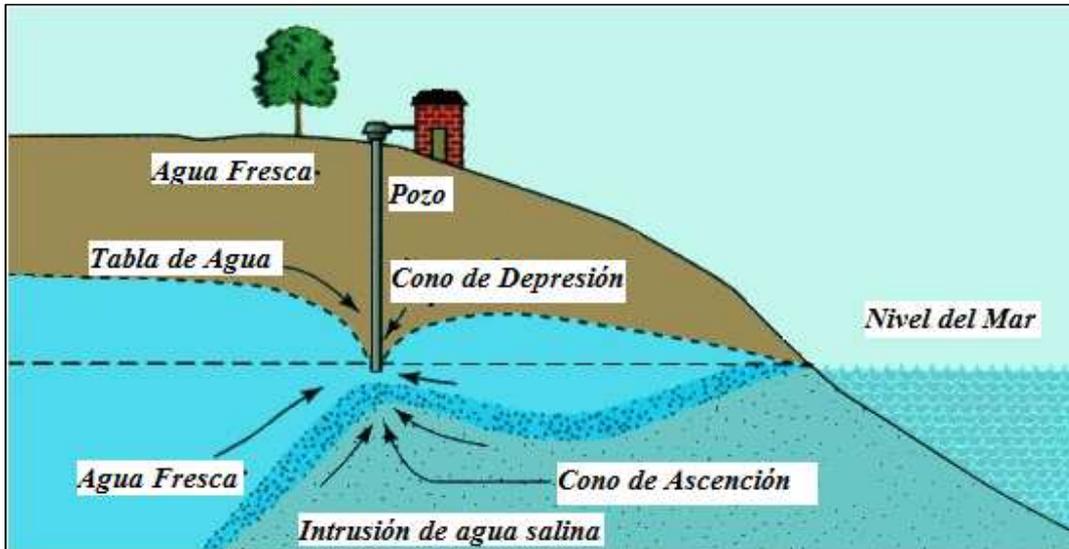


Figura 2.4. Cuña de agua salada en un acuífero costero. Formación de conos de agua salada debajo de captación (Adaptado a partir de Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

Otras veces esta contaminación puede provenir de infiltración de agua de otros acuíferos salinizados, que comúnmente se producen por deficiencias en la construcción (ver figura 2.5) y operación del pozo de extracción (Adaptada a partir de Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

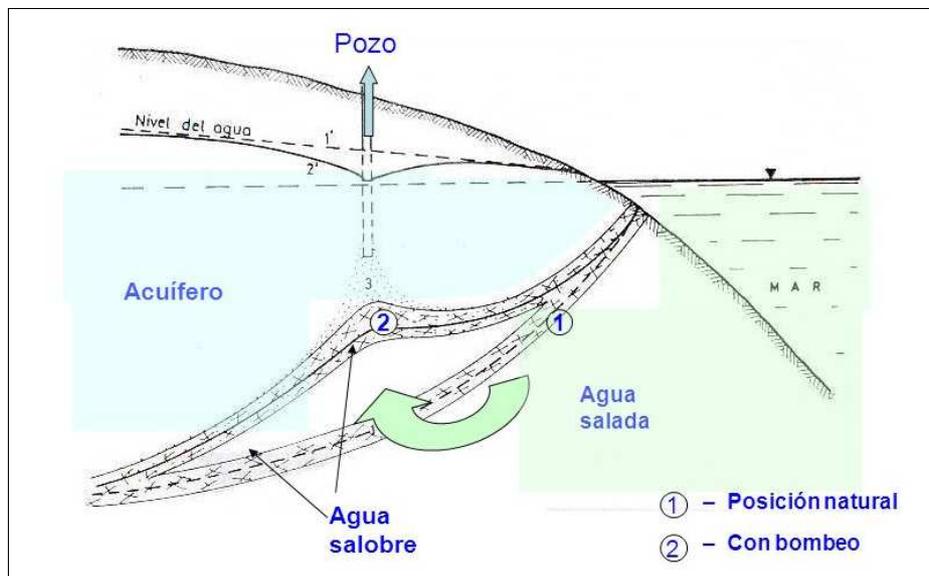


Figura 2.5. Contaminación salina en un pozo profundo. Contaminación por infiltración de agua salada inducida por bombeo. (Adaptada a partir de Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

### **2.4.1.1 Interfaz Abrupta**

En relación al estudio teórico que se ha desarrollado en el tema de intrusión salina, en 1889 Badon Ghyben estableció la primera forma cuantitativa de estudio, pero hasta después de 1,955 no se habían elaborado teorías que tuvieran en cuenta el movimiento del agua dulce y el agua salada, así como también la existencia de una zona de mezcla o dispersión entre ambas y que permitieran determinar el movimiento de esa interfase en distintos escenarios de recarga, bombeo y variación del nivel del mar.

El fundamento de la teoría desarrollada en este punto, considera la idealización del problema real de intrusión salina, definiendo la existencia de una interfaz teórica entre ambos fluidos que se sitúa dentro de la zona de mezcla o de transición agua dulce - agua salada. Para caracterizar en forma cuantitativa la magnitud del problema de intrusión de la cuña salina en la napa de agua dulce, se tiene la relación dada por Ghyben-Herzberg a comienzos del siglo XX, la cual describe correctamente la posición de la interfaz si el ancho de la zona de mezcla es pequeño comparado con la profundidad y el movimiento del agua es casi horizontal (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001) y que además se basa en el equilibrio estático de columnas de agua de diferente densidad. Lo anterior, indica que la interfase se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar igual a 40 veces la cota de agua dulce sobre el nivel del mar en aquel punto (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001). Esta distribución fue atribuida al equilibrio hidrostático que existe entre los dos fluidos (agua dulce y de mar) de distintas densidades.

La densidad del agua marina es mayor, respecto del agua dulce y varía entre 1,020 y 1,030 Kg/m<sup>3</sup>, según la salinidad y temperatura, siendo el valor más usual de 1,025 Kg/m<sup>3</sup>. Lo anterior indica que la interfase se sitúa a una profundidad bajo el nivel del mar igual a 40 veces la cota de agua dulce sobre el nivel medio del mar en aquel punto, es decir, por cada metro de agua dulce sobre el nivel del mar en un determinado punto, la interfase se sitúa a una profundidad de 40 metros.

De la relación obtenida por el modelo de Ghyben-Herzberg, se concluye que la cuña salina posee cerca de 40 veces más la energía que presenta la cuña de agua dulce, por lo que es de esperar que al intensificar el problema de intrusión salina que se da de forma natural, producto de la

actividad de bombeo, al deprimir un metro la napa de agua dulce, el ascenso que experimenta la napa de agua salada es 40 metros aproximadamente.

Las hipótesis adoptadas para el establecimiento de la relación de Ghyben-Herzberg, determinan ciertas idealizaciones del problema, las que han permitido identificar las limitaciones y simplificaciones de dicha teoría. Dentro de estos aspectos se tiene:

- Existencia de un equilibrio hidrostático implica que no existe flujo, lo que en general no es cierto.
- La intrusión salina está limitada por la longitud del acuífero y la elevación del nivel freático.
- La superficie de separación entre el agua dulce y salada es plana.
- No existen pérdidas de carga del agua de mar en su avance tierra adentro.
- Se considera que en la interfase los dos fluidos son inmiscibles, es decir, no existe una zona de mezcla entre ambos.

Una vez que se comienza a extraer agua mediante la actividad de bombeo, se observa que la depresión en la napa de agua dulce es menor en relación al ascenso que experimenta la napa de agua salada.

#### **2.4.1.2 Interfaz Difusa**

Dado que se trata de la interacción de dos líquidos miscibles, como el agua dulce y agua salina, no existe una interfaz brusca que defina el límite entre ambas fases, si no que se pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla, denominada también zona de difusión o de transición. Esta zona, refleja con intensidad variable las propiedades químicas e hidráulicas de cada uno de los líquidos originales, y su anchura depende de la difusividad y dispersividad del medio como también de las características del flujo desarrollado. Por lo tanto, representa una zona dinámica en la cual el agua se mueve no sólo como consecuencia de las diferencias de densidad, sino también a consecuencia de cambios en el nivel piezométrico en ambos líquidos.

### **2.4.2 Procesos de salinización**

La intrusión salina se puede definir como el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas en contacto con el mar provocado por actos humanos, siendo por lo tanto un caso particular de la contaminación de los recursos hídricos subterráneos.

Existen también otros tipos de contaminaciones salinas, generalmente en acuíferos tierra adentro, provocados por el lixiviado de formaciones geológicas ricas en contenidos salinos al incrementarse la velocidad de circulación del agua subterránea como consecuencia de la extracción de sus recursos subterráneos.

La invasión por el agua salada se caracteriza por el movimiento, en las zonas costeras, del agua del mar hacia los acuíferos libres o confinados, originando el desplazamiento del agua dulce de estos acuíferos. Si consideramos en una primera aproximación el agua dulce y el agua salada como dos fluidos inmiscibles, entonces estarán separados por una interfase en forma de bisel cuya pendiente se define con fórmulas semejantes a las utilizadas por los petroleros para estimar la interfase agua-petróleo.

En razón a la pendiente de la interfase, el frente de agua salada se puede asemejar a una lengua que avanza tierra adentro en los periodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando esta es mayor. Ahora bien el agua de mar y el agua dulce no son inmiscibles sino que se mezclan en una zona que se conoce como zona de mezcla, y el paso de uno a otro fluido se hace de forma gradual. También es conocida esta zona como zona de difusión o transición (ver figura 2.6).

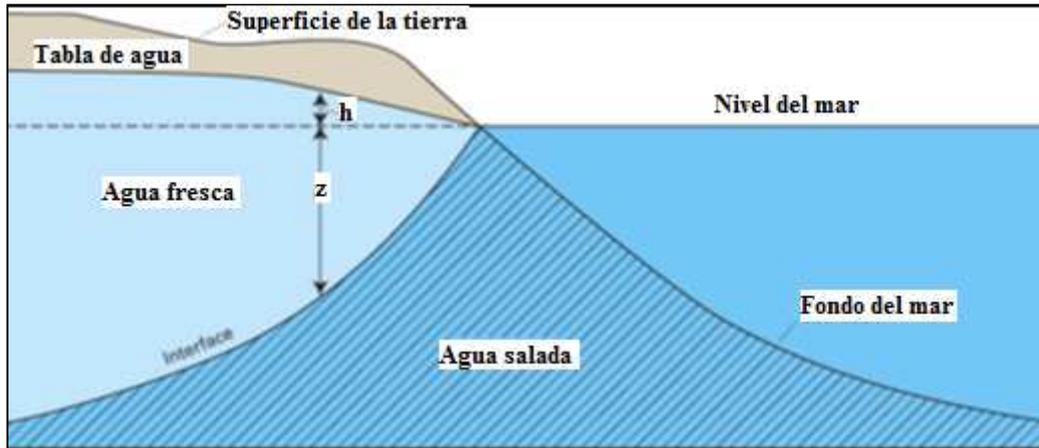


Figura 2.6. Interfase de intrusión de agua salina, en un acuífero costero no confinado bajo condiciones hidrostáticas (Adaptado a partir de Freeze, R.A. & Cherry, J.A., 1979).

### 2.4.3 Diagnóstico del Problema de Intrusión Salina mediante Técnicas Convencionales y no Convencionales (Adaptado de Espinoza C., 2005).

Las técnicas Convencionales y No Convencionales corresponden a herramientas de diagnóstico y control del problema de intrusión salina. Las primeras, se caracterizan por ser utilizadas frecuentemente en el estudio del agua subterránea y corresponden a métodos físicos e hidroquímicos. Las técnicas no convencionales, en cambio, presentan un mayor desarrollo tecnológico que las técnicas convencionales, contribuyendo de manera eficaz en el estudio de la salinización de acuíferos en casos en que no se cuenta con captaciones o puntos de control construidos. Dichas técnicas corresponden a métodos de prospección geofísica y análisis isotópico.

La aplicación de dichas técnicas constituye además, una herramienta muy importante en la planificación y gestión de los acuíferos, ya que permiten, además del diagnóstico preliminar de la existencia del problema de intrusión salina, mantener un control posterior de la evolución tanto espacial como temporal del fenómeno de intrusión salina.

Las metodologías utilizadas para detectar, definir y conocer la evolución de la intrusión salina en acuíferos costeros, se dividen en dos áreas principales:

- a. Detección de fenómenos de invasión de agua salina en los acuíferos costeros, y
- b. Definición de la situación de la interfase salina en sus tres dimensiones: profundidad, longitud y ancho.

Por lo general, la tecnología empleada en el proceso de detección del fenómeno de intrusión salina involucra principalmente la aplicación de técnicas hidrogeoquímicas y geofísicas. El análisis isotópico de las muestras de agua es también utilizado, aunque en menor grado que los anteriores, debido a que su uso es más restrictivo, producto de los altos costos económicos que implica.

#### **2.4.3.1 Técnicas Convencionales**

Dentro de las técnicas convencionales adoptadas para el diagnóstico y posterior control del problema de intrusión salina, se analizarán aquellos métodos de carácter físico e hidroquímico que permiten tener un mayor conocimiento del estado y evolución de la calidad del agua subterránea ante el aumento de salinización.

##### ***a. Métodos Físicos.***

Dentro de los métodos físicos utilizados para diagnosticar el problema de intrusión salina, se encuentra el análisis piezométrico del agua subterránea que conforma el acuífero. El completo conocimiento de la piezometría de un acuífero posibilita la determinación de las líneas equipotenciales de flujo, es decir, la identificación de aquellos puntos que presentan una igual cota piezométrica, posibilitando la caracterización de las líneas de flujo que condicionan el comportamiento del escurrimiento subterráneo. De tal forma, se tiene una idea del sentido en que se desarrolla el flujo y por ende, los mecanismos de recarga que se producen en el acuífero. Una vez determinado lo anterior, es posible conocer, dependiendo del sentido positivo o negativo del gradiente hidráulico en dirección al mar, si el problema de salinización se encuentra controlado o se intensifica tierra adentro, respectivamente. La determinación de los niveles debe realizarse considerando el nivel medio del mar, ya que así es posible diagnosticar el estado de vulnerabilidad que manifiesta el acuífero en relación a la entrada de la cuña salina.

##### ***b. Métodos Hidrogeoquímicos.***

Cuando el problema de intrusión salina se manifiesta en los acuíferos costeros, se producen modificaciones físico - químicas en el agua subterránea, que principalmente se manifiestan en la zona de mezcla entre el agua dulce y agua salada. Estas reacciones corresponden básicamente al intercambio iónico que se da entre ambas facies, en busca del equilibrio químico, donde los

parámetros que cobran importancia en los fenómenos modificadores destacan, entre los aniones, el contenido en cloruros, sulfato, bicarbonato y nitrato, y entre los cationes, sodio, calcio, magnesio y potasio, por lo que el análisis hidrogeoquímico del agua subterránea en el estudio de la intrusión salina, deberá contemplar fundamentalmente dichos elementos y las relaciones que se produzcan entre ellos.

El conjunto de reacciones que se producen en un acuífero, está fuertemente influenciado por las características litológicas e hidrogeológicas de la zona en estudio, ya que condicionan el comportamiento que presenta el acuífero al estar sometido al contacto con el frente de agua salada.

Se debe considerar que el análisis químico de las muestras de agua tomadas en los diversos tipos de captaciones existentes (sondajes, pozos, piezómetros) y a las profundidades que sean representativas del nivel o cota a la cual se muestrea, debe contemplar la determinación de los parámetros relevantes al problema que se analiza. Aquellos índices y parámetros hidrogeoquímicos que son más representativos y confiables en la identificación del fenómeno de intrusión salina se presentan a continuación.

**Nota:** En lo que sigue, los valores se referirán a la unidad de miliequivalentes por litro, meq/l, tal como indica el signo r (Custodio, E. y Llamas, M., 2,001).

- ***Contenido del ion Cloruro.***

El ion cloruro es el que posee mayor estabilidad química, debido a que no está sujeto a procesos de disolución o precipitación, y además, es el elemento de mayor abundancia en el agua salina. Estas características lo convierten en el ion más fiable y que mejor información proporciona en la identificación de contaminación marina. Sin embargo, para desarrollar un diagnóstico completo del problema, debe considerarse en conjunto a otros parámetros de interés para evitar posibles deducciones erróneas del origen de la salinización.

Los perfiles verticales realizados en pozos habilitados para tal fin, pueden dar una idea de la estratificación hidrogeoquímica. Sin embargo, dicha aplicación tiene como inconveniente el requerir de un elevado número de muestras tomadas a diferentes profundidades. En forma alternativa, comúnmente se adopta el registro de conductividad eléctrica mediante una sonda

sumergible, dado el alto valor de correlación entre ambos parámetros (cloruros y conductividad eléctrica).

- ***Contenido de Sales Disueltas.***

No se recomienda considerar exclusivamente este parámetro en la identificación del problema de intrusión salina, ya que los contenidos de sales disueltas en el agua subterránea pueden deberse a procesos diferentes, como lo son la infiltración desde la superficie por efectos de riego o precipitación, sales que son aportadas por los diferentes tipos de rocas dependiendo de su composición, condiciones climáticas, composición del agua de recarga, tiempo de contacto, longitud de recorrido, y permeabilidad, entre otros, influyen de forma importante y a veces dominante en las características de salinidad del acuífero.

- ***Relación Cloruro-Bicarbonatos.***

Es el índice de mayor uso. Su rápido aumento es un excelente indicador de la intrusión salina, dado que el cloruro es el ion que predomina en el agua del océano y normalmente se encuentra en pequeñas cantidades en el agua subterránea. En cambio, el bicarbonato es por lo general el anión más abundante en el agua subterránea y sólo se encuentra en pequeñas cantidades en el agua de mar, debido a que en este ambiente se consume rápidamente y se deposita en el fondo marino en forma de calcio.

Lo que más delata el comienzo o establecimiento de un estado de intrusión salina es una rápida elevación en el contenido del ion cloruro, ya que aguas muy cloruradas por contaminación humana o por riegos insistentes son también muy carbonatadas. A modo de ejemplo, si el incremento de cloruros es debido a concentración de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruros que cuando se produce el problema de intrusión salina.

La relación cloruro–bicarbonatos  $\frac{r_{Cl^-}}{r_{CO_3H^-}}$ , presenta normalmente en agua continentales valores entre 0.1, y 5 y en el agua de mar varía entre 20 y 50 (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

- **Contenido de Bromuro.**

Según Custodio y Llamas (2001) se encuentra menos de 0.01 ppm de Br<sup>-</sup> en aguas dulces y el agua de mar tiene 65 ppm. De acuerdo a Snoeyink y Jenkins (1987, citado en Espinoza C., 2005) la concentración de bromuro de la mayoría de las aguas naturales dulces es menor a 1 mg/l y en agua de mar alrededor de 70 mg/l. De esta forma, al presentarse concentraciones por sobre el rango natural de Br<sup>-</sup> en las aguas subterráneas, se está frente a un problema de intrusión salina.

- **Relación Cloruro-Bromuro.**

Puede ser también una relación interesante para detectar el problema de intrusión salina, pero el agua debe estar con un alto grado de salinización para que el contenido de bromuro sea medible con la adecuada precisión, por lo que no se considera una relación adecuada en la etapa de detección del fenómeno.

- **Relación Magnesio-Calcio.**

El alto valor de la relación  $\frac{r \text{ Mg}^{+2}}{r \text{ Ca}^{+2}}$ , cuando se presenta el problema de intrusión salina constituye un índice para determinar la existencia del problema, ya que esta proporción se presenta en valores bajos, normalmente entre 0.2 y 1 en aguas continentales y en agua de mar presenta valores cercanos a 5. Por lo tanto, una rápida elevación de este índice se considera como indicativa de contaminación, en especial cuando se acompaña del aumento de los cloruros y de la relación  $\frac{r \text{ Cl}^-}{r \text{ CO}_3\text{H}^-}$ . A veces esta relación puede verse afectada por fenómenos de reducción de sulfatos (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

- **Otras Relaciones y Métodos Gráficos de Análisis.**

Una relación que refleja el intercambio iónico que se da entre la fase de agua salina y la de agua dulce, y que está asociada al equilibrio entre los iones alcalinos y alcalinotérreos, corresponde

a la relación  $\frac{r(Na+K)}{r(Ca+Mg)}$ , respectivamente. Al producirse intrusión salina en un acuífero, el agua salina encuentra sedimentos en equilibrio con un agua de relación  $\frac{r(Na+K)}{r(Ca+Mg)}$  en general menor; el agua salina cede iones alcalinos al terreno y acepta iones alcalinotérreos para tender a acercarse a la relación del agua dulce (Custodio, E. y Llamas, M., 2001).

En forma adicional al análisis de los parámetros expuestos anteriormente, es de gran utilidad, principalmente cuando se maneja una gran cantidad de datos, el uso de representaciones gráficas que permitan visualizar con mayor rapidez y comodidad la distribución espacial o temporal de los datos obtenidos en terreno. Dichos diagramas, permiten también caracterizar la composición química que presentan los diversos sectores que conforman el área de estudio.

Comúnmente, se utilizan diagramas de Piper, Schoeller, Scatter y Stiff, cuyos fundamentos e interpretaciones son relativamente directos para quien los analiza. En forma particular, en los estudios de acuíferos costeros, el diagrama de Piper se muestra de gran utilidad ya que permite conocer la evolución hidrogeoquímica en el proceso de mezclas de aguas de diferente naturaleza.

Los mapas de isocontenido también son una herramienta básica no sólo porque permiten determinar una distribución espacial del parámetro que se analiza, sino también porque el estudio comparativo de dos o más mapas confeccionados en distintas fechas puede ser de ayuda en el conocimiento de la evolución temporal del problema de intrusión salina.

Es importante considerar para una correcta interpretación de los mapas hidrogeoquímicos que la procedencia de los datos sea la misma, ya que muestras tomadas a diferentes profundidades, por ejemplo, no permiten establecer comparaciones en la evolución temporal de la intrusión salina.

El diagrama de Collins (1923) corresponde a otro método gráfico para analizar el impacto de la intrusión salina en acuíferos costeros, y fue adoptado por el USGS (Todd, 2005, citado en Espinoza C., 2005). Representa el análisis químico del agua por barras de tamaño proporcional a los miligramos equivalentes de radicales que forman parte en el equilibrio del sistema. La ventaja

### 2.4.3.2 Técnicas No Convencionales

Dentro de las técnicas no convencionales adoptadas para el diagnóstico y posterior control del problema de intrusión salina, se analizarán aquellos métodos de carácter geofísico e isotópico que permiten tener un mayor conocimiento del estado y evolución de la calidad del agua subterránea ante el aumento de salinización.

- *Técnicas Geofísicas.*

La exploración geofísica es la prospección de estructuras geológicas y de depósitos minerales realizada por medio de la medición de ciertas cantidades físicas, verificadas en la superficie del terreno como fenómenos que pueden ser interpretados por las leyes fundamentales de la física y el empleo de instrumentos adecuados.

Dentro de los métodos aplicables en la detección de la intrusión salina, los de resistividad eléctrica y electromagnéticos en superficie constituyen la principal herramienta de este tipo para la exploración del agua subterránea en la zona costera, por su capacidad inherente para detectar cambios en la conductividad eléctrica del agua contenida en los poros (Morales Montaña, 2,000, citado en Espinoza C., 2,005). En estas metodologías de diagnóstico se involucra el efecto de todos los constituyentes del suelo, como el basamento rocoso, la porosidad, la naturaleza y salinidad de la disolución que ocupa los espacios vacíos, entre otros, por lo que el efecto que producen estas variables introduce un nivel de incertidumbre en las mediciones y posterior interpretación de la información.

De todas formas, el fenómeno que afecta a la mayoría de los métodos eléctricos aplicados a la prospección hidrogeológica, es la conducción iónica que se realiza principalmente a través de la disolución que satura a las rocas y a través del agua que las constituyen.

La clasificación de los métodos geofísicos aplicados al estudio de la intrusión salina puede hacerse básicamente en función de la profundidad a investigar. Así, aquellos métodos que

presentan buena respuesta frente a pequeñas variaciones de la conductividad del subsuelo y cuyo rango de penetración se limita a los primeros 50 – 60m corresponde a los métodos electromagnéticos operando en el dominio de frecuencias. Los Sondeos Eléctricos Verticales, SEV, o perfiles de resistividad eléctrica, si bien pueden alcanzar centenares de metros en profundidad, su limitada focalización a profundidades mayores determina su uso para pequeñas distancias.

Cuando las intrusiones son profundas, las técnicas más utilizadas se centran en los Sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempo (SEDT) que junto a su capacidad de penetración aportan una gran focalización de la respuesta.

Todas estas técnicas mencionadas anteriormente se caracterizan por determinar parámetros como avance longitudinal, anchura y espesor de la lengua salina, posibilitando el conocimiento espacial del avance de la cuña de salinización. Dentro de las técnicas puntuales, se encuentran aquellos métodos que suministran datos solamente en profundidad, como lo son las testificaciones geofísicas realizadas en sondeos.

- ***Métodos Isotópicos.***

En relación a las técnicas isotópicas, los isótopos estables proporcionan una variable independiente que permite identificar el mecanismo por el cual se produce el proceso de salinización, sobre todo en aquellos casos en los que existe duda sobre si la salinización se debe a procesos de intrusión salina, a la existencia de aguas saladas congénitas o infiltración y transporte desde la superficie en zonas de riego. Tal ventaja en la identificación del problema de contaminación marina, se debe a la diferente composición que presenta el agua dulce y el agua de mar.

La ventaja de los isótopos estables presentes en el agua es que por lo general no están sujetos a fenómenos modificadores en el flujo de agua subterránea, por lo que su composición química no varía y posibilitan una detección más directa del origen de la salinización del agua.

Los valores de oxígeno -18 y deuterio, en conjunto o en forma individual al análisis del contenido del ion cloruro, corresponden a parámetros que están linealmente correlacionados en lo

que se refiere a la identificación del origen de la salinización en la zona de mezcla entre agua dulce y agua salada. Se debe tener en cuenta, que dicha correlación se da en aguas relativamente salobres.

De todas formas, pese a constituir este método una herramienta eficaz en la detección de la intrusión salina, el estudio isotópico debe ir acompañado de un estudio hidrogeoquímico general, puesto que éste último es el que permitirá una completa interpretación de los resultados obtenidos.

Pese a constituir una herramienta eficaz en la detección del origen de la salinización en un acuífero determinado, el análisis isotópico de las aguas subterráneas no es ampliamente utilizado en comparación a las otras técnicas mencionadas, principalmente porque presenta un uso restrictivo debido al alto costo económico de su aplicación y en vista de lo cual no ha sido parte del análisis en la presente investigación.

Un resumen de la metodología de diagnóstico del problema de intrusión salina, considerando la aplicación de las principales técnicas enunciadas, se muestra en la figura 2.7.

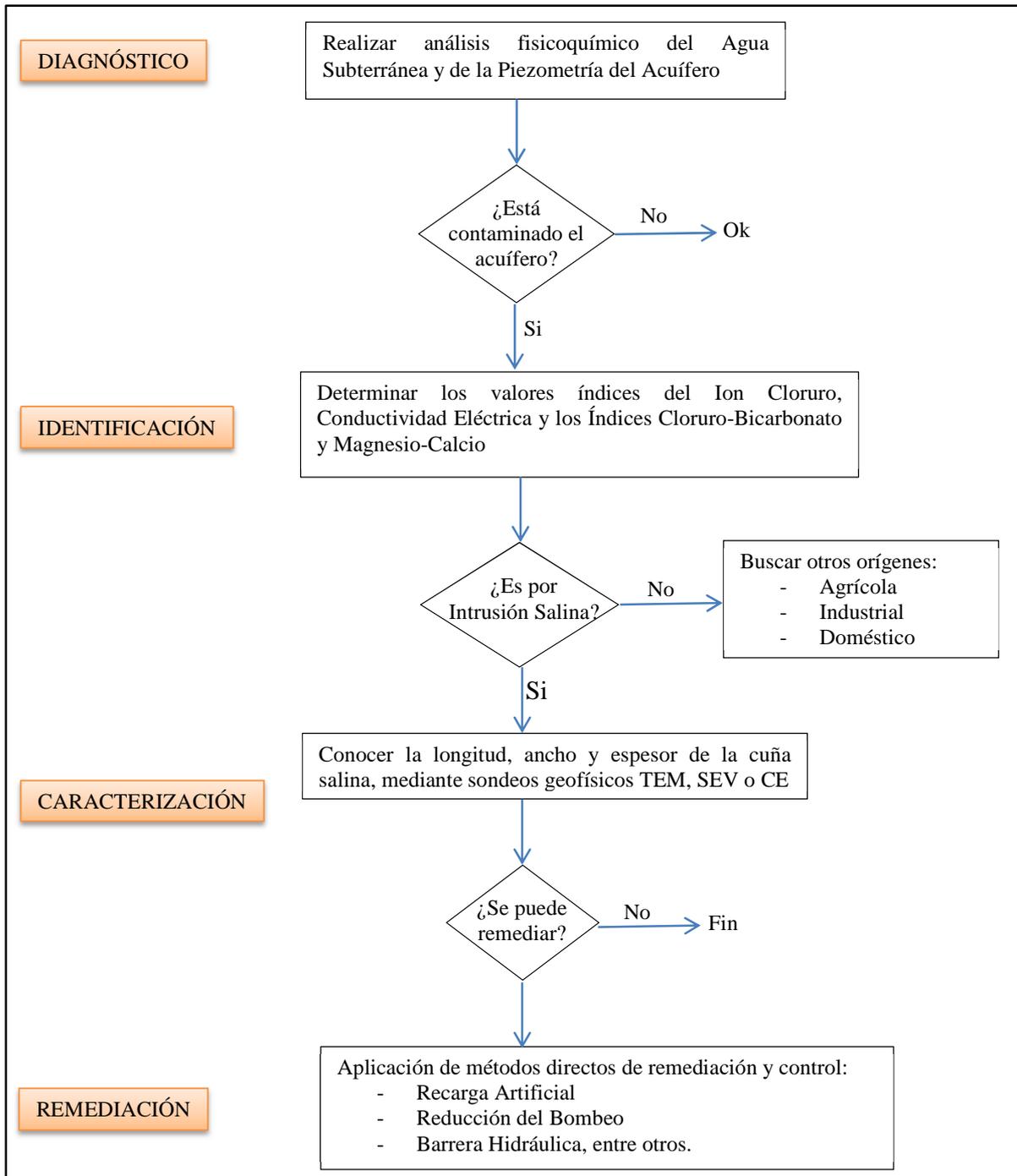


Figura 2.7 Estrategia básica de diagnóstico, identificación, caracterización y remediación de la intrusión salina. Adaptado de Bedient (1994), tomado de Espinoza C., 2005.

#### **2.4.4 Métodos Directos de Prevención y Control de la Intrusión Salina.**

Una vez que se ha identificado el problema de intrusión salina en un acuífero costero, es posible aplicar varios métodos para prevenir o controlar el problema, cada uno de ellos con sus características funcionales dependiendo de las circunstancias determinadas (Custodio, E. y Llamas, M., 2001). A continuación se describen algunas de ellas:

##### **2.4.4.1 Disminución del bombeo**

En el caso en que la explotación es superior a la recarga o bien, aunque no lo sea, produce una penetración indeseable de la cuña salina, se puede proceder a reducir el bombeo hasta que la posición de equilibrio sea la deseada. Sin embargo, se producen los siguientes inconvenientes:

- a. Se pierde agua dulce para mantener la posición deseada de la interfaz. Puede recuperarse parte de esa agua por medio de colectores costeros, aunque no con efectividad en todos los casos y conllevando un alto costo económico.
- b. Si la interfaz ha sobrepasado por un excesivo bombeo el límite máximo de penetración admisible, el retroceso de la cuña es tan lento como su avance, aunque se podría forzar con una reducción de las extracciones, aplicando recarga artificial o estableciendo un bombeo de agua salada.
- c. La reducción de bombeo trae como consecuencia determinar un nuevo abastecimiento de agua.
- d. Falta de herramientas legales para controlar y reducir los bombeos.

##### **2.4.4.2 Reubicación de los puntos de bombeo**

Si la intrusión es debida a una excesiva concentración de pozos de bombeo en unos pocos lugares próximos a la costa o a la explotación de pozos sobre la cuña salina, sin que la penetración sea muy importante, se puede proceder a reubicar las captaciones o redistribuirlas de una mejor forma. Sin embargo los inconvenientes de este método son:

- a. La detención de algunas captaciones para construir y operar otras nuevas demanda un alto costo económico.
- b. La reubicación puede suponer el establecimiento de nuevas conducciones.
- c. Se requiere de herramientas legales para reubicar los puntos de extracción.
- d. No es posible reducir el caudal de agua dulce vertido al mar.
- e. Permitir una mayor penetración de la interfaz agua dulce – agua salada y pozos más al interior, supone disponer de una menor capacidad de embalse utilizable para regulación.

#### **2.4.4.3 Recarga artificial**

Suponiendo que existe una adecuada distribución de las captaciones, se podría compensar el exceso de bombeo mediante recarga artificial en los lugares apropiados. Sin embargo, los inconvenientes de este proceso son:

- a. La obtención del agua para recarga debe ser obtenida a un bajo costo, privilegiando la obtención del recurso a inyectar en las cercanías de la zona que presente deficiencias en su calidad.
- b. El establecimiento de la recarga requiere de un alto costo económico y no siempre es posible realizarla de la manera deseada.
- c. No se consigue reducir el flujo de agua dulce vertido al mar.
- d. Al tener mayores niveles de agua, puede reducirse la capacidad de almacenamiento del acuífero en relación a las aguas lluvias, ya que éstas pueden ser rechazadas o descargadas rápidamente a cauces superficiales.

Si se dispone de agua de recarga, y ésta es de calidad adecuada y se recibe a un caudal regular, en general es más fácil distribuirla directamente a los usuarios y por lo tanto reducir el bombeo. Sólo cuando el agua disponible debe ser tratada, y este tratamiento se puede efectuar por infiltración en el terreno, o cuando el agua disponible debe ser regulada y esta regulación se puede conseguir económicamente por almacenamiento en el terreno, es viable el control de la intrusión salina por recarga.

#### **2.4.4.4 Establecimiento de Barreras Físicas.**

Si en la costa se establece una barrera impermeable, que afecte a los acuíferos, se aíslan éstos del mar y por lo tanto no se produce la intrusión salina, pudiéndose utilizar al máximo los recursos hídricos. Estas barreras pueden consistir en el establecimiento de tablestacas, relleno de zanjas con arcilla, cemento o asfalto, o inyecciones a presión de cemento, bentonita, sustancias bituminosas u otras sustancias químicas (gel de sílice, acrilato cálcico) a través de sondeos colocados muy apretados a lo largo de la costa (Todd, 1959), citado en (Espinoza C., 2005). Otra forma de establecimiento de barreras físicas lo constituye la inyección de aire a presión.

El aire inyectado en el terreno a lo largo de una línea de pozos reduce la permeabilidad del medio para la circulación del agua. El aire puede tomarse “in situ” eliminándose así la necesidad de conducciones, y su manejo es barato. La técnica es conocida a través de los trabajos de explotación petrolífera y almacenamiento de gas en el terreno, pero la aplicación para controlar la intrusión salina ha sido ensayada de forma experimental solamente (Roberts, 1967), citado en (Espinoza C., 2005). El aire inyectado se difunde y ayuda a mantener la continuidad de la barrera.

El establecimiento de una barrera física permite una intensa utilización del acuífero como embalse subterráneo. Los inconvenientes principales de esta técnica son:

- a. Los costos de construcción son muy elevados.
- b. Es difícil que sean totalmente efectivas.

- c. Su mantenimiento en general es a bajo costo económico, pero puede encarecerse en zonas en que se producen movimientos del terreno. La subsidencia ocasionada por la explotación del agua subterránea o el progresivo incremento de la presión del mar al descender los niveles de agua dulce, pueden también afectar la barrera.
- d. Sólo pueden establecerse en acuíferos de escasa profundidad y escasa potencia.

#### **2.4.4.5 Barrera Hidráulica de Inyección.**

Si a lo largo de la costa se establece una recarga tal que en cualquier punto se tenga una elevación piezométrica superior al potencial de agua dulce, preciso para que no se produzca flujo de agua salada hacia el interior, se tiene un efectivo control de la intrusión.

Como el potencial de agua dulce en agua salada crece con la profundidad, cuanto más profundo sea el acuífero, mayor tendrá que ser la elevación piezométrica que deberá crearse.

En acuíferos libres, la barrera puede crearse mediante un canal, zanja o campos de recarga paralelos, o bien mediante una línea de pozos próximos. En acuíferos confinados cuyo techo sea profundo, esta barrera debe establecerse mediante una línea de pozos próximos.

La separación entre pozos se determina dependiendo de la relación entre los costos de construcción y de mantenimiento y el mayor consumo de agua necesaria para recarga de tal forma de mantener un nivel piezométrico adecuado entre pozos. Es frecuente que el nivel del agua en los pozos sea superior al del terreno, en cuyo caso se requiere realizar una buena cementación exterior a fin de que el agua fluya al exterior. Si tales fugas llegaran a producirse, no sólo no sería efectiva la barrera, sino que se pueden producir daños a estructuras o edificios por anegación de terrenos. Dentro de los principales inconvenientes de este método se tienen:

- a. Si la barrera se establece mediante la construcción de pozos, implica un alto costo económico.
- b. El agua de inyección es de elevado costo económico, en especial si la recarga se realiza a través de pozos.

- c. El mantenimiento de los pozos requiere de elevado costo económico y complicado. El problema es menor cuando se construyen zanjas o canales.
- d. Puede ser muy difícil o imposible establecer campos de extensión o canales en zonas pobladas, debido a que no se dispone de espacio o por razones de estética. En este caso, el uso de pozos se adopta como una solución más efectiva, sin embargo, se presentan problemas en las labores de limpieza de los pozos de inyección, que permiten mantener una capacidad óptima de recarga.
- e. El costo de conducciones en caso de inyección con pozos, es por lo general muy elevado.

#### **2.4.4.6 Depresión de bombeo**

La limitación de la penetración de la cuña salina también puede lograrse estableciendo una línea de bombeo dentro de la misma cuña a lo largo de la costa, de tal forma de interceptar todo el flujo de agua salada hacia el interior.

Se requiere en este caso, que la depresión producida en cualquier punto este por debajo de los niveles piezométricos del agua dulce. La penetración masiva del agua salada queda limitada a la línea de pozos de bombeo, pero detrás de ella aún existe una cuña de agua salada cuya penetración tiene que ser limitada permitiendo un cierto flujo de agua dulce hacia el cono de depresión. Los inconvenientes principales de esta tecnología son:

- a. La barrera presenta un alto costo de construcción y de mantenimiento, principalmente por la energía de bombeo requerida.
- b. El agua salada bombeada debe enviarse al mar sin que se produzcan contaminaciones.
- c. Se pierde agua dulce al mar a través de los pozos de bombeo.

- d. Al tener que estar los pozos de bombeo de agua salada a cierta distancia de la costa, se pierde volumen útil del acuífero al ser grande la porción del mismo invadida por el agua salada, en especial en zonas de baja pendiente.
- e. Se requiere reducir las extracciones si se quiere mantener estable la cuña salina situada detrás de la barrera; al menos la extracción de agua dulce debe ser inferior a la recarga.

La instalación de depresiones de bombeo puede estar justificada en casos en que se pretenda reducir una intrusión salina ya existente, pero pasado cierto tiempo debe emplearse otro método de control. También puede estar justificado su uso cuando sea necesario mantener un flujo de agua dulce al mar para mantener el balance de sales en el agua dulce.

### III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo, se explica la metodología empleada durante la investigación, la cual consiste en una serie de etapas, que se detallan a continuación:

- a. Recopilación y análisis de antecedentes de tipo geológico, hidrológico e hidrogeológico del sitio seleccionado.
- b. Reconocimiento del terreno, con el objeto de obtener antecedentes adicionales para la caracterización de la zona de estudio.
- c. Realización de pruebas de campo y de laboratorio, para determinar los parámetros relevantes, con el objetivo de caracterizar el acuífero y determinar la presencia de salinidad, a partir de la relación entre las concentraciones naturales de los parámetros medidos y/o dadas por la condición geológica del sitio o los valores asociados a una posible contaminación.

El proceso de medición en campo, fue previsto mediante el uso de equipo e instrumentos específicos, mismos que permitieron efectuar las mediciones de los parámetros de interés del agua subterránea. Cabe indicar que para determinar la variabilidad del contenido de sales disueltas, se realizó muestreos con aproximadamente una frecuencia bimensual.

El análisis químico de los muestreos de agua tomó en consideración la determinación de parámetros químicos principales y aplicables al estudio. Asimismo, consideró que la población de pozos muestreados, fuese representativa de la zona de estudio.

En términos generales, la metodología adoptada en dicho estudio, se basa en la caracterización del agua subterránea desde una perspectiva hidrogeológica, geofísica e hidrogeoquímica.

### **3.1 ACTIVIDADES DE CAMPO Y GABINETE DESARROLLADAS.**

Dada la importancia en la medición de los parámetros involucrados en la investigación y a fin de disponer de datos que permitieran analizar información y por consiguiente obtener resultados mediante el empleo de las teorías relacionadas con la temática en estudio; se realizó las actividades de campo y gabinete, según se detalla a continuación:

- a. Identificación de fuentes de agua (pozos y ríos), aproximadamente durante el período de noviembre de 2012 a febrero 2013.
- b. Identificación en campo de los diferentes usos del agua y formas de aprovechamiento del recurso hídrico, dentro del área de estudio.
- c. Recopilación de informes de perforación de pozos, mismos que contienen información de ensayos hidráulicos, la cual ha sido analizada e interpretada, a fin de obtener los parámetros hidráulicos del acuífero (porosidad, transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento).
- d. Información sobre datos de caudal, obtenidos a partir de aforos puntuales realizados en algunos ríos y/o niveles históricos de agua en algunos ríos relacionados con la zona de estudio.
- e. Datos de hidrogeoquímica, disponibles en algunos informes de perforación de pozos, informes de investigaciones realizadas previamente u obtenidos a partir de muestreos puntuales practicados como parte de la investigación.
- f. Datos climáticos existentes de la zona de estudio, tales como: precipitación, temperatura, humedad relativa, etc.
- g. Información obtenida a partir de prospección geofísica, específicamente Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), disponible en informe de investigación previa o ensayos puntuales realizados como parte de la presente investigación.

- h. Información retomada de estudios previos, relacionados con recursos hídricos y que fueron realizados por instituciones públicas y/o privadas, para la zona de estudio.
- i. Medición de niveles estáticos de agua en pozos definidos para monitoreo, siendo estos representativos de la zona de estudio; medición que fue realizada aproximadamente con una frecuencia bimensual en el período entre noviembre 2,012 y septiembre 2,013. Cabe indicar, que para los pozos perforados monitoreados, no fue posible en todos los casos determinar los niveles estáticos correspondientes, debido a que durante el periodo de monitoreo se verificó que dichos pozos disponían de equipos de bombeo en funcionamiento, condición que limitó la medición requerida.
- j. Medición de parámetros (físico-químicos) de campo, tales como: temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, potencial de hidrógeno (pH) y total de sólidos disueltos (TDS), en pozos monitoreados, siendo éstos representativos de la zona de estudio, durante el período de febrero a septiembre 2013.
- k. Obtención de parámetros físico-químicos de laboratorio, a partir de dos (2) campañas de muestreo directo de agua en pozos excavados; con las cuales se determinó las concentraciones de los siguientes parámetros: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, alcalinidad total, bicarbonatos, calcio, carbonatos, cloruros, dureza total, fluoruros, fosfatos, hierro total, magnesio, manganeso total, nitratos, nitrógeno amoniacal, potasio, sílice, sodio, sólidos totales disueltos, sulfatos; muestreos realizados específicamente en los meses de mayo y octubre de 2013.
- l. Se realizó la medición de la infiltración del suelo en cuatro sitios de interés, relacionados con la zona de estudio, con el objeto de correlacionar información, mediante el empleo de las metodologías: doble anillo y permeámetro de Guelph.
- m. Se realizó en tres (3) ríos de la zona, dos (2) aforos por fuente, con el objeto de contrastar información existente sobre los caudales de esas fuentes de agua superficial.

### **3.2 HERRAMIENTAS HIDROGEOLÓGICAS APLICADAS.**

La información recopilada bibliográficamente, e información recabada en campo, fue analizada e interpretada a través de herramientas hidrogeológicas, tales como las indicadas a continuación:

- a. Mapas topográficos, superpuestos respecto de superficies piezométricas determinadas.
- b. Mapas temáticos con representación de algunos parámetros químicos determinados de las aguas subterráneas.
- c. Análisis e interpretación de parámetros hidráulicos del acuífero, determinados a partir de información obtenida de ensayos de bombeo en pozos, los cuales fueron desarrollados previo a la presente investigación y que están contenidos en diferentes informes técnicos disponibles para propósitos académicos.
- d. Análisis geológico e hidrogeológico de la zona de interés, con base en mapas existentes; a partir de lo cual se dedujo la geometría del sistema acuífero.
- e. Análisis e interpretación de perfiles litológicos, a partir de información geofísica existente y/o recopilada en campo.
- f. Determinación de zonas de recarga acuífera, con base en el sistema de flujo y las características físicas y químicas determinadas de las aguas subterráneas.

### **3.3 TRABAJO DE CAMPO**

#### **3.3.1 Identificación de fuentes de agua**

Se realizó una identificación de fuentes de agua en una zona más extensa que la zona de interés, con el objeto de conocer el funcionamiento del sistema acuífero. Como parte de la identificación, se empleó un GPS marca GARMIN, mismo que fue configurado en coordenadas geográficas, WGS84 (grados, minutos y segundos).

Con base en lo anterior y tomando en cuenta la distribución espacial de los pozos inventariados por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA) y por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN); así como la identificación en el lugar de algunas zonas que no se disponía de registro de inventario, se identificó dieciocho (18) pozos excavados y seis (6) pozos perforados, los cuales son representativos para la zona de estudio.

Cabe indicar, que en la zona de estudio no se identificó manantiales y que evidentemente otros cuerpos de agua como ríos también influyen los niveles piezométricos, entre otras condiciones que pudieran estar asociadas al comportamiento específico del acuífero.

La información recopilada para cada pozo fue principalmente: posición geográfica (coordenadas “X” y “Y”), hora de la medición, profundidad del pozo, nivel estático y elevación del brocal.

Al respecto se indica que las fuentes identificadas para el monitoreo, quedaron definidas con base en lo indicado previamente, dada la apertura mostrada por los propietarios de dichas fuentes, tanto en pozos excavados como en pozos perforados. Cabe destacar que en general los propietarios son independientes o constituidos por juntas de agua comunales, respectivamente. En la figura 3.1, se muestra uno de los sitios correspondiente a una fuente de agua identificada.



Figura 3.1. Pozo identificado como CSE10, localizado sobre la Carretera del Litoral, a la altura del desvío hacia La Hachadura, Cantón y Caserío La Hachadura, Municipio de San Francisco Menéndez.

Fecha: 07 de junio de 2013.

### 3.3.2 Monitoreo de niveles freáticos.

El monitoreo de niveles freáticos, se realizó principalmente en pozos excavados o artesanales, dado que, la mayoría de pozos perforados se encuentran en producción con bombas instaladas y por lo general no disponían de tubo de PVC para medición de niveles.

El monitoreo de niveles freáticos se inició desde la etapa de identificación de pozos en la zona de estudio, específicamente en noviembre de 2012, a partir de lo cual se estableció en general los pozos a ser continuamente monitoreados. El monitoreo se realizó con una frecuencia aproximadamente bimestral, mismo que fue iniciado en febrero de 2013. En la figura 3.2 y 3.3, se observa la medición del nivel freático en pozos identificados para el monitoreo, perforado y excavado, respectivamente.

Durante el desarrollo del monitoreo de niveles estáticos, también se midió los parámetros físico químicos siguientes: Temperatura del agua a nivel superficial, en °C; Conductividad eléctrica, en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; Sólidos totales disueltos: TDS, en g/L; Salinidad, en % y Ph, en unidades de

Hidronio. El monitoreo de pozos con los parámetros antes indicados, inició en febrero de 2013 y finalizó en octubre de 2013, monitoreando dieciocho (18) pozos excavados y seis (6) perforados.



Figura 3.2. Pozo perforado identificado como CSP04, propiedad de ASEPROS, municipio de Cara Sucia. Medición del nivel estático, mediante el empleo de sonda para medición de niveles  
Fecha: 31 de enero de 2013.



Figura 3.3. Pozo excavado identificado como CSE15, propiedad de Francisca Perdomo, caserío El Chino. Medición del nivel estático, mediante el empleo de sonda para medición de niveles  
Fecha: 02 de febrero de 2013.

### 3.3.3 Muestreo Físico-Químico.

Durante el trabajo de campo, se realizó un muestreo de aguas, con el fin de caracterizar las aguas de la zona de interés. Se tomó veinte (20) muestras de agua cruda en total, las cuales fueron tomadas en dos (2) campañas y realizada en diez (10) pozos excavados, los cuales fueron identificados y seleccionados de manera representativa, tomando en consideración la distribución espacial del inventario de pozos disponible en la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA) y en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), correspondiente a la zona de estudio.

En cada muestra tomada se midió pH, conductividad eléctrica, temperatura, sólidos totales disueltos y salinidad. Las muestras recolectadas fueron llevadas con propósitos de análisis y determinación de parámetros químicos de interés, al laboratorio del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), donde fueron analizadas.

Las muestras para análisis químico fueron obtenidas durante dos (2) campañas de muestreo. La primer campaña, luego de haber realizado la identificación de los pozos para monitoreo; misma que se determinó como representativa de la época seca (inicios de mayo); y una segunda campaña,

realizada luego de finalizado el monitoreo de parámetros físico-químicos según lo programado, siendo ésta representativa de la época lluviosa (inicios de octubre).

La ubicación para la toma directa de muestras de agua de los pozos excavados, se realizó luego de evaluar los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos medidos en campo como parte del monitoreo continuo.

Para la medición de parámetros físico-químicos tomados in-situ durante el monitoreo continuo, se empleó un equipo multiparámetros marca HACH y para la medición del Ph se empleó un equipo uniparámetro de la misma (marca HACH). Asimismo, se empleó únicamente como medición de contraste un equipo uniparámetro para medir TDS (ver figura 3.4).



Figura 3.4. En la fotografía de la izquierda, se observa equipo multiparámetro empleado para la medición. En la fotografía de la derecha, se observan los equipos uniparámetros empleados para la medición de Ph y TDS.

Fecha: 09 de febrero de 2013.

Al momento de llevar a cabo la medición de parámetros físico-químicos, previo al muestreo de agua de los pozos; se contó con un equipo marca EXTECH (ver figura 3.5).



Figura 3.5. Equipo multiparámetro empleado para la medición en pozos. Equipo propiedad de la Dirección General del Observatorio Ambiental del MARN.

Fecha: 08 de octubre de 2013.

### 3.3.4 Prospección Geofísica.

El método geofísico empleado como parte de la prospección geofísica, fue el geoelectrico con la metodología de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), el cual consiste en la determinación de la resistividad aparente del subsuelo, a partir de la introducción de una corriente eléctrica a éste, mediante dos (2) electrodos. Es de importancia indicar, que se empleó un resistivímetro marca McOHM, modelo 2115A, propiedad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).

Para la interpretación, se incorporó información correspondiente con dos (2) SEV realizados específicamente en fecha 20 y 26 de septiembre de 2013. La ubicación de éstos, se realizó considerando criterios como la distribución espacial de la información existente de estudios previos, zonas de interés y condiciones aptas y de accesibilidad al terreno (ver figura 3.6). También, se empleó la información relacionada de dieciséis (16) SEV realizados por Geólogos del Mundo y la Unidad Ecológica Salvadoreña (GM-UNES, 2013); quienes según su estudio, utilizaron un resistivímetro marca Schlumberger y la separación máxima de  $AB/2$  fue de 500 m.



Figura 3.6. Resistivímetro empleado en el desarrollo de SEV. Equipo propiedad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).

Fecha: 20 de septiembre de 2013.

### 3.3.5 Pruebas de Infiltración.

Como parte de la investigación de campo realizada, se llevó a cabo cuatro (4) pruebas de infiltración, distribuidas en una extensión mayor a la zona de estudio, considerando para su localización criterios sobre extensión de la cuenca hidrográfica Cara Sucia, tipo y uso de suelo identificados.

Al respecto, se empleó la metodología de medición empleando el Permeámetro Guelph (ver figura 3.7) y empleo de Doble Anillo (ver figura 3.8). Cabe indicar, que las pruebas de infiltración son de suma importancia, en el caso que se desee conocer la permeabilidad del suelo y los resultados obtenidos, mismo que serán presentados como parte de los resultados obtenidos en el capítulo siguiente de la presente investigación y además permitirá una mejor caracterización de la zona de estudio.

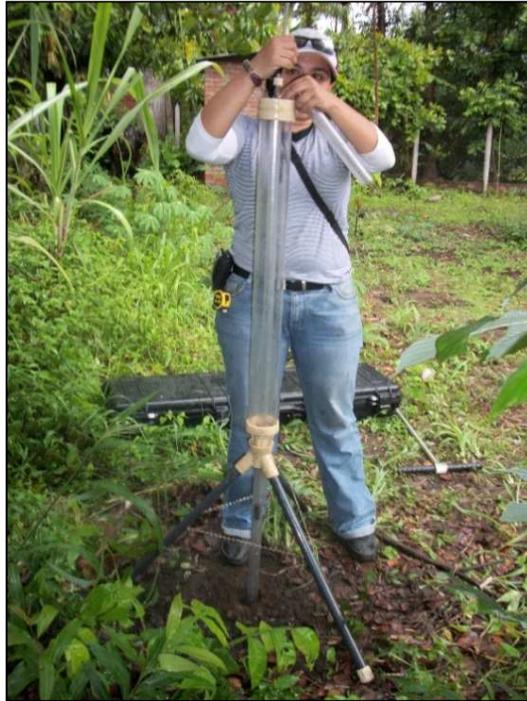


Figura 3.7. Prueba de infiltración en caserío El Chino, mediante el empleo de un infiltrómetro Guelph, propiedad de la UES. Fecha: 15 de junio de 2013.



Figura 3.8. Prueba de infiltración, mediante el empleo del método Doble Anillo. Caserío El Chino. Fecha: 15 de junio de 2013.

### 3.3.6 Aforos en Ríos.

Como parte de la investigación de campo, se realizó tres (3) aforos por vadeo, que fueron desarrollados en los ríos San Francisco (ver figura 3.9), Cara Sucia e Ixcanal; los cuales se consideraron como los ríos más representativos dentro de la zona de estudio y teniendo como objetivo determinar el caudal que está circulando por la sección medida del río.

Es claro que la información obtenida como parte de los aforos realizados en la investigación, son bastante limitados y por consiguiente se ha utilizado para inferir la posible relación río-acuífero para los casos específicos de la zona de estudio; lo anterior a manera de confirmar información disponible de estudios previos.

Es importante indicar que en los ríos antes indicados se realizó la medición de dos (2) secciones en diferentes sitios, los cuales fueron realizados con el propósito de llevar a cabo una interpretación de aforos diferenciales.

El equipo empleado para desarrollar el aforo, correspondió con un molinete marca AOTT, N° 121247, propiedad de la Dirección General del Observatorio Ambiental del MARN.



Figura 3.9. Aforo mediante el empleo de molinete propiedad del MARN. Río San Francisco.

Fecha: 04 de mayo de 2013.

## IV. RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Geología y Uso de Suelo

Con base en lo observado durante las visitas de campo realizadas, fue posible verificar el estrato superficial y subyacente en la zona de estudio (ver figura 4.1), lo cual además permitió confirmar la información obtenida mediante la perforación del pozo localizado en el Municipio de Cara Sucia y del cual se contó con la información correspondiente al perfil estratigráfico de aproximadamente 3 m de espesor de tobas color café, piroclastos gruesos andesíticos, cementados con una matriz de polvo volcánico color café, porosidad buena y permeabilidad de media a baja.



Figura 4.1. Estratigrafía superficial de la zona de estudio, localizada en las inmediaciones de la Carretera del Litoral (CA2), Municipio de Cara Sucia, Departamento de Ahuachapán.  
Fecha: 06 de octubre de 2012.

Asimismo, fue posible verificar que a la zona de estudio le corresponde un uso del suelo, principalmente de constituido por: a) Bosque de mangle, b) Caña de Azúcar, c) Cuerpos de Agua, d) Granos Básicos, e) Pastos, f) Platanales y Bananeras; información que es consistente con el uso del suelo del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra actualizado en el año 2,010.

#### **4.2 Inventario de Fuentes de Agua**

Se realizó la identificación de pozos (pozos artesanales y perforados) y medición de parámetros fisicoquímicos en la zona de estudio, a partir de lo cual se llevó a cabo un análisis de ubicación para definir las fuentes de agua que estarían siendo monitoreadas en las jornadas posteriores, con el objeto de llevar a cabo una adecuada caracterización de la zona de estudio. A continuación en la figura 4.2, se observa la distribución de los pozos monitoreados a excepción del pozo identificado como CSP-01, que si bien no fue posible monitorearlo debido a que se encontró sellado, su localización es importante respecto de la distribución espacial del resto de pozos definidos para el monitoreo, en vista que se cuenta con la información de litológica correspondiente.

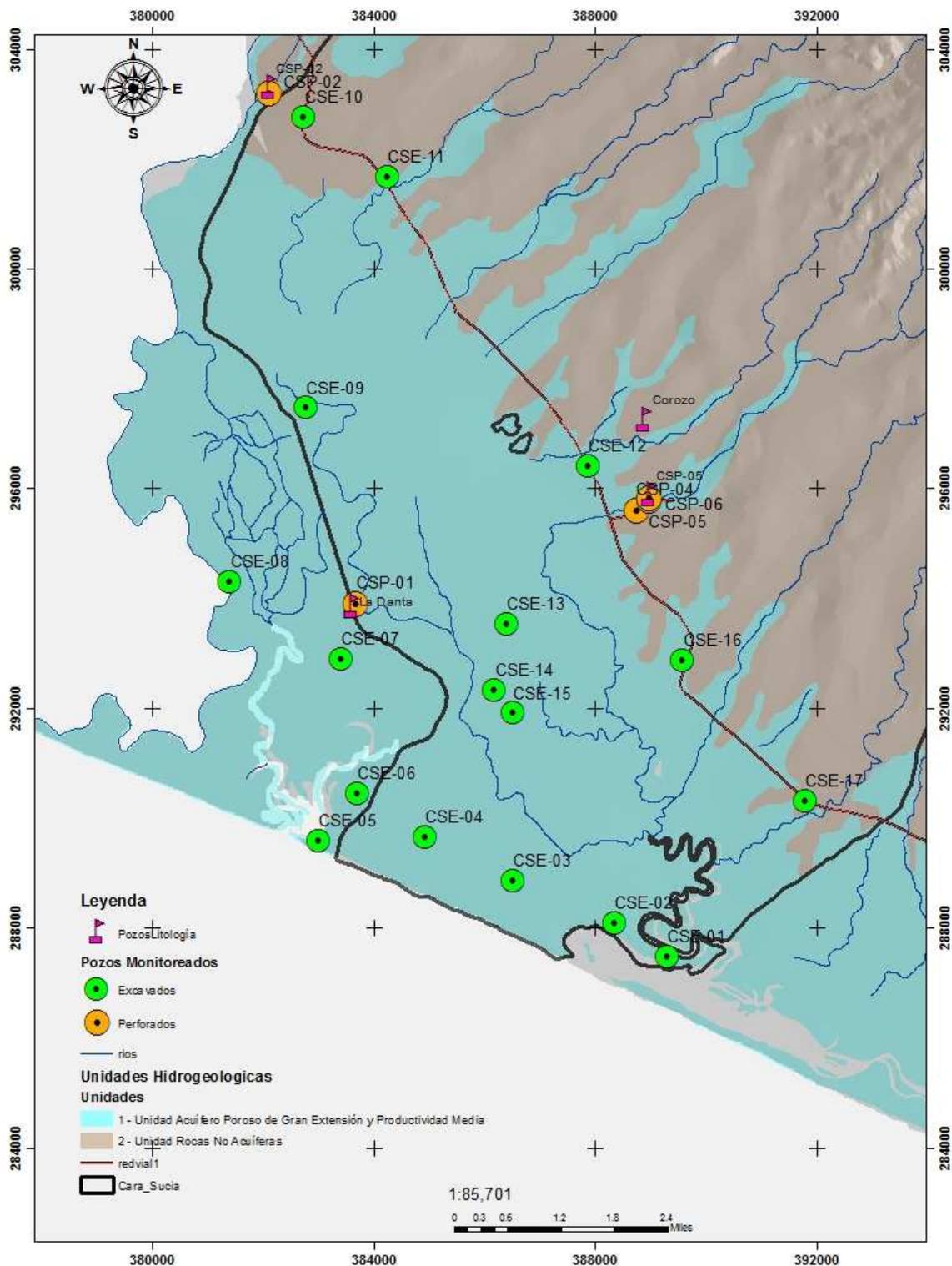


Figura 4.2. Pozos monitoreados en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información procesada.

Los resultados completos obtenidos para cada una de las jornadas de medición, se presentan más adelante en la sección 4.5 del presente documento, la cual está dedicada a la Hidrogeoquímica. No obstante lo anterior, a continuación se presenta el resultado en cuanto a la piezometría obtenida.

### **4.3 Isofreáticas y Dirección del Flujo.**

Luego del procesamiento de los datos de nivel estático medidos en los pozos monitoreados, fue posible conocer las curvas isofreáticas y dirección de flujo específicas para la zona de interés, de cada una de las jornadas realizadas. En general, se indica que el flujo subterráneo regional en la zona de estudio, dispone de una dirección en sentido NS (Norte-Sur) hacia la costa, mismo que en su recorrido es frecuentemente dispersado o distorsionado, debido principalmente a la relación existente con las aguas superficiales (especialmente en el entorno más superficial de la masa de agua); condición que es consistente con la información base disponible del mapa hidrogeológico de El Salvador.

En la figura 4.3 Piezometría y Dirección del flujo, que se presenta a continuación, se muestra la información procesada de la jornada inicial del monitoreo de pozos; la cual fue clave en la presente investigación para identificar zonas específicas que requerían ser monitoreadas; condición por la cual la piezometría de dicha jornada presenta una menor definición del comportamiento propio identificado específicamente en la zona media baja del área de estudio, a diferencia de las jornadas posteriores realizadas (Febrero, Abril, Julio y Septiembre de 2,013).

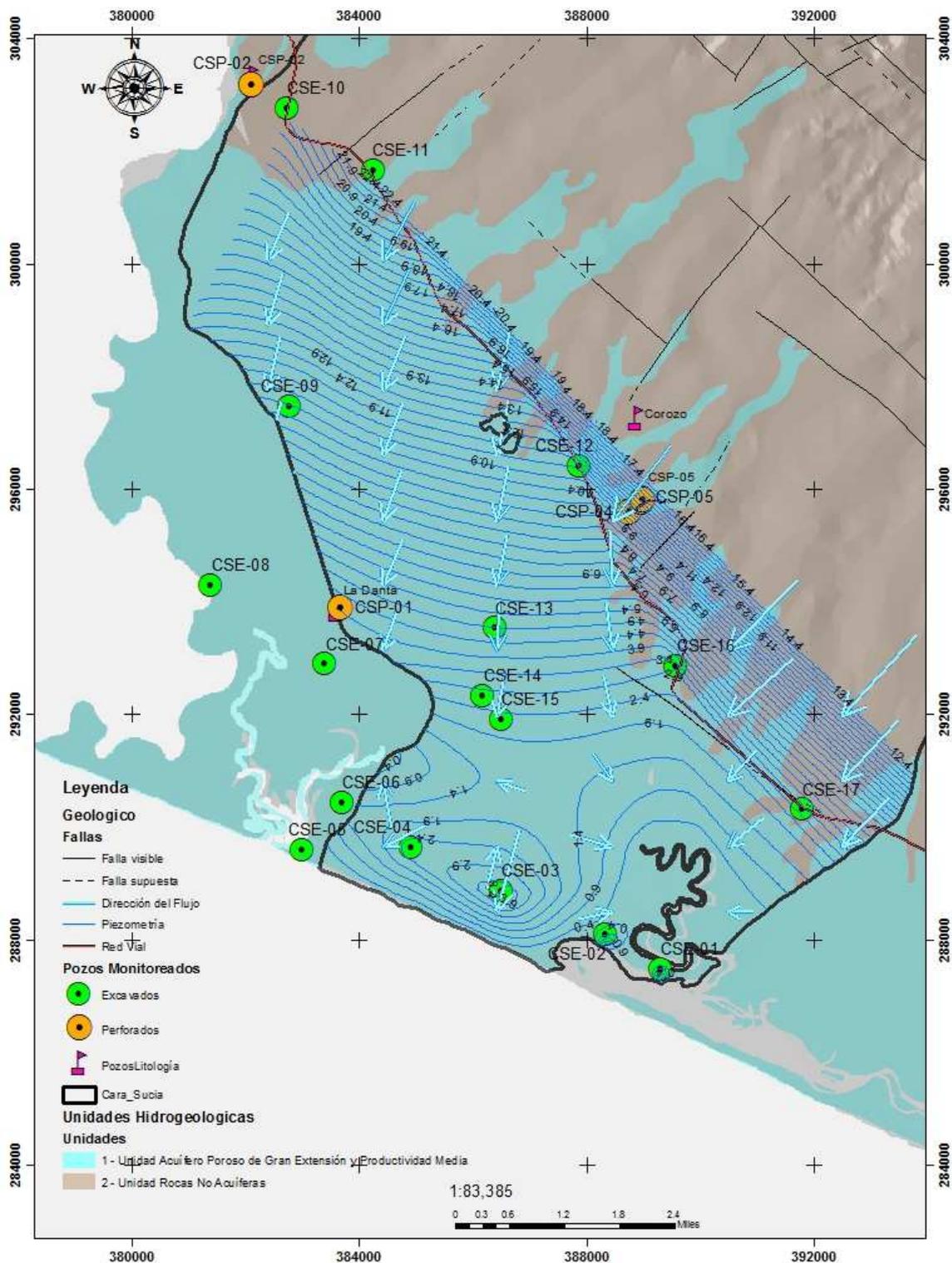
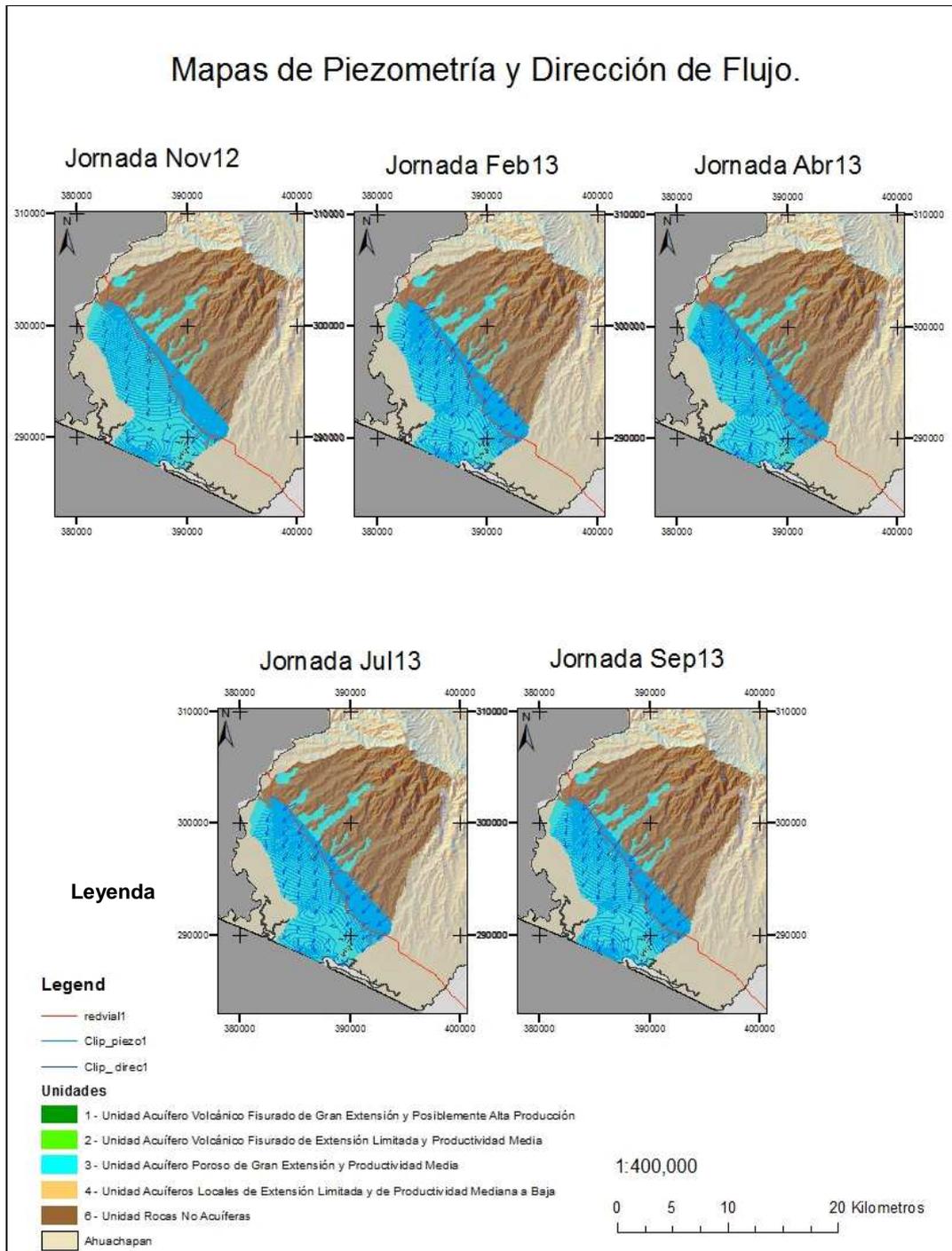


Figura 4.3. Piezometría y dirección del flujo, jornada realizada en noviembre 2012.  
 Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información recopilada y procesada.

A continuación en la figura 4.4, se puede observar el comportamiento piezométrico y dirección de flujo de las diferentes jornadas realizadas de la medición de nivel estático.



**Figura 4.4. Piezometría y dirección del flujo, período noviembre 2012 a septiembre 2013.**

Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información recopilada y procesada.

En general, y a partir de lo anterior se indica que la piezometría determinada en las diferentes jornadas de monitoreo realizadas son consistentes, para lo cual se determinó que la cota piezométrica máxima registrada es de 23 msnm., en las cercanías de la frontera La Hachadura, mientras que las mínimas corresponden específicamente al nivel del mar, por lo que el gradiente hidráulico medio es del orden de 0,002.

Asimismo, fue posible identificar que el comportamiento piezométrico es consistente según la estacionalidad (seca o lluviosa), dado que en términos generales, la época lluviosa se experimenta entre los meses de mayo a octubre, mientras que la época seca durante los meses restantes (noviembre – abril). Al respecto, entre noviembre 2,012 y abril 2,013, se observó una variación en los niveles piezométricos, principalmente en la parte noroeste de la zona de estudio y un comportamiento diferente de una jornada respecto de otra en la misma estación (seca) en el sector medio de la zona en estudio. Lo anterior, obedece a la respuesta del acuífero, todo asociado con los parámetros hidráulicos y/o características propias de dicho acuífero. Asimismo, fue posible identificar que la dirección de flujo coincide con las variaciones de estacionalidad.

En lo que respecta con la época lluviosa del periodo monitoreado (2,012 – 2,013), el comportamiento se mantiene, considerando que la medición realizada en los meses de abril (inicio de la época en cuestión), junio y septiembre del año 2013; condición que presenta similitud con la finalización de la época lluviosa del año 2012 (específicamente al monitoreo realizado en noviembre 2,012).

Cabe indicar que con base en lo observado, el acuífero se encuentra a presión atmosférica, siendo este un acuífero de tipo libre; sin embargo, no se descarta que pueda existir mayor grado de confinamiento o incluso confinamiento total a mayor profundidad.

Al observar en detalle la dirección de flujo representada en el la figura 4.4, se puede determinar que en la zona media baja de la zona de estudio se presenta una condición no usual en aguas subterráneas, lo cual no ha sido posible asociarlo, dado que aparentemente no existe ninguna anomalía y/o falla geológica (ver figura 4.3, localización de fallas); sin embargo, se observa una hondonada como parte de la orientación del flujo.

#### **4.4 Procesamiento, Interpretación y Análisis Geoeléctrico.**

El método geofísico empleado fue el geoeléctrico, a partir de la metodología de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). El cálculo de la resistividad, se realizó mediante la medición en profundidad de la resistividad eléctrica u oposición ante el paso de la corriente eléctrica. Tomando en cuenta que la resistividad de las rocas depende directamente de su grado de compactación y es inversamente proporcional a su porosidad, permeabilidad, contenido de agua y temperatura; y considerando que se podrían obtener resistividades diferentes para un mismo suelo a partir de las variables antes indicadas, así como en función del contenido salino del agua del agua. Al respecto, es difícil estimar la composición del subsuelo solamente a partir de la medida de la resistividad; no obstante que en investigaciones de esta índole, la geofísica permite realizar análisis más completos.

Asimismo es importante reiterar que para la zona de interés, la interpretación realizada incluye datos de dos (2) SEV realizados como parte del estudio, e información disponible a partir de un estudio previo, de dieciséis (16) SEV realizados por las ONG's Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES) y Geólogos del Mundo (2013), así como información litológica existente de algunos pozos perforados. Sobre este respecto, la ubicación específica de los dos (2) SEV antes indicados, se realizó luego del análisis de la distribución espacial de la información disponible. A continuación en la figura 4.5, se observa la distribución correspondiente de todos los SEV analizados en la presente investigación.

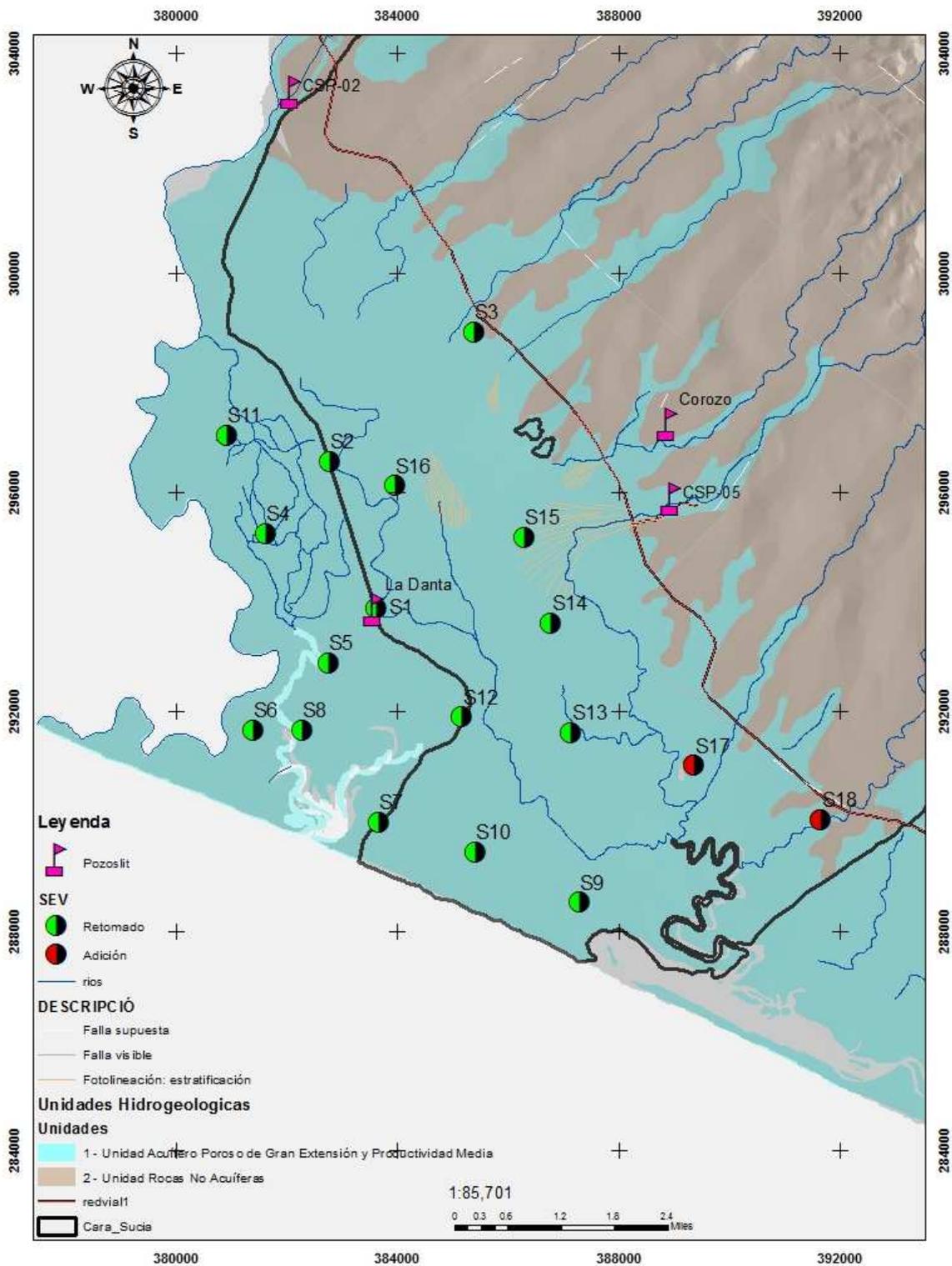


Figura 4.5. Localización de SEV realizados en la zona de estudio.  
Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información recopilada y procesada.

Del mismo modo y como parte del estudio realizado en la zona, se definieron las secciones transversales (transeptos), a partir de los cuales se podía obtener información para caracterizar desde una perspectiva geofísica la zona de estudio. A continuación en la Figura 4.6, se observan los SEV que definen los perfiles litológicos estudiados.



Es importante indicar, que en el caso de los dieciséis (16) SEV retomados de un estudio previo, no solamente se ha tenido en consideración el análisis presentado en dicho estudio, sino que aprovechando la disponibilidad de los datos de campo, fue posible realizar un análisis propio como parte de la presente investigación (ver Anexo III. Datos de Campo de SEV).

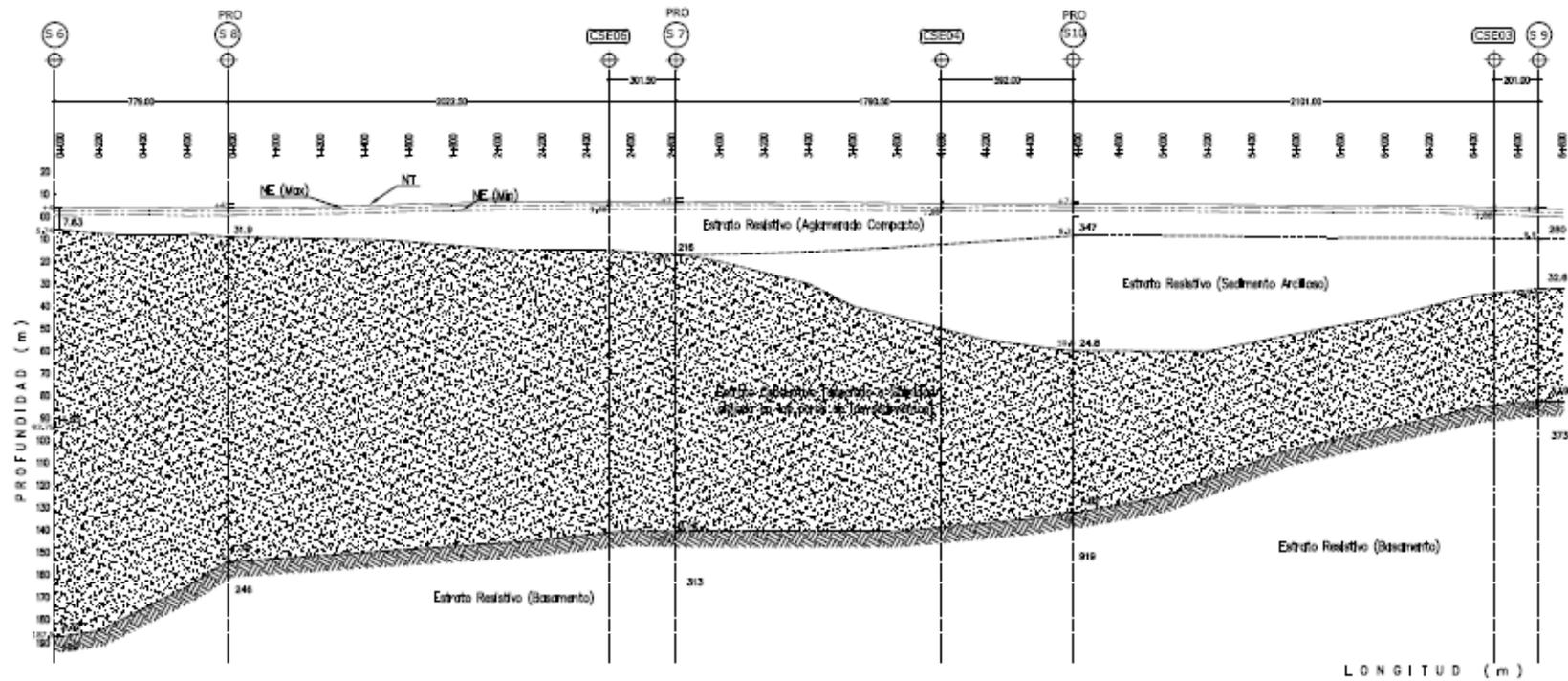
Con base en los resultados obtenidos luego del análisis de la información, en términos generales se puede indicar que el subsuelo de la zona de estudio está constituido principalmente por tres capas predominantes, las cuales presentan un comportamiento resistivo – conductivo – resistivo, en lo que al paso de la corriente eléctrica respecta.

Sobre este respecto y a partir de la información disponible de los pozos profundos (perforados), principalmente del localizado en Hacienda La Danta, se realizó una interpretación, en la cual se llevó a cabo una correlación entre información geofísica y litológica disponible, así como de niveles estáticos monitoreados en dicha zona de estudio. En lo que respecta a la estratigrafía del pozo antes indicado se tiene que consta de un estrato superficial ( $e= 0.5$  m) de un piroclasto retrabajado, con un estrato subyacente ( $e= 60$  m) de un sedimento arcilloso, a continuación un estrato subyacente ( $e= 77$  m) de un estrato conductivo y a continuación el basamento de la formación. Con lo anterior, es posible confirmar el hecho que con la perforación realizada por ANDA, se penetró el estrato conductivo con presencia de salinidad, dado que dicho estrato según la investigación, se localiza entre las profundidades de 63 a 140 m. A continuación se muestran tres (3) de los perfiles representativos de la litología inferida y representación del comportamiento salino (ver figura 4.7, 4.8 y 4.9).

La información presentada corresponde a dos (2) perfiles en el sentido transversal a la costa (P1 N-S y P3 N-S) y uno paralelo (P1 P-O), con el objeto de observar las variaciones en los espesores de los estratos y comportamiento salino, a partir de la localización de cada transepto.

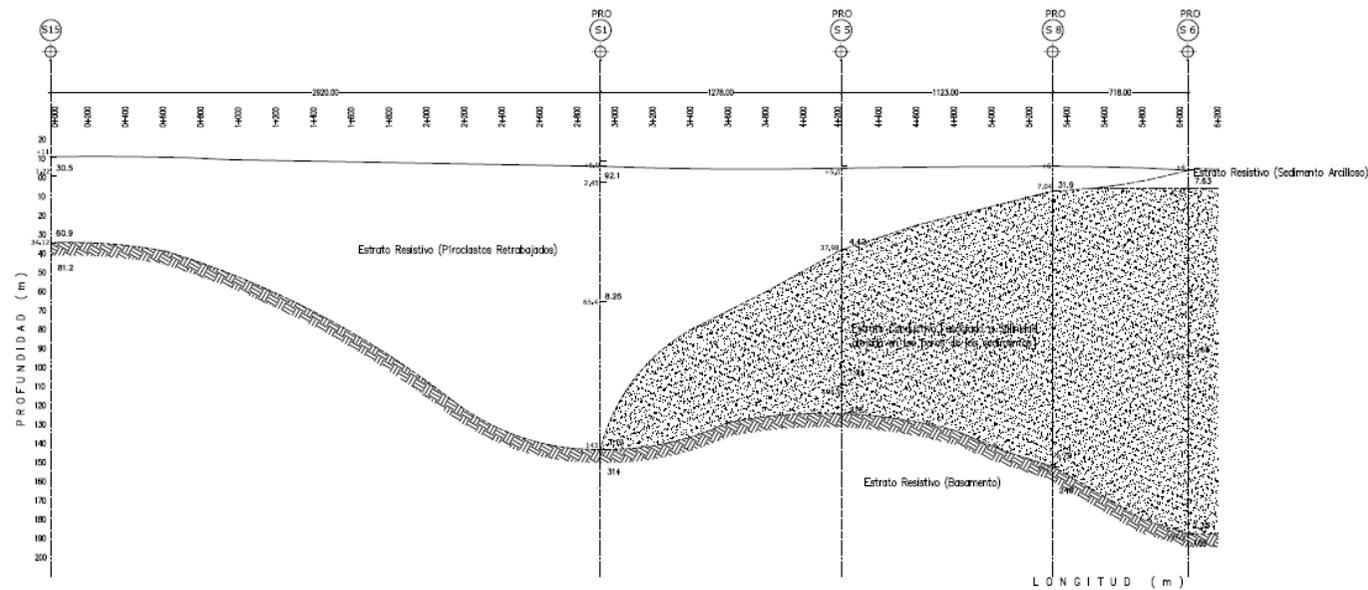
En la figura 4.7, mostrada abajo, se observa un perfil paralelo a la costa, que de los analizados es el más cercano y en el cual perfectamente se identifica el estrato definido como conductivo, al cual se le puede atribuir la presencia de salinidad en los poros de los sedimentos que constituyen el acuífero. Al respecto es de hacer notar que el estrato conductivo corre en todo el

perfil estratigráfico, sin embargo y como era de esperarse a medida que el perfil se aleja del zanjón el aguacate (ver figura 4.6), el estrato conductivo se reduce en espesor en aproximadamente un 70%, dado que de un espesor aproximado de 182 m se reduce a 50 m, condición que es consistente, en vista de la influencia por el ingreso lateral de agua.



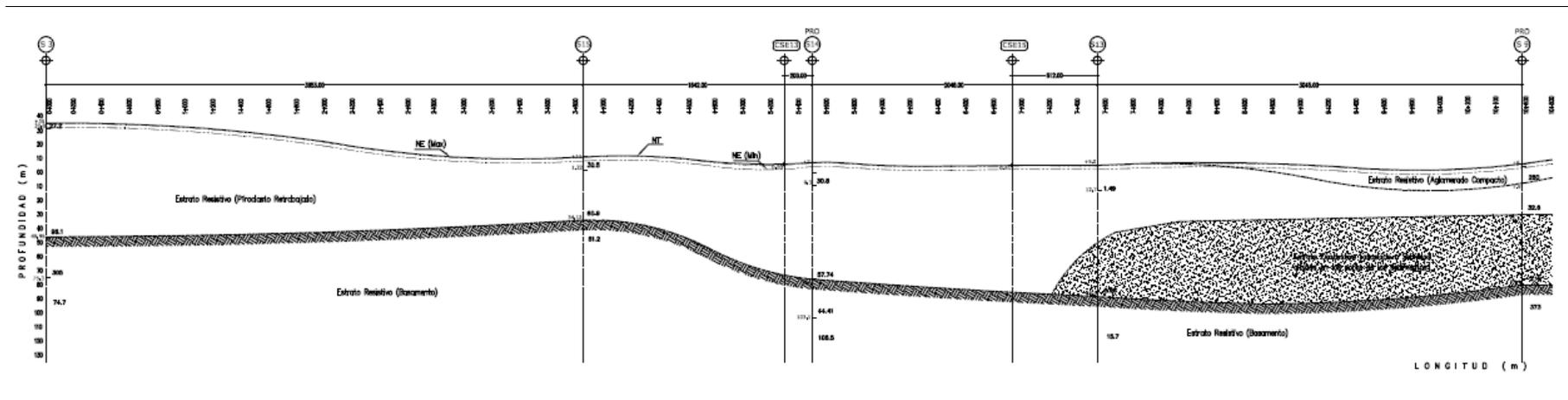
Simbología Estratigráfica		Nomenclatura	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo
	Estrato Conductivo	NEMIn	Nivel Estático Mínimo
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado

Figura 4.7. Perfil litológico paralelo a la costa, de poniente a oriente (perfil P1 P-O).  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.



Simbología Estratigráfica		Nomenclatura	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo
	Estrato Conductivo	NEMin	Nivel Estático Mínimo
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado

Figura 4.8. Perfil litológico paralelo a la costa, de norte a sur (perfil P1 N-S).  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.



Simbología Estratigráfica		Nomenclatura	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo
	Estrato Conductivo	NEMIn	Nivel Estático Mínimo
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado

Figura 4.9. Perfil litológico paralelo a la costa, de norte a sur (perfil P3 N-S).  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.

En lo que respecta con los perfiles de las figuras 4.8 y 4.9, mismos que son transversales al perfil de la figura 4.7 y en el cual se confirma que la tendencia del estrato conductivo involucra un mayor espesor en las cercanías del Zanjón el Aguacate respecto del perfil transversal más alejado a dicho zanjón. No obstante lo anterior, con base en la medición de resultante en los perfiles y transeptos planteados, se infiere que el estrato conductivo se localiza por la parte inferior a una profundidad tierra adentro de aproximadamente 3, 600 m. En el anexo III. Perfiles litológicos resultantes de la presente investigación, se puede profundizar al respecto.

## **4.5 Hidrogeoquímica**

### **4.5.1 Conductividad Eléctrica**

Parámetro medido en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y que relaciona la existencia de intrusión salina, además de permitir controlar su posible evolución, en vista que varía en función del contenido de sales disueltas presentes en el agua.

A continuación se presenta en la figura 4.10 el mapa de isoconductividades generado como parte de la información obtenida del monitoreo de campo.

## Mapas de Isoconductividad Eléctrica

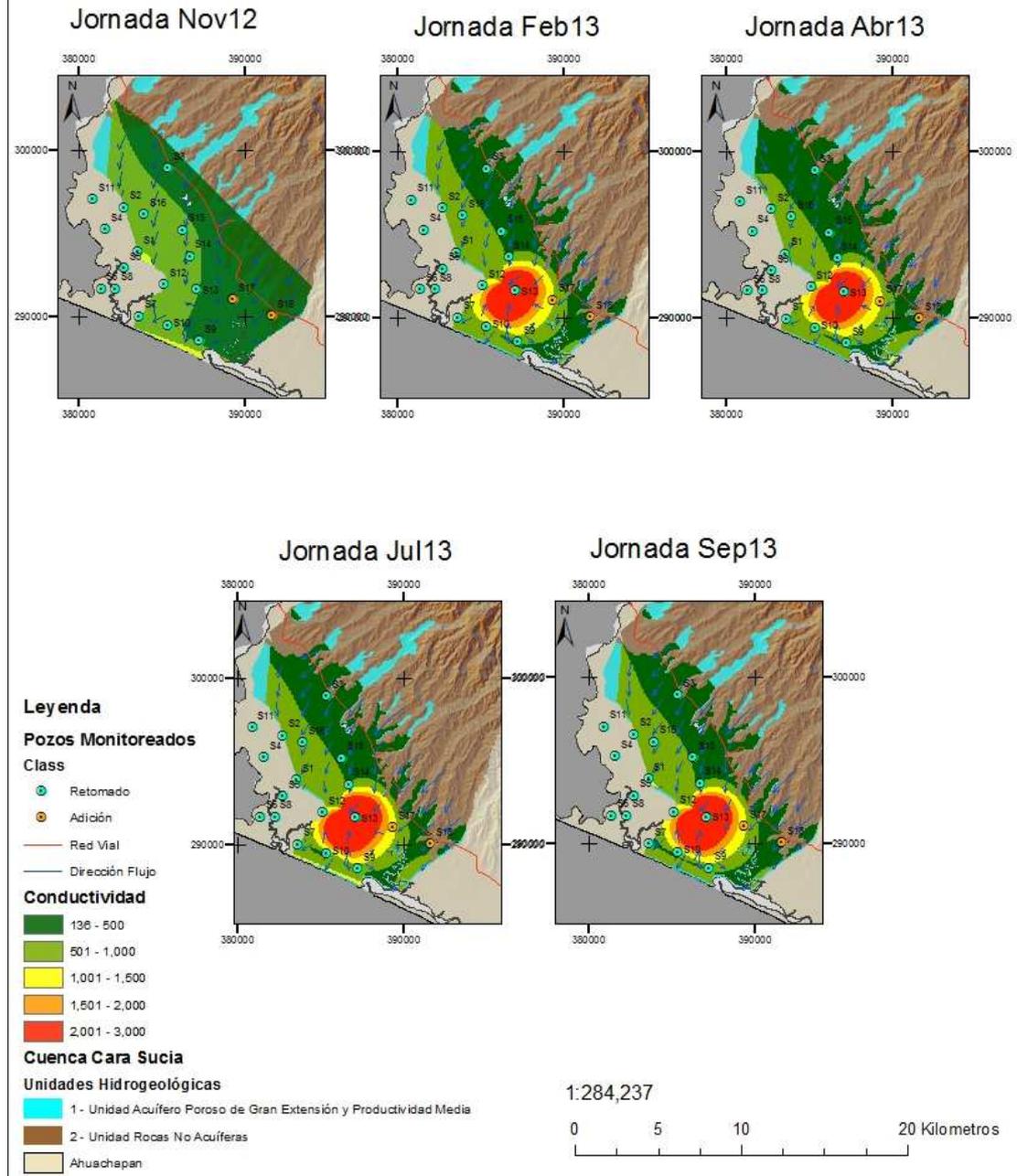


Figura 4.10. Mapas de isoconductividad, período noviembre 2012 a septiembre 2013.  
Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información recopilada y procesada.

Con base en la figura 4.10. Mapas de Isoconductividad Eléctrica, se indica que las variaciones observadas principalmente en la jornada correspondiente al mes de noviembre 2,012, se deben a que dicha jornada aún no disponía de mediciones en los pozos localizados en el caserío El Chino y la cual se ha presentado a propósito en la imagen. Dicha condición, es debida a que la jornada de medición antes indicada (Noviembre 2,012) es la que se tomó como parámetro para la localización de pozos en zonas que no estaban del todo incluidas en el monitoreo y a partir de lo cual fue posible identificar certeramente los pozos que en las subsiguientes jornadas generan una variación considerable en el comportamiento de las isoconductividades.

En relación con lo anterior y en general, las isoconductividades registradas durante las jornadas de medición realizadas en Febrero, Abril, Julio y Septiembre 2,013, presentan una tendencia diferente en cuanto al comportamiento de las isoconductividades; no obstante que entre cada una de las jornadas existen ligeras variaciones al referirse a valores específicos (ver tabla de isoconductividades en Anexo: Conductividad eléctrica medida durante el monitoreo).

Es de tomar en consideración que con base en los parámetros establecidos por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Salvadoreña), citado en los Anexos del Informe Final Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador, Contrato MARN-BID-1209/OC-ES.No.60/2006; la concentración máxima admisible para este parámetro es de 1,600  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , para lo cual se observa que dicho parámetro se supera en algunas de las zonas específicas monitoreadas, en las cuales se obtuvo datos del orden de 6,940  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , específicamente para el pozo CSE-15. Dicho resultado, supera los máximos permisibles en un estrato superficial (aproximadamente 3.50 m como máximo), no obstante que según los perfiles obtenidos como parte de la geofísica resultaron para este caso específico. En vista de lo anterior, es muy probable que la causa de salinización para este caso específico, no se deba a una invasión mar adentro, sino a una condición geológica.

#### **4.5.2 Contenido de Sales Disueltas**

Aun conociendo que el Contenido de Sales Disueltas (TDS), está directamente asociado con la Conductividad Eléctrica, no se recomienda considerar exclusivamente este parámetro en la identificación del fenómeno de intrusión salina, dado que los contenidos de sales disueltas en el agua subterránea pueden deberse a procesos diferentes de salinización, como se explicó en el capítulo II: Marco Teórico.

Sin embargo, y considerando que no se realizó una medición directa del parámetro TDS, sino tomando en cuenta la relación que mantiene éste índice con la Conductividad Eléctrica, de la figura 4.9 Mapas de Isoconductividad se deduce que el contenido de sales disueltas es predominante en la zona de la costa, principalmente en la localización de la Hacienda Danta y caserío El Chino; por lo que es de esperar que uno de los principales mecanismo de salinización lo constituya principalmente procesos geológicos en algunas de las zonas, además de la interacción acuífero-mar.

Es importante mencionar, que con base en los requisitos de calidad de agua indicados en la normativa salvadoreña para agua potable, emitida por el CONACYT, el contenido de Sólidos Disueltos Totales permisible es de 1,000 mg/l, debido a las condiciones propias del país, parámetro que fue superado específicamente para el caso del pozo artesanal identificado como CSE-15 y con lo cual se confirma lo establecido para el caso del parámetro de Conductividad Eléctrica. Al respecto se indica la presencia de aguas salobres en la zona del caserío El Chino y Hacienda La Danta.

#### **4.5.3 Otros parámetros hidrogeoquímicos.**

Siendo la química de relevante importancia para la presente investigación y tal como se mencionó en el capítulo anterior, se realizó dos (2) muestreos para la determinación de parámetros químicos, los cuales son representativos de la época lluviosa (realizado en mayo de 2,013) y época seca (realizado en octubre 2,013). El detalle de los resultados de los muestreos realizados, puede observarse en el Anexo IV Resultados de muestreo químico.

**a. Relación Cloruro-Bicarbonatos.**

Tabla 4.1 Resultados de la relación cloruro-bicarbonato

Muestra ID	Estación ID	Fecha de Muestreo	rCl meq/l	rHCO <sub>3</sub> meq/l	rCl/rHCO <sub>3</sub>
M17a	CSE-17a	07/05/2013	0.890	0.870	1.023
M17b	CSE-17b	08/10/2013	1.060	0.580	1.828
M12a	CSE-12a	07/05/2013	0.240	1.380	0.174
M12b	CSE-12b	08/10/2013	1.890	0.410	4.610
M11a	CSE-11a	07/05/2013	0.140	2.660	0.053
M11b	CSE-11b	08/10/2013	0.170	2.800	0.061
M9a	CSE-09a	07/05/2013	0.640	4.600	0.139
M9b	CSE-09b	08/10/2013	0.500	4.960	0.101
M7a	CSE-07a	07/05/2013	3.880	5.290	0.733
M7b	CSE-07b	08/10/2013	4.680	6.230	0.751
M5a	CSE-05a	07/05/2013	3.200	6.440	0.497
M5b	CSE-05b	08/10/2013	1.950	4.660	0.418
M3a	CSE-03a	07/05/2013	0.430	1.890	0.228
M3b	CSE-03b	08/10/2013	0.280	2.270	0.123
M1a	CSE-01a	07/05/2013	0.680	3.550	0.192
M1b	CSE-01b	08/10/2013	0.170	2.060	0.083
M15a	CSE-15a	07/05/2013	36.880	17.960	2.053
M15b	CSE-15b	08/10/2013	48.900	21.180	2.309
M14a	CSE-14a	07/05/2013	0.320	5.830	0.055
M14b	CSE-14b	08/10/2013	0.670	7.300	0.092

**Leyenda**

0 < rCl/rHCO <sub>3</sub> < 5	Aguas Continentales
5 < rCl/rHCO <sub>3</sub> < 20	Aguas Salobres
rCl/rHCO <sub>3</sub> > 20	Aguas Salinas

A partir de los resultados contenidos en la tabla anterior, se puede indicar que siendo la relación cloruro-bicarbonato uno de los principales índices que permite realizar una clasificación, de acuerdo a la afección por incorporación de sales provenientes del mar. Con base en la tabla anterior, todas las muestras resultaron con un comportamiento que refleja un nivel normal de contenido salino, atribuible a aguas continentales. No obstante lo anterior, en general la tendencia es similar casi para todas las muestras, excepto que en el caso de las muestras M15a y M15b, tanto como en las muestras M17a y M17b, existe una ligera diferencia en cuanto al comportamiento. Al respecto en el caso de las muestras tomadas en el pozo CSE-15 (muestras M15a y M15b) está en consistencia con el comportamiento salubre

identificado anteriormente para la zona específica. En el caso de las muestras tomadas en el pozo CSE-17 (M17a y M17b), no se tiene mayor indicio, sin embargo el único factor que podría estar interviniendo es la cercanía con el zanjón El Garrobo. Mientras que las diferencias observadas en las muestras M12a y M12b, no disponen de una condición especial que permita tal variación entre muestreos.

#### b. Relación Magnesio-Calcio.

Tabla 4.2 Resultados de la relación magnesio-calcio.

Muestra ID	Estación ID	Fecha de Muestreo	rMg meq/l	rCa meq/l	rMg/rCa
M17a	CSE-17a	07/05/2013	0.610	1.220	0.500
M17b	CSE-17b	08/10/2013	0.580	1.090	0.532
M12a	CSE-12a	07/05/2013	0.610	0.850	0.718
M12b	CSE-12b	08/10/2013	1.070	1.390	0.770
M11a	CSE-11a	07/05/2013	0.890	1.590	0.560
M11b	CSE-11b	08/10/2013	0.780	2.010	0.388
M9a	CSE-09a	07/05/2013	2.540	2.970	0.855
M9b	CSE-09b	08/10/2013	1.870	3.260	0.574
M7a	CSE-07a	07/05/2013	0.740	0.760	0.974
M7b	CSE-07b	08/10/2013	0.930	1.290	0.721
M5a	CSE-05a	07/05/2013	6.180	2.030	3.044
M5b	CSE-05b	08/10/2013	3.160	1.650	1.915
M3a	CSE-03a	07/05/2013	1.550	1.410	1.099
M3b	CSE-03b	08/10/2013	0.990	1.650	0.600
M1a	CSE-01a	07/05/2013	1.130	1.160	0.974
M1b	CSE-01b	08/10/2013	0.910	0.690	1.319
M15a	CSE-15a	07/05/2013	7.020	4.000	1.755
M15b	CSE-15b	08/10/2013	9.280	5.660	1.640
M14a	CSE-14a	07/05/2013	1.540	2.050	0.751
M14b	CSE-14b	08/10/2013	2.430	2.800	0.868

#### Legenda

	0.2 < rMg/rCa < 1	Aguas Continentales
	1 < rMg/rCa < 5	Agua de Mar

A partir de los resultados de la tabla anterior, es posible identificar afección por la incorporación de sales generalmente provenientes del mar. Con los resultados obtenidos sobre la relación evaluada, se continúa confirmando la presencia de salinidad en la zona del pozo identificado como CSE-15.

A continuación en la tabla 4.3, se presenta agrupadas las muestras químicas tomadas durante la investigación (en Anexo IV. Resultados de muestreo químico, se presenta el detalle de cada muestra); mismas que han sido renombradas a fin de establecer una identificación adecuada en las representaciones gráficas que se observarán en adelante.

Tabla 4.3. Resumen de muestreo químico agrupado.

Sample ID	Station ID	PH	T	CE	Alcalinidad	Bicarbonatos	B	Ca (mg/L)	Cl- (mg/L)	Dureza	F-	PO4	Fe	Mg	Mn	NO3	NH4	K	SiO2	Na	TDS	SO4	As
			°C	µS/cm	mg/L CaCO3	mg/L HCO3	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
M17a	CSE-17a	6.24	21	316	53.18	53.18		24.51	31.39	91.9	0.21	1.01	<0.009	7.46	<0.024	7.4	0.19	1.9	139.14	26.7	155	35.83	
M17b	CSE-17b	6.02	17		35.24	35.24	0.23	21.75	37.54	83.55	0.29	0.51	<0.009	7.1	0.069	28.19	0.17	0.6	104.94	32.15	166.5	22.14	0.00198
M12a	CSE-12a	6.81	19	166.8	84.38	84.38		17.07	8.65	73.12	0.6	0.52	0.034	7.41	<0.024	1.15	0.29	1.38	101.39	19.4	82	<7	
M12b	CSE-12b	5.44	16		24.73	24.73	0.67	27.8	67.17	123.14	0.16	0.22	<0.009	13.04	0.067	30.16	<0.06	0.63	64.18	23.8	192	16.74	0.00088
M11a	CSE-11a	7.03	20	265.15	162.39	162.39		31.79	4.94	123.81	0.23	0.43	<0.009	10.79	<0.024	3.55	0.24	2.5	89.19	17.65	130	11.71	
M11b	CSE-11b	5.87	17		170.95	170.95	1.07	40.23	5.93	139.25	0.15	0.16	<0.009	9.42	0.124	<0.04	0.09	2.23	80.28	18.7	161.5	10.44	0.00092
M9a	CSE-09a	7.57	20	526.5	280.81	280.81		59.45	22.74	275.5	0.75	1.07	<0.009	30.85	0.773	0.55	0.26	3.65	90.24	28.9	258	45.98	
M9b	CSE-09b	6.38	17		302.57	302.57	<0.02	65.25	17.78	256.42	0.47	0.64	<0.009	22.71	0.249	<0.04	0.09	7.5	87.55	27.6	296	32.73	0.00227
M7a	CSE-07a	7.77	20	910	322.64	322.64		15.21	137.67	74.93	1.16	3.68	<0.009	8.98	<0.024	0.9	0.35	6.83	89.46	136.8	446	27.87	
M7b	CSE-07b	6.64	17		379.87	379.87	0.24	25.81	165.95	111	1.32	4.52	<0.009	11.3	0.162	<0.04	0.06	8.43	78.67	614	592.5	31.41	0.00707
M5a	CSE-05a	7.59	20	912.5	393.08	393.08		40.61	113.45	410.62	0.47	0.39	<0.009	75.1	<0.024	0.8	0.28	10.45	37.68	35.65	447	33.84	
M5b	CSE-05b	6.46	17		284.46	284.46	<0.02	33.06	69.15	240.9	0.39	0.29	<0.009	38.45	0.184	<0.04	0.33	10.75	39.34	52.75	360	28.17	0.00146
M3a	CSE-03a	7.40	19	372.5	115.35	115.35		28.23	15.32	147.85	0.44	0.67	<0.009	18.79	<0.024	17.85	0.22	3.13	69.79	29.65	182.5	48.51	
M3b	CSE-03b	6.73	17		138.44	138.44	<0.02	33.14	9.88	132.48	0.42	0.55	<0.009	12.08	0.051	17.32	0.19	28.05	59.93	40.2	195	19.82	0.00274
M1a	CSE-01a	7.94	20	434.5	216.75	216.75		23.22	24.22	114.72	0.56	1.3	<0.009	13.78	<0.024	4.1	0.24	3.35	56.03	53.8	212.5	19.32	
M1b	CSE-01b	7.60	17		125.97	125.97	0.19	13.78	5.93	79.77	0.39	0.76	<0.009	11.01	0.042	15.49	0.07	1.78	64.49	27.15	129	<7	0.00767
M15a	CSE-15a	7.82	21	5400	1095.81	1095.8		80.24	1307.47	551.4	0.19	5.64	0.038	85.25	0.211	4.7	2.31	26.68	87.36	335	2647	141.56	
M15b	CSE-15b	6.92	16		1292.45	1292.5	0.77	113.44	1733.58	747.76	0.89	4.22	0.088	112.8	0.704	6.23	1.21	26.55	71.03	3084	3610	185.86	0.00225
M14a	CSE-14a	7.24	20	562.5	355.97	355.97		41.17	11.37	179.76	0.73	4.42	0.213	18.69	2.182	5	0.77	5	90.11	65.35	275.5	8.52	
M14b	CSE-14b	6.19	16		445.48	445.48	<0.02	56.16	23.71	261.99	0.7	3.5	2.423	29.57	3.38	2.37	0.13	4.7	77.44	272.5	409	22.18	0.00446

Con base en los resultados presentados en la tabla 4.3, fue posible verificar para cada uno de los parámetros las variaciones existentes en general, las cuales se presentan a continuación en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resumen de concentración por parámetro medido.

Parámetros	Unidades	Resumen Muestreo 1	Resumen Muestreo 2
Temperatura del Agua	°C	19.9 a 32.2	27.4 a 29.9
PH	Unidad	6.235 a 7.941	5.437 a 7.597
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	82 a 2,647	129 a 3,610
Bicarbonatos	mg/L	53.18 a 1,095.1	24.73 a 1292.45
Alcalinidad	mg/L	53.18 a 1,095.1	24.73 a 1292.45
Dureza	mg/L	73.12 a 551.4	83.55 a 747.76
Nitrato	mg/L	0.55 a 17.85	0.04 a 30.16
Calcio	mg/L	15.21 a 80.24	13.78 a 113.4
Magnesio	mg/L	7.41 a 85.25	7.1 a 112.8
Sodio	mg/L	17.65 a 335	18.7 a 3,084
Potasio	mg/L	1.38 a 26.68	0.6 a 26.55
Cloruros	mg/L	4.94 a 1,307.5	5.93 a 1733.6
Sulfato	mg/L	7 a 141.56	7 a 185.86
Hierro	mg/L	0.009 a 0.213	0.009 a 2.423
Manganeso	mg/L	0.024 a 2.182	0.067 a 3.38
Boro	mg/L	---	0.02 a 1.07
Arsenico	mg/L	---	0.00088 a 0.00767

Al realizar una comparación general de muestreos, se indica que en el caso de la temperatura del agua el rango de variación es mayor en el muestreo 1, En cuanto al pH, se observa que el rango de variación entre las muestras, cuenta con un rango más cerrado el muestreo1. En relación con el resto de parámetros no se observó una diferencia significativa entre los rangos de resultados de los muestreos.

### c. Métodos Gráficos de Análisis.

Con el objeto de facilitar la interpretación y presentación de la información química resultante, a continuación se muestran algunos gráficos que se considera de importancia.

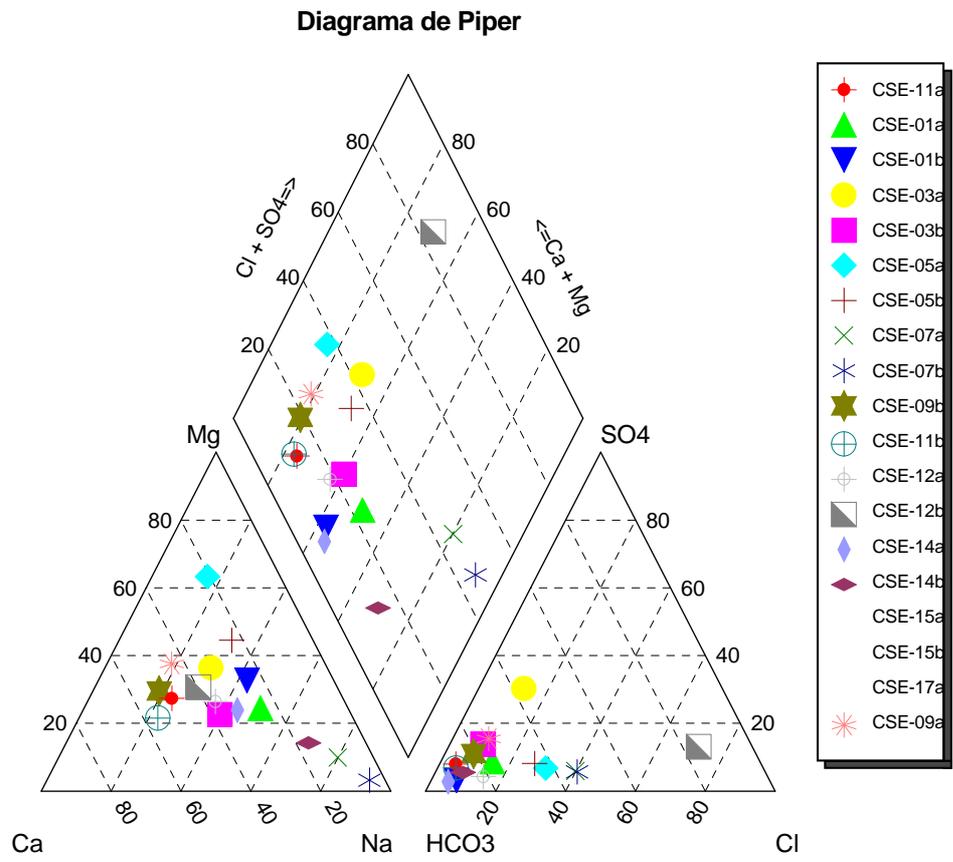


Figura 4.11. Diagramas de Piper de muestreos realizados en la zona de estudio.  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.

Con base en el diagrama de Piper presentado anteriormente y respecto de las clasificaciones típicas de aguas subterráneas, es posible indicar que en general el resultado en cuanto a la tipificación de agua corresponde con un comportamiento bicarbonatado cálcico y/o magnésico (localizadas en la región izquierda del romboide), lo cual también se asocia con una tipificación de agua de mar. Es de importancia indicar, que no obstante las muestras para el pozo CSE-15 y CSE-17, forman parte del análisis en el gráfico, no se logran identificar en la densidad de puntos, en vista de la escala incluida en el gráfico y los resultados correspondientes a dichas muestras.

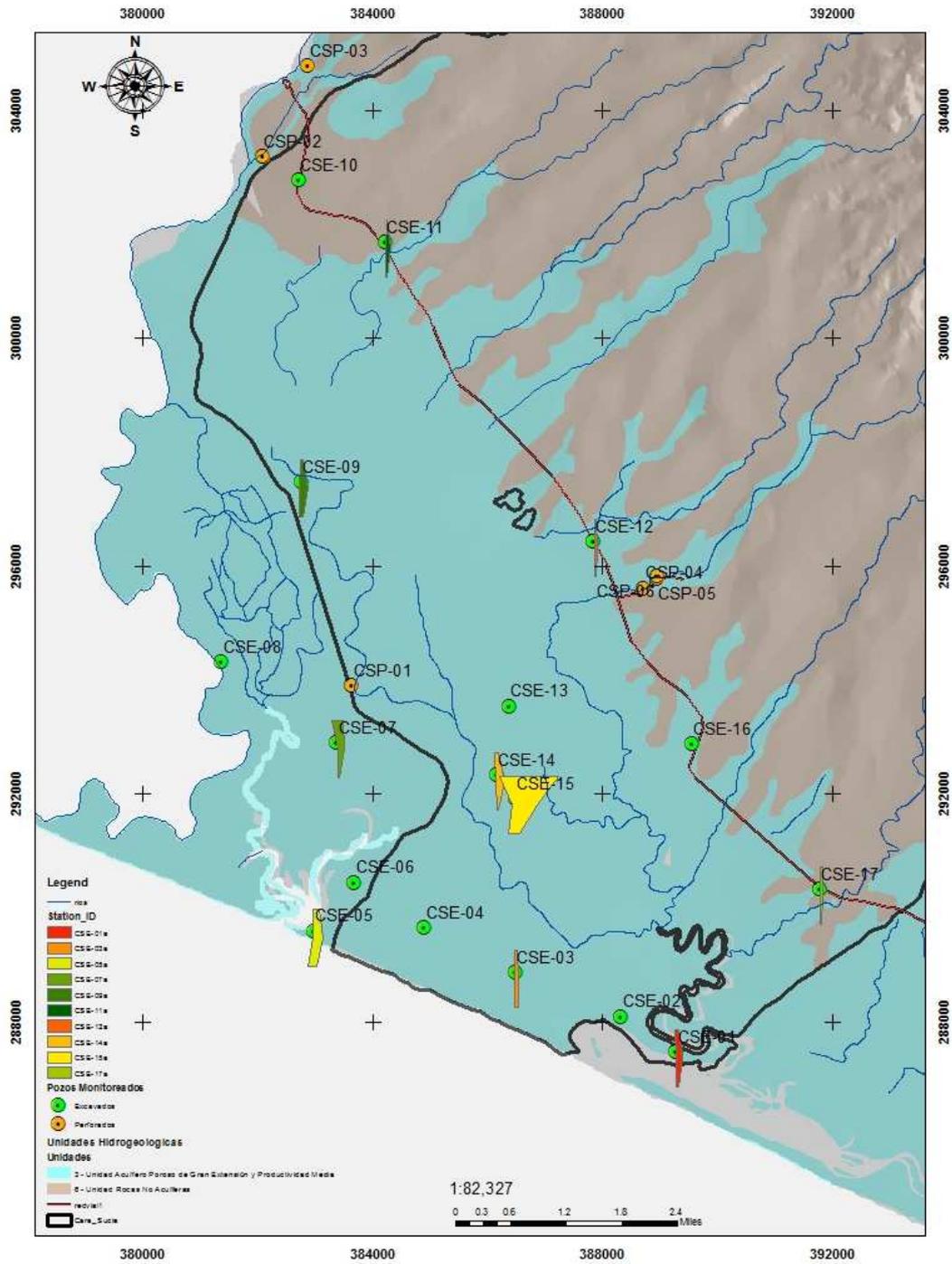


Figura 4.12. Mapa de diagramas de Stiff correspondientes al primer muestreo realizado en la zona de estudio en mayo de 2013.  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.

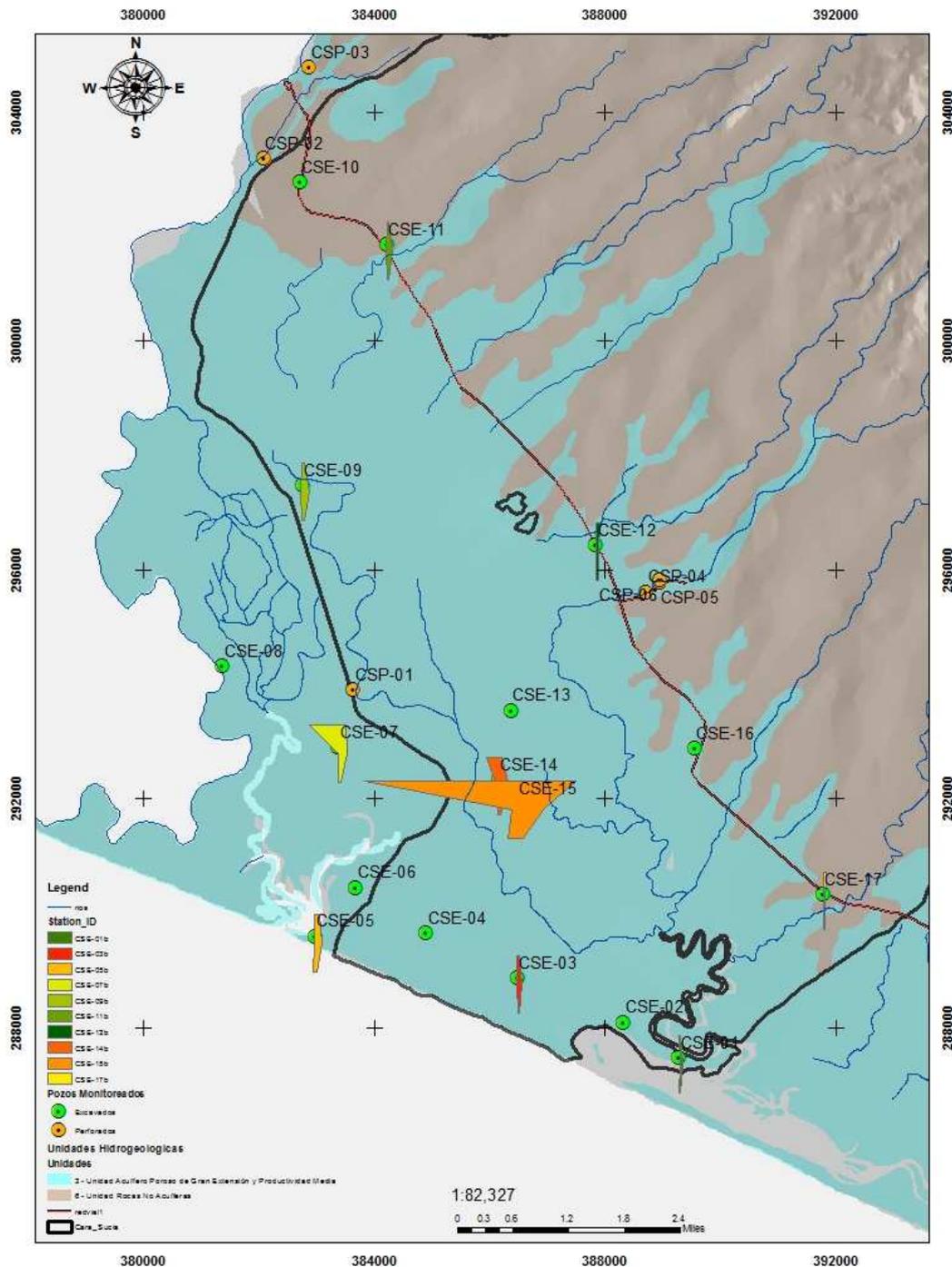


Figura 4.13. Mapa de diagramas de Stiff correspondientes al segundo muestreo realizado en la zona de estudio en octubre de 2013.  
Elaboración propia a partir información procesada y analizada.

En general y a partir de los resultados químicos obtenidos, se observa que la concentración de los iones mayoritarios se incrementa en el segundo muestreo, respecto

del primero. Lo anterior, muy probablemente asociado con la época de muestreo, dado que la primera campaña de muestro corresponde con la época seca (inicios de mayo); y una segunda campaña, representativa de la época lluviosa (inicios de octubre). Lo anterior, podría estar directamente asociado con el transporte de los nutrientes mediante la infiltración de la escorrentía superficial, como efecto de la lluvia que experimentó la zona de estudio durante el período de la investigación.

Adicionalmente a lo antes expuesto, también puede asociarse la química de los pozos someros, con el efecto secundario generado por los químicos empleados como parte del uso de suelo que también relacionado con los regadíos necesarios, que constituyen una recarga artificial para el acuífero, alteran la química del agua.

## **4.6 Pruebas Adicionales**

### **4.6.1 Aforos en Ríos.**

A continuación, en la figura 4.14 se presenta en general el recorrido de los ríos en la zona de estudio, incluyendo los ríos de los cuales se llevó a cabo la medición de caudal mediante aforos. Es importante indicar, que las hojas de cálculo para la determinación de los caudales obtenidos se presentan en el Anexo V, del presente documento.



Tabla 4.5. Resumen de Resultados de aforos en la zona de estudio.

<b>Río</b>	<b>Aforo a (lts/seg) Fecha: 04/05/2015</b>	<b>Aforo b (lts/seg) Fecha: 04/05/2015</b>	<b>Registro existente de caudal medio (época seca: lts/seg)</b>	<b>Fuente: PLAMDARH, 1,981</b>
San Francisco	49.14	53.04	15	Dendrítico Irregular
Cara Sucia	132.16	186.40	120	Dendrítico Irregular
Ixcanal	42.58	43.25	30	Dendrítico Paralelo

Con base en la información contenida en la tabla 4.5, es posible realizar el análisis de aforos diferenciales para establecer la relación río-acuífero (agua superficial y subterránea), en la zona de estudio y de esa forma conocer específicamente el comportamiento del río si es efluente o influente. Al respecto, los resultados obtenidos como parte de dicha técnica, permite conocer el aporte del acuífero al agua superficial o viceversa. Se observa que los datos obtenidos, son consistentes respecto del registro existente para la época seca en un año previo a la medición realizada como parte de la investigación, para lo cual se tiene que los ríos San Francisco y Cara Sucia presentan un comportamiento de río efluente, en vista de los resultados registrados en la época seca y lluviosa.

#### **4.6.2 Infiltrómetro Doble Anillo y Permeámetro Guelph.**

El infiltrómetro de doble anillo, es un instrumento simple que se utiliza para determinar la tasa de infiltración de agua en el suelo. Así el Permeámetro Guelph, permite evaluar de manera precisa la conductividad hidráulica del suelo, capacidad de absorción, y la matriz de potencial de flujo pueden ser realizadas en todo tipo de suelos. Al respecto, a continuación se presenta en la tabla 4.6 un resumen de mediciones realizadas

Tabla 4.6. Resumen de Mediciones realizadas con permeámetro Guelph y con infiltrómetro Doble Anillo en la zona de estudio.

Sitio	Tipo de Suelo	Permeámetro Guelph	Doble Anillo
		Kfs (cm/min)	K (cm/min)
Garita Palmera	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada	$7.13 \times 10^{-2}$	$2.27 \times 10^{-2}$
El Chino	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada	$1.29 \times 10^{-2}$	$9.26 \times 10^{-3}$
San Francisco Menéndez	Materiales Arcillosos compactos, poco estructurados	$1.03 \times 10^{-2}$	$1.07 \times 10^{-2}$
Tacuba	Materiales Arcillosos compactos, poco estructurados	$8.55 \times 10^{-3}$	$1.95 \times 10^{-2}$

A partir de los resultados de las mediciones realizada en relación con la zona de estudio, se indica que dependiendo de la cantidad de aire atrapado, Kfs puede ser una o dos veces más bajo que la verdadera conductividad hidráulica saturada Ks, lo cual explica la variación en cuanto a los resultados obtenidos en la mediciones realizadas. La información anterior, también permite ratificar lo indicado en el mapa hidrogeológico, en cuanto a la permeabilidad característica de las Unidades Hidrogeológicas presentes en la zona de estudio (Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media), en el cual sus conductividades hidráulicas pueden variar de medias a bajas, como consecuencia del grado de cementación o compactación y Rocas no Acuíferas, las cuales disponen de conductividades hidráulicas muy bajas o casi nulas, debido a su alto grado de compactación y cementación.

#### **4.7 Modelo Conceptual.**

Con base en el análisis de la química del agua, de la geofísica, geología y niveles de agua es posible indicar lo siguiente:

##### **4.7.1 Espesor del Acuífero.**

Se describe a continuación de forma general la estratigrafía determinada mediante el análisis e interpretación de la información geofísica, la cual tiene como punto de partida la litología obtenida del reporte de perforación del pozo perforado en la Hacienda La Danta.

En general, se identificó la presencia de los estratos que se indican a continuación (ver Anexo III: Datos de campo de sondeos eléctricos verticales y perfiles litológicos resultantes): a) Aglomerado Compacto, determinado a una profundidad de localización variable (plv) entre 0 m – 130 m, b) Sedimento Arcilloso (plv= 0 m – 170 m ), c) Estrato Conductivo (plv= 8 m – 185 m), d) Piroclasto Retrabajado (plv= 0 m – 145 m), e) Sedimento (plv= 10 –m – 250 m) y e) Basamento que se encuentra a una profundidad promedio de aproximadamente 65 m. Los estratos son variables en función de la dirección del transepto evaluado y la cercanía respecto de la costa, para lo cual es posible confirmar la existencia de un espesor mayor respecto de la cercanía del zanjón El Aguacate.

##### **4.7.2 Parámetros Hidráulicos.**

Se ha tomado en consideración la información disponible a partir de los informes correspondientes a los pozos perforados existentes en la zona de estudio, así como información contenida en los documentos base del mapa Hidrogeológico el país e información obtenida como parte de la presente investigación.

En lo que respecta con la conductividad hidráulica (K), oscila en el rango entre 1.22 y 54.83 m/día; valores que se determinaron al relacionar la trasmisividad (T) de dichos materiales y la oportunidad de penetración (b) de los pozos perforados, con la ecuación  $K = T/b$  (Freeze y Cherry, 1,979) y lo cual se asocia al área donde se denota la presencia de

sedimentos aluviales, misma donde se genera la zona de recarga hídrica. Asimismo y con base en la información disponible, es posible indicar que el acuífero estudiado corresponde a un acuífero libre, que dispone de buena permeabilidad.

En relación con los límites del acuífero, en la dirección norte no fue posible determinarlo, dado que la zona de estudio estaba delimitada por la carretera CA-2, con lo cual no se sobrepasaba el límite de la unidad hidrogeológica de la zona de estudio y por lo tanto se considera que el acuífero podría estar interconectado fuera del área de estudio; al Este limitada por la Cuenca Cuilapa, mientras que en la dirección Oeste el límite es la Cuenca del Río Paz y al Sur el Océano Pacífico.

Es importante indicar que las mayores precipitaciones en la zona de estudio ocurren en el sector aguas arriba, en las montañas, dada la precipitación promedio anual de aproximadamente 1800 mm, según el mapa de Precipitación Promedio Anual del MARN (período 1971 – 2001), dado que el agua se infiltra mediante el aporte brindado por los bosques y cultivos presentes.

En cuanto a la descarga, el acuífero presenta una condición de descarga natural, con base en la dirección del flujo hacia el mar y la descarga de los ríos. Asimismo, las fallas geológicas existentes (aunque son pocas en el área de estudio), muy probablemente dominan la dirección del flujo de agua subterránea, generando distintas zonas de flujo que al encontrar al acuífero poroso se integra para continuar su curso hacia la descarga en el mar; lo anterior, muy probablemente también ocurre en la zona sur-central del área de estudio, en donde no obstante no se localiza una anomalía geológica, se genera una dispersión del flujo, asociado a una protuberancia topográfica sub-superficial. En general, el nivel freático en función de la ubicación de los pozos varía en época seca (noviembre – abril) se localiza a una profundidad de entre 3.01 m a 13.75 m, y en los meses de entre mayo a octubre, donde alcanza su máximo nivel se localiza a una profundidad de entre 0.41 m a 13.05 m, lo cual deja evidenciada la influencia estacional en su comportamiento, esto también se ve sopotado por la variación en época seca de las concentraciones de los iones mayoritarios, principalmente Cloruro (Cl<sup>-</sup>), Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y Sodio (Na), los cuales se presentan enriquecidos en dicha época.

Como parte del análisis correspondiente con la temática en estudio, a continuación en la figura 4.16, se presenta un mapa que permite observar la tendencia del límite subsuperficial detectado en cuanto al estrato conductivo presente en la zona de estudio.

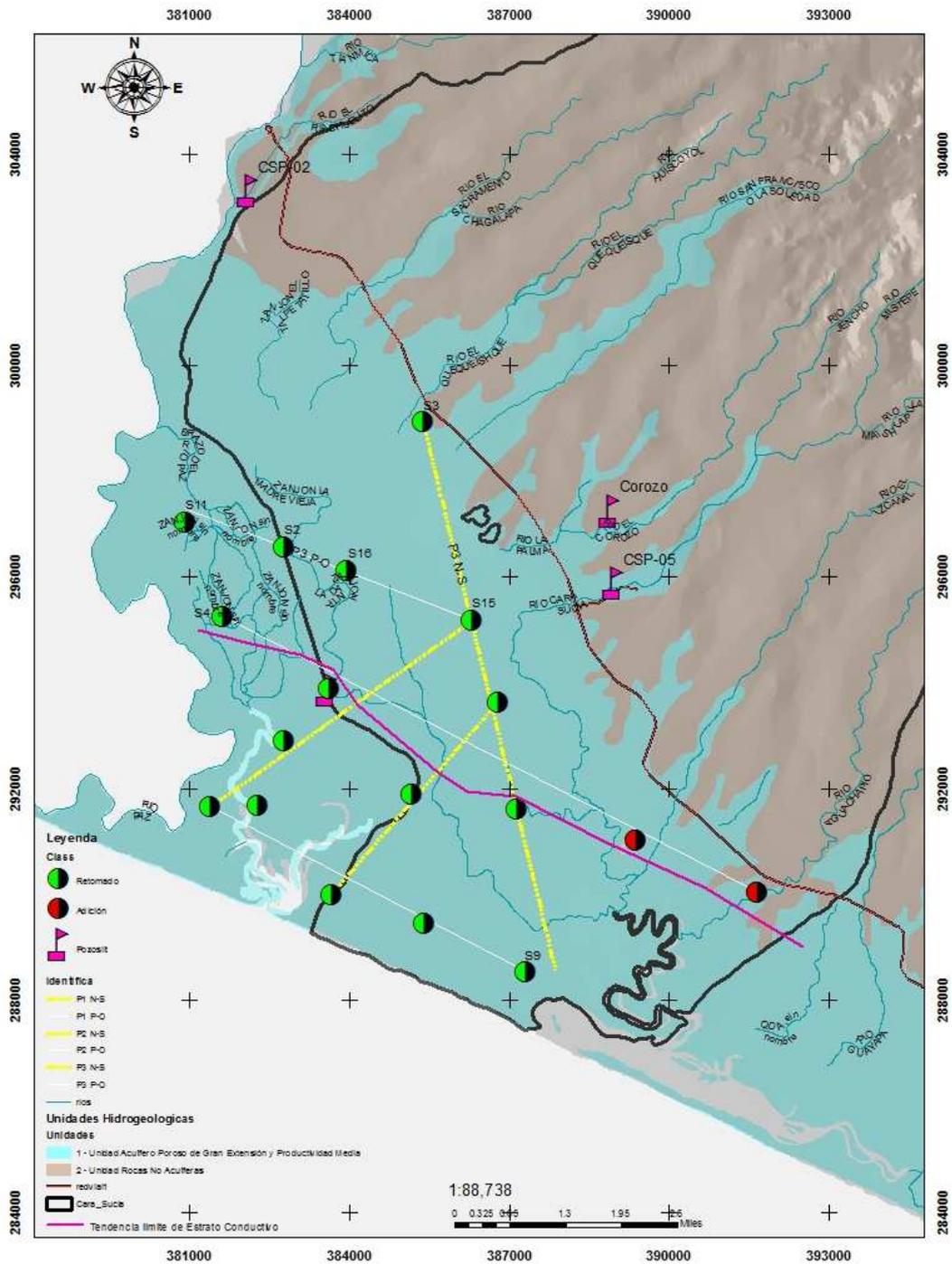


Figura 4.15: Mapa de localización de la tendencia subsuperficial del límite del estrato conductivo detectado.

Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas MARN e información recopilada y procesada

El mapa muestra una tendencia tierra adentro del estrato conductivo detectado a una profundidad que varían en el rango entre 8 y 185 m, en espesores variables y con profundidad tierra adentro a partir de la línea que varía aproximadamente de entre 3, 600m a 4,700 m, con profundidad considerable de hasta 185 m a partir del terreno natural; lo cual depende de la localización e influencia de la hidrología superficial de la zona de estudio entre otros factores.

## V. CONCLUSIONES

- A partir de la información disponible sobre la piezometría del acuífero estudiado, se indica que la dirección del flujo obedece a una dirección predominantemente norte-sur en dirección a la costa, aunado a lo anterior, se determinó puntualmente una protuberancia topográfica profunda que permite una ligera variación en la dirección de flujo. Sin embargo, la recarga acuífera de la zona de estudio, se genera aguas arriba del límite de la zona estudiada y la descarga del acuífero, en general ocurre en forma natural hacia la costa.
- El muestreo químico realizado en pozos someros, refleja un contenido de cloruros considerable específicamente en el caso del pozo excavado CSE-15 (caserío El Chino), respecto del resto de pozos; no obstante que la relación Cloruro-Bicarbonato, en general para los dos (2) muestreos realizados, indica correspondencia con aguas continentales y considerando que dicho muestreo fue realizado a nivel superficial (pozos someros), se indica que la concentración en el ion cloruro está sujeta al uso de suelo de la zona y que muy probablemente la incidencia en dicho ion (cloruro) es debida a los regadíos que se desarrollan en la zona. Si embargo, también existe la posibilidad que a nivel superficial los índices salinos estén asociados a condiciones geológicas más que a una intrusión, dado el comportamiento del fenómeno en la zona.
- Con base en los perfiles estratigráficos determinados mediante el análisis geofísico desarrollado (a partir de la determinación de la conductividad eléctrica, a través de SEV), es posible indicar la existencia de un estrato conductivo, asociado a intrusión salina debido a la localización de la zona en estudio. Al respecto, fue posible identificar que los perfiles direccionados en sentido Poniente-Oriente (P1 PO, P2 PO y P3 PO), son clave en la identificación del estrato conductivo, dado que el transepto que se localiza paralelo a la zona costera sobre la línea de la costa, sin duda muestra la presencia de dicho estrato conductivo en toda su longitud, mismo que a medida se introduce en dirección poniente – oriente hacia la zona de estudio, se observa una disminución en el espesor del estrato, lo anterior asociado a la incidencia lateral (al poniente de la zona)

por la presencia del Zanjón el Aguacate. En el caso de los perfiles o transeptos direccionados en sentido Norte-Sur (P1 NS, P2 NS y P3 NS), es posible identificar el ingreso tierra adentro del estrato conductivo, en una distancia que varía entre 3,600 m y 4,700 m, respecto de la línea de costa.

- En el caso de la salinidad registrada según la perforación del pozo en la zona de la Hacienda la Danta, se confirma la presencia de un estrato conductivo a la profundidad de perforación (132 m aproximadamente), dado que dicho estrato está presente específicamente para dicho sector, entre 61 m y 150 m de profundidad. Asimismo y considerando la profundidad efectiva de análisis (aproximadamente 220 m), obtenida mediante el método geofísico empleado, se observó que la zona de estudio está constituida principalmente por tres capas predominantes, las cuales presentan un comportamiento resistivo – conductivo – resistivo, en lo que respecta al paso de la corriente eléctrica. La capa resistiva, está formada por piroclastos y aluviales no consolidados, capa en la cual se localiza principalmente el agua dulce correspondiente al acuífero somero. La capa conductiva, está compuesta por material aluvial fluvial, con existencia de depósitos marinos en su base (caracoles y conchas fosilizadas), característica que son comúnmente observada superficialmente en zona de manglares y ríos; mientras que el estrato resistivo localizado a profundidad es una capa impermeable, asociada a un basamento geológico y que puede estar constituida por aglomerados compactos no alterados (base de roca del acuífero).
- Con base en la medición realizada en los ríos San Francisco Menéndez, Cara Sucia e Ixcanal, se tiene que el caudal de los dos (2) primeros ríos, reciben aportes subterráneos provenientes muy probablemente de la filtración de la lluvia, dado que se incrementa ligeramente el caudal aguas abajo, sin existir flujos superficiales que aportan, debido a lo cual se considera que el comportamiento de dichos ríos es efluente o río ganador.

## VI. RECOMENDACIONES.

- Se pone de manifiesto la necesidad de un estudio hidrogeoquímico más completo, que permita obtener en definitiva las causas en cuanto al origen de la salinización presente en los diferentes sectores de la zona de estudio, en vista que la presente investigación involucra un primer aporte, dadas las limitantes de información y/o recursos, que permitan profundizar en una caracterización a detalle de la zona de estudio.
- Se hace necesario que los organismos a cargo de la regulación del recurso hídrico, estime pertinente el establecimiento de una red de control, considerando un conjunto de pozos de observación que presenten características similares; es decir, que se encuentren habilitadas para tomar muestras a la misma profundidad, de tal forma de reflejar el problema en forma adecuada y a la profundidad requerida. A partir de lo anterior, se podría en un futuro obtener mayor desarrollo sobre ésta temática y de esta forma monitorearse en forma óptima y reflejar en forma consistente la evolución de la salinización principalmente cuando la causa es intrusión salina.
- Con el objeto de llevar a cabo una verificación de resultados de los aforos diferenciales se recomienda llevar a cabo un monitoreo periódico del caudal de los ríos y de ser posible para la obtención de análisis químicos más detallados, emplear trazadores químicos, a fin de obtener información sobre una mayor cantidad de parámetros hidrodinámicos y corroborar localización y medida de los caudales aportados por afloramientos de aguas subterráneas a lo largo del cauce de ríos.
- En vista que la presente investigación ha sido limitada en cuanto a los temas de cantidad y calidad de agua; entre otros aspectos de importancia nacional, se recomienda llevar a cabo el balance hídrico de la zona de estudio, determinar y regular las tasas de extracción para minimizar o evitar el avance de la cuña salina tierra adentro y establecimiento a partir de resultados de estudios de una zonificación y profundidad de extracción de agua que sea aplicable para los lugareños y proteger de esa manera el recurso hídrico.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Custodio, E, y Llamas, R., 2001. Hidrología Subterránea. Segunda Edición Corregida, tomo I y II. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España.
- ESPINOZA C., (2005). Estudio de Intrusión Salina en Acuíferos Costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región. Universidad de Chile.
- FETTER, C.W., 2001: Contaminant Hydrogeology [2ª ed.]- Prentice Hall. New Jersey.
- LEYVA E., D.F. (2010). Acuíferos Semiconfinados y su Modelación: Aplicaciones al Acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
- GEOLOGOS DEL MUNDO Y UNIDAD ECOLÓGICA SALVADOREÑA (GM-UNES), 2013. Detección de la Salinidad en el Acuífero de la Cuenca Baja del Río Paz. San Francisco Menéndez, Ahuachapán. El Salvador.
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). (2008). Mapa hidrogeológico de la República de El Salvador. B1 Sonsonate Hillshade , 6. San Salvador, El Salvador: ANDA.
- Apello, C.A.J. y Postma, D., (1993). Geochemistry, groundwater and pollution, A.A. Blakema, Rotterdam.
- Arias Zepeda. (2006). Análisis de la dinámica del área cafetalera de la Región Hidrográfica Cara Sucia – San Pedro Belén, Ahuachapán. Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador.
- Chávez, F., Contreras, J., Aguilar, C., Amaya, N., Mojica, A., Marroquín, W., et al. (2003). Estudio topográfico, geológico, hidrológico y contaminación ambiental. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Maestría en Gestión del Medio Ambiente a través del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Ahuachapán: ORMUSA; ASPRODE; CORDAID.
- Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. (2009). Hidrogeología. Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea (Primera edición ed.). Barcelona, Barcelona, España: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (1999). Norma salvadoreña obligatoria para la calidad de agua potable. San Salvador.
- FETTER, C.W. (2001): Applied Hydrogeology [4ª ed.]- Prentice Hall. New Jersey.

- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979): Groundwater. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Gallo, M., & Rodríguez, E. (2010). Humedales y Medios de Vida en la Cuenca Baja del Río Paz. Wetlands International, Panamá, San Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (Junio de 2002). Clima en El Salvador. (C. d. Servicio Meteorológico Nacional, Producer, & SIG-SNET) Retrieved 12 de Septiembre de 2012 from Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Meteorología: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. (Junio de 2002). Clima en El Salvador. (C. d. Servicio Meteorológico Nacional, Producer, & SIG-SNET) Retrieved 12 de Septiembre de 2012 from Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Meteorología: <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>
- MISION GEOLOGICA ALEMANA. (1978): 6 mapas geológicos de la República de El Salvador.- Escala 1:100000, IGN, San Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Programa de las Naciones Unidas (MAG-PNUD, 1981). Recursos y Demandas Potenciales en la Región C. Plan Maestro de Aprovechamiento y Desarrollo de los Recursos Hídricos en El Salvador (PLAMDARH). Documento básico N° 10, Recursos y Demandas Potenciales en el Región C.
- Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL). 1984. Léxico Estratigráfico de El Salvador.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2004). El estado de los recursos hídricos en la región hidrográfica Cara Sucia- San Pedro Belén en la zona sur de Ahuachapán. El Salvador. UICN. Ahuachapán: Proyecto: Manejo integrado de cuencas asociadas al complejo hidrográfico Barra de Santiago- El Imposible (BASIM). Ahuachapán. El Salvador.
- Fundación Nacional para el Desarrollo (Funde, 2009). Política de agua: Ampliación de la Cobertura Gestión Descentralizada del Agua, Institucionalización del pago de Servicios Ambientales.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2005). Proyecto: Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra De Santiago,

Ahuachapán, El Salvador (BASIM), Plan de Monitoreo para Sistemas de Abastecimiento de Río o Nacimiento en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.

- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2005). Proyecto: Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra De Santiago, Ahuachapán, El Salvador (BASIM), Calidad del agua en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2005). Proyecto: Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra De Santiago, Ahuachapán, El Salvador (BASIM), Plan de Monitoreo para Sistemas de Abastecimiento de Pozos Perforados en el Sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2004). Proyecto: Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra De Santiago, Ahuachapán, El Salvador (BASIM), El Estado de los Recursos Hídricos en la Región Hidrográfica Cara Sucia – San Pedro Belén en la Zona Sur de Ahuachapán, El Salvador.
- Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, 2005). Proyecto: Manejo Integrado de Cuencas Asociadas al Complejo Hidrográfico El Imposible – Barra De Santiago, Ahuachapán, El Salvador (BASIM), Informe Final de Consultoría Uso de Agua en Sistemas de Riego en el Sur de Ahuachapán.
- Sitios web: <http://www.anda.gob.sv/index.php>  
<http://www.umoar.edu.sv/tesis/Ingenieria Industrial>  
[http://www.zonu.com/mapas\\_el\\_salvador](http://www.zonu.com/mapas_el_salvador)

## ANEXOS

- ANEXO I. PERFIL LITOLÍCO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO LOCALIZADO EN HACIENDA LA DANTA.
- ANEXO II. PERFIL LITOLÍCO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO LOCALIZADO EN CASERÍO SANTA ELENA (EL COROZO).
- ANEXO III. DATOS DE CAMPO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV) Y PERFILES LITOLÓGICOS RESULTANTES.
- ANEXO IV. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA MEDIDA DURANTE EL MONITOREO Y RESULTADOS DE MUESTREO QUÍMICO.
- ANEXO V. HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL EN RÍOS, MEDIANTE AFOROS.
- ANEXO VI. HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD, MEDIANTE PERMEAMETRO GUELPH.
- ANEXO VII. HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD, MEDIANTE DOBLE ANILLO.

**ANEXO I.**  
**PERFIL LITOLÓGICO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO  
LOCALIZADO EN HACIENDA LA DANTA.**

HACIENDA LA DANTA, SAN FRANCISCO MENÉNDEZ. AHUACHAPÁN.

Fecha: 31-Ene-2012  
 Hora: 12:20 a 1:15 p.m.

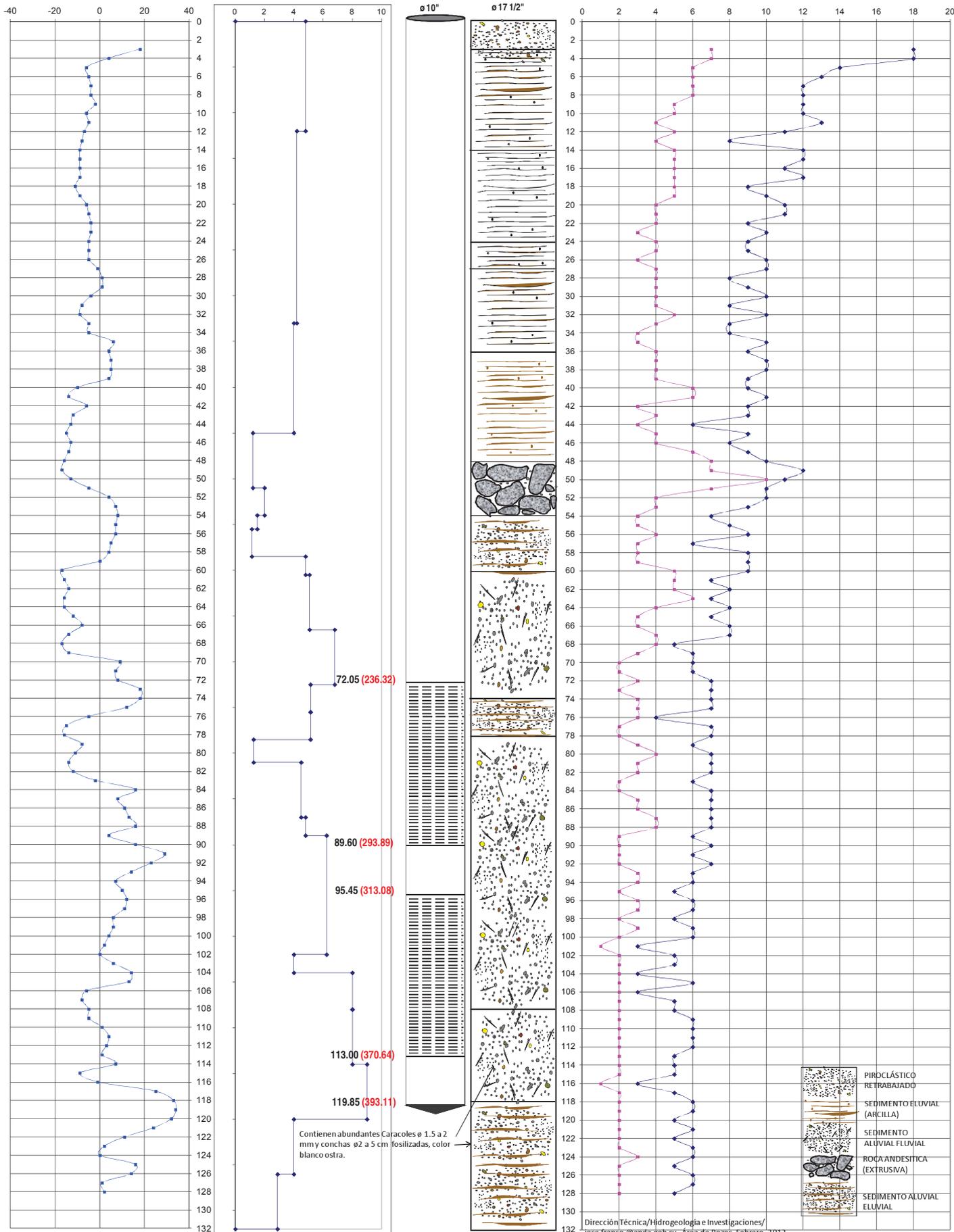
Escala: Short Long  
 Polaridad: +y-  
 Potencial (mV)

Velocidad de Perforación (m/hr)

Diseño

Litología

Resistividad (ohm/m)



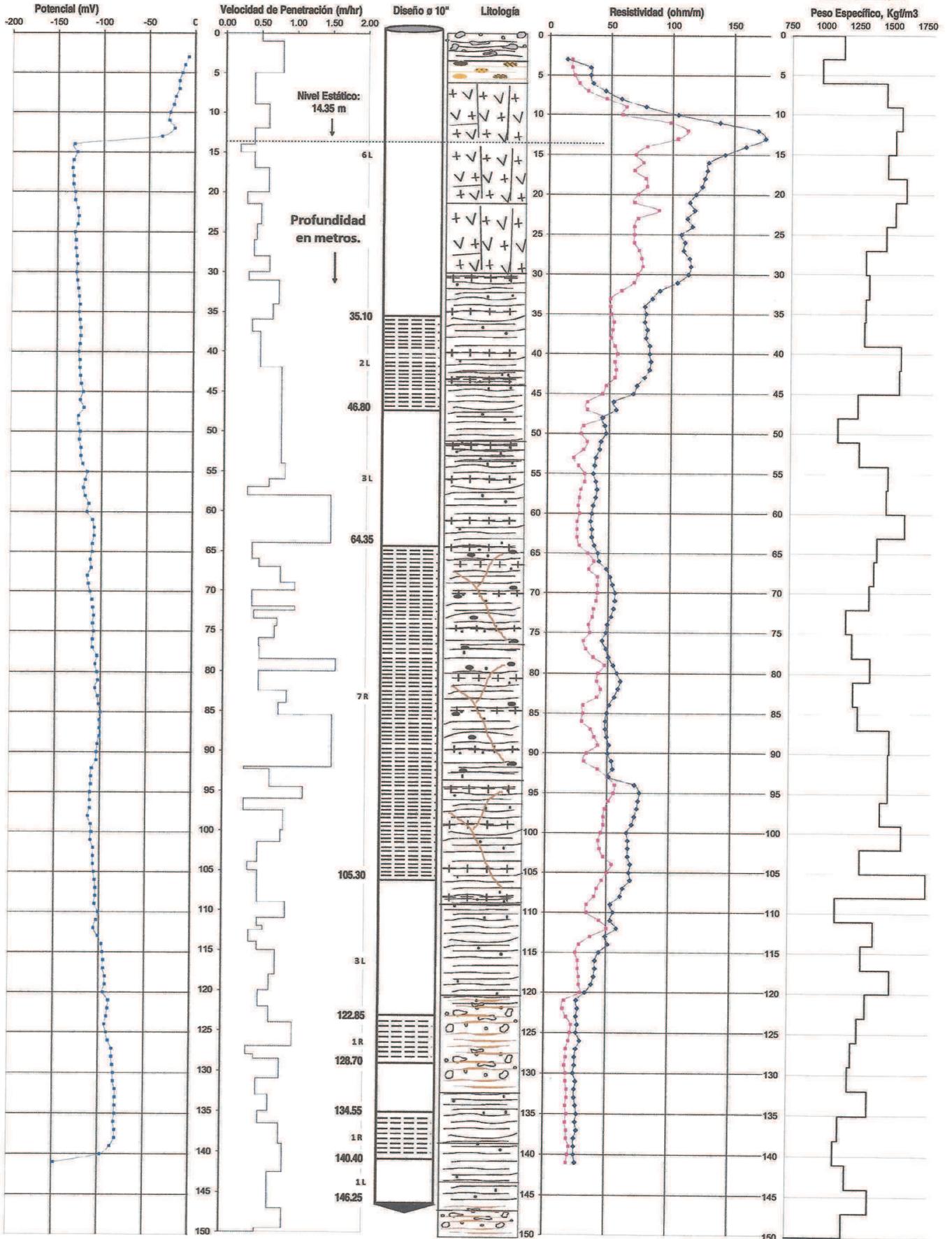
**ANEXO II.**

**PERFIL LITOLÓGICO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO  
LOCALIZADO EN CASERÍO SANTA ELENA (EL COROZO).**

Escala: Short Long  
Polaridad: -

POZO CASERÍO SANTA ELENA, CANTÓN CARA SUCIA . SAN FRANCISCO MENÉNDEZ. AHUACHAPÁN

Fecha: 05-Junio-2012  
Hora: 04:25 a 5:29 p.m.



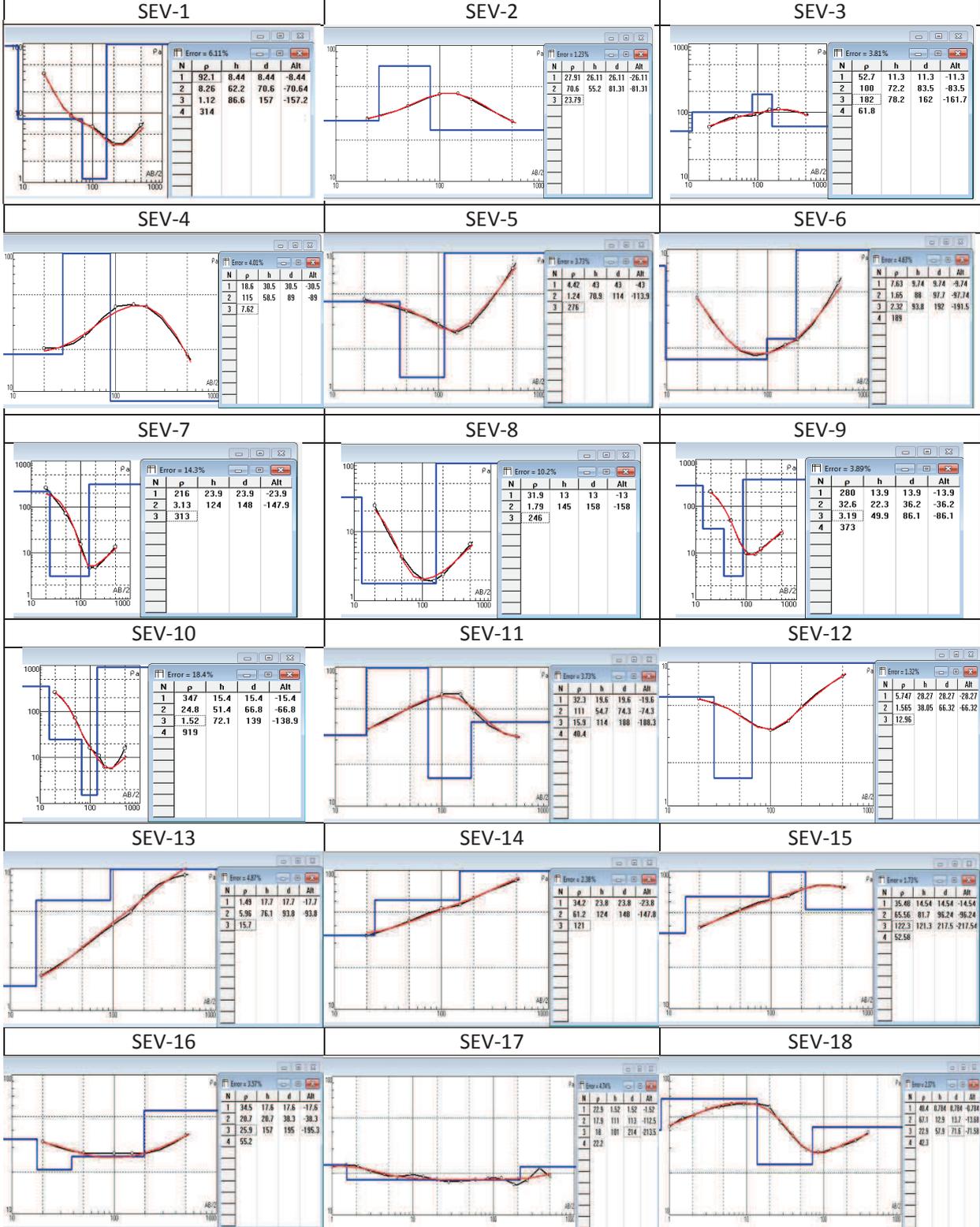
**ANEXO III.**

**DATOS DE CAMPO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES  
(SEV) Y PERFILES LITOLÓGICOS RESULTANTES.**

<b>Resistividad Aparente de Sondeos (SEV)</b>																	
<b>SEV/A B/2)</b>	<b>MN</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>
20	3	36.68	28.77	60.21	20.47	4.58	4.52	260	23.88	206.77	263.59	35.56	5.58	1.76	33.63	38.79	33.07
50	10	9	35.74	87.1	25.13	3.75	1.97	71.21	4.35	48.79	72.88	50.94	4.31	2.73	43.08	52.58	27.27
100	30	6.27	43.78	91.63	40.84	3.02	1.82	15.37	2.05	9.89	15.88	63.53	3.36	4.03	52.94	62.47	27.23
150	60	4.55	44.21	109.2	42.41	2.61	2.1	4.71	1.94	9.42	11.09	63.28	3.93	4.96	56.55	66.2	27.05
200	90	3.56	39.77	110	40.8	2.98	2.3	4.81	2.4	12.37	6.25	48	4.89	6.36	62.78	73.95	27
500	90	6.67	27.61	93.82	18.27	7.68	5.76	13.36	6.57	26.12	15.64	31.66	8	9	84.44	76.76	36.57

<b>S17</b>				<b>S18</b>		
<b>Punto</b>	<b>AB/2 (m)</b>	<b>MN/2 (m)</b>	<b><math>\rho</math> (Vm)</b>	<b>AB/2 (m)</b>	<b>MN/2 (m)</b>	<b><math>\rho</math> (Vm)</b>
1	1	0.5	22.179	1	0.5	42.812
2	1.5	0.5	23.009	1.5	0.5	49.009
3	2.1	0.5	22.335	2.1	0.5	51.492
4	3	0.5	20.589	3	0.5	56.352
5	4.4	0.5	19.452	4.4	0.5	58.835
6	6.4	0.5	18.673	6.4	0.5	61.389
7	9.2	0.5	19.619	9.2	0.5	63.629
8	9.2	2	18.114	9.2	2	60.168
9	13.6	2	17.481	13.6	2	61.967
10	20	2	16.484	20	2	58.782
11	28	2	15.928	28	2	45.333
12	40	2	16.295	40	2	36.351
13	40	10	16.258	40	10	36.521
14	60	10	16.493	60	10	29.138
15	85	10	16.788	85	10	27.980
16	125	10	17.071	125	10	29.264
17	180	10	15.221	180	10	30.949
18	180	40	16.933	180	40	31.689
19	260	40	18.143	260	40	33.694
20	380	40	22.431	380	40	38.693
21	500	40	19.509	-	-	-

## Gráficas Resultantes del Procesamiento de datos de los SEV, con el Software IPI2Win.



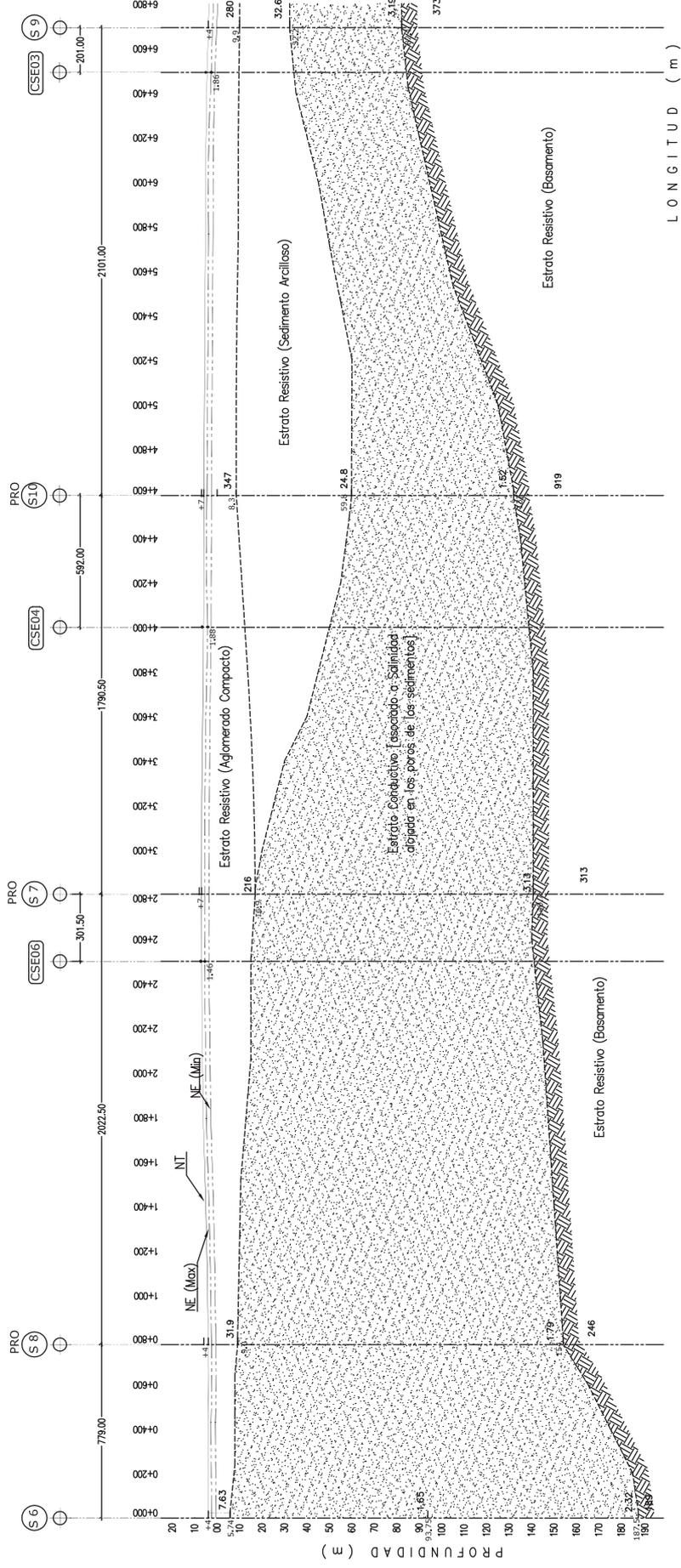
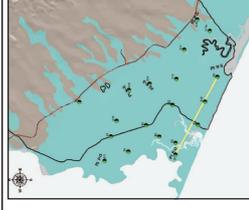


# Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

Trabajo de Graduación:

## "Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán"

Universidad de El Salvador  
Hacia la libertad por la cultura



Simbología Estratigráfica		Nomenclatura		Contenido: Perfil P1 P-O	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción		
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo	Elaboración Propia:	
	Estrato Conductivo	NEMin	Nivel Estático Mínimo	Ingra. Glenda Xiomara Campos Hernández	
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical	Fecha:	Número de Hoja:
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado	Noviembre 2015	1/6

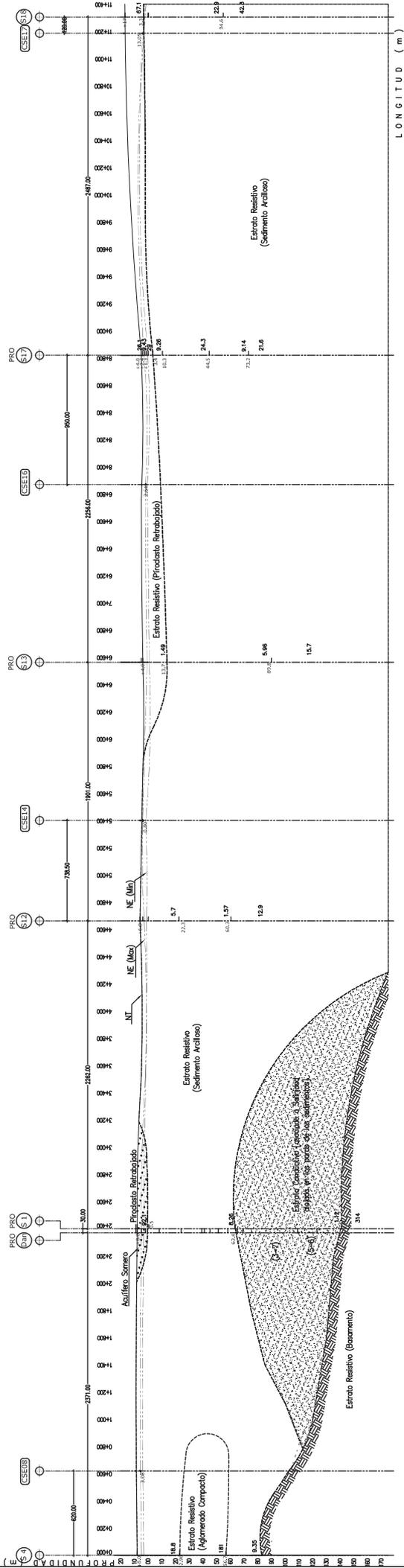
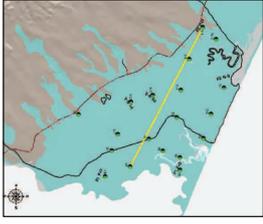


**Universidad de El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

# Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

Trabajo de Graduación:

"Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán"



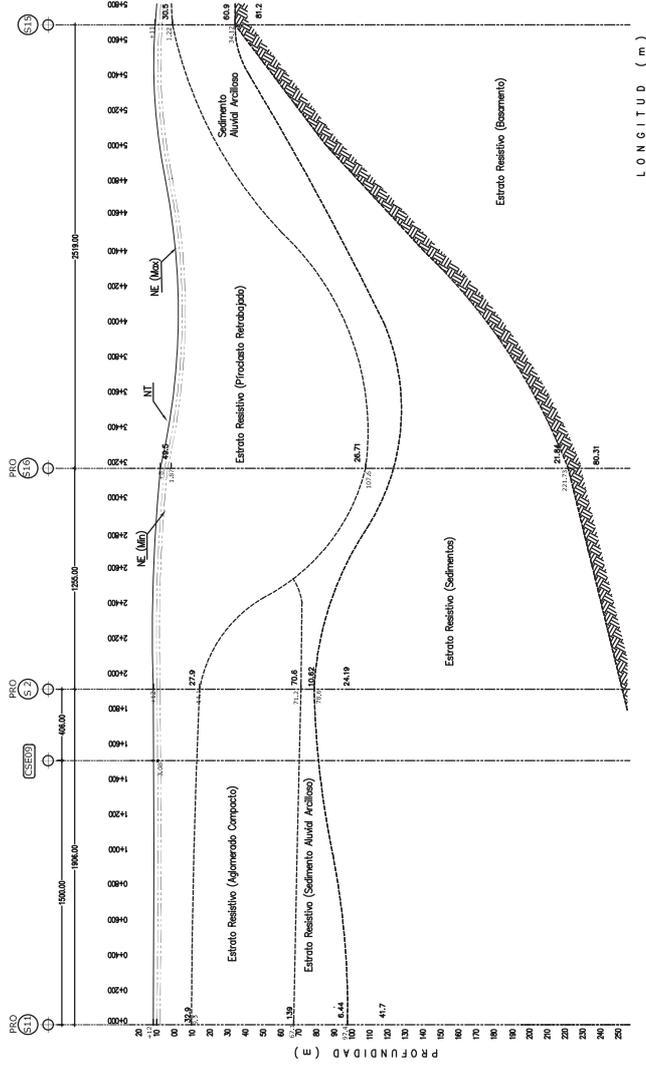
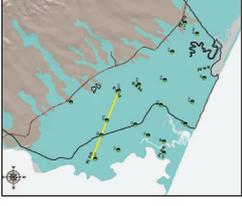
Simbología Estratigráfica		Nomenclatura		Contenido:	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción	Perfil P2 P-O	
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo	Elaboración Propia:	
	Estrato Conductivo	NEMin	Nivel Estático Mínimo	<b>Ingra. Glenda Xiomara Campos Hernández</b>	
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical	Fecha:	Número de Hoja:
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado	<b>Noviembre 2015</b>	<b>2/6</b>



**Universidad de El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

# Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

## Trabajo de Graduación: "Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán"



Simbología Estratigráfica		Nomenclatura		Contenido: <b>Perfil P3 P-O</b>	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción		
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo	Elaboración Propia: <b>Ingra. Glenda Xiomara Campos Hernández</b>	
	Estrato Conductivo	NEMin	Nivel Estático Mínimo	Fecha: <b>Noviembre 2015</b>	
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical	Número de Hoja: <b>3/6</b>	
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado		





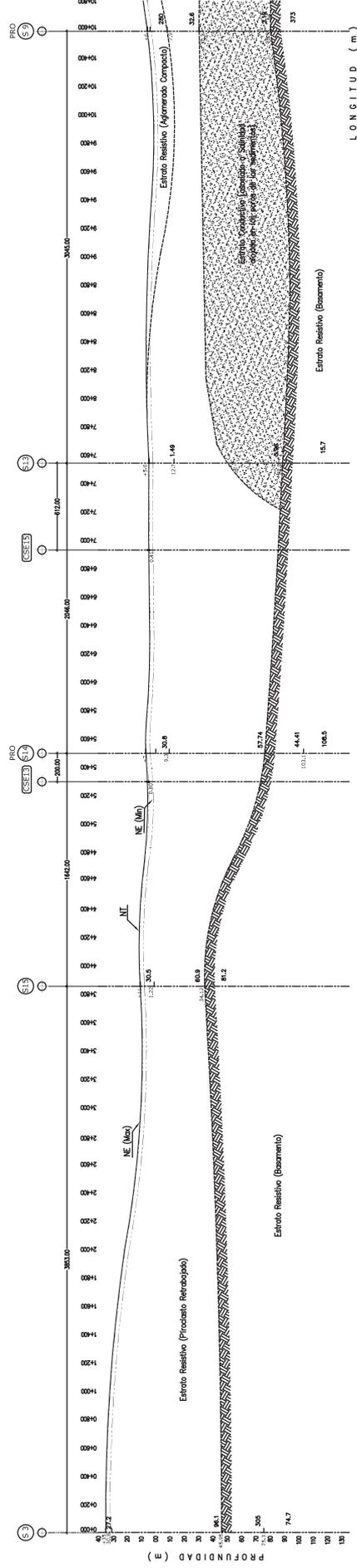
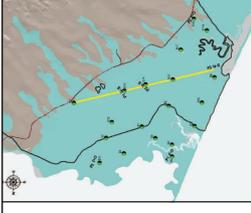


**Universidad de El Salvador**  
Hacia la libertad por la cultura

## Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

Trabajo de Graduación:

"Estudio de la Salinidad del Acuífero Costero de la Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán"



Simbología Estratigráfica		Nomenclatura		Contenido: Perfil P3 N-S	
Identificación	Descripción	Abreviatura	Descripción		
	Estrato Resistivo	NEMax	Nivel Estático Máximo	Elaboración Propia: <b>Ingra. Glenda Xiomara Campos Hernández</b>	
	Estrato Conductivo	NEMin	Nivel Estático Mínimo	Fecha: <b>Noviembre 2015</b>	
	Nivel de Terreno (NT)	S	Sondeo Eléctrico Vertical	Número de Hoja: <b>6/6</b>	
	Nivel Estático (NE)	CSE	Pozo Excavado		

**ANEXO IV.**

**CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA MEDIDA DURANTE EL  
MONITOREO Y RESULTADOS DE MUESTREO QUÍMICO.**

### Conductividad eléctrica medida en campo durante el monitoreo.

ID	PROPIETARIO	X	Y	Fecha	Temp [°C]	Cond [µS/cm]	Salin [%]	TDS (ppm, mg/L)	NE [m]	Prof [m]
CSE-01	Tomás Ernesto	-90.023373	13.705915	17/11/2012	28.0	278	0.1	124.7	3.55	4.8
		-90.0234	13.7059	02/02/2013	29.7	358	0.1	155.05	3.68	4.8
CSE-01-2	Humberto Viana (puntera)	-90.0233	13.7057	07/04/2013	30.7	451.0	0.2	220.0	3.7	4.8
		-90.0233	13.7057	06/07/2013	32.2	384.0	0.1	185.0	3.4	
		-90.0233	13.7057	21/09/2013	25.8	287.0	0.1	137.9	3.0	
CSE-02	Luis Alberto Arévalo	-90.032284	13.711440	17/11/2012	27.3	256	0.1	118.8	3.8	5.05
		-90.0323	13.7114	02/02/2013	27.3	337	0.1	153.8	4.05	5
		-90.0323	13.7114	06/04/2013	28.9	308.0	0.1	303.5	4.1	
		-90.0323	13.7114	06/07/2013	29.0	278.0	0.1	133.7	3.6	
		-90.0323	13.7114	21/09/2013	24.4	320.0	0.1	153.9	3.1	
CSE-03	Dominga Sosa	-90.049336	13.718393	17/11/2012	28.4	504	0.2	231.5	2.9	4.5
		-90.0493	13.7184	02/02/2013	28.4	425	0.1	189.35	3.25	4.55
		-90.0493	13.7184	06/04/2013	29.3	412.5	0.1	201.5	4.1	
		-90.0493	13.7184	06/07/2013	29.4	481.0	0.2	223.0	3.5	
CSE-04	Ana Deysi Martínez	-90.0493	13.7184	21/09/2013	21.9	438.0	0.2	211.0	2.5	
		-90.063950	13.725385	17/11/2012	27.8	593	0.2	272.5	2.85	4.25
		-90.0640	13.7254	02/02/2013	28.2	581.0	0.20	261	3.50	4.31
		-90.0640	13.7254	06/04/2013	28.8	523.0	0.2	259.0	4.0	
		-90.0640	13.7254	06/07/2013	28.6	350.0	0.1	168.0	3.5	
CSE-05	María Guzmán	-90.0640	13.7254	21/09/2013	22.1	464.0	0.2	224.0	2.5	
		-90.081765	13.724798	27/10/2012	29.6	960	0.4	435.5	2.94	3.85
		-90.0818	13.7248	02/02/2013	29.5	949	0.4	415	3.07	3.85
		-90.0818	13.7248	06/04/2013	29.9	858.5	0.4	423.5	2.9	
CSE-06	María Petrona Alvarado	-90.0818	13.7248	06/07/2013	29.9	1059.0	0.5	521.0	2.6	
		-90.0818	13.7248	21/09/2013	25.8	679.0	0.3	330.0	2.5	
		-90.075300	13.732508	27/10/2012	28.5	640	0.2	291.5	2.27	4.15
		-90.0753	13.7325	02/02/2013	28.7	670	0.3	298	3.2	4.1
		-90.0753	13.7325	06/04/2013	29.8	565.0	0.2	276.5	3.6	
CSE-07	Juan Isai Flores Melara	-90.0753	13.7325	06/07/2013	29.1	583.0	0.2	283.0	3.0	
		-90.0753	13.7325	21/09/2013	21.7	428.0	0.2	207.0	1.8	
		-90.078183	13.754725	13/10/2012	29.1	1283	0.6	602	1.95	4.55
		-90.0782	13.7547	26/01/2013	28.7	1103	0.5	490.5	3.32	4.52
		-90.0782	13.7547	06/04/2013	29.3	961.0	0.4	474.5	3.9	
CSE-08	Marta Isabel Portillo	-90.0782	13.7547	06/07/2013	29.4	1058.0	0.5	520.0	3.6	
		-90.0782	13.7547	07/09/2013	29.6	1236.0	0.6	610.0	2.2	
		-90.096798	13.767370	13/10/2012	30.1	948	0.4	434	3.7	6.2
		-90.0968	13.7674	26/01/2013	29.7	1621.0	0.7	705	4.92	6.27
		-90.0968	13.7674	06/04/2013	33.0	1584.0	0.8	789.0	5.4	
CSE-09	Noe Flores	-90.0968	13.7674	06/07/2013	33.3	1585.0	0.8	789.0	5.1	
		-90.0968	13.7674	07/09/2013	29.6	1337.0	0.6	662.0	4.0	
		-90.0842	13.7960	26/01/2013	28.8	631.0	0.2	279.5	3.90	5.67
		-90.0842	13.7960	06/04/2013	29.3	584.0	0.2	286.0	4.5	
		-90.0842	13.7960	06/07/2013	29.1	607.0	0.2	295.0	4.0	
CSE-10	Edith Retana	-90.0842	13.7960	07/09/2013	28.7	786.0	0.3	384.0	2.8	
		-90.084805	13.843944	05/10/2012	29.1	279	0.01	131.7	1.45	7.57
		-90.0848	13.8439	26/01/2013	29.6	302.0	0.1	137.7	6.67	7.57
		-90.0848	13.8439	06/07/2013	29.0	413.0	0.1	199.4	5.3	
		-90.0848	13.8439	07/09/2013	8.4	317.0	0.1	152.3	2.2	
CSE-11	Aquilino Cruz	-90.070711	13.834085	06/10/2012	28.3	341	0.1	161.95	2.98	4.3
		-90.0707	13.8341	26/01/2013	29.0	315	0.1	137.35	3.22	4.3
		-90.0707	13.8341	06/04/2013	28.7	285.5	0.1	139.6	3.3	
		-90.0707	13.8341	06/07/2013	27.9	322.0	0.1	154.8	2.9	
		-90.0707	13.8341	07/09/2013	25.8	4.8	0.2	230.0	2.7	
CSE-12		-90.036995	13.786762	06/10/2012	28.6	341	0.1	145.45	9.6	13.4
		-90.0370	13.7868	26/01/2013	28.6	256	0	115.2	10.52	13.4
		-90.0370	13.7868	06/04/2013	28.0	203.0	0.0	102.1	12.7	
		-90.0370	13.7868	06/07/2013	27.6	247.0	0.0	118.3	10.7	
		-90.0370	13.7868	07/09/2013	27.9	222.0	0.0	106.2	9.2	

ID	PROPIETARIO	X	Y	Fecha	Temp [°C]	Cond [µS/cm]	Salin [%]	TDS (ppm, mg/L)	NE [m]	Prof [m]
CSE-13	Luis Antonio Montano	-90.0506	13.7606							
		-90.0506	13.7606	02/02/2013	29.4	517.00	0.20	226	3.73	6.10
		-90.0506	13.7606	07/04/2013	28.9	490.5	0.2	241.0	4.4	
		-90.0506	13.7606	13/07/2013	27.7	521.0	0.2	252.0	3.5	
		-90.0506	13.7606	21/09/2013	26.9	508.0	0.2	246.0	1.4	
CSE-14	Francisco Meléndez	-90.0524	13.7497							
		-90.0524	13.7497	02/02/2013	28.6	640.00	0.20	283.5	3.74	5.00
		-90.0524	13.7497	07/04/2013	29.0	591.0	0.2	290.0	4.1	
		-90.0524	13.7497	13/07/2013	27.2	651.0	0.3	316.0	3.3	
		-90.0524	13.7497	21/09/2013	24.6	878.0	0.4	430.0	1.9	
CSE-15	Francisca Perdomo	-90.0495	13.7459							
		-90.0495	13.7459	02/02/2013	27.2	5800.00	3.00	2920.00	3.35	4.20
		-90.0495	13.7459	07/04/2013	29.3	5855.0	3.1	3010.0	3.8	
		-90.0495	13.7459	13/07/2013	28.2	6940.0	3.8	3680.0	2.6	
		-90.0495	13.7459	21/09/2013	24.5	6530.0	3.6	3460.0	1.2	
CSE-16	Ana Julia Alfaro	-90.021000	13.754683	05/10/2012	28.2	239	0.1	107.1	3.53	5
		-90.0210	13.7547	02/02/2013	27.5	256.00	0.00	121.45	3.80	5.00
		-90.0210	13.7547	07/04/2013	29.5	228.5	0.0	113.0	4.1	
		-90.0210	13.7547	13/07/2013	28.8	248.0	0.0	118.7	3.7	
		-90.0210	13.7547	21/09/2013	25.6	225.0	0.0	107.7	2.9	
CSE-17	Pedro Pleitez	-90.000411	13.731699							
		-90.000411	13.731699	02/02/2013	29.4	356.00	0.10	155.95	14.35	16.00
		-90.000411	13.731699	07/04/2013	29.6	323.5	0.1	156.4	13.8	
		-90.000411	13.731699	13/07/2013	28.8	383.0	0.1	184.2	14.5	
		-90.000411	13.731699	21/09/2013	22.7	338.0	0.1	162.0	13.9	
CSE-18	AGUA VIDA	-90.0978	13.7693							
		-90.0978	13.7693	26/01/2013	30.2	769	0.3	334	---	---
		-90.0978	13.7693	06/04/2013	31.5	737.0	0.3	362.0	-	-
		-90.0978	13.7693	06/07/2013	30.9	801.0	0.3	391.0	-	-
		-90.0978	13.7693	07/09/2013	29.8	865.0	0.4	423.0	-	-
CSP-02a	PLANSABAR, HACHADURA	-90.090659	13.847662	06/10/2012	27.5	550	0.2	247.5	23.75	40
		-90.0907	13.8477	26/01/2013	29.7	309	0.1	135.1	-	40
		-90.0907	13.8477	06/04/2013	30.7	451.0	0.2	221.0	-	-
		-90.0907	13.8477	06/07/2013	29.2	468.0	0.2	226.0	-	-
		-90.0907	13.8477	07/09/2013	29.4	552.0	0.2	268.0	-	-
CSP-02b	PLANSABAR, HACHADURA	-90.0907	13.8477							
		-90.0907	13.8477	26/01/2013	29.6	596	0.2	236.5	-	102
		-90.0907	13.8477	06/04/2013	30.6	261.0	0.0	128.0	-	-
		-90.0907	13.8477	06/07/2013	30.2	404.0	0.1	195.0	-	-
		-90.0907	13.8477	07/09/2013	29.8	447.0	0.2	216.0	-	-
CSP-03	PLANSABAR, ACAHUAPA	-90.083352	13.862052	06/10/2012	29.6	---	---	207	4.65	70
		-90.0834	13.8621	26/01/2013	27.8	404	0.1	182.6	4.65	70
		-90.0834	13.8621	06/04/2013	29.5	377.0	0.1	185.0	-	-
		-90.0834	13.8621	06/07/2013	29.3	393.0	0.1	189.4	-	-
		-90.0834	13.8621	07/09/2013	29.7	420.0	0.1	203.0	-	-
CSP-04	ASEPROS	-90.028962	13.779386	27/10/2012	28.2	131.9	0.1	135	-	140
		-90.0290	13.7794	02/02/2013	29.4	281	0	125.7	-	-
		-90.0290	13.7794	07/04/2013	29.7	252.5	0.0	121.7	-	-
		-90.0290	13.7794	13/07/2013	28.0	270.9	0.1	133.9	-	-
		-90.0290	13.7794	18/09/2013	29.6	271.0	0.1	132.5	-	-
CSP-05	ASEPROS	-90.026863	13.780897	27/10/2012	29.0	306	0.1	140.25	-	140
		-90.0269	13.7809	02/02/2013	44.5	372	0	124.45	-	-
		-90.0269	13.7809	07/04/2013	31.2	266.5	0.0	127.9	-	-
		-90.0269	13.7809	13/07/2013	28.4	274.0	0.1	131.6	-	-
		-90.0269	13.7809	18/09/2013	28.6	265.5	0.1	133.5	-	-
CSP-06	ASEPROS	-90.026767	13.781290	27/10/2012	28.0	292	0.1	131.7	-	140
		-90.0268	13.7813	02/02/2013	29.6	286	0.1	122.25	-	-
		-90.0268	13.7813	07/04/2013	29.6	265.0	0.1	128.8	-	-
		-90.0268	13.7813	13/07/2013	28.4	284.0	0.1	136.0	-	-
		-90.0268	13.7813	18/09/2013	28.9	282.9	0.1	139.0	-	-

### Resumen de resultados de muestreo químico.

N°	Referencia	Identificación de la Muestra	Fecha Muestreo	Parámetros de campo				Parámetros de Laboratorio																					
				Temperatura	pH	TDS	Conductividad Eléctrica	pH		Conductividad Eléctrica	Alcalinidad Total	Bicarbonatos	Boro	Calcio	Cloruros	Dureza Total	Fluoruros	Fosfatos	Hierro Total	Magnesio	Manganeso Total	Nitratos	Nitrogeno Amoniacal	Potasio	Silice	Sodio	TDS	Sulfatos	Arsénico
				°C	Unidades	mg/L	µS/cm	Unidades	TEMP. (°C)	µS/cm	mg/L CaCO <sub>3</sub>	mg/L HCO <sub>3</sub>	mg/L B	mg/L Ca	mg/L Cl	mg/L CaCO <sub>3</sub>	mg/L F	mg/L PO <sub>4</sub>	mg/L Fe	mg/L Mg	mg/L Mn	mg/L NO <sub>3</sub>	mg/L NH <sub>4</sub>	mg/L K	mg/L SiO <sub>2</sub>	mg/L Na	mg/L	mg/L SO <sub>4</sub>	mg/L As
<b>PRIMER MUESTREO</b>																													
1	13-0354	CSE-17	07/05/2013	29.8	6.54	237	340	6.235	21	316	53.18	53.18	---	24.51	31.39	91.9	0.21	1.01	<0.009	7.46	<0.024	7.4	0.19	1.9	139.14	26.7	155	35.83	---
2	13-0355	CSE-12	07/05/2013	29.7	6.83	129	185.1	6.811	19	166.8	84.38	84.38	---	17.07	8.65	73.12	0.6	0.52	0.034	7.41	<0.024	1.15	0.29	1.38	101.39	19.4	82	<7	---
3	13-0356	CSE-11	07/05/2013	30.1	6.75	203	288	7.034	20	265.15	162.39	162.39	---	31.79	4.94	123.81	0.23	0.43	<0.009	10.79	<0.024	3.55	0.24	2.5	89.19	17.65	130	11.71	---
4	13-0357	CSE-09	07/05/2013	29.7	7.3	397	586	7.565	20	526.5	280.81	280.81	---	59.45	22.74	275.5	0.75	1.07	<0.009	30.85	0.773	0.55	0.26	3.65	90.24	28.9	258	45.98	---
5	13-0358	CSE-07	07/05/2013	19.9	7.35	708	1018	7.772	20	910	322.64	322.64	---	15.21	137.67	74.93	1.16	3.68	<0.009	8.98	<0.024	0.9	0.35	6.83	89.46	136.75	446	27.87	---
6	13-0359	CSE-05	07/05/2013	30.8	7.39	705	1016	7.5865	20	912.5	393.08	393.08	---	40.61	113.45	410.62	0.47	0.39	<0.009	75.1	<0.024	0.8	0.28	10.45	37.68	35.65	447	33.84	---
7	13-0360	CSE-03	07/05/2013	30.4	7.72	284	406	7.4015	19	372.5	115.35	115.35	---	28.23	15.32	147.85	0.44	0.67	<0.009	18.79	<0.024	17.85	0.22	3.13	69.79	29.65	182.5	48.51	---
8	13-0361	CSE-01	07/05/2013	32.2	8.58	333	480	7.941	20	434.5	216.75	216.75	---	23.22	24.22	114.72	0.56	1.3	<0.009	13.78	<0.024	4.1	0.24	3.35	56.03	53.8	212.5	19.32	---
9	13-0362	CSE-15	07/05/2013	30.6	7.16	4270	6130	7.823	21	5400	1095.81	1095.81	---	80.24	1307.47	551.4	0.19	5.64	0.038	85.25	0.211	4.7	2.31	26.68	87.36	335	2646.5	141.56	---
10	13-0363	CSE-14	07/05/2013	30.7	7	433	610	7.235	20	562.5	355.97	355.97	---	41.17	11.37	179.76	0.73	4.42	0.213	18.69	2.182	5	0.77	5	90.11	65.35	275.5	8.52	---
<b>SEGUNDO MUESTREO</b>																													
1	13-0876	CSE-17	08/10/2013	27.4	7.87	210	302	6.0155	17	---	35.24	35.24	0.23	21.75	37.54	83.55	0.29	0.51	<0.009	7.1	0.069	28.19	0.17	0.6	104.94	32.15	166.5	22.14	0.00198
2	13-0877	CSE-12	08/10/2013	28.4	6.99	231	333	5.4365	16	---	24.73	24.73	0.67	27.8	67.17	123.14	0.16	0.22	<0.009	13.04	0.067	30.16	<0.06	0.63	64.18	23.8	192	16.74	0.00088
3	13-0878	CSE-11	08/10/2013	28.8	7.8	196	281	5.8655	17	---	170.95	170.95	1.07	40.23	5.93	139.25	0.15	0.16	<0.009	9.42	0.124	<0.04	0.09	2.23	80.28	18.7	161.5	10.44	0.00092
4	13-0879	CSE-09	08/10/2013	28.4	8.39	366	513	6.3815	17	---	302.57	302.57	<0.02	65.25	17.78	256.42	0.47	0.64	<0.009	22.71	0.249	<0.04	0.09	7.5	87.55	27.6	296	32.73	0.00227
5	13-0880	CSE-07	08/10/2013	29.2	8.5	710	985	6.638	17	---	379.87	379.87	0.24	25.81	165.95	111	1.32	4.52	<0.009	11.3	0.162	<0.04	0.06	8.43	78.67	614	592.5	31.41	0.00707
6	13-0881	CSE-05	08/10/2013	29.4	8.57	436	630	6.4575	17	---	284.46	284.46	<0.02	33.06	69.15	240.9	0.39	0.29	<0.009	38.45	0.184	<0.04	0.33	10.75	39.34	52.75	360	28.17	0.00146
7	13-0882	CSE-03	08/10/2013	29.8	9.2	233	337	6.7315	17	---	138.44	138.44	<0.02	33.14	9.88	132.48	0.42	0.55	<0.009	12.08	0.051	17.32	0.19	28.05	59.93	40.2	195	19.82	0.00274
8	13-0883	CSE-01	08/10/2013	29.5	9.72	143	207	7.5965	17	---	125.97	125.97	0.19	13.78	5.93	79.77	0.39	0.76	<0.009	11.01	0.042	15.49	0.07	1.78	64.49	27.15	129	<7	0.00767
9	13-0884	CSE-15	08/10/2013	29.9	8.08	6180	8720	6.9205	16	---	1292.45	1292.45	0.77	113.44	1733.58	747.76	0.89	4.22	0.088	112.8	0.704	6.23	1.21	26.55	71.03	3084	3609.5	185.86	0.00225
10	13-0885	CSE-14	08/10/2013	29.3	8.3	509	226	6.193	16	---	445.48	445.48	<0.02	56.16	23.71	261.99	0.7	3.5	2.423	29.57	3.38	2.37	0.13	4.7	77.44	272.5	409	22.18	0.00446



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0354  
 Identificación de la Muestra : CSE-17  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	09:45:00 a.m.	
Temperatura	29.8	°C
pH	6.54	Unidades
TDS	237	mg/L
Conductividad Eléctrica	340	µS/cm

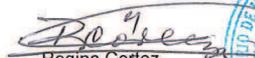
**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.235, 21 °C	± 0.037	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	316.00	± 0.000	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	53.18	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	53.18	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	24.51	± 0.572	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	31.39	± 0.350	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	91.90	± 1.999	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.21	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	1.01	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	7.46	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	7.40	± 0.14	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniaco	0.19	± 0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	1.90	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	139.14	± 0.56	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	26.70	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	155.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	35.83	± 0.53	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio





Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0355  
 Identificación de la Muestra : CSE-12  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	10:15:00 a.m.	
Temperatura	29.7	°C
pH	6.83	Unidades
TDS	129	mg/L
Conductividad Eléctrica	185.1	µS/cm

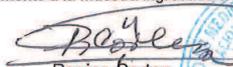
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.811, 19 °C	± 0.000	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	166.80	± 0.000	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	84.38	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	84.38	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	17.07	± 0.343	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	8.65	± 0.350	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	73.12	± 1.714	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.60	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.52	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.034	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	7.41	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.006	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	1.15	± 0.07	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.29	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	1.38	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	101.39	± 0.93	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	19.40	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	82.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	<7	± 0.00	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio





**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0356  
 Identificación de la Muestra : CSE-11  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	10:30:00 a.m.	
Temperatura	30.1	°C
pH	6.75	Unidades
TDS	203	mg/L
Conductividad Eléctrica	288	µS/cm

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.034, 20 °C	± 0.004	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	265.15	± 0.495	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	162.39	± 1.003	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	162.39	± 1.003	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	31.79	± 0.114	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	4.94	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	123.81	± 1.428	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.23	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.43	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	10.79	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	3.55	± 0.07	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.24	± 0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	2.50	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	89.19	± 0.37	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	17.65	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	130.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	11.71	± 0.11	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0357  
Identificación de la Muestra : CSE-09  
Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
Observaciones y Apariencia de la Muestra :

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	10:55:00 a.m.	
Temperatura	29.7	°C
pH	7.3	Unidades
TDS	397	mg/L
Conductividad Eléctrica	586	µS/cm

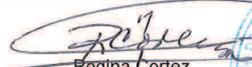
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.565, 20 °C	± 0.001	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	526.50	± 3.536	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	280.81	± 0.669	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	280.81	± 0.669	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	59.45	± 0.114	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	22.74	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	275.50	± 1.143	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.75	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	1.07	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	30.85	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.773	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	0.55	± 0.07	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.26	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	3.65	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	90.24	± 0.00	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	28.90	± 0.003	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	258.00	± 1.414	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	45.98	± 0.06	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0358  
 Identificación de la Muestra : CSE-07  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	11:15:00 a.m.	
Temperatura	19.9	°C
pH	7.35	Unidades
TDS	708	mg/L
Conductividad Eléctrica	1018	µS/cm

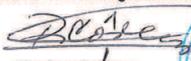
**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.772, 20 °C	± 0.001	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	910.00	± 2.828	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	322.64	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	322.64	± 0.334	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	15.21	± 0.229	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	137.67	± 0.350	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	74.93	± 1.428	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	1.16	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	3.68	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	8.98	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	0.90	± 0.14	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniaco	0.35	± 0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	6.83	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	89.46	± 0.37	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	136.75	± 0.004	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	446.00	± 1.414	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	27.87	± 0.11	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio





**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0359  
 Identificación de la Muestra : CSE-05  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	11:32:00 a.m.	
Temperatura	30.8	°C
pH	7.39	Unidades
TDS	705	mg/L
Conductividad Eléctrica	1016	µS/cm

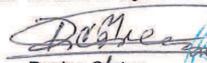
**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.5865, 20 °C	± 0.032	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	912.50	± 6.364	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	393.08	± 1.671	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	393.08	± 1.671	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	40.61	± 0.458	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	113.45	± 0.350	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	410.62	± 0.857	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.47	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.39	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	75.10	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	0.80	± 0.14	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.28	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	10.45	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	37.68	± 0.19	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	35.65	± 0.003	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	447.00	± 2.828	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	33.84	± 0.69	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0360  
 Identificación de la Muestra : CSE-03  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	11:55:00 a.m.	
Temperatura	30.4	°C
pH	7.72	Unidades
TDS	284	mg/L
Conductividad Eléctrica	406	µS/cm

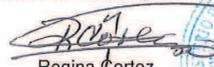
**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.4015, 19 °C	± 0.033	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	372.50	± 2.121	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	115.35	± 3.343	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	115.35	± 3.343	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	28.23	± 0.343	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	15.32	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	147.85	± 1.143	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.44	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.67	± 0.02	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	18.79	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	± 0.004	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	17.85	± 0.50	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.22	± 0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	3.13	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silíce	69.79	± 0.37	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	29.65	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	182.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	48.51	± 0.47	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

**Notas:**

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



Dirección General del  
Observatorio Ambiental

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0361  
Identificación de la Muestra : CSE-01  
Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
Observaciones y Apariencia de la Muestra :

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	12:20:00 p.m.	
Temperatura	32.2	°C
pH	8.58	Unidades
TDS	333	mg/L
Conductividad Eléctrica	480	µS/cm

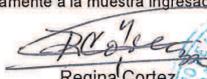
RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA		UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.941, 20 °C	±	0.025	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	434.50	±	2.121	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	216.75	±	1.003	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	216.75	±	1.003	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	23.22	±	0.572	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	±	0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	24.22	±	0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	114.72	±	1.143	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.56	±	0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	1.30	±	0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	±	0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	13.78	±	0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	<0.024	±	0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	4.10	±	0.14	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.24	±	0.00	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	3.35	±	0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silíce	56.03	±	0.19	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	53.80	±	0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	212.50	±	0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	19.32	±	0.19	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0362  
 Identificación de la Muestra : CSE-15  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
 Observaciones y Apariencia de la Muestra :

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	01:15:00 p.m.	
Temperatura	30.6	°C
pH	7.16	Unidades
TDS	4.27	mg/L
Conductividad Eléctrica	6.13	µS/cm

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA		UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.823, 21 °C	±	0.004	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	5400.00	±	14.142	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	1095.81	±	1.337	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	1095.81	±	1.337	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	80.24	±	0.458	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	±	0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	1307.47	±	3.495	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	551.40	±	0.571	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.19	±	0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	5.64	±	0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.038	±	0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	85.25	±	0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.211	±	0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	4.70	±	0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	2.31	±	0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	26.68	±	0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	87.36	±	0.37	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	335.00	±	0.009	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	2646.50	±	7.778	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	141.56	±	0.28	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Cortez*  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0363  
Identificación de la Muestra : CSE-14  
Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 07/05/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 07/05/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 09/05/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 17/05/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 28/05/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Subterránea  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo  
Observaciones y Apariencia de la Muestra :

PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS

		Expresado como
FECHA	07/05/2013	
HORA	01:30:00 p.m.	
Temperatura	30.7	°C
pH	7	Unidades
TDS	433	mg/L
Conductividad Eléctrica	610	µS/cm

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA		UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.235, 20 °C	±	0.003	Unidades	--	SMEWW 2340C
Conductividad Eléctrica	562.50	±	2.121	µS/cm	---	SMEWW 2510B
Alcalinidad Total	355.97	±	0.669	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	355.97	±	0.669	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Calcio	41.17	±	0.114	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	±	0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	11.37	±	0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	179.76	±	1.143	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.73	±	0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	4.42	±	0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.213	±	0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	18.69	±	0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	2.182	±	0.006	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	5.00	±	0.14	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.77	±	0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	5.00	±	0.002	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Silice	90.11	±	0.19	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	65.35	±	0.004	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	275.50	±	0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	8.52	±	0.19	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0876  
 Identificación de la Muestra : CSE-17  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	09:30	
Temperatura	27.40	°C
pH	7.87	Unidades
TDS	210	mg/L
Conductividad Eléctrica	302	µS/cm
Salinidad	250	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.0155, 17 °C	± 0.028	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	35.24	± 0.826	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	35.24	± 0.826	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.23	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	21.75	± 0.563	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	37.54	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	83.55	± 1.125	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.29	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.51	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.005	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	7.10	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.069	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	28.19	± 0.21	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.17	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	0.60	± 0.002	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	104.94	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	32.15	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	166.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	22.14	± 0.03	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00198	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Coytez*  
Regina Coytez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-877  
 Identificación de la Muestra : CSE-12  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	10:00	
Temperatura	28.40	°C
pH	6.99	Unidades
TDS	231	mg/L
Conductividad Eléctrica	333	µS/cm
Salinidad	163	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	5.4365, 16 °C	± 0.004	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	24.73	± 0.826	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	24.73	± 0.826	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.67	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	27.80	± 0.113	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	67.17	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	123.14	± 2.532	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.16	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.22	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.005	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	13.04	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.067	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	30.16	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	< 0.06	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	0.63	± 0.003	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	64.18	± 0.17	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	23.80	± 0.000	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	192.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	16.74	± 0.03	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00088	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0878  
 Identificación de la Muestra : CSE-11  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	10:15	
Temperatura	28.80	°C
pH	7.8	Unidades
TDS	196	mg/L
Conductividad Eléctrica	281	µS/cm
Salinidad	134	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	5.8655, 17 °C	± 0.004	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	170.95	± 1.652	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	170.95	± 1.652	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	1.07	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	40.23	± 0.563	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	5.93	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	139.25	± 0.563	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.15	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.16	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.007	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	9.42	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.124	± 0.003	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.09	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	2.23	± 0.004	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	80.28	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	18.70	± 0.002	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	161.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	10.44	± 0.03	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00092	± 0.00007	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Cortez*  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0879  
Identificación de la Muestra : CSE-09  
Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	10:50	
Temperatura	28.40	°C
pH	8.39	Unidades
TDS	366	mg/L
Conductividad Eléctrica	513	µS/cm
Salinidad	245	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.3815, 17 °C	± 0.005	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	302.57	± 0.551	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	302.57	± 0.551	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.05	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	65.25	± 1.014	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	17.78	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	256.42	± 0.281	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.47	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.64	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.001	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	22.71	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.249	± 0.000	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.09	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	7.50	± 0.002	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	87.55	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	27.60	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	296.00	± 2.828	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	32.73	± 0.03	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00227	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Cortez*  
Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0880  
 Identificación de la Muestra : CSE-07  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	11:15	
Temperatura	29.2	°C
pH	8.5	Unidades
TDS	710	mg/L
Conductividad Eléctrica	985	µS/cm
Salinidad	502	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.638, 17 °C	± 0.001	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	379.87	± 1.377	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	379.87	± 1.377	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.24	± 0.08	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	25.81	± 0.225	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	165.95	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	111.00	± 0.563	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	1.32	± 0.01	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	4.52	± 0.03	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	11.30	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.162	± 0.004	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.06	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	8.43	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	78.67	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	614.00	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	592.50	± 0.707	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	31.41	± 1.08	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00707	± 0.00005	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND; No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0881  
 Identificación de la Muestra : CSE-05  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	11:30	
Temperatura	29.4	°C
pH	8.57	Unidades
TDS	436	mg/L
Conductividad Eléctrica	630	µS/cm
Salinidad	313	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.4575, 17 °C	± 0.005	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	284.46	± 0.275	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	284.46	± 0.275	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.03	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	33.06	± 0.113	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	69.15	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	240.90	± 0.844	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.39	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.29	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.005	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	38.45	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.184	± 0.001	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	< 0.04	± 0.31	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.33	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	10.75	± 0.003	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	39.34	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	52.75	± 0.001	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	360.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	28.17	± 0.00	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00146	± 0.00009	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0882  
 Identificación de la Muestra : CSE-03  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	12:15	
Temperatura	29.8	°C
pH	9.2	Unidades
TDS	233	mg/L
Conductividad Eléctrica	337	µS/cm
Salinidad	164	PPT

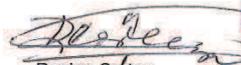
**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.7315, 17 °c	± 0.009	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	138.44	± 2.478	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	138.44	± 2.478	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.05	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	33.14	± 0.000	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	9.88	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	132.48	± 1.688	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.42	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.55	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.002	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	12.08	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.051	± 0.002	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	17.32	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.19	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	28.05	± 0.006	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	59.93	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	40.20	± 0.004	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	195.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	19.82	± 0.29	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00274	± 0.00002	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005.

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

  
 Regina Cortez  
 Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0883  
 Identificación de la Muestra : CSE-01  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	12:00	
Temperatura	29.5	°C
pH	9.72	Unidades
TDS	143	mg/L
Conductividad Eléctrica	207	µS/cm
Salinidad	101	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	7.5965, 17 °C	± 0.030	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	125.97	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	125.97	± 1.927	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.19	± 0.03	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	13.78	± 0.563	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	5.93	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	79.77	± 0.281	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.39	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	0.76	± 0.00	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	<0.009	± 0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	11.01	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.042	± 0.005	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	15.49	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.07	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	1.78	± 0.004	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	64.49	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	27.15	± 0.001	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	129.00	± 0.000	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	< 7	± 0.09	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00767	± 0.00010	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

*Regina Coylez*  
Regina Coylez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520



**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0884  
 Identificación de la Muestra : CSE-15  
 Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
 Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
 Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
 Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
 Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
 Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
 Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
 Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
 Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
 Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	12:55	
Temperatura	29.9	°C
pH	8.08	Unidades
TDS	6.18	g/L
Conductividad Eléctrica	8.72	mS/cm
Salinidad	4.91	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.9205, 16 °C	± 0.006	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	1292.45	± 1.101	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	1292.45	± 1.101	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	0.77	± 0.00	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	113.44	± 0.000	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	1733.58	± 1.397	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	747.76	± 0.281	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.89	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	4.22	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	0.088	± 0.004	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	112.80	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	0.704	± 0.004	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	6.23	± 0.10	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	1.21	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	26.55	± 0.001	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	71.03	± 0.26	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	3084.00	± 0.004	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	3609.50	± 16.263	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	185.86	± 0.29	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00225	± 0.00002	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
 Contiguo a Parque de Pelota, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

**Dirección General del  
Observatorio Ambiental**

**LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA  
AREAS DE FISICO QUIMICO Y ABSORCION ATOMICA  
INFORME DE RESULTADOS EN MUESTRAS DE AGUA**

Pag. 1/1

Número de Referencia : 13-0885  
Identificación de la Muestra : CSE-14  
Solicitante : Laura Gil /HIDROGEOLOGIA  
Dirección : Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador  
Fecha de toma de muestras : 08/10/2013  
Fecha de Recepción en Laboratorio : 08/10/2013  
Fecha de Inicio de Análisis : 09/10/2013  
Fecha de Finalización de Análisis : 15/10/2013  
Fecha de Generación de Reporte : 04/11/2013  
Responsable de Toma de Muestra : Laura Gil  
Tipo de Muestra (Subterránea, Superficial) : Superficial  
Procedencia (Pozo, Río, Lago, Agua Residual, etc): Pozo

**PARAMETROS DE CAMPO REPORTADOS**

		Expresado como
FECHA	08/10/2013	
HORA	01:10	
Temperatura	29.3	°C
pH	8.3	Unidades
TDS	509	mg/L
Conductividad Eléctrica	226	µS/cm
Salinidad	3.63	PPT

**RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO**

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	METODO
pH	6.193, 16 °C	± 0.006	Unidades	--	SMEWW 2340C
Alcalinidad Total	445.48	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Bicarbonatos	445.48	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2320B
Boro	< 0.02	± 0.02	Mg/L B	0.02	HACH 8015
Calcio	56.16	± 0.563	mg/L Ca	1.6	SMEWW 3500Ca B
Carbonatos	0.00	± 0.000	mg/L CaCO <sub>3</sub>	2	SMEWW 2320B
Cloruros	23.71	± 0.000	mg/L Cl <sup>-</sup>	1.99	SMEWW 4500Cl <sup>-</sup> B
Dureza Total	261.99	± 4.783	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	SMEWW 2340C
Fluoruros	0.70	± 0.00	mg/L F <sup>-</sup>	0.02	HACH 8029
Fosfatos	3.50	± 0.01	mg/L PO <sub>4</sub>	0.01	HACH
Hierro Total	2.423	± 0.003	mg/L Fe	0.01	SMEWW 3500 Fe-B
Magnesio	29.57	± 0.000	mg/L Mg	1.6	SMEWW 3500Mg B
Manganeso Total	3.380	± 0.006	mg/L Mn	--	SMEWW 3500 Mn-B
Nitratos	2.37	± 0.00	mg/L NO <sub>3</sub>	0.04	HACH 8039
Nitrógeno Amoniacal	0.13	± 0.01	mg/L NH <sub>4</sub>	0.06	HACH
Potasio	4.70	± 0.002	mg/L K	0.011	SMEWW3500K C
Sílice	77.44	± 0.09	mg/L SiO <sub>2</sub>	1	SMEWW4500 SiO <sub>2</sub> C
Sodio	272.50	± 0.005	mg/L Na	0.017	SMEWW3500 Na
Sólidos Totales Disueltos	409.00	± 1.414	mg/L	--	Electrométrico
Sulfatos	22.18	± 0.09	mg/L SO <sub>4</sub>	7	HACH 8051
Arsénico	0.00446	± 0.00003	Mg/L As	0.000177	SMEWW 3500 As

Abreviaturas: ND: No Detectable, SMEWW: Standard Methods for Examination of water and Wastewater, 21st Edition, 2005.

Notas:

- Este informe de Resultados de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados de análisis corresponden únicamente a la muestra ingresada a este Laboratorio.

Regina Cortez  
Jefe Laboratorio



Kilómetro 5½ carretera a Santa Tecla, Colonia y Calle Las Mercedes,  
Contiguo a Parque de Pelota. San Salvador, El Salvador, C.A.  
Tel.: (503) 2132-9522, Fax: (503) 2132-9520

**ANEXO V.**  
**HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE CAUDAL EN  
RÍOS, MEDIANTE AFOROS.**











**AFORO DE CORRIENTES POR MOLINETE**

REGION HIDROGRAFICA                     c                    

RIO:           **Ixcanal**                    

ESTACION:                                     

OBSERVAC:                                     

Específicamente abajo el puente de la

Carretera CA02.

**DATOS DEL AFORO**

FECHA:           4/05/2013                    

HORA INIC/ L.M.           04:30                    

HORA FIN/ L.M.           05:15                    

MOLINETE:           AOTT          121247                    

HELICE No.:           120983                    

TIPO SUSP           VADEO                    

TIEMPO (seg):           40                    

HIDROMENSOR:           Luis Chipagua                    

CALCULO:           Glenda Carr                     FECHA:           11/05/2013                    

**RESULTADOS DEL AFORO:**

CAUDAL                                     0.043                     m3/s

AREA SECCION                                     0.128                     m2

ANCHO SECCION                                     2.700                     m

PERIMETRO MOJ                                     2.795                     m

RADIO HIDRAULICO                                     0.046                     m

VELOCIDAD MEDIA                                     0.338                     m/s

PROFUNDIDAD                                     0.047                     m

DIST DEL PTO INIC (m)	PROF OBSERV (m)	No. BOT SEDIM	VELOCIDADES									VELOC PROM (m/s)	ANCHO TRAMO (m)	AREA PARCIAL	CAUDAL PARCIAL
			0.2			0.6			0.8						
			m	G/S	Veloc	m	G/S	Veloc	m	G/S	Veloc				
			---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
0.20	0.10		---	---	---	0.06	262	0.6857	---	---	---	0.68565	0.20	0.01000	0.01371
0.40	0.08		---	---	---	0.05	229	0.6007	---	---	---	0.60068	0.20	0.01800	0.00961
0.60	0.10		---	---	---	0.06	201	0.5286	---	---	---	0.52858	0.20	0.01800	0.01057
0.80	0.08		---	---	---	0.05	125	0.3329	---	---	---	0.33288	0.20	0.01800	0.00533
1.00	0.08		---	---	---	0.05	34	0.0986	---	---	---	0.09855	0.20	0.01600	0.00158
1.20	0.05		sup	70	0.1626	---	---	---	---	---	---	0.16256	0.20	0.01300	0.00163
1.40	0.04		sup	43	0.1035	---	---	---	---	---	---	0.10347	0.20	0.00900	0.00083
2.70													1.30	0.02600	

**ANEXO VI.**

**HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE LA  
PERMEABILIDAD, MEDIANTE PERMEAMETRO GUELPH.**



# Calculos para el Permeámetro de Guelph

GARITA PALMERA

Entradas

Resultados

## Carga #1

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

Entre la categoria de textura-estructura del suelo: **2**  
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **4.217**

Res Type 35  
 H 5  
 a 3  
 H/a 2  
 a\* 0  
 C0.01 1  
 C0.04 1  
 C0.12 1  
 C0.36 1  
 C 1  
 R ##  
 Q ##  
 pi 3

$\alpha^* = 0.04 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 0.842059$   
 $Q = 148.5227 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.29E-01 \text{ cm/min}$   
 $2.16E-03 \text{ cm/sec}$   
 $5.10E-02 \text{ inch/min}$   
 $8.49E-04 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 3.24E+00 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**  
 Entre la altura de carga de agua ("H" in cm): **14.8**  
 Entre el radio del pozo ("a" en cm): **3**

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

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.500**

Res Type 35  
 H 15  
 a 3  
 H/a 4.9  
 a\* 0.1  
 C0.01 1.5  
 C0.04 1.6  
 C0.12 1.7  
 C0.36 1.7  
 C 1.7  
 R ###  
 Q 18  
 pi 3.1

$\alpha^* = 0.36 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 1.65315217$   
 $Q = 17.6100 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.32E-02 \text{ cm/min}$   
 $2.21E-04 \text{ cm/sec}$   
 $5.21E-03 \text{ inch/min}$   
 $8.69E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 1.10E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Promedio

$K_{fs} = 7.13E-02$   
 $1.19E-03$   
 $2.81E-02$   
 $4.68E-04$

$\Phi_m = 1.67E+00$

2.16E-03  
 2.16E-05 m/seg



# Calculos para el Permeámetro de Guelph

EL CHINO

Entradas

Resultados

## Carga #1

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

Entre la categoria de textura-estructura del suelo: **2**  
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.410**

Res Type 35  
 H 5  
 a 3  
 H/a 2  
 a\* 0  
 C0.01 1  
 C0.04 1  
 C0.12 1  
 C0.36 1  
 C 1  
 R ##  
 Q 14  
 pi 3

$\alpha^* = 0.04 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 0.842059$   
 $Q = 14.4402 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.26E-02 \text{ cm/min}$   
 $2.10E-04 \text{ cm/sec}$   
 $4.95E-03 \text{ inch/min}$   
 $8.26E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 3.15E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**  
 Entre la altura de carga de agua ("H" in cm): **14.8**  
 Entre el radio del pozo ("a" en cm): **3**

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

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.500**

Res Type 35  
 H 15  
 a 3  
 H/a 4.9  
 a\* 0.1  
 C0.01 1.5  
 C0.04 1.6  
 C0.12 1.7  
 C0.36 1.7  
 C 1.7  
 R ###  
 Q 18  
 pi 3.1

$\alpha^* = 0.36 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 1.65315217$   
 $Q = 17.6100 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.32E-02 \text{ cm/min}$   
 $2.21E-04 \text{ cm/sec}$   
 $5.21E-03 \text{ inch/min}$   
 $8.69E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 1.10E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Promedio

$K_{fs} = 1.29E-02$   
 $2.15E-04$   
 $5.08E-03$   
 $8.47E-05$

$\Phi_m = 2.12E-01$

2.10E-04  
 2.10E-06 m/seg



# Calculos para el Permeámetro de Guelph

SAN FRANCISCO MENENDEZ

Entradas

Resultados

## Carga #1

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

Entre la categoria de textura-estructura del suelo: **1**  
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.850**

Res Type 35  
 H 5  
 a 3  
 H/a 2  
 a\* 0  
 C0.01 1  
 C0.04 1  
 C0.12 1  
 C0.36 1  
 C 1  
 R ##  
 Q 30  
 pi 3

$\alpha^* = 0.01 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 0.809485$   
 $Q = 29.937 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 7.30E-03 \text{ cm/min}$   
 $1.22E-04 \text{ cm/sec}$   
 $2.87E-03 \text{ inch/min}$   
 $4.79E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 7.30E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Carga #2

Tipo de Reservoirio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**  
 Entre la altura de carga de agua ("H" in cm): **14.8**  
 Entre el radio del pozo ("a" en cm): **3**

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

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.500**

Res Type 35  
 H 15  
 a 3  
 H/a 4.9  
 a\* 0.1  
 C0.01 1.5  
 C0.04 1.6  
 C0.12 1.7  
 C0.36 1.7  
 C 1.7  
 R ###  
 Q 18  
 pi 3.1

$\alpha^* = 0.36 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 1.65315217$   
 $Q = 17.6100 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.32E-02 \text{ cm/min}$   
 $2.21E-04 \text{ cm/sec}$   
 $5.21E-03 \text{ inch/min}$   
 $8.69E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 1.10E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Promedio

$K_{fs} = 1.03E-02$   
 $1.71E-04$   
 $4.04E-03$   
 $6.74E-05$

$\Phi_m = 4.20E-01$

1.22E-04  
 1.22E-06 m/seg



# Calculos para el Permeámetro de Guelph

TACUBA

Entradas

Resultados

## Carga #1

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

Entre la categoría de textura-estructura del suelo: **1**  
 (uno de los siguientes numeros)

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

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.450**

Res Type 35  
 H 5  
 a 3  
 H/a 2  
 a\* 0  
 C0.01 1  
 C0.04 1  
 C0.12 1  
 C0.36 1  
 C 1  
 R ##  
 Q 16  
 pi 3

$\alpha^* = 0.01 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 0.809485$   
 $Q = 15.849 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 3.86E-03 \text{ cm/min}$   
 $6.44E-05 \text{ cm/sec}$   
 $1.52E-03 \text{ inch/min}$   
 $2.53E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 3.86E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Carga #2

Tipo de Reservorio (entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior): **1**  
 Entre la altura de carga de agua ("H" in cm): **14.8**  
 Entre el radio del pozo ("a" en cm): **3**

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

1. Compacted, Structure-less, clayey or silty materials such as landfill caps and liners, lacustrine or marine sediments, etc.
2. Soils which are both fine textured (clayey or silty) and unstructured; may also include some fine sands.
3. Most structured soils from clays through loams; also includes unstructured medium and fine sands. The category most frequently applicable for agricultural soils.
4. Coarse and gravelly sands; may also include some highly structured soils with large and/or numerous cracks, macropors, etc

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ("R" en cm / min): **0.500**

Res Type 35  
 H 15  
 a 3  
 H/a 4.9  
 a\* 0.1  
 C0.01 1.5  
 C0.04 1.6  
 C0.12 1.7  
 C0.36 1.7  
 C 1.7  
 R ###  
 Q 18  
 pi 3.1

$\alpha^* = 0.36 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$   
 $C = 1.65315217$   
 $Q = 17.6100 \text{ (cm}^3\text{/min)}$   
 $K_{fs} = 1.32E-02 \text{ cm/min}$   
 $2.21E-04 \text{ cm/sec}$   
 $5.21E-03 \text{ inch/min}$   
 $8.69E-05 \text{ inch/sec}$   
 $\Phi_m = 1.10E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

## Promedio

$K_{fs} = 8.55E-03$   
 $1.43E-04$   
 $3.37E-03$   
 $5.61E-05$

$\Phi_m = 2.48E-01$

6.44E-05  
 6.44E-07 m/seg

**ANEXO VII.**

**HOJAS DE CÁLCULO PARA DETERMINACIÓN DE LA  
PERMEABILIDAD, MEDIANTE DOBLE ANILLO.**







