

Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco



2001

La Fundación PRISMA es un centro de referencia, investigación e incidencia sobre temas de desarrollo y medio ambiente en El Salvador.

La Fundación PRISMA trabaja por la construcción de consensos para una gestión del desarrollo viable, ambientalmente sensata y socialmente incluyente en El Salvador.

Nuestro estilo de trabajo se basa en una interacción constante, amplia, transparente y colaborativa con los principales actores del desarrollo.

Director: Herman Rosa

Editor: Nelson Cuéllar

Reconocimientos

En este documento se presentan los resultados obtenidos del **Taller Centroamericano de Geofísica Aplicada al Estudio de las Intrusiones de las Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco**, realizado del 23 de abril al 4 de mayo del 2001, organizado por el Proyecto FIAS-ANDA, Proyecto Agua y Saneamiento (AGUASAN) de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Cooperación Francesa (CCCAC), Universidad de El Salvador (UES), Université Paris 7 Denis Diderot, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6 - Laboratoire de Géophysique Appliquée (P. Mechler), Université de La Rochelle y Université de Reims. La coordinación estuvo a cargo de Louis Pastor (Université Paris 7) y Monique Husser (AGUASAN-COSUDE).

Dicho Taller contó con el auspicio de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, la Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América y la Cooperación Científica y Técnica - Francia América Central - del Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia.

El equipo académico estuvo conformado por Tomás Soriano y Américo Mejía (UES); Gilbert Bieler y Cédric Egger (AGUASAN-COSUDE); Fabien Cornaton y Ellen Milnes (Center of Hydrogeology, University of Neuchâtel - CHYN); José Roberto Duarte (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente - PRISMA); Mario Guevara (FIAS-ANDA); Salvador Guadamuz (UNAM-Nicaragua); Louis Pastor y Richard Vanhoeserlande (Université Paris 7 Denis Diderot); Roger Guérin (Université Pierre et Marie Curie, Paris 6); Ricardo Tascón D'León (Université de Reims); y Muriel Llubes (Université de La Rochelle).

El procesamiento, análisis y revisión de la información recolectada, así como la redacción final del presente documento estuvo a cargo de:

José Mario Guevara, Jorge Acosta y Nelson Lemus
(Departamento de Hidrogeología y Pozos - ANDA)

Nelson Gómez Cedillos, Dagoberto Herrera Arévalo, Marco Antonio Ayala y José Ruperto Linares
(Escuela de Física - Universidad de El Salvador)

Cédric Egger
(FIAS-COSUDE)

Ellen Milnes y Fabian Cornaton
(Center of Hydrogeology, University of Neuchâtel - CHYN)

José Roberto Duarte
(Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente - PRISMA)

Roger Guérin
(Département de Géophysique Appliquée, Université Pierre et Marie Curie - Paris 6)

Indice

Introducción.....	1
Método de Trabajo	3
Marco Geológico	4
Contexto Hidrogeológico	7
Generalidades	7
Relación Agua Dulce-Agua Salada en la Región Costera	8
Interpretación de Resultados Hidrogeológicos.....	9
Medidas de Conductividad Eléctrica	9
Balance Hídrico	10
Evaluación de la Posición de la Interfase por Modelización	11
Aplicación de Métodos Geofísicos	13
El Sondeo Eléctrico	13
El Sondeo TDEM	14
El Bipolo	15
Análisis e Interpretación de Resultados Geofísicos.....	16
Método TDEM	16
El Perfil Playa	16
El Perfil Lempa (Le)	16
El Perfil Gozo.....	18
Los Sondeos Eléctricos	18
Conclusiones y Recomendaciones	20
Conclusiones	20
Recomendaciones.....	20
Glosario	22

Introducción

Una gran cantidad de acuíferos en el mundo se encuentran ubicados en las llamadas cuencas hidrográficas abiertas, donde existe un contacto del agua subterránea dulce con el agua de mar, estando presente el peligro latente de una intrusión salina (contaminación del acuífero de agua dulce con agua salada del mar) en el caso de una excesiva explotación del acuífero.

Muchos de estos acuíferos son utilizados para proveer agua para consumo humano y agricultura, como sucede en las regiones ubicadas en la zona costera de El Salvador, lo que obliga a conocer el proceso de intrusión salina y asegurar el aprovechamiento del recurso hídrico de dichos acuíferos.

Enmarcado en ese ámbito se realizó el Taller Centroamericano de Geofísica Aplicada al Estudio de las Intrusiones Salinas en las Zonas Costeras, específicamente en la zona del bajo Lempa. En dicho taller participaron expertos en diferentes áreas, provenientes de universidades estatales centroamericanas, de universidades de Francia y de Suiza, así como de expertos de instituciones centroamericanas relacionadas al problema de contaminación del agua.

El taller se llevó a cabo sobre la base de los siguientes objetivos:

- Aplicar los métodos geofísicos al estudio de la intrusión salina en la zona del bajo Lempa.
- Determinar los factores contaminantes del acuífero en la zona del bajo Lempa.

- Intercambiar experiencias técnico académicas entre expertos de la región centroamericana y Europa.
- Establecer y consolidar relaciones de colaboración entre universidades (centroamericanas, de Francia y de Suiza) e instituciones, tales como: Universidad de El Salvador (UES), Universidad Autónoma de Nicaragua (UNAN), Universidad de Costa Rica (UCR), Universidad Autónoma de Honduras (UNAH), Universidad San Carlos de Guatemala, Universidad París 6, Universidad París 7, Universidad de Reims, Universidad de La Rochelle, Universidad de Neuchâtel, COSUDE, ANDA y PRISMA.
- Presentar y divulgar un informe científico-técnico que plantee la situación encontrada mediante el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, que incluya las principales conclusiones y recomendaciones para los diversos actores que se ven involucrados en el área de estudio mencionada y en la gestión del agua.

Dicho informe ha sido estructurado de la siguiente manera:

- Método de trabajo: primeramente ubica geográficamente a la zona en estudio, para luego explicar brevemente la forma en que se desarrolló el trabajo de campo y el análisis de datos.
- Marco Geológico: describe de manera sintética la geología del área de estudio (zona del bajo Lempa)

- Contexto Hidrogeológico: hace una descripción de las unidades hidrogeológicas presentes, así como también el proceso de la formación de los acuíferos aluviales costeros y la problemática a la que se exponen frente a las intrusiones salinas.
- Métodos Geofísicos Aplicados: Se exponen de manera general los métodos geofísicos aplicados durante el taller: métodos eléctricos (Schlumberger) y métodos electromagnéticos (sondeos TDEM y perfiles Bipolos).
- Análisis e Interpretación de datos: se muestra el resultado de la interpretación de las distintas curvas de campo obtenidas con los diferentes métodos geofísicos y su interrelación con el contexto geológico e hidrogeológico. Se incluye para cada curva, una tabla de resistividades y espesores de estratos.
- Conclusiones y recomendaciones: presenta las diferentes deducciones, sugerencias y aportaciones basadas en los resultados obtenidos del estudio.

Método de Trabajo

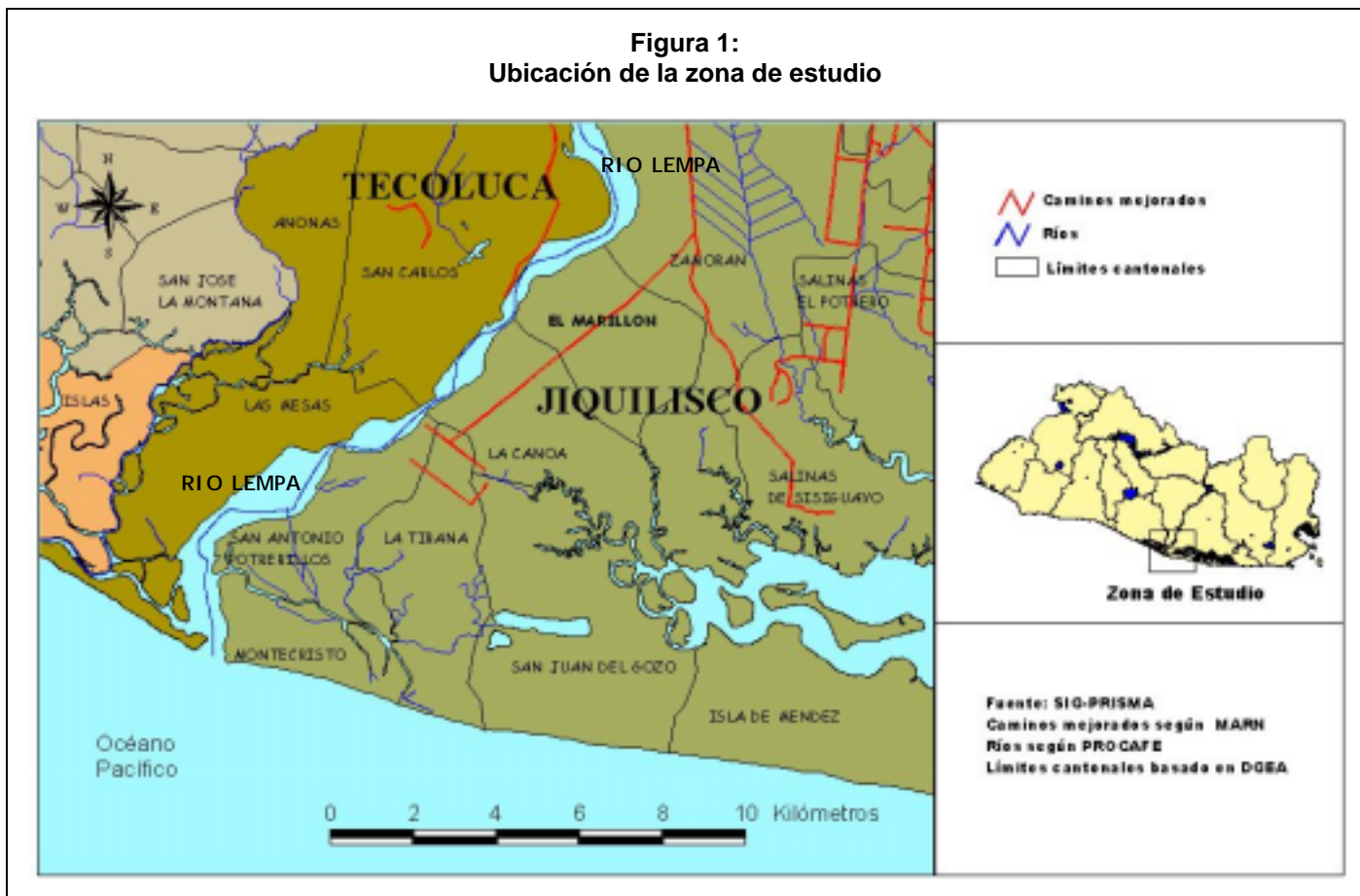
La zona del Bajo Lempa se encuentra localizada dentro de una de las diez regiones hidrográficas más importante del país (Figura 1). El efecto causado por el terremoto del 13 de enero del presente año, y las implicaciones causadas en la población y en el desenvolvimiento de sus actividades agrícolas, dio lugar a enfocar el interés en el área, y con especial atención en aquellos fenómenos que escapan de la comprensión práctica y por lo tanto requerían del trabajo científico para su explicación.

En ciertos lugares, fenómenos de licuefacción rápidamente se asociaban con “anomalías de salinidad”. Estas razones, y el fácil acceso a la

zona junto a lo suave de su topografía, sirvió de base para su selección como zona de estudio, aunque de manera evidente, el bajo consumo de agua establecido en el área no representa un alto peligro de una intrusión salina, que es un fenómeno hidrodinámico bastante complejo y que puede ser investigado de varias maneras. La Geofísica representa una de las diversas herramientas que permiten entender la problemática hidrogeológica.

La primera fase de la investigación consistió en la caracterización y determinación de las cargas piezométricas dentro del contexto geológico y aprovechar de los puntos de medida como sistemas abiertos que permiten visuali-

Figura 1:
Ubicación de la zona de estudio



zar el complejo sistema agua-roca (acuífero), para luego complementarlos con medidas de conductividad eléctrica, que en términos generales representa una medida de la cantidad de minerales disueltos en el agua.

Por otra parte las prospecciones geofísicas ayudaron a identificar y a entender la estructura del subsuelo y la naturaleza de sus constituyentes, para corroborar los resultados y llegar a las mejores conclusiones y recomendaciones. Una visualización del trabajo interdisciplinario realizado durante el desarrollo del presente estudio se refleja en la Figura 2, en donde el punto principal era la determinación de la existencia de la cuña de agua salada en el acuífero aluvial, para lo cual fue necesario la aplicación de técnicas de hidrogeología física y reconfirmadas con los métodos geofísicos, para luego integrar la información y analizar los resultados obtenidos.

Marco Geológico

La geología del área está determinada por tres clases de fenómenos o eventos naturales que se pueden definir como:

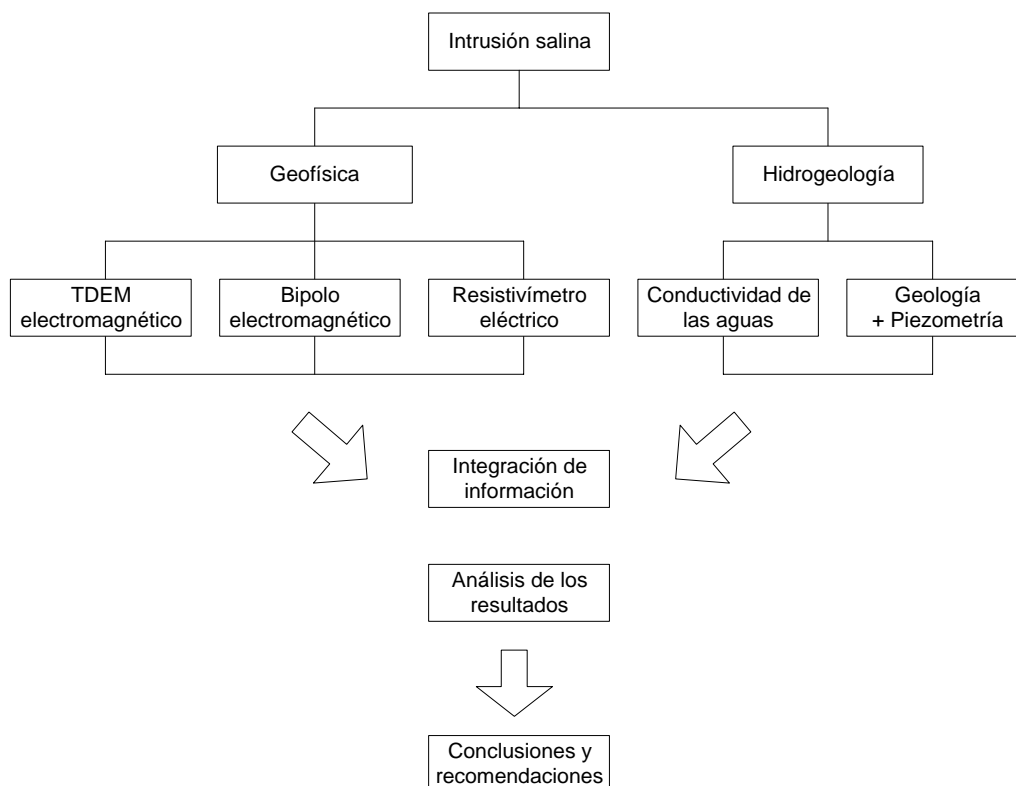
- a) Procesos tectónicos
- b) Fenómenos volcánicos o ígneos, y
- c) Procesos erosivos

Los dos primeros se han sucedido en forma alternada o simultánea y el tercero ha tenido lugar a lo largo de períodos de calma que han sobrevenido a los dos primeros.

Tectonismo

Durante el período de volcanismo del Plioceno y posiblemente por ajustamiento de capas, se inició una fase de actividad o movimientos tectónicos. Durante dichos episodios las capas

Figura 2: Representación del esquema de aplicación de técnicas hidrogeológicas y geofísicas



de materiales, fueron dislocadas por fallamientos normales e inversos. Algunos de ellos casi verticales. Los mencionados fallamientos tienen orientaciones de acuerdo a rumbos ONO y NNE, siendo los primeros los más importantes, ya que son los que propiciaron el desarrollo de las unidades geomorfológicas que definen la característica del territorio nacional.

Unidades Geomorfológicas

Durante la fase tectónica los terrenos volcánicos, depositados durante el Plioceno del Terciario, fueron drásticamente dislocados o fallados, quedando bloques alzados contiguos a otros hundidos. Posteriormente en éstos se formaron valles, mientras en aquellos se desarrollaron montañas.

El resultado de la dislocación del terreno primitivo, vino a ser la formación de seis unidades geomorfológicas que se extienden a todo lo largo del país. Estas unidades partiendo del litoral marino hacia el norte son conocidos con los nombres de Planicie Costera, Montaña Costera, Valle Central, Montaña Interior, Valle Interior y Montaña Norteña.

De estas unidades la que más está relacionada con la investigación efectuada es la primera de las mencionadas, es decir, la Planicie Costera.

Planicie Costera

Esta es una planicie interrumpida por la Cordillera del Bálsamo, a la altura del Departamento de La Libertad, que se extiende entre la Montaña Costera y el Océano Pacífico. La planicie se eleva suavemente desde el nivel del mar hasta cerca de los 150 metros.

Las características geológicas de esta planicie están constituidas por superficies erosionadas inclinadas, desarrolladas en rocas volcánicas antiguas, depósitos fluviales, lacustres y pantanosos, relativamente recientes y no consolidados y unas cuantas erupciones volcánicas también recientes.

Geográficamente el área de la planicie costera oriental está delimitada así: al Norte por el sistema de Tecapa-El Tigre (constituido por una serie de volcanes jóvenes y antiguos), al Este por el Volcán de Usulután y Las Colinas del Valle del Río Grande de San Miguel, al Sur por la Bahía de Jiquilisco y el Océano Pacífico, y al oeste por el Río Lempa.

Geología Superficial

Geológicamente, el área está conformada por depósitos de materiales antiguos o terciarios y cuaternarios o recientes (Figura 3).

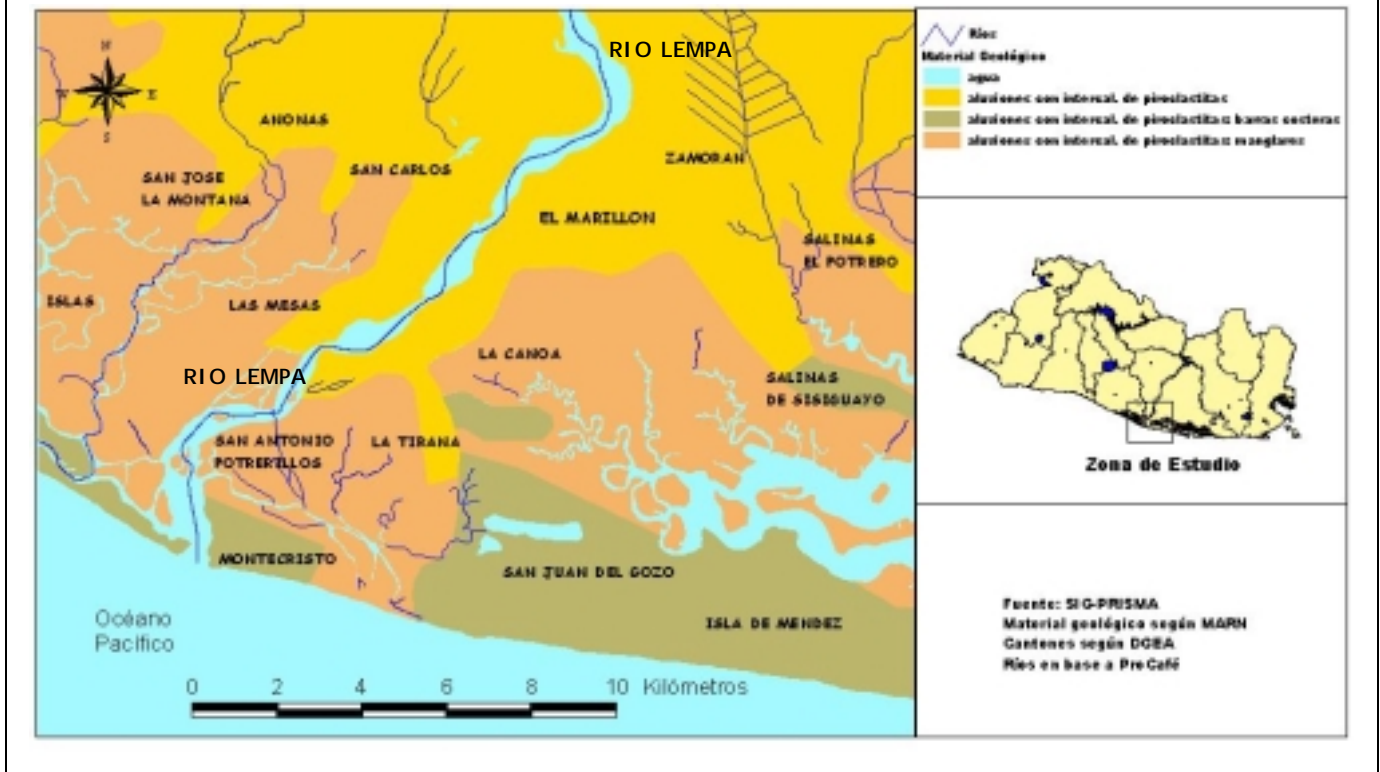
Depósitos Terciarios

Los materiales más antiguos que se encuentran en la Planicie Costera consisten en una gruesa secuencia de capas consolidadas que forman el basamento o Roca Madre, constituidos por aglomerados con intercalaciones de mantos de lava y de tobas líticas y aglomeráticas, provenientes de erupciones volcánicas. Estas capas o estratos son desconocidos en número y espesor.

Depósitos Cuaternarios

Están sobrepuestos a los anteriores, en su mayoría son piroclásticos eyectados y sedimentos aluviales (de pie de monte) que provienen de los volcanes aledaños, son materiales que fueron transportados a las partes de la planicie por rápidas avenidas de los ríos y

**Figura 3:
Geología general de la zona**



flujos intermitentes de escorrentía superficial que seguían a las lluvias torrenciales.

Componen este tipo de rocas, estratos de piroclásticos heterogéneos de estructuras variables, que se encuentran inter-estratificados con capas de ceniza y lentes de polvo volcánico; a veces estas capas se han descompuesto en arcilla pegajosa, probablemente en dos fa-

ses. Después de una erupción, tuvo lugar un período de sosiego durante el cual la intemperización física actuó sobre los materiales superficiales expuestos. Erupciones posteriores sepultaron este horizonte de suelo y las aguas subterráneas continuaron la descomposición química, luego siguieron repetidas erupciones, intemperización, sepultación y descomposición.

Contexto Hidrogeológico

Generalidades

La mayor parte de los materiales presentes en la zona de la desembocadura del Río Lempa corresponden a depósitos sedimentarios cuaternarios, constituidos principalmente por depósitos aluviales, de estuarios y con ciertas intercalaciones de rocas piroclásticas, conformando un acuífero aluvial costero de grandes dimensiones (delta del río). Este acuífero, en su conjunto, está constituido por partículas sólidas de tamaño grueso (cantos de gravas y arenas), seguidas de arena fina o arcilla, y en ciertos casos con material cementante, que puede ser arcilloso o síliceo.

Generalmente, el río a lo largo de sus tramos, inferior, medio o superior, ha presentado un acarreo de materiales de distintos tamaños, que proceden de rocas cercanas, las cuales han sufrido procesos de desgaste o erosión paulatina.

En cierta medida, son estos procesos de desgaste y erosión, por parte de agentes como viento, lluvia, y torrentes, muchas veces imperceptibles por el hombre, provocando que una serie de partículas de distinta granulometría que son arrancadas de la roca madre, y transportadas por los agentes llegan hasta su lugar de sedimentación o depósito, cuando ya no poseen la suficiente energía para seguir transportándolos.

Los procesos de depositación de las partículas originadas, pueden variar desde grandes bloques en el curso alto del río hasta limos y arcillas en las desembocaduras del mismo, es decir, existe una gradación de los sedimentos de acuerdo con sus dimensiones.

En este ambiente fluvial, además de la erosión y transporte de tipo mecánico, han intervenido otros procesos como la destrucción química de las rocas por donde circula el agua. Esto lleva consigo que el río, además de las partículas sólidas, arrastre y deposite bajo ciertas condiciones, los productos que lleva en disolución o en suspensión.

Una de las características principales de los sedimentos depositados en estos ambientes fluviales es la extraordinaria variabilidad, tanto en sentido horizontal como vertical de los aluviones depositados por el río, permitiendo que existan valores altos de conductividad hidráulica en ambas direcciones. En cierta medida, esto se debe a la continua divagación lateral del río, y a sucesivos aportes de material sólido que se superponen a los ya existentes.

Los primeros sedimentos han formado un simple agregado suelto, muy poroso, que permite el almacenamiento y transporte de agua en su interior. Los nuevos aportes de materiales generan la superposición de unos encima de otros, es decir, intercalaciones de distinta granulometría, que en la mayoría de los casos pueden estar cargadas de sustancias que al precipitar, cementan o compactan al resto del material sólido (arenas, gravas). Estas sustancias, por lo general, son bicarbonatos cálcicos, sílices e incluso arcillas (material muy fino).

Por otra parte, existen condiciones artesianas que se presentan en los alrededores del Puerto El Triunfo, que resultan de un estrato impermeable intermedio, estimado entre los 61 y 76 metros de profundidad (200 y 250 pies) y que se ha originado de cenizas cementadas y

polvo volcánico alterado a arcilla por la intemperización, actuando como un estrato confinante de la formación permeable inferior.

Relación Agua Dulce-Agua Salada en la Región Costera

Dadas las condiciones de ubicación geográfica de la zona en estudio, es de suma importancia el conocimiento de las relaciones agua dulce-agua salada, por la posibilidad de un cambio en la calidad del agua dulce del acuífero costero. Este cambio puede ser debido a la presencia de una intrusión salina o por la contaminación de agua salada, como consecuencia de inundaciones durante tormentas, cambios de marea, etc., especialmente en los pozos que se encuentran en la llanura costera, los cuales presentan baja cota de elevación, dándose la penetración del agua de mar en el río o en lagunas costeras (naturales o artificiales).

El movimiento del agua subterránea considera, para este caso en particular, la existencia de un agua de densidad diferente y miscible, presentando pequeñas diferencias de viscosidad y a veces de temperatura. Estos dos tipos de agua, dulce y salada, lleva consigo la presencia de una zona de mezcla o dispersión entre ambas, en donde la cuña salina puede reflejarse por el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce.

Generalmente, en las formaciones acuíferas que contienen estos dos líquidos miscibles (agua dulce o agua salada), no existe una interfase brusca o límite, sino que se pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla, llamada zona de difusión o de transición, la cual refleja las propiedades químicas e hidráulicas de cada uno de los líquidos originales y su anchura depende de la difusividad y dispersividad del medio y de las características del medio.

El equilibrio del agua dulce-agua salada en el acuífero costero es función del caudal de agua dulce que fluye hacia el mar, ya sea a través del curso de agua superficial, o bien subterráneamente. El flujo de agua subterránea mantiene en cierta posición a la zona de mezcla agua dulce-agua salada. Cualquier cambio, ya sea extracción por bombeo o reducción del flujo de la recarga, puede provocar una mayor penetración de la cuña marina hasta que ésta logre nuevamente su equilibrio.

Por otra parte, el flujo de agua dulce hacia el mar ayuda a mantener un cierto balance de sales en el acuífero. Si a partir de una reducción del flujo de agua hacia el mar existe una recirculación del agua dulce (regadíos con agua subterránea) dejando sales en el terreno, puede ocasionar un cierto incremento de la salinidad del agua dulce, es decir, una contaminación de origen diferente a la provocada por el agua de mar, mostrando cambios significativos en los valores de conductividad eléctrica.

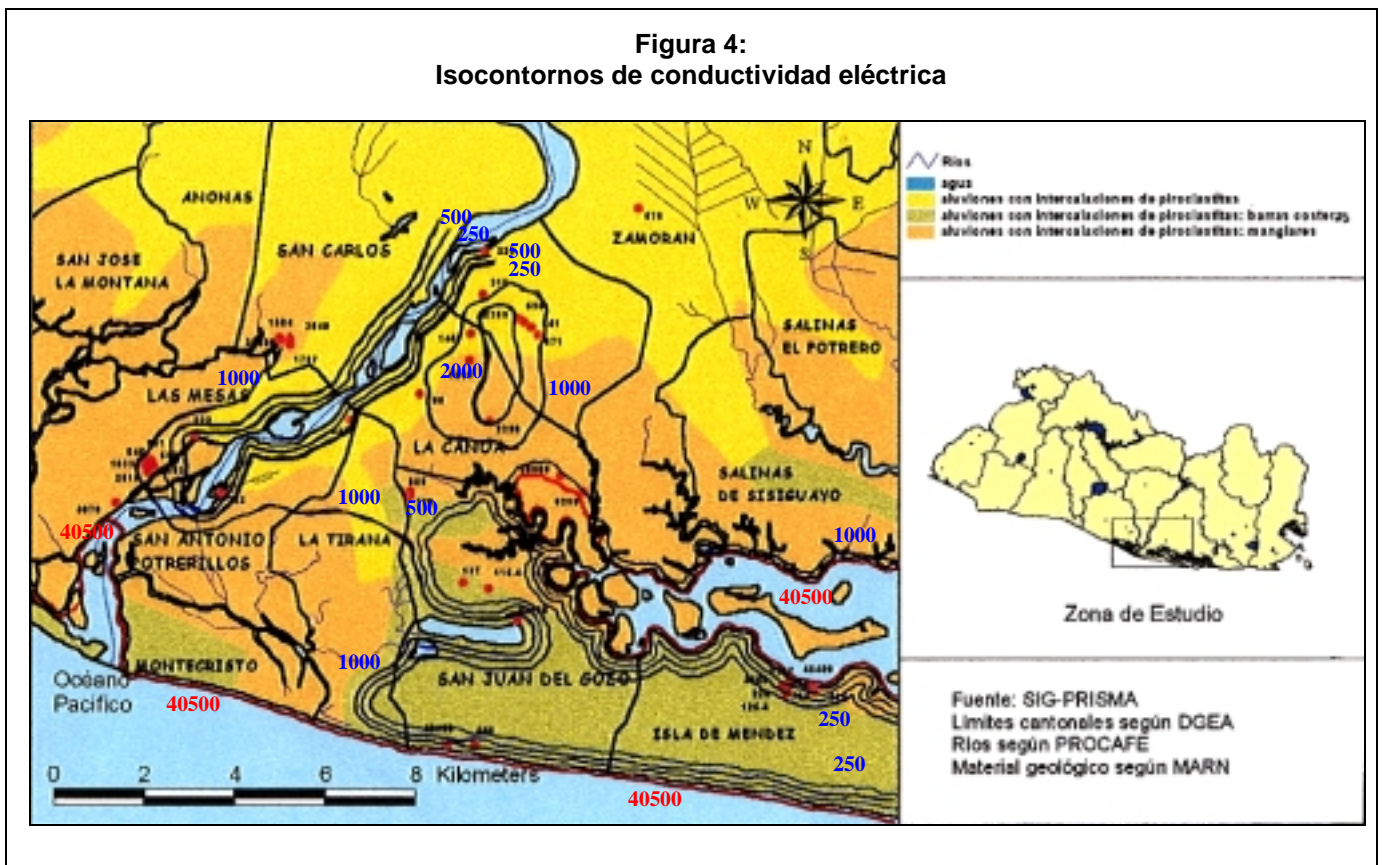
Interpretación de Resultados Hidrogeológicos

Medidas de Conductividad Eléctrica

El análisis de las medidas de conductividad eléctrica obtenidas en diferentes puntos de la zona en estudio, presentan distintos comportamientos, de tal forma que existen valores bajos de conductividad en las áreas cercanas a la orilla del río Lempa, pero que a su vez se encuentran alejadas de la costa, lo cual indica la presencia de agua bastante fresca. Asimismo, se presentan medidas de conductividad eléctrica recolectadas en el río aproximadamente a 4 km del Océano Pacífico que muestran un rápido incremento de conductividad como consecuencia de la entrada de las mareas y de la mezcla de agua dulce del río y agua del mar.

Por otra parte, en la Figura 4, se muestra el isocontorno inferido de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que generalmente es considerado como un indicador de la interfase entre agua dulce-agua salada. Dicho isocontorno sigue la rivera de la bahía y del mar, delimitando esta interfase muy paralela al mar e indicando en una primera instancia, la ausencia de la cuña de agua salada tierra adentro. Sin embargo, existen pozos artesanales que reportaron altos valores de conductividad eléctrica, lo cual puede ser consecuencia de la contaminación natural del agua del mar que ingresa a través de los brazos del drenaje del Río Lempa, provocando un cambio en el gradiente hidráulico, en donde el nivel del agua del brazo aumenta con respecto al nivel del acuífero, dando lugar a una recarga lateral. En el margen iz-

Figura 4:
Isocontornos de conductividad eléctrica



quierdo del Río Lempa, aproximadamente 7 km de la costa, se encuentra una zona donde algunos pozos mostraron valores altos de conductividad eléctrica en el rango de 1000 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como consecuencia de la contaminación antropogénica (desechos animales y humanos, fertilizantes agrícolas) existente, o también por la presencia de materiales arcillosos, los cuales pueden provocar una mayor mineralización y por lo tanto disolución.

En la zona de la península de San Juan del Gozo, las medidas tomadas en la parte central de la misma y a la orilla del mar muestran valores muy bajos de conductividad (entre 100-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que puede deberse a la presencia de material arenoso en el área, provocando una baja mineralización y por ende aguas extremadamente dulces muy parecidas al agua de lluvia.

Además, la interfase agua dulce-agua salada se encuentra en los primeros 10 metros del mar y presenta una forma muy vertical.

Balance Hídrico

La determinación del balance hídrico se ha establecido en el presente informe como una medida para el cálculo del potencial hídrico subterráneo de la zona. El acuífero aluvial regional en consideración comprende un área mayor que la zona establecida como estudio. Los límites establecidos definen su área desde el Río Jiboa hasta la Zona de la Bahía de Jiquilisco, por lo que se tiene una superficie aproximada de 750 km^2 .

El cálculo del balance hídrico estimado se realizó con datos que se presentan en el Estudio Hidrogeológico del Proyecto "Parque Industrial Concordia" de 1995, y fue calculado con el Método de Thornthwaite (Cuadro 1).

Los datos que corresponden a la precipitación y a la evapotranspiración corresponden a los promedios obtenidos de un período de 25 años.

Del cuadro 1 puede observarse que se tiene un excedente (recarga) de 784 $\text{mm}/\text{año}$. Si

Cuadro 1: Balance Hídrico utilizando el Método Thornthwaite, con una retención del suelo de 40 mm

	Meses												Total
	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
P	1	3	5	40	205	368	246	280	412	275	64	4	1,903
ETP	148	149	195	189	178	161	180	166	133	144	138	140	1,934
Δ Retención	0	0	0	0	27	13	0	0	0	0	40	0	
Retención	0	0	0	0	27	40	40	40	40	40	0	0	
ETR	1	3	5	40	178	161	180	166	133	144	104	4	
Déficit	147	146	190	149	0	-194	-66	-114	-279	-131	34	136	
Excedente	0	0	0	0	0	194	66	114	279	131	0	0	784

P : Precipitación (mm)

ETP : Evapotranspiración (mm)

ETR : Evapotranspiración Real (mm)

esta lámina de agua se extiende por una superficie de 750 km², se produce un volumen de flujo subterráneo de aproximadamente 588 millones m³/año.

Estos son los resultados que se obtienen tomando en cuenta solamente la recarga por precipitación pluvial y no la de percolación del Río Lempa o la de flujos subterráneos provenientes desde la cadena volcánica que se localiza al norte de la zona de estudio. Lo que indica que la reserva de agua dulce en esta región es muy importante y por lo tanto hace que la cuña de agua salada presente una forma muy vertical en las inmediaciones de la costa.

Evaluación de la Posición de la Interfase por Modelización

Con los datos presentados en el Cuadro 1 y realizando una estimación de la geometría de la interfase, se aplicó una solución analítica y numérica, combinando, a su vez, con la teoría de Dupuit y Ghyben-Herzberg.

A partir de la simulación teórica y la asignación de parámetros establecidos conforme a las características observadas en el campo, se estableció la situación del acuífero aluvial.

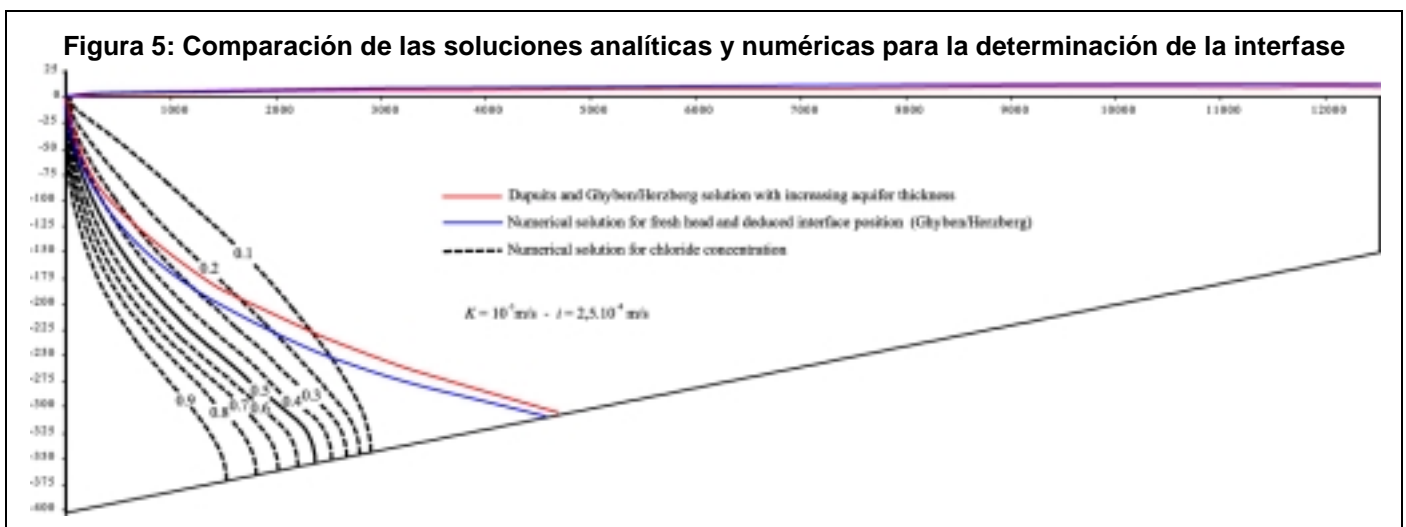
Los parámetros utilizados fueron los siguientes: conductividad hidráulica (material aluvial) $K = 1 \times 10^{-3}$ m/s, infiltración $i = 2.5 \times 10^{-8}$ m/s, longitud del acuífero $L = 12500$ m, espesor inicial $e_0 = 150$ m, espesor final $e_L = 400$ m, porosidad $n_e = 0.2$ (Figura 5). Las expresiones de Dupuit y Ghyben-Herzberg utilizadas para la solución analítica fueron las siguientes:

$$h_f(x) = \sqrt{\phi_0 - \frac{2Q_0 x + ix^2}{K(1+\delta)}} \quad (1)$$

$$\phi_0 = \sqrt{\frac{2Q_0 L}{K(1+\delta)}} \quad (2)$$

$$\xi = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f = \delta h_f \approx 40.02857 h_f \quad (3)$$

Donde h_f es el nivel de agua subterránea, ξ es la profundidad a la cual se encuentra la interfase, ρ_f es la densidad del agua fresca, ρ_s es la densidad del agua del mar, Q_0 es el flujo de agua subterránea, ϕ_0 es el nivel del agua subterránea con respecto al lugar donde la interfase termina, K es la permeabilidad, i es la intensidad de la recarga de la lluvia, L es la longitud de la interfase.



Al analizar los resultados obtenidos en las simulaciones, se puede establecer que no existe presencia de intrusión salina en el área de estudio, debido a la existencia de un flujo constante de agua subterránea de grandes proporciones que impide que la cuña de agua salada ingrese tierra adentro y por lo tanto la interfase se establece en forma casi vertical a pocos metros de la costa.

El hecho que no exista este problema en la actualidad no sugiere que no exista en un futuro, es por ello, que con el manejo de modelos numéricos es posible predecir escenarios que

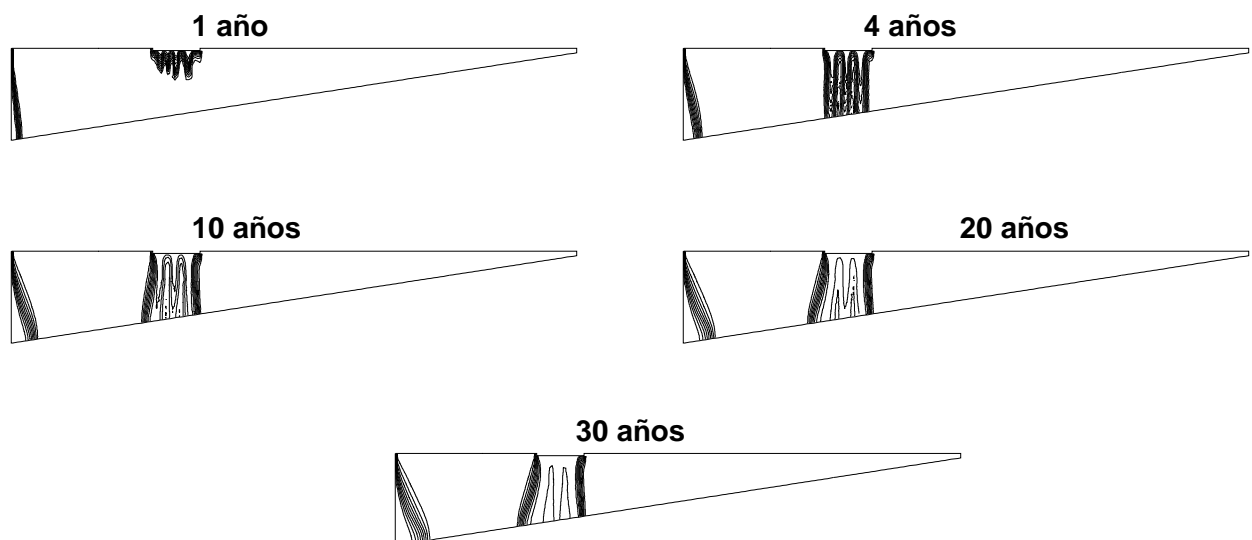
conlleven al establecimiento de este tipo de problema, con el agravante de la disminución del agua fresca como producto de la contaminación de agua salada o por actividades antropogénicas que permitan la entrada de sustancias que cambien la calidad del agua.

Este proceso de simulación matemática pretende dar a conocer el comportamiento del sistema del acuífero aluvial y sus implicaciones ante la posibilidad de cambios de concentración de solutos presentes en la zona (Recuadro 1).

**Recuadro 1:
Simulación de escenarios futuros del acuífero aluvial Bajo Lempa**

La simulación numérica muestra una posible evolución en el tiempo de la contaminación del agua fresca por efecto del agua salada, comenzando de un tiempo ($t = 0$, solamente agua fresca) a un tiempo cuando se ha alcanzado el equilibrio. El modelo plantea una zona de 25,000 m de longitud con un espesor variable linealmente desde 50 m hasta 400 m frente a la costa. Los cálculos corresponden a un flujo estacionario con parámetros hidráulicos: infiltración $I = 2.15 \times 10^{-3}$ m/d, conductividad hidráulica $K = 5 \times 10^{-4}$ m/s, porosidad $n_e = 0.1$ y flujo de transporte transiente, con parámetros: dispersividad $\alpha_L = \alpha_L = 5$ mm, difusión molecular $D_m = 6.6 \times 10^{-6}$ m²/s, porosidad $n_e = 0.1$. Aplicándose una concentración relativa de 1 en la condición de frontera establecida en el agua de mar.

Los resultados obtenidos plantean la siguiente evolución, con efectos de aumento de la concentración de minerales, tanto frente al mar, como en el interior de la planicie como producto de las actividades antropogénicas. Dichos efectos se plantean a partir del primer año de simulación y se agravan conforme transcurre el tiempo. Esto indica la vulnerabilidad a la que se encuentra el acuífero a través del tiempo cuando se sugiera una mayor utilización del recurso subterráneo, si éste no se realiza de una manera sostenible.



Aplicación de Métodos Geofísicos

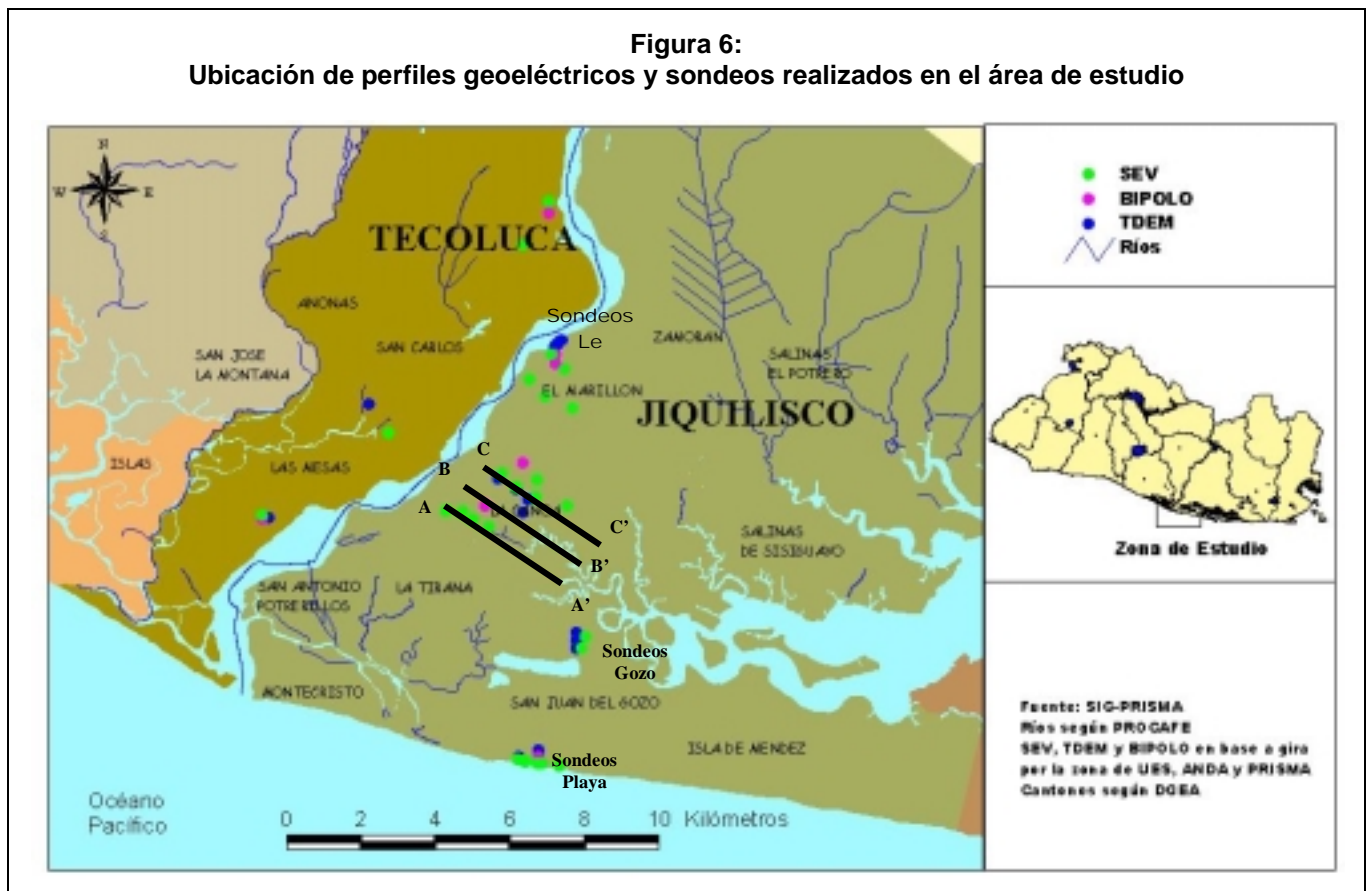
Los métodos geofísicos que miden resistividad eléctrica aparente por integración volumétrica, deben ser privilegiados en los estudios hidrogeológicos. En efecto, la resistividad eléctrica del subsuelo expresado en $\Omega.m$, propiedad física del suelo correspondiente a la capacidad de no dejar pasar la corriente eléctrica, depende de la granulometría de la roca, del contenido en agua, de la mineralización del agua y del contenido en arcillas.

Los métodos geofísicos aplicados fueron: Los electromagnéticos BIPOLO y TDEM y también, el método de sondeos eléctricos con corriente continua, todos ellos tienen como parámetro físico la resistividad (o su inverso la conductividad expresado en S/m). La distribución espacial de estos métodos en la zona

de estudio se presenta en la Figura 6.

El Sondeo Eléctrico

Este método se caracteriza por la inyección de corriente continua y la medida de la diferencia de potencial, realizados a partir de electrodos colocados en el suelo. Esta medida es representativa de un cierto volumen de terreno que depende de la posición y de la geometría del dispositivo utilizado. El dispositivo de medida está constituido de dos pares de electrodos, el primero (los electrodos A y B) a través de los cuales se inyecta la corriente y el segundo par (los electrodos M y N), donde se recibe la señal, es decir, la diferencia de potencial producida por la inyección de corriente en el suelo. Este tipo de técnica de adquisi-



ción (sondeo eléctrico) permite obtener información cuantitativa de las variaciones verticales de la resistividad en función de la profundidad sobre la vertical del punto de sondeo.

Algunos tipos de dispositivos pueden ser utilizados en la prospección eléctrica. En nuestro caso se ha utilizado el Schlumberger (cuya característica geométrica es que los cuatro electrodos A, M, N y B están alineados, y que los dos pares AB y MN tienen el mismo centro, cumpliéndose que $MN < AB/5$), que es sensible a la calidad del contacto de los electrodos con el suelo y da una respuesta no lineal. La profundidad de investigación depende de la geometría y más que todo del subsuelo. De manera empírica, la profundidad de investigación de un sondeo eléctrico Schlumberger se encuentra en el rango comprendido entre $AB_{max}/2$ y $AB_{max}/5$ (AB_{max} corresponde a la distancia máxima entre A y B).

Los equipos de sondeo eléctrico utilizados son un resistivímetro Syscal R1+ (Iris Instruments), un resistivímetro Oyo y un resistivímetro Garchy Geoinstruments con extensiones máximas de $AB_{max}/2 = 500$ m.

El Sondeo TDEM

El TDEM (Time Domain ElectroMagnetism), o TEM (Transient ElectroMagnetism) es un método electromagnético con fuente controlada que funciona con la difusión de un campo electromagnético transitorio. En este método, se hace circular una corriente alterna en un cable en forma de bucle tendido en el suelo, el cuál funciona como emisor, la corriente es cortada bruscamente produciéndose un campo magnético estático primario (o momento magnético), perpendicular al plano del bucle emisor. Una fuerza electromotriz es in-

ducida en el suelo por la disminución del campo primario, produciendo corrientes de Foucault en los cuerpos conductores. Estas corrientes inducidas penetran en el subsuelo extendiéndose y profundizando a medida que el tiempo pasa y crean un campo magnético secundario cuya amplitud decrece con el tiempo. Este decrecimiento es medido en superficie en un bucle receptor a intervalos de tiempo predefinidos. El análisis de este decrecimiento temporal permite conocer la distribución vertical de la resistividad versus la profundidad (cuanto mayor es el intervalo de tiempo, mayor integración de terrenos en profundidad en la medida).

La profundidad de investigación de un dispositivo TDEM aumenta con:

- La superficie del bucle emisor
- La intensidad de corriente inyectada en el bucle de emisión
- El tiempo de medida (dependiente del período T y de la forma de la señal en el bucle de emisión)

En primera aproximación, la dimensión del lado del bucle es elegida de la misma dimensión que la profundidad a prospectar, esto para disponer de suficiente energía. Entre las principales ventajas de este método, citaremos su profundidad de penetración, importante para un dispositivo geométrico poco extenso en superficie, como también una gran sensibilidad a la presencia de conductores.

El equipo utilizado es el TemFast, que tiene una configuración geométrica con bucles emisores y receptores coincidentes. De hecho, contiene un solo bucle de 25 m x 25 m (o 12.5 m x 12.5 m) que sirve a su vez de emisor y de receptor.

El Bipolo

Aunque esta basado en leyes físicas y formulaciones numéricas complejas, el principio del Bipolo, o Slingram, o HLEM (Horizontal Loop Electromagnetic), es un método inductivo, intuitivamente simple. Con una bobina emisora se genera un campo electromagnético del cual se medirá la deformación al nivel de una segunda bobina (receptora) después de que las ondas electromagnéticas se propagasen en el subsuelo.

El principio de este método se resume de la manera siguiente: Una corriente alterna de frecuencia determinada es generada por un acumulador que alimenta un ondulator o generador de señales. Esta corriente alterna es inyectada en una bobina emisora para producir un campo magnético primario de la misma frecuencia, perpendicular al plano de la bobina. Este campo primario atraviesa el subsuelo e induce una corriente eléctrica en el material conductor del subsuelo (Ley de Lenz).

Esta corriente eléctrica induce en su entorno un campo electromagnético secundario de la misma frecuencia, pero con un atraso de $\pi/2$ (señal en cuadratura) que será detectado en la bobina receptora, ubicada a una distancia bien precisa de la bobina emisora. Este campo resultante es descompuesto en la recepción, tomando como referencia el campo primario transmitido desde la bobina emisora a la bobina receptora con un cable de referencia.

La componente del campo secundario en la dirección del campo primario es la componente "infase", mientras que la componente en la dirección perpendicular al campo primario es la componente "outfase". Por lo tanto, si una masa conductiva enterrada en una roca resistente es sometida a un campo magnético alternante, será atravesada por una corriente inducida que genera en su entorno un campo magnético que permitirá localizarla. Las medidas efectuadas por este método son la corriente inducida que resulta de la interacción del campo primario y del campo secundario, es decir la corriente correspondiente al campo total. El objetivo del método es el de caracterizar los desfases y los rendimientos de amplitud entre estos campos electromagnéticos primario, secundario y resultante.

Prácticamente, estas anomalías son expresadas en porcentajes del campo primario teórico. Por otra parte, las medidas electromagnéticas permiten también obtener valores de conductividad, y en consecuencia de resistividades.

Las ventajas de este método son entre otras: que no hay contacto con el suelo, lo que facilita la manipulaciones; la relación longitud del dispositivo y la profundidad de investigación es muy favorable, siendo de 1.5 la longitud del dispositivo con bobinas en posición horizontal y mas o menos 1 en posición vertical; la presencia de niveles superficiales muy conductores no limitan la investigación en profundidad.

Análisis e Interpretación de Resultados Geofísicos

Solamente de los métodos TDEM y de resistividad eléctrica logró obtenerse una correlación e interpretación satisfactoria con la geología e hidrogeología de la zona, puesto que coincide con la apreciación establecida en los capítulos anteriores. Sin embargo, esta misma apreciación no pudo decirse con el método Bipolo, ya que por las condiciones del medio no fue posible obtener resultados que pudieran correlacionarse con el contexto geológico.

Por otra parte, el análisis de la muestra de arena negra que se tomó en la playa demostró algo que los especialistas del Laboratorio de Geomagnetismo de París nunca habían visto antes, con un valor de susceptibilidad magnética másica de $43,185 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. El material está compuesto casi exclusivamente de *magnetita*, que es un mineral que puede tener valores de resistividad 5,000 veces más bajas que la resistividad del agua del mar. Lo que explica los bajos contrastes de resistividad que se encontraron en estos contextos geológicos.

Se entiende asimismo las dificultades de tener datos de TDEM fácilmente interpretables. En efecto, ya que usualmente, en el modelo teórico se hace una simplificación en los parámetros de resistividad y susceptibilidad magnética que intervienen en las ecuaciones de Maxwell aplicadas (se considera una susceptibilidad magnética igual a cero). Esto en las condiciones de la zona no es aplicable.

Método TDEM

Este método fue utilizado en la zona de estudio con dos arreglos diferentes: el primero con una espira cuadrada de 25 m por lado; y

el segundo con una espira cuadrada de 12.5 m por lado.

Esto limita el poder de penetración del método a una profundidad no mayor de los 30 m.

Se presentan 3 perfiles realizados con varios sondeos TDEM, en la zona del bajo Lempa (Figura 7).

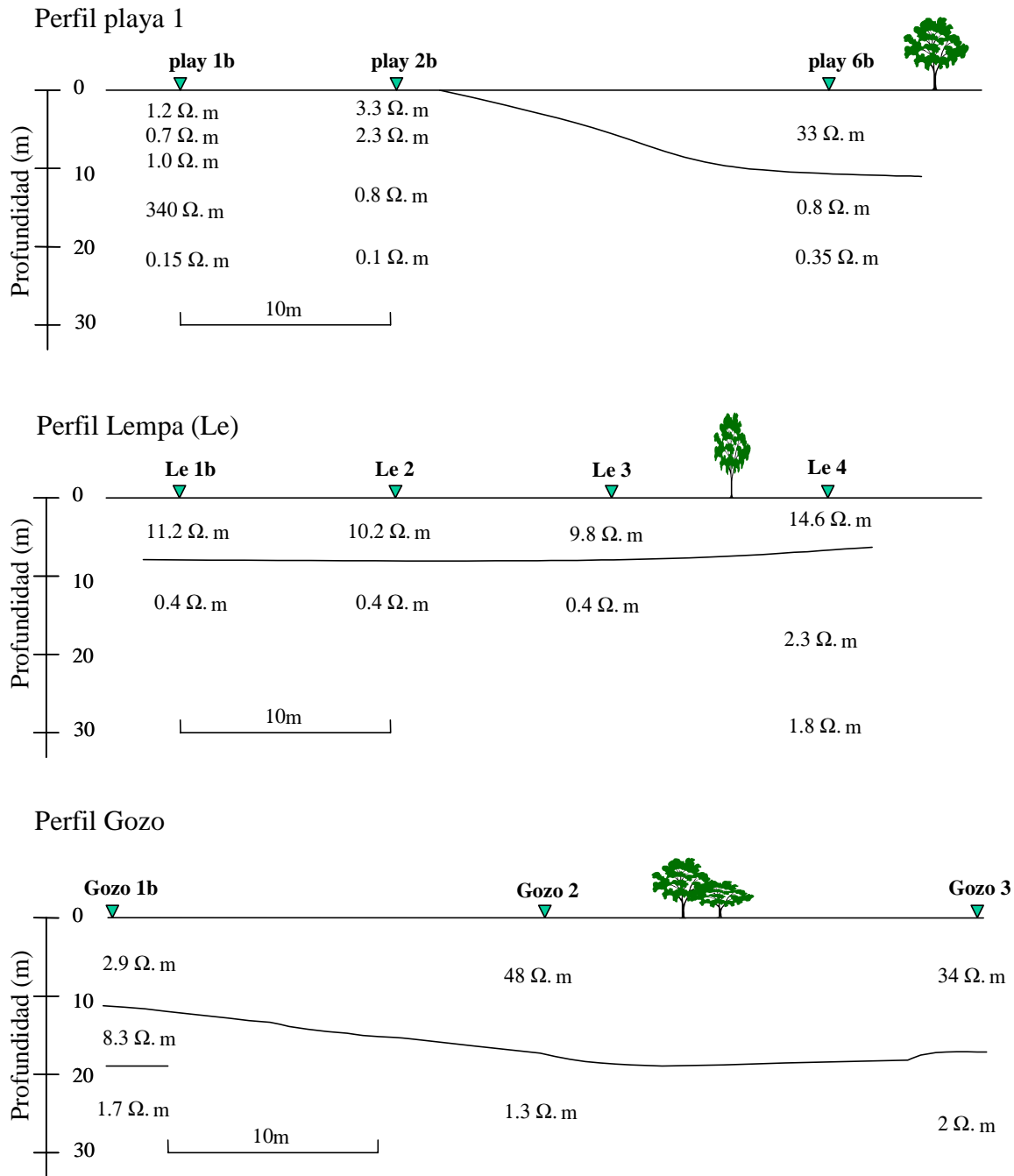
El Perfil Playa

- Ubicado en la playa de San Juan del Gozo, incluye 3 sondeos, tiene 30 m de largo. Arreglo de la espira de 12.5 m de lado.
- Se pueden apreciar 2 capas: la primera (superficial) con una resistividad media $33 \Omega \cdot \text{m}$ y un espesor medio 14 m; la segunda con una resistividad media $2 \Omega \cdot \text{m}$ y de espesor indefinido.
- La forma que adquiere el perfil se debe a la influencia que ejerce la marea sobre la costa (infiltración del agua de mar debido a los cambios de las mareas).

El Perfil Lempa (Le)

- Ubicado a 27 kms de la playa, incluye 4 sondeos, tiene 30 m de largo. Arreglo de la espira de 25 m de lado.
- Se pueden apreciar 2 capas: la primera (superficial) con una resistividad media de $12 \Omega \cdot \text{m}$ y un espesor medio de 8 m; la segunda con una resistividad media $1.5 \Omega \cdot \text{m}$ y de espesor indefinido.

**Figura 7:
Interpretación de los perfiles TDEM**



- La definición de las dos capas es debido a que en la superficie se encuentra abundante material orgánico y arenas secas y por debajo de los 8 m comienza a observarse la humedad debido al acuífero de agua dulce, característico de la zona.
- Para los cortes correspondientes a La Canoa 1, La Canoa 2 y el Río Lempa, se tiene un contraste de resistividad más significativo. En el corte correspondiente a la canoa 1 se diferencian dos capas, la primera con una resistividad de $8 \text{ W}\cdot\text{m}$ que en el punto del SE1 es aproximadamente de 3.5 m, 12 m en la localización del SE2 y de 2 m en el SE4. Los valores bajos de resistividad en este acuífero, pueden asociarse a contaminación desde la superficie por la entrada de la marea en esta zona y acumulación de químicos en esta zona.

El Perfil Gozo

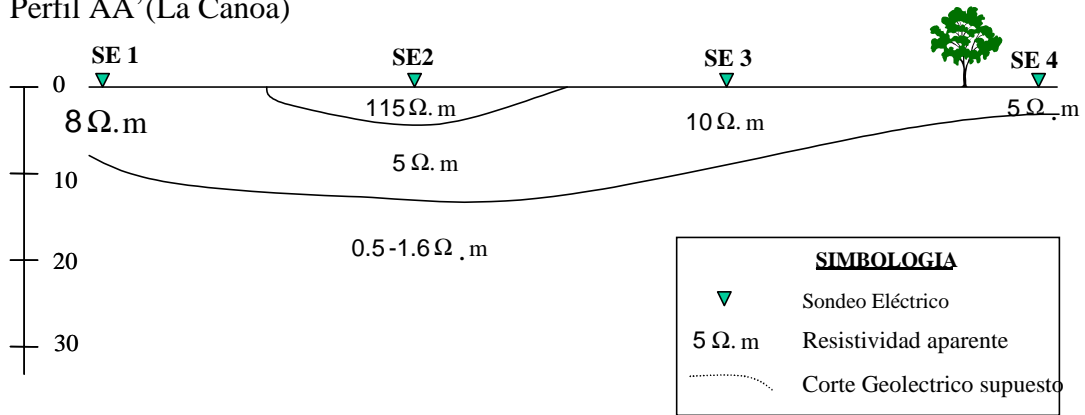
- Ubicado a 4 kms de la playa, incluye 3 sondeos, tiene 40 m de largo. Arreglo de la espira de 25 m de lado.
- Se pueden apreciar 2 capas: la primera (superficial) con una resistividad media de $38.5 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ y un espesor medio de 14 m; la segunda con una resistividad media $4.5 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ y de espesor indefinido.
- La definición de las dos capas es debido a que en la superficie se encuentra abundante material orgánico y arenas secas y por debajo de los 8 m comienza a observarse la humedad debido al acuífero de agua dulce, característico de la zona.
- El corte La Canoa 2, corresponde a uno de 4 capas, la primera aproximadamente de 1 m de espesor con una resistividad promedio de $67 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$, una segunda de espesor variable con resistividad de $5 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ seguida de una tercera también de espesor variable con una resistividad de $15 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ y una última capa de espesor desconocido que presenta una resistividad baja (menor a $2 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$) a partir de los 20 m de profundidad.

Los Sondeos Eléctricos

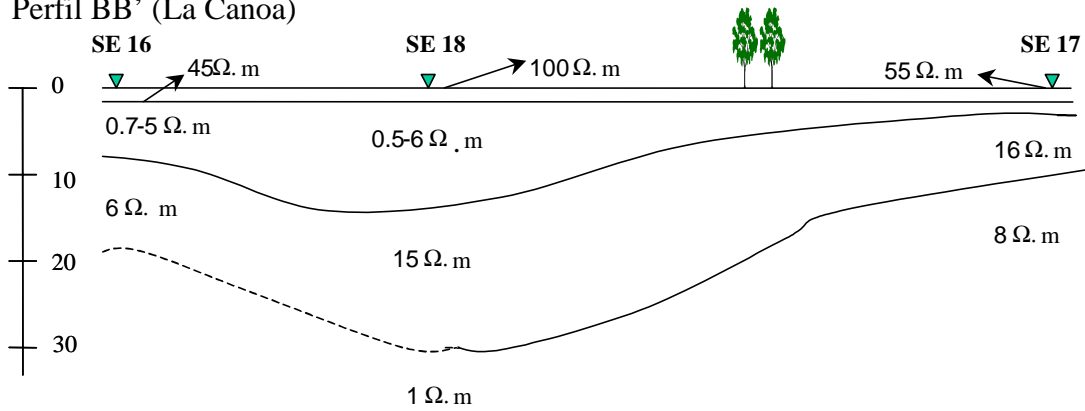
- Los contrastes de resistividad obtenidos a partir de los sondeos eléctricos, son bajos principalmente en la zona de la playa (Figura 8). Los cortes A y C paralelos a la playa sólo diferencian dos capas, la primera con una resistividad del orden de los $10 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$ con un espesor variable entre 2 y 8 m aproximadamente seguida de una segunda, de espesor indefinido con una resistividad de $2 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$.
- El perfil del Río Lempa: En este se pueden diferenciar 3 capas. La primera superficial, con una resistividad que varía de 25 a $90 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$, cuyo espesor varía de 20 a 10 m. La segunda capa, un poco más profunda, con una resistividad entre 10 a $17 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$, con un espesor medio de 22 m. Una tercera capa, con una resistividad media de $3.5 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$, con un espesor indefinido. Entre los sondeos SE22 y SE23 se encuentra una sección resistiva ($40 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$), a una profundidad de 23 m por debajo del SE23 que puede interpretarse como una lente de arcilla.

**Figura 8:
Interpretación de los perfiles eléctricos**

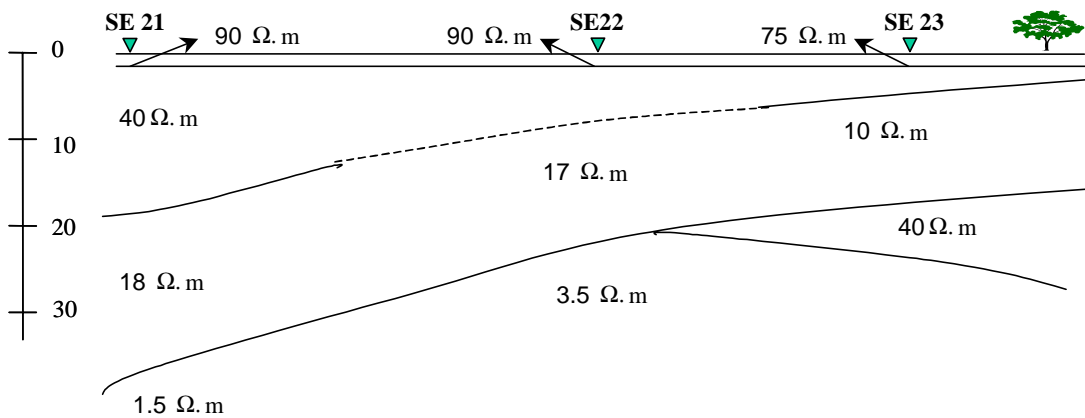
Perfil AA' (La Canoa)



Perfil BB' (La Canoa)



Perfil CC'



Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Con los resultados obtenidos por medio de métodos hidrogeológicos y con el apoyo de los métodos geofísicos se pudo determinar que no existe presencia, en las condiciones actuales, de una intrusión salina que pueda afectar la calidad del agua de la zona, quedando descartada la posibilidad de una presencia de ésta como resultado de los fenómenos sísmicos ocurridos a principios del presente año.
- Los métodos geofísicos aplicados en la zona (TDEM, SEV y Bipolo), solamente de los dos primeros se pudieron hacer correlaciones, a través de perfiles, con el contexto geológico e hidrogeológico de la zona, llegando a establecer la presencia de dos estratos muy claramente definidos, los cuales se constituyen por materiales aluviales, gravas, arenas, cantos rodados, etc., y con ciertas intercalaciones de material arcilloso, pero en ningún momento los resultados mostraron la existencia de una cuña de agua salada que estuviese provocando un cambio en la calidad del agua. Por otro lado, hay que notar que la presencia de arcillas y de magnetita en el contexto geológico hace a menudo muy difícil las investigaciones, disminuyendo a veces considerablemente los contrastes de resistividad.
- Se ha establecido que los indicios reflejados por un cambio en la salinidad del agua de la zona se debían exclusivamente a una recarga lateral del agua de mar que entra por el drenaje secundario de la zona, como consecuencia de los cambios de marea, provocando que los pozos cercanos a estos brazos comiencen a tener un cierto grado de salinidad por dicha infiltración lateral. También se encontraron otros puntos de agua con cierto grado de presencia de sales, tierra adentro, donde la causa principal puede ser la realización de actividades antropogénicas, como la utilización de fertilizantes y agroquímicos, además de la depositación de desechos animales, especialmente ganado.
- También, se constató que debido a los fenómenos sísmicos, la zona estuvo afectada por fenómenos de licuefacción, haciendo que el suelo, al estar saturado, se comporte como un líquido, formando ciertas grietas en el suelo, y llevando a la superficie material arenoso, propio de los acuíferos aluviales.
- Dada las características geológicas e hidrogeológicas de la zona, y por la extensión que ésta ocupa, presenta el potencial de una fuente de almacenamiento de grandes proporciones, la cual debe ser manejada de forma adecuada para garantizar su uso y aprovechamiento sostenible.

Recomendaciones

- Es necesario establecer un sistema de monitoreo que evalúe sistemáticamente el comportamiento del sistema de flujo del agua subterránea del acuífero aluvial, puesto que cualquier desarrollo de extracción excesiva del recurso,

puede ocasionar graves impactos en la calidad del vital líquido, especialmente en aquellos puntos cercanos a la costa o al sistema de drenaje secundario del Río Lempa, el cual por los cambios de marea existe una fuente de agua salada.

- Se debe garantizar un programa de saneamiento que determine la mejor opción para la disposición de desechos, tanto humanos como animales, ya que debido a las condiciones de permeabilidad que tienen los suelos de la zona, garantizan la rápida infiltración hacia el agua subterránea, la cual se encuentra entre 3 – 5 m de profundidad, por lo que la vulnerabilidad a la contaminación es relativamente alta.
- Todos los pozos excavados que sufren de contaminación por agua salada en esta región, son afectados por encima, o desde las capas muy superficiales. Estas contaminaciones se podrían solucionar impermeabilizando los cinco a diez primeros metros de los pozos. Al mismo tiempo, se recomienda aumentar un poco la profundidad de los nuevos pozos a excavar.
- Debe tomarse muy en cuenta que la problemática que enfrenta el recurso hídrico, especialmente en lo relacionado con la contaminación, puede estar

asociada a fuentes puntuales cercanas a los pozos de abastecimiento, pero también al efecto de fuentes no puntuales (como las zonas agrícolas con aplicación de agroquímicos y la disposición de desechos animales, especialmente ganado), por lo que los contaminantes generados pueden transportarse a través del flujo subterráneo, una vez que se infiltran en el subsuelo. Además, los contaminantes provenientes de aguas arriba del Río Lempa son depositadas en las zonas bajas como resultado de las inundaciones, las cuales arrastran grandes cantidades de sustancias que pueden cambiar significativamente la calidad del recurso subterráneo del área. Por lo tanto la aplicación de medidas de monitoreo y control de la contaminación proveniente del Río Lempa son fundamentales para la calidad del agua del acuífero en estudio.

- Por todo lo anterior, el manejo y aprovechamiento local del recurso hídrico subterráneo requiere un enfoque integrado, para garantizar que la abundante disponibilidad de agua en ese territorio no se vea limitada por los procesos de contaminación que impacta en la calidad del recurso, principalmente por actividades que se generen aguas arriba en la parte alta de la cuenca del Río Lempa.

Glosario

Acuífero: Formación geológica permeable que tiene la facilidad de transmitir y proporcionar agua en cantidades apreciables, para la satisfacción de diversas necesidades.

Artesianismo: Condición de confinamiento a la que se encuentran sometidos los acuíferos cautivos, en donde el agua contenida en ellos 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, saturándola completamente.

Cargas Piezométricas: Son los lugares geométricos de los puntos que señalan la altura del nivel del agua dentro de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad.

Conductividad Eléctrica: Es una medida de la cantidad de especies que se encuentran disueltas en una determinada solución.

Conductividad Hidráulica: Es el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente también unidad a una temperatura fija o determinada.

Flujo Subterráneo: Es el movimiento del agua subterránea que no emerge a la superficie y alimenta mares y océanos.

Gradiente Hidráulico: El gradiente hidráulico es el cambio en la carga hidráulica entre dos puntos con respecto a la distancia que guardan dichos puntos entre sí. El movimiento del agua subterránea se da, siempre y cuando, exista esta diferencia de carga, por lo que el agua fluye de zonas de alta carga hacia lugares de baja carga. Dicho gradiente se calcula a partir de isopiezas, las cuales son líneas que unen puntos con igual piezometría, es decir, igual profundidad del agua.

Hidrogeología: Es una ciencia que aplica leyes y métodos de distintas disciplinas con la finalidad concreta del estudio de la fase subterránea del ciclo hidrológico.

Intrusión Salina: Es el movimiento del agua de mar hacia tierra adentro, produciendo un cambio en la calidad del agua dulce de los acuíferos costeros, dadas ciertas condiciones de recarga y extracción de agua subterránea, en donde se dan cambios significativos en la relación agua dulce-agua salada.

Licuefacción: Fenómeno por medio del cual las características o propiedades del suelo cambian de manera que su comportamiento puede obedecer al de un líquido.

Piroclastos: Son materiales fragmentados proyectados con violencia hacia el exterior desde el fenómeno volcánico y que se acumulan en los alrededores de éste. Dichos materiales pueden ser bloques o bombas de tamaño variable (aproximadamente 32 mm), los lapilli de inferior tamaño (menor a 32 mm) de forma irregular, porosos, y a veces vesicular, y las cenizas que poseen tamaños inferiores a 4 mm. Son formaciones muy erosionables por lo que tienen un carácter muy temporal.

Resistividad Eléctrica: Es la propiedad física del suelo que corresponde a la capacidad de no dejar pasar la corriente eléctrica a través de ella, depende de varios factores como: la granulometría de la roca, del contenido en agua, de la mineralización del agua y del contenido en arcillas.

Sedimentos Aluviales: Partículas depositadas y originadas por procesos físicos como la erosión, la cual origina partículas de diferente tamaño, además de ser redondeados por los constantes roces y golpes que se producen durante su transporte, que puede variar desde grandes bloques de los cursos altos de los ríos hasta los limos y arcillas de las desembocaduras de los mismos.

Susceptibilidad Magnética: La susceptibilidad magnética másica es el medio de magnetización específica (también llamada magnetización por unidad de masa, correspondiente al momento magnético adquirido por la unidad de masa del hecho de la aplicación de un campo magnético H), expresado en Am²/kg, y este campo magnético H. Este parámetro depende de la naturaleza del contenido y de las características de los granos (tamaño, número de dominios) de los minerales magnéticos de la muestra.

Tectonismo: Procesos de actividad y movimientos tectónicos (fallamientos normales e inversos), que propician el desarrollo de las unidades geomorfológicas que definen las características del territorio nacional.



E-Mail: info@prisma.org.sv URL: www.prisma.org.sv
3a. Calle Poniente No. 3760, Col. Escalón, San Salvador.
Tels.: (503) 298-6852, (503) 298-6853 Fax: (503) 223-7209
Dirección Postal: Apartado 01-440, San Salvador, El Salvador, C.A.
International Mailing Address: VIP No. 992, P.O. Box 52-5364, Miami FLA 33152, U.S.A.