



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

ESTUDIO GEOFÍSICO PROYECTO LIMONCITO

SENARA-DIGH-UIH-INF-0003-2023

ENERO DE 2023



2257-9733



www.senara.or.cr



5262-1000 San José, Costa Rica



Goicoechea, Calle Blancos, del puente de Cinco Esquinas de Tibás 600 metros este

REVISADO Y APROBADO
POR:

MSc. Roberto Ramírez Chavarría
Director DIGH



2257-9733



www.senara.or.cr



5262-1000 San José, Costa Rica



Goicoechea, Calle Blancos, del puente de Cinco Esquinas de Tibás 600 metros este

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

Determinar la estratigrafía general de las márgenes del río Limoncito, para utilizar dicha información como insumo inicial en la toma de decisiones de la instalación de la tabla estaca.

1.2. Prospección geofísica: tomografía eléctrica

La prospección geofísica se basa en la medición indirecta de las propiedades físico-químicas de los materiales por medio de instrumentación especializada. Los materiales tienen características intrínsecas según su composición y estructura, por lo tanto medir las señales que se generan ya sea de forma natural o por medio de la activación con fuentes externas, permite discernir el tipo de material que se encuentra debajo de la superficie.

La tomografía eléctrica se utiliza la ley de Ohm para determinar la resistividad (ρ), propiedad específica para cada material. Esto se logra al inyectar una corriente y medir la diferencia de potencial entre una serie de electrodos que se disponen en la superficie; con la intensidad de corriente y el voltaje, se puede calcular la resistividad (ρ), la cual se relaciona por medio de la ecuación [1]:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K [1]$$

Donde:

ρ : resistividad ($\Omega\cdot m$)

ΔV : diferencia de potencial

I: intensidad de corriente

K: coeficiente geométrico del dispositivo

El parámetro K, está relacionado al arreglo de los electrodos que se utilice, en otras palabras, la distancia entre los electrodos de potencial y de corriente. En la siguiente figura se observa dos de los arreglos más comunes y que fueron utilizados en este estudio, siendo los electrodos A y B de corriente y los electrodos M y N de potencial.

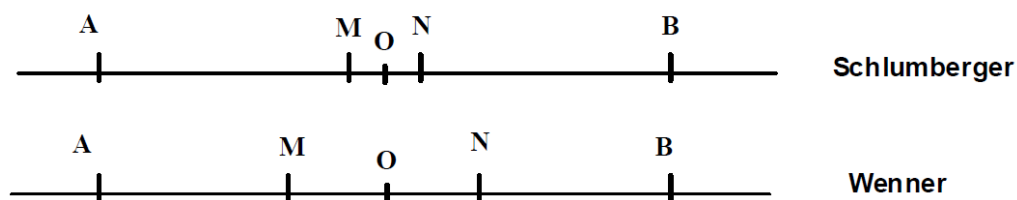


Figura 1. Tipos de arreglos electródicos.



El aumento de la distancia entre electrodos permite profundizar en la medición, sin embargo, se debe tener en cuenta que a mayor distancia entre los electrodos más débil la diferencia de potencial, razón por la cual se debe mantener una relación de intensidad de corriente vs separación de electrodos que permita una buena señal durante la medida. En la tomografía eléctrica, el proceso de medición se vuelve más ágil al tener una serie de múltiples electrodos colocados en el campo, los cuales son conectados a un dispositivo que se encarga de inyectar y medir la corriente en un orden específico sin tener que estar moviendo los electrodos, por lo que se va midiendo a varias profundidades (figura 2).

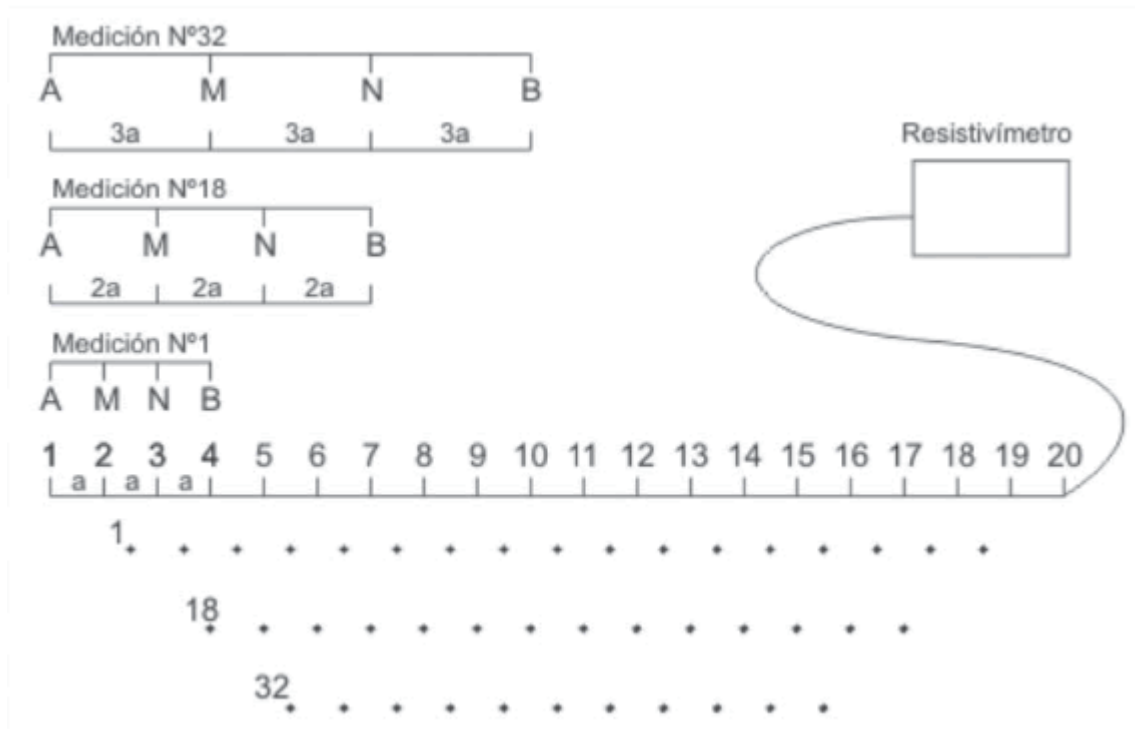


Figura 2. Esquema tomografía eléctrica.

Con los resultados obtenidos, se entra en la etapa de procesamiento y análisis en donde primero se invierten los datos para ajustarlos a un modelo hipotético que refleje la estructura real del subsuelo, para esto se utilizan programas especializados en inversión de datos geoelectricos, como el RES2DINV. Con los resultados del programa se procede a analizar la información según las condiciones geológicas y estratigráficas del sitio, así como una serie de valores de referencia que se encuentra en la literatura, para distintos materiales, que se han calculado en el laboratorio (figura 3).



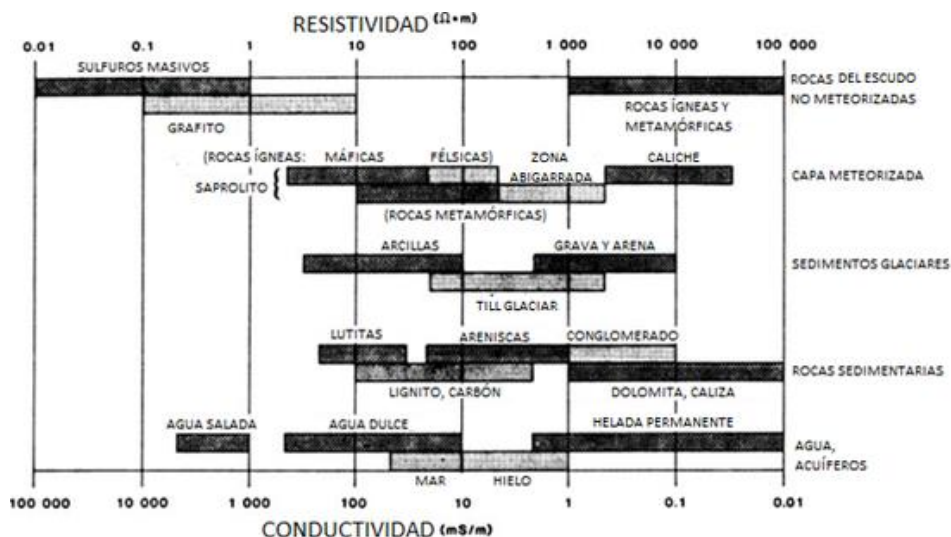


Figura 3. Valores de referencia de resistividad eléctrica para distintos materiales.

Como técnica complementaria a la resistividad, la polarización inducida (IP) o cargabilidad, permite discernir entre algunos materiales que presentan resistividades similares, esto al aplicar una corriente al medio y cargarlo, de tal forma que al quitar la corriente, se comienza a medir la diferencia de voltajes a través del tiempo para determinar con qué rapidez los materiales están perdiendo la carga eléctrica. De esta manera, materiales de baja resistividad pero que almacenan la carga por un mayor tiempo, tales como las arcillas, pueden diferenciarse de niveles freáticos que también se asocian a bajas resistividades pero que prácticamente no se cargan.

Material	Cargabilidad (mV/V)
Arcilla	> 14
Lixiviado	> 30
Basura (RSU)	110 -170
Escombros metálicos	> 110
Granito, granodiorita	14 - 71
Agua salada saturando arcilla	Negativos y cercanos a 0
Agua dulce saturando arcilla	Negativos y cercanos a 0
Agua salada saturando arena	Negativos y cercanos a 0
Agua dulce saturando arena	Negativos y cercanos a 0

Figura 4. Valores de referencia de cargabilidad para distintos materiales. Tomado de Legorreta, 2016.

1.3. Metodología

La realización del trabajo de campo consistió en una visita previa a los sitios de interés, con el fin de evaluar la factibilidad técnica de llevar a cabo las tomografías. Habiendo visitado los sitios se definieron cuatro sectores, en donde se dispuso líneas de tomografía eléctrica de 80 m de longitud, con una separación entre electrodos de 1 m. A cada una de las tomografías se le tomó las coordenadas (sistema CRTM05) del inicio, centro y final, según se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Coordenadas de las tomografías eléctricas del proyecto Limoncito.

Tomografía	Punto inicial	Punto central	Punto final
LM1	1104143 N / 604903 E	1104109 N / 604883 E	1104078 N / 604858 E
LM2	1103772 N / 604932 E	1103751 N / 604898 E	1103728 N / 604867 E
LM3	1103604 N / 604783 E	1103566 N / 604769 E	1103528 N / 604752 E
LM4	1103309 N / 604072 E	1103288 N / 604037 E	1103269 N / 604002 E



Figura 5. Figura de ubicación de las tomografías eléctricas del proyecto Limoncito.

Para cada sitio se utilizó distintos arreglos electródicos (ver cuadro 2), en donde también se midió en ocasiones la cargabilidad (IP); a continuación se muestran los parámetros utilizados en cada una de las tomografía realizadas, no sin antes mencionar que la orientación de todas las tomografía fue siempre hacia aguas arriba del río Limoncito, colocando los electrodos en la orilla de la calle más cercana a la margen que se indica.

Cuadro 2. Parámetros utilizados en las tomografías eléctricas del proyecto Limoncito.

Tomografía	Arreglo	Modo	Margen
LM1	Wenner	Resistividad	Izquierda
LM2	Wenner	Resistividad/IP100%	Izquierda
	Schlumberger	Resistividad	
LM3	Wenner	Resistividad	Izquierda
LM4	Wenner	Resistividad/IP50%	Derecha

II. RESULTADOS

A continuación se detallan e interpretan los resultados de cada una de las tomografías realizadas para el proyecto Limoncito.

2.1. Tomografía LM1

En particular, la tomografía realizada en el sitio LM1 presento varias dificultades durante la toma de datos, encontrándose que gran cantidad de los valores obtenidos presentaban resistividades negativas, estos valores fueron eliminados durante el procesamiento de los datos, sin embargo, cabe realizar ciertas anotaciones sobre el porqué la obtención de dichos valores.

Tanto este sitio como los otros tres, presentan un relleno de grava que impide la colocación adecuada de los pines, esto puede provocar que haya un mal contacto con el medio y por lo tanto la corriente no fluya tan fácilmente. Otro factor que pudo influir, fue la utilización de valores de salida de corriente y potencia muy bajos para las condiciones geológicas del sitio, en donde predominan materiales limosos y arcillosos, que como se puede observar en la figura 6 ya de por sí tienden a tener resistividades muy bajas.

En cuanto a la interpretación de los resultados, se alcanzó una profundidad de 12 m, con valores bajos de resistividad a lo largo de toda la tomografía con excepción de dos puntos específicos cercanos a la superficie ubicados a los 39,5 m y el otro a los 61 m. Estos dos sectores denominados como “anomalía resistiva” pueden estar siendo ocasionadas por una acumulación de relleno de lastre utilizado en la calle, otra explicación es que correspondan a alguna tubería, sin embargo, dadas las dimensiones de la anomalía y que en el campo no se observó ninguna salida en estos puntos, es muy poco probable que este sea el origen.



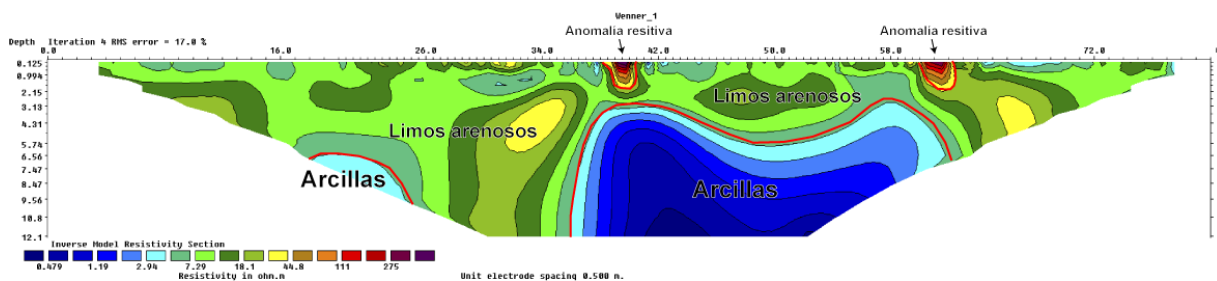


Figura 6. Tomografía eléctrica de resistividad del sitio LM1.

2.2. Tomografías LM2

En el sitio LM2 se utilizaron los arreglos Schlumberger y Wenner, este último también para medir la cargabilidad. Ambos arreglos presentan semejanzas, sin embargo, en el sector central se observa una diferencia considerable que será explicada más adelante. En el caso de la tomografía con el arreglo Schlumberger, esta alcanzó una profundidad de 17 m (figura 7), sigue presentándose los mismos materiales que en el sitio LM1 y que componen la estratigrafía general de las cercanías del río Limoncito, que son arcillas y limos arenosos. En este caso, al haber alcanzado una profundidad mayor con el arreglo Schlumberger, se determinó una zona de una resistividad media (90 Ω -m) la cual se asocia a arenas, no obstante, lo más destacable es que sobre dichas arenas se sigue viendo una franja vertical de una resistividad cercana a 80 Ω -m y que llega a conectar con una anomalía que comienza en la superficie, esta franja no aparece en la tomografía con el arreglo Wenner (ver figura 6), lo cual hace suponer que se debe a un error de interpolación del programa, el cual a la hora de invertir los datos, considera la anomalía en superficie y las arenas como parte de una misma estructura geológica.

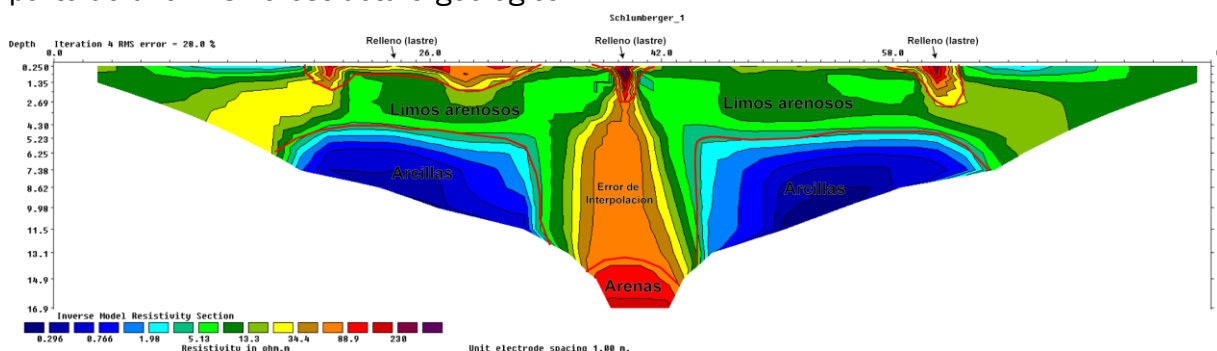


Figura 7. Tomografía eléctrica de resistividad del sitio LM2, arreglo Schlumberger.

En la tomografía con el arreglo Wenner se observa que la estratigrafía se mantiene, con ligeros cambios que se deben exclusivamente a la resolución y alcance que tiene cada arreglo (figura 8). Los cambios principales, aparte del ya mencionado en el párrafo anterior, corresponden a las anomalías más cercanas a la superficie, que debido a las características propias del arreglo Wenner, aumenta su profundidad; estas anomalías se deben como se explicó en el sitio LM1, probablemente a acumulaciones de relleno de lastre, que tal y como si se refleja mejor en la figura 7, tienen espesores cercanos a 1 m.



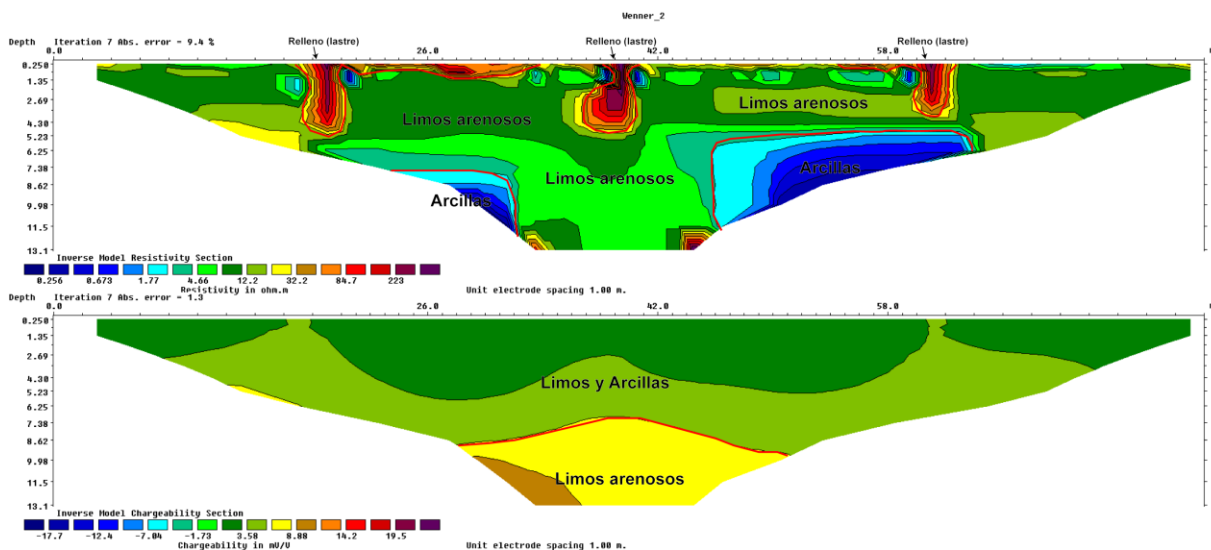


Figura 8. Tomografía del sitio LM2, arreglo Wenner. Superior: Resistividad. Inferior: Cargabilidad (IP).

Por último, en cuanto a los resultados de la cargabilidad o IP, cabe primero anotar que en los datos obtenidos de campo, se registran cargabilidades negativas, las cuales suelen ocurrir con ciertos tipos de arcillas que presentan altos contenidos de humedad (Brandes & Acworth, 2003). Posterior a la inversión de los datos, se observa en la figura 7 inferior, que los primeros 7,5 m presentan una polarización muy baja asociada a limos y arcillas, la cual aumenta ligeramente por debajo de este nivel, lo que se asocia a un cambio textural del material con más presencia de arena.

2.3. Tomografía LM3

La tomografía en el sitio LM3 muestra resistividades muy bajas del orden de $10^1 \Omega\cdot m$ y menores, lo cual se interpreta como materiales de granulometría fina, arcillas y limos, tal y como se ha venido describiendo en los otros sitios. En este caso en particular la estratigrafía la compone principalmente arcillas, con un espesor promedio de 10 m, las cuales están subyacentes a limos que se observan en superficie y que poseen un esp. La figura 9 muestra la interpretación acá descrita.

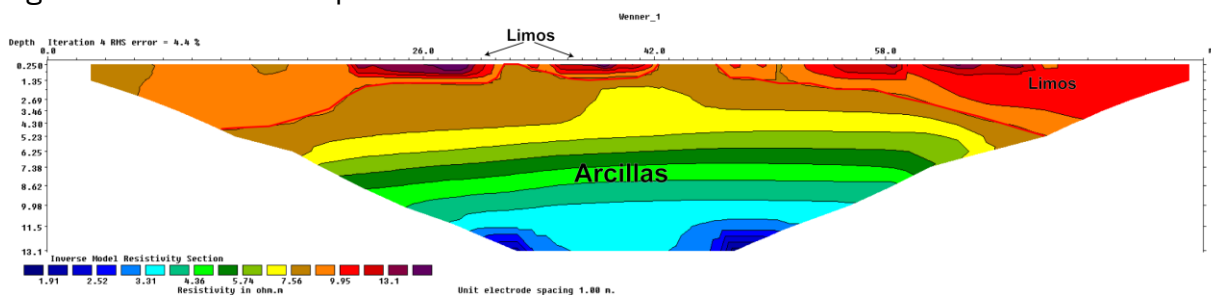


Figura 9. Tomografía eléctrica de resistividad del sitio LM3, arreglo Wenner.

2.4. Tomografía LM4

Aunque en los resultados del sitio LM4 muestran los mismos materiales, estos se presentan estructuralmente más desorganizados, ya que se observan lentes de arcilla inmersos en una capa de limo cuyo espesor varía de 12 m a 13 m (ver figura 10 superior). En cuanto a las anomalías superficiales, éstas siguen siendo interpretadas como lastre, con un espesor menor a 1 m.

En conjunto con los resultados de cargabilidad (figura 10 inferior), se desprenden dos fenómenos, el primero es que prácticamente toda la zona investigada presenta altos contenidos de humedad, asociados a los bajos valores de cargabilidad, y el segundo, que de los 59 m a 63 m, el lastre presenta ya sea una composición mineralogía distinta al resto o que en este lugar en específico hay algún elemento o elementos (como lo puede ser basura metálica), que son más polarizables.

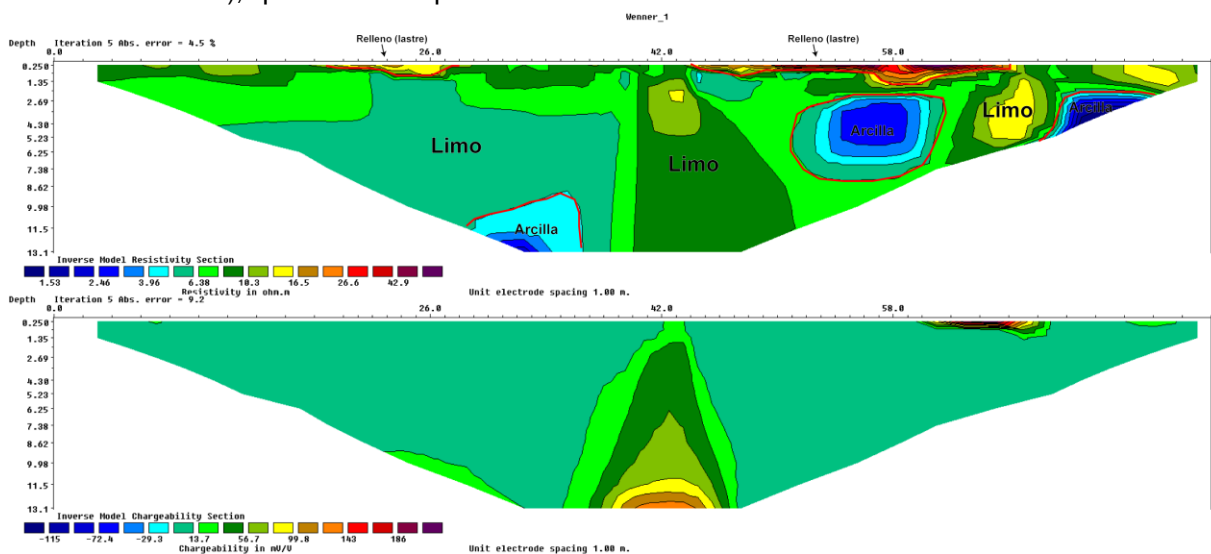


Figura 10. Tomografía del sitio LM4, arreglo Wenner. Superior: Resistividad. Inferior: Cargabilidad (IP).

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estratigrafía de las márgenes del río Limoncito se compone principalmente de materiales texturalmente finos, como lo son arcillas y limos, con ocasionalmente un mayor contenido de arena. Los ensayos de IP realizados en los sitios LM2 y LM4 demuestran que el subsuelo tiene altos contenidos de humedad, razón por la cual no se pudo ubicar el nivel freático.

Los resultados aquí presentados resultan valiosos como una primera aproximación a la estratigrafía de los alrededores del río Limoncito, sin embargo, no deben ser utilizados para el diseño de estructuras o elementos ingenieriles, ya que actualmente no existe todavía una relación directa entre la resistividad y los parámetros geotécnicos necesarios para los diseños.



Se recomienda complementar los resultados acá obtenidos con técnicas directas, como lo es la perforación con recuperación de muestras. Además utilizar otras técnicas geofísicas como la sísmica, para obtener parámetros geotécnicos de los materiales.

IV. REFERENCIAS

Brandes, I. & Acworth, I., 2003:- Intrinsic Negative Chargeability of Soft Clays, ASEG Extended Abstracts, 2003:2, 1-4.

Legorreta, K., 2016:- Detección de plumas de contaminación aplicando el método de Polarización Inducida alrededor del ex-relleno sanitario de la ciudad de Ensenada, Baja California, México. Trabajo final de Graduación (M.Sc.). México.

Ci: Archivo / Consecutivo



2257-9733



www.senara.or.cr



5262-1000 San José, Costa Rica



Goicoechea, Calle Blancos, del puente de Cinco Esquinas de Tibás 600 metros este