



Laboratorio Nacional  
de Resiliencia Costera

# INFORME

## INFORME DE ACTIVIDADES TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA



## PRESENTACIÓN

En este informe se resumen las actividades realizadas durante el periodo de agosto a noviembre de 2016 con el equipo SuperSting R8 en el uso de Tomografías De Resistividad Eléctrica dentro del proyecto CONACYT p. 271544 "Laboratorio Nacional De Resiliencia Costera (Primera Consolidación)".

Equipo: SuperSting

Modelo: SUPERSTING™ R8/IP WITH Wi-Fi®, 56 ELECTRODE AUTOMATIC EARTH RESISTIVITY IP & SP IMAGING SYSTEM

Fabricante: AGI Advanced Geosciences Inc.

No. Serie: SS1601074

Número de Inventario UNAM: 02469841

Mariana Patricia Gómez Nicolás  
Técnico LANRESC  
mariana22@ciencias.unam.mx

# TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
COMPONENTES DEL SUPERSTING R8.....	4
CURSOS.....	5
CURSO ERT TERRESTRE.....	5
TEMARIO:.....	5
CURSO ERT MARINO.....	7
TEMARIO:.....	7
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.....	10
DINÁMICA TEMPORAL DE PLAYAS Y DUNAS COSTERAS Y SU PARTICIPACION COMO ELEMENTO DE ESTABILIZACION EN LA MORFOLOGIA DEL FRENTE DE PLAYA.....	10
PROYECTO DE MONITOREO EN LAGUNA CARBONERA.....	13
T1. BOCANA.....	13
T2. OJO DE AGUA.....	20

# INTRODUCCIÓN

La Tomografía Eléctrica o ERT (Electrical Resistivity Tomography) es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar, con alta resolución espacial (tanto horizontal como vertical), la distribución de la resistividad a partir de un número muy elevado de medidas realizadas en forma automática desde la superficie del terreno.

A partir de julio de 2016 el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera cuenta con un equipo capaz de adquirir ERT; se trata del **SuperSting R8™**.

El SuperSting™ con Wi-Fi® es un instrumento de resistividad, polarización inducida (PI) y potencial espontáneo (SP) portátil con memoria de almacenamiento de datos y ciclos de medición definidos por el usuario. SuperSting R8/IP/SP Wi-Fi: es una versión de ocho canales, es decir, mide simultáneamente en 8 canales para cada inyección de corriente. El SuperSting utiliza un transmisor de energía incorporado y puede ser utilizado para mediciones tradicionales como sondeos eléctricos verticales (SEV), mise-a-la-masse o la tomografía eléctrica de múltiples electrodos en 2D, 3D y 4D (lapso de tiempo). Otras aplicaciones son tomografía pozo a pozo, estudios marinos a través de barco por arrastre y mediciones bajo el agua en ríos, lagos, presas y mar para investigar las condiciones del fondo. El sistema de cables de electrodos adquirido es “pasivo”. Esto significa que se utiliza una caja de conmutación central y un cable multi-conductor, donde un conductor va a cada electrodo.

En la figura 1 se pueden apreciar todos los elementos que conforman este equipo con su respectivo nombre.

# COMPONENTES DEL SUPERSTING R8



- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Supersting R8                                   | 22. Jumper Cable 2                   |
| 2. Caja con electrodos secciones (1-14 y 15-28)    | 23. Cable marino swicht box          |
| 3. Caja con electrodos secciones (29-42) y (43-56) | 24. Cable banana-31 pin              |
| 4. Caja con 58 estacas                             | 25. Cable electrodo section-swichbox |
| 5. Cables marinos sección continua 1-56            | 26. Cable com-6 pin                  |
| 6. Switch Box 56                                   | 27. Cable banana-6 pin               |
| 7. SuperSting Marine                               | 28. Cable com -10 pines              |
| 8. 2 Antenas WiFi                                  | 29. Cable com – 10 pines             |
| 9. USB SuperSting Terrestre                        | 30. Power SS cable                   |
| 10. USB Marine Log Manager                         | 31. Booster Cable                    |
| 11. Dongle Marine Log Manager                      | 32. Power office Supply              |
| 12. Lowrance screen                                | 33. Adapter Box                      |
| 13. Power/Data cable Lowrance                      | 34. Fusibles                         |
| 14. Adaptador COM→USB                              | 35. Tarjeta Micro SD                 |
| 15. Lowrance GPS Antena                            | 36. Sonar                            |
| 16. Tablet con cargador                            |                                      |
| 17. Manual   |                                      |
| 18. Manual   |                                      |
| 19. Manual   |                                      |
| 20. Cargador Universal                             |                                      |
| 21. Jumper Cable                                   |                                      |

Figura 1. Equipo Super Sting R8 con todos sus accesorios.

# CURSOS

## CURSO ERT TERRESTRE

FECHA: 18 de agosto de 2016 de 9 am a 6 pm

IMPARTIÓ: M en C. Mariana Patricia Gómez Nicolás

ASISTENTES:

José López González† ;  
Elena Ojeda Casillas† ;  
Paulo Salles Afonso de Almeida†  
Bernardo Figueroa Espinoza  
Alejandro Paladio Hernández  
Jorge Maximiliano Uuh Sonda† ;  
Miguel Fernando Domínguez Sandoval  
César Canul Macario  
David Gracia Barrera

TEMARIO:

Mini Curso Tomografía de Resistividad Eléctrica (Terrestre) Imparte: Mariana Gómez

1. Introducción ( 40 min )
  - Conceptos básicos de resistividad
  - Estimación de profundidad de penetración
  - Comparación de diferentes arreglos de electrodos
2. Instrumentación (20 min)
  - El sistema SuperSting
  - Menús principales
3. Preparación para el estudio de campo (30 min)
  - Crear / Cargar archivos de comandos
4. Estudio de campo (perfil de playa) (2 horas)
5. Introducción al procesamiento de datos con AGI EarthImager2D (1 hora)
  - Modelado directo
  - Modelación inversa
  - Interpretación de datos de resistividad

## SÍNTESIS DE RESULTADOS

La participación de los 9 asistentes hizo de este taller un éxito. Todos ellos aprendieron sobre el uso del equipo SuperSting y ahora cuentan con el conocimiento necesario para poner en práctica esta metodología. La posición del transecto fue estratégica, pues permitió comparar con otros tipos de mediciones hechas en proyectos previos, lo cual permite abrir las puertas a la colaboración interdisciplinaria



Figura 2. Ubicación de la medición hecha con Super Sting R8 el 18 de agosto de 2016.

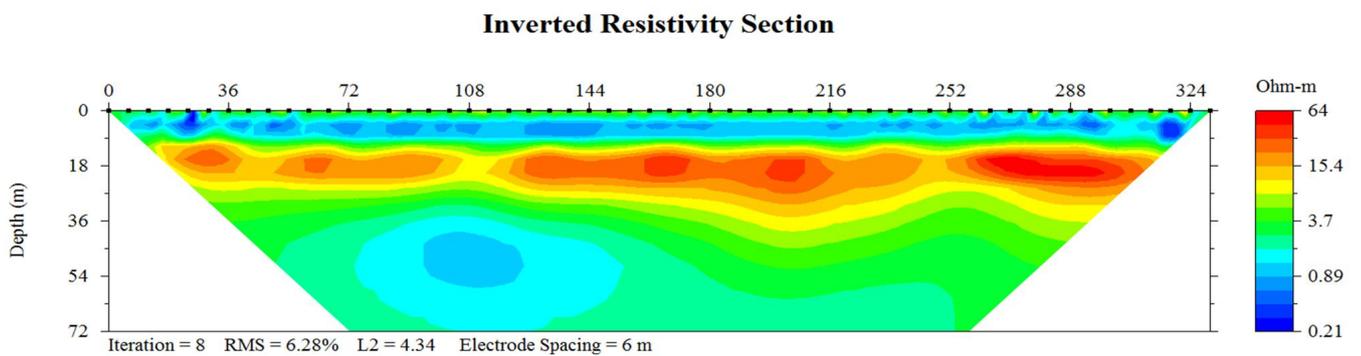


Figura 3. Perfil de resistividad invertido. Se observa claramente una estratificación en capas que se corresponden con el modelo conceptual que se tiene de la zona en la que fue adquirido: Una delgada zona no saturada, seguida de una zona saturada de baja conductividad con valores  $< 1 \Omega\text{m}$  y por debajo de ella una capa resistiva que bien podría ser “caliche” con valores que oscilan próximos a  $60 \Omega\text{ m}$ . Debajo de esta última estratificación se vislumbra una capa de menor resistividad que se asocia a la cuña salina.



## CURSO ERT MARINO

FECHA: 27 y 28 de agosto de 2016

IMPARTIÓ: Eduardo Rodrigues

Eduardo Rodrigues es Geofísico de la Empresa Advanced Geosciences Europe, S.L. (AGE) en Madrid, España. Ha recibido los títulos de grado de Ingeniero Geofísico y Master en Ciencias de la Tierra en la Universidad Simón Bolívar en Caracas, Venezuela. Cuenta con 15 años de experiencia en el campo de la geofísica aplicada llevando a cabo diversa cantidad de proyectos en Venezuela y Chile en el área de geotecnia, medio ambiente, aguas subterráneas, minería y petróleo. Debido a su amplio conocimiento del mercado de América Latina, desde el año 2014, Eduardo Rodrigues forma parte del prestigioso staff de geofísicos de la empresa AGE, como responsable directo en el área de marketing, ventas, soporte técnico en software y hardware así como entrenamientos y seminarios para América Latina.



### TEMARIO:

- AGI Sistema SuperSting R8 Marino
- Preparación para el estudio de campo
- Imágenes de resistividad subacuáticas con un cable estacionario bajo el agua
- Introducción y movilización marina
- Preparación para la adquisición de datos de resistividad marina en un lago cercano
- Perfiles de resistividad continuos (CRP)
- Procesamiento de datos

ASISTENTES:

*César Canul Macario  
Mariana Patricia Gómez Nicolás  
Brayan Rodrigo Covarrubias Contreras  
José López González  
Paulo Salles Afonso de Almeida  
Jorge Maximiliano Uuh Sonda  
David Gracia Barrera  
Alejandro Paladio Hernández  
Bernardo Figueroa Espinoza*

SÍNTESIS DE RESULTADOS



La presencia de Eduardo Rodrigues en el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros permitió resolver diversas dudas de carácter técnico respecto al uso del equipo SuperSting Marino. Sin embargo, debido a que la empresa no envió una de las piezas fundamentales para la adquisición (sonar) la capacitación quedó un tanto incompleta por lo que se está trabajando a

distancia en coordinación con la empresa para solventar las configuraciones que restan.

*Figura 4. Adquisición en campo de ERT marina. Sisal Yucatán 28 de agosto de 2016.*





# PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

## DINÁMICA TEMPORAL DE PLAYAS Y DUNAS COSTERAS Y SU PARTICIPACION COMO ELEMENTO DE ESTABILIZACION EN LA MORFOLOGIA DEL FRENTE DE PLAYA

NÚMERO DE PROYECTO: Proyecto interno IINGEN

RESPONSABLE: Dra. Elena Ojeda Casillas

OBJETIVOS PRINCIPALES: Aportar desde la ERT al conocimiento del subsuelo en la región de dunas costeras para añadirlo como elemento de análisis de la morfología de playa.

ARREGLO EXPERIMENTAL: Para la adquisición de ERT se siguió la configuración que se explica en la figura 5



Figura 5. Transectos de Estudio en playa de Sisal. En amarillo se muestran perfiles de los cuales se tiene un estudio sistemático de topografía medida con GPS diferencial. En verde se muestran las localizaciones de los electrodos tendidos en un arreglo recto con separación de 3m (9 sep. 3 m riego/sin riego). En rojo se coloca el transecto obtenido durante la salida a campo del curso ERT terrestre mencionado en páginas anteriores (18 agosto 2016 y agosto 2015).

Durante el periodo que lleva funcionando este proyecto (septiembre de 2016) se han ido probando diferentes configuraciones y formas de colocar el arreglo tratando de mejorar la resistencia de contacto. Como se observa en la figura 6, esto se ha logrado de forma sistemática.

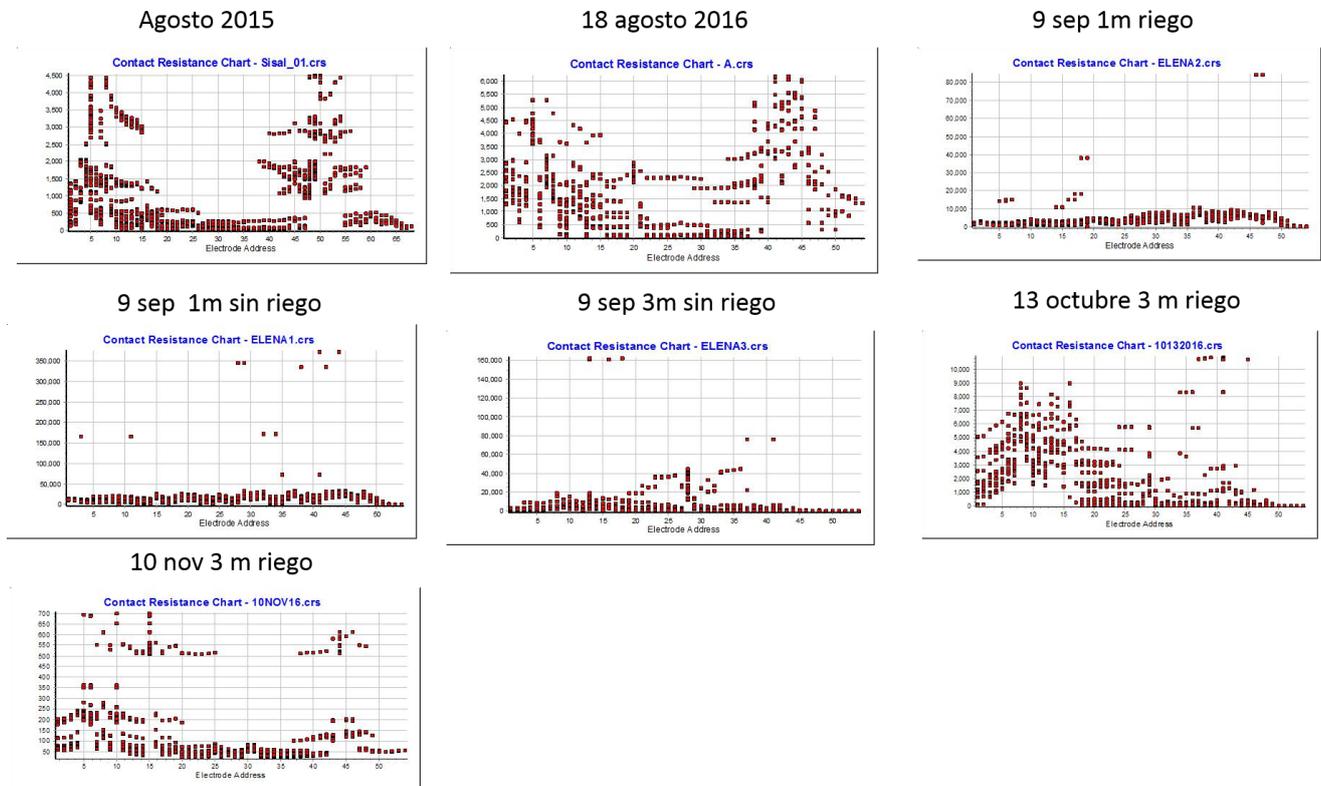


Figura 6. Resistencias de contacto. Se presentan las resistencias de contacto de 7 diferentes perfiles. Como se observa, la mejor resistencia de contacto se obtuvo en el perfil del 10 de nov con una separación e 3 m entre electrodos y regando cada uno de ellos. Además se excavó aproximadamente 60 cm para colocar los electrodos.

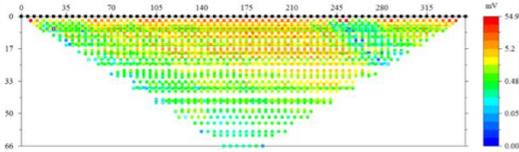
Sin embargo, a pesar de la mejoría en la resistencia de contacto se encontró un fenómeno inesperado: El transecto del 10 de nov, con la mejor resistencia de contacto, tiene casi un 80% de datos con valores negativos, como lo muestra la figura 7.

Este resultado es inesperado y una consulta en la literatura nos ha planteado las siguientes hipótesis:

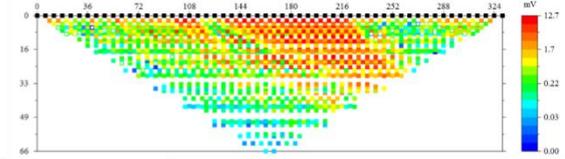
- 1) Material metálico enterrado debajo del transecto.
- 2) La inserción de los electrodos fue demasiado profunda y se perdió la condición de “fuente puntual”.
- 3) Falla en la comunicación interna de cables.

Actualmente se está trabajando en la resolución de este problema.

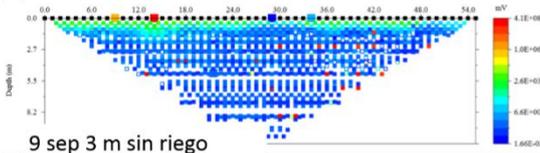
Agosto 2015



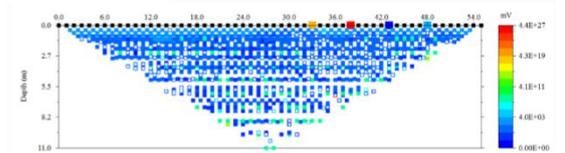
18 agosto 2016



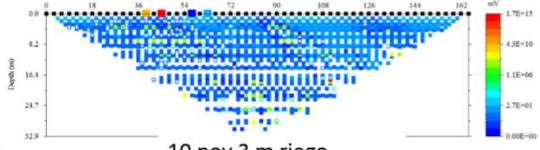
9 sep 1 m riego



9 sep 1 m sin riego



9 sep 3 m sin riego



13 oct 3 m riego



10 nov 3 m riego

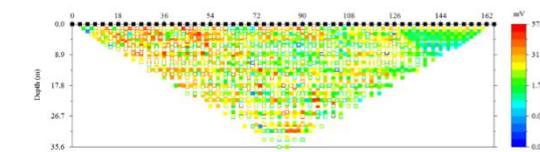
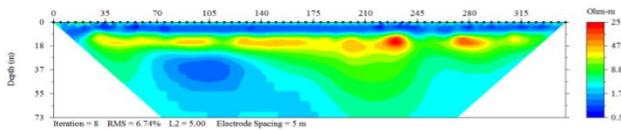
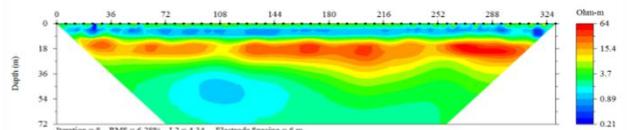


Figura 7. Voltajes medidos en campo. Se observa que el transecto del 10 nov tiene una gran cantidad de valores negativos.

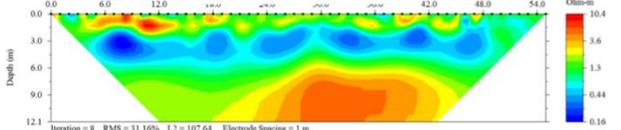
Agosto 2015



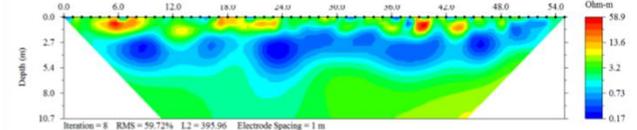
18 agosto 2016



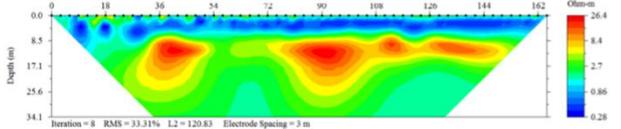
9 sep 1 m riego



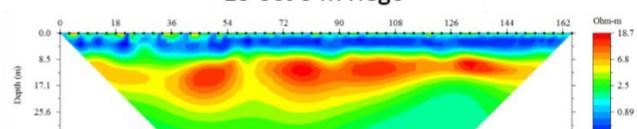
9 sep 1 m sin riego



9 sep 3 m sin riego



13 oct 3 m riego



10 nov 3 m riego

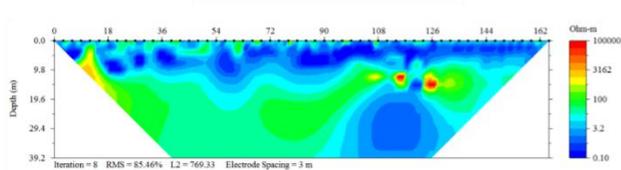


Figura 8. Secciones de resistividad invertidos. A pesar de la pobre resistencia de contacto en los transectos de agosto de 2015 y 18 de agosto de 2016, las secciones invertidas presentan un buen ajuste y valor de RMS, además, son similares entre sí. La separación entre electrodos en este caso fue de 5 y 6 m respectivamente. Por otro lado, la del 10 de noviembre no logra converger debido a la gran cantidad de datos con voltajes negativos.

# PROYECTO DE MONITOREO EN LAGUNA CARBONERA

Como parte de las actividades de monitoreo a largo plazo de la Laguna Carbonera, este año se agregó la adquisición de varias tomografías de resistividad eléctrica. Se eligieron 2 sitios de interés, los cuales se distinguen con la notación T1 y T2. A continuación se presenta la planeación de la salida de campo:

## *T1. BOCANA*

### PARTICIPANTES:

César Canul Macario (CMC)  
Mariana Gómez Nicolás (MGN)  
Brayan Rodrigo Covarrubias Contreras (RCC)  
Miguel Fernando Domínguez Sandoval (MDS)

### DISEÑO EXPERIMENTAL T1

- Fecha: 22 septiembre
- 56 electrodos
- Espaciamiento 5 m
- Dipolo-Dipolo
- Max  $n = 8$
- Max  $a = 10$
- Cmds=395 / lecturas=1895
- Tiempo medición  $\approx 1$  hora
- Batería  $> 12$  V
- Riego en zona de duna
- Estacas de acero-sujetas con ligas de hule
- Plomos sujetando cable
- 1 perfil cada 3 horas durante 24 horas.
- Total 8 perfiles.
- Cable marino

### SÍNTESIS DE RESULTADOS T1

El cable marino se colocó en punto A ( $21^{\circ}13'44.59''N$ ,  $89^{\circ}53'58.68''O$ ). El punto A fungió como el centro y a partir de ahí el cable se extendió con el electrodo 1 hacia la Ciénega y electrodo 56 hacia playa.



Figura 9. Arriba: Localización de los puntos de adquisición de las tomografías de resistividad eléctrica. En rojo se muestra el transecto T1 y en amarillo un bosquejo de T2. Abajo: Ampliación de la zona y colocación del transecto T1. La línea recta se sobrepuso a imágenes de dron de julio de 2016.



Colocación de cable marino.



Vista desde la duna de la colocación del cable marino.

A continuación se presentan las 8 mediciones realizadas sobre T1 a diferentes horas y su correlación con la marea astronómica y el valor de “gasto” en la Bocana calculado por el Ing. Alejandro Paladio con ayuda de un ADCP.

Como se puede apreciar en las imágenes, no parece existir mucho dinamismo por debajo de los 20 metros, excepto en la zona de la laguna central (90 – 180 m eje horizontal) que

conforme la marea va en ascenso va volviéndose más conductiva y pareciera que existe un fuerte fenómeno de infiltración hacia capas más resistivas alrededor de los 20m de profundidad.

Otra cuestión interesante son los valores de alta resistividad que se presentan por debajo de los 15 m justo en las orillas de la laguna central. Seguimos indagando si se trata de un efecto de borde o realmente el material en esa localización es más compacto debido a algún fenómeno de transporte.

Siendo el primer monitoreo de 24 horas del que se tiene registro al menos en Yucatán con esta técnica, los resultados alientan nuevas preguntas de investigación y mejores diseños experimentales para seguir conociendo de la hidrogeología de la región.

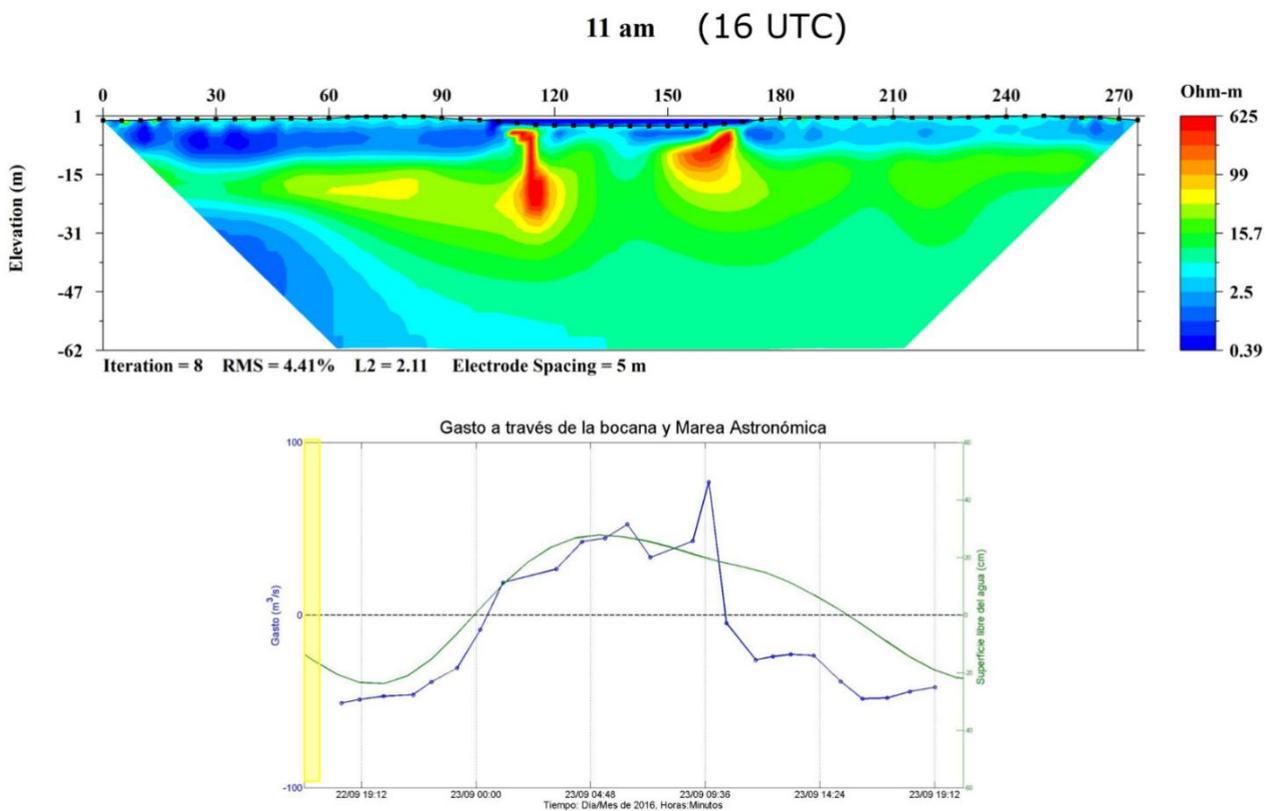


Figura 10. Medición en T1 a las 11 am.

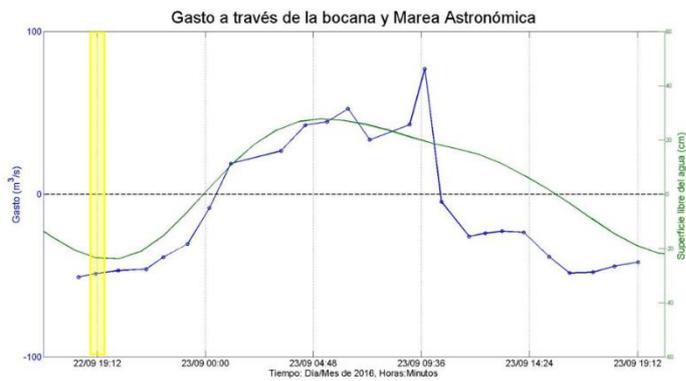
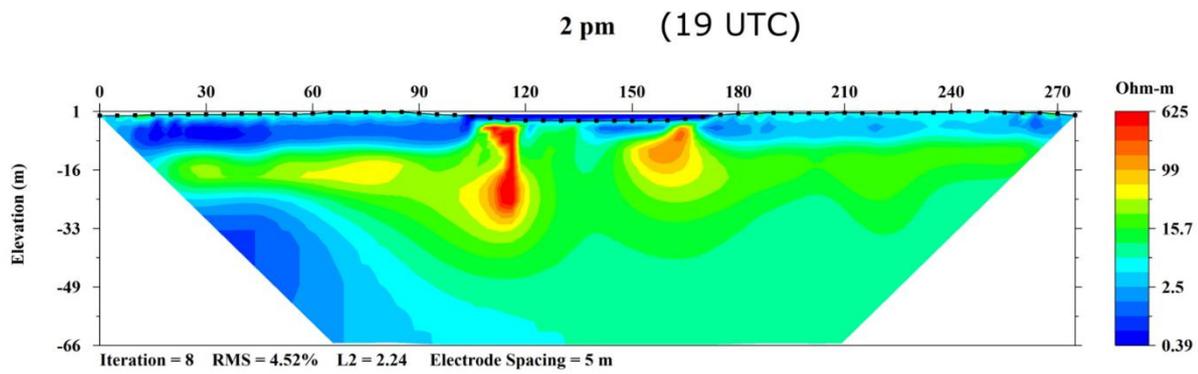


Figura 11. Medición en T1 a las 2 pm.

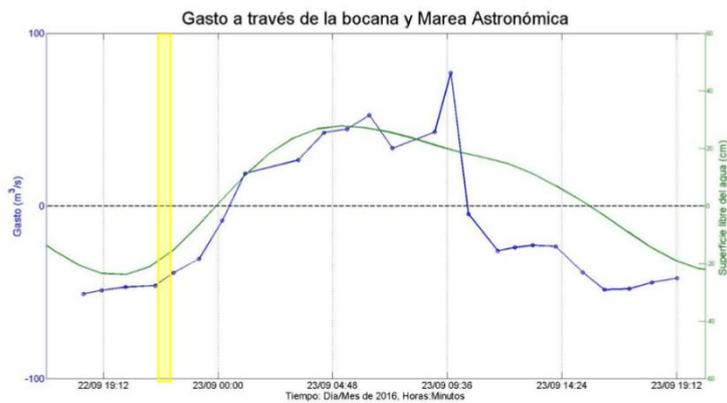
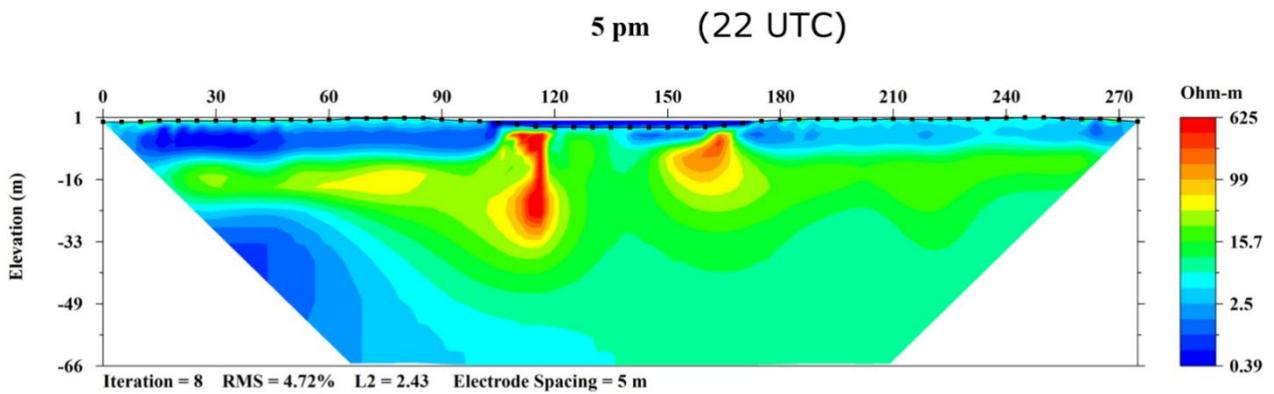


Figura 12. Medición en T1 a las 5 pm.

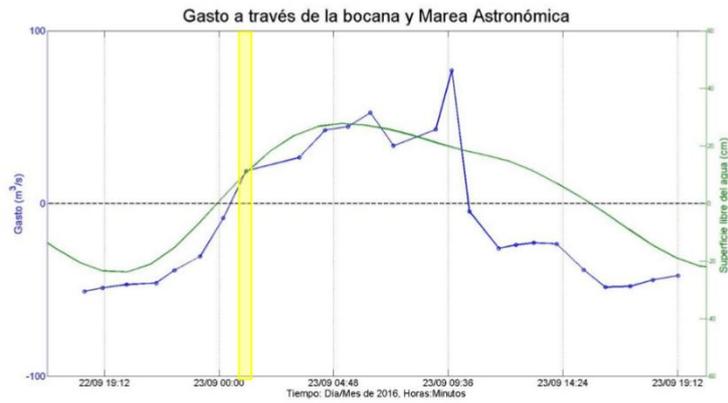
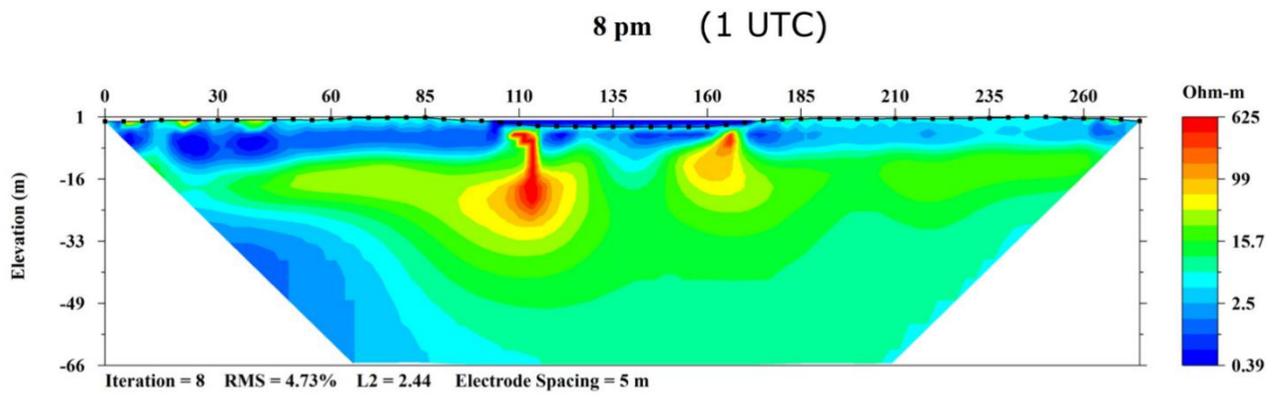


Figura 13. Medición en T1 a las 8 pm.

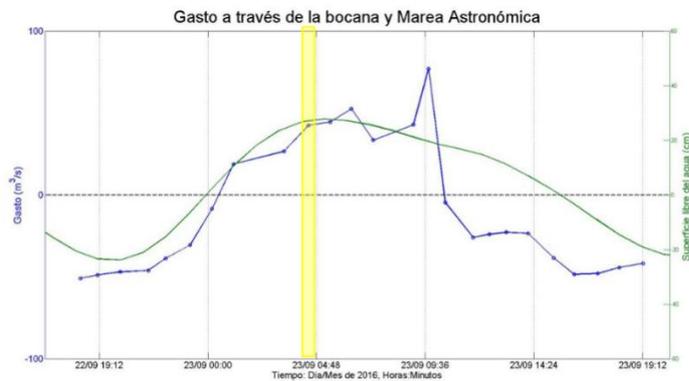
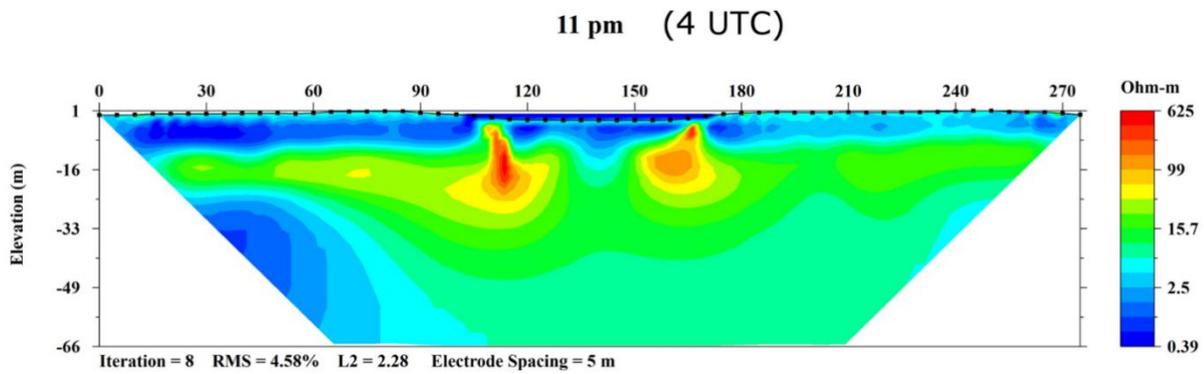


Figura 14. Medición en T1 a las 11 pm.

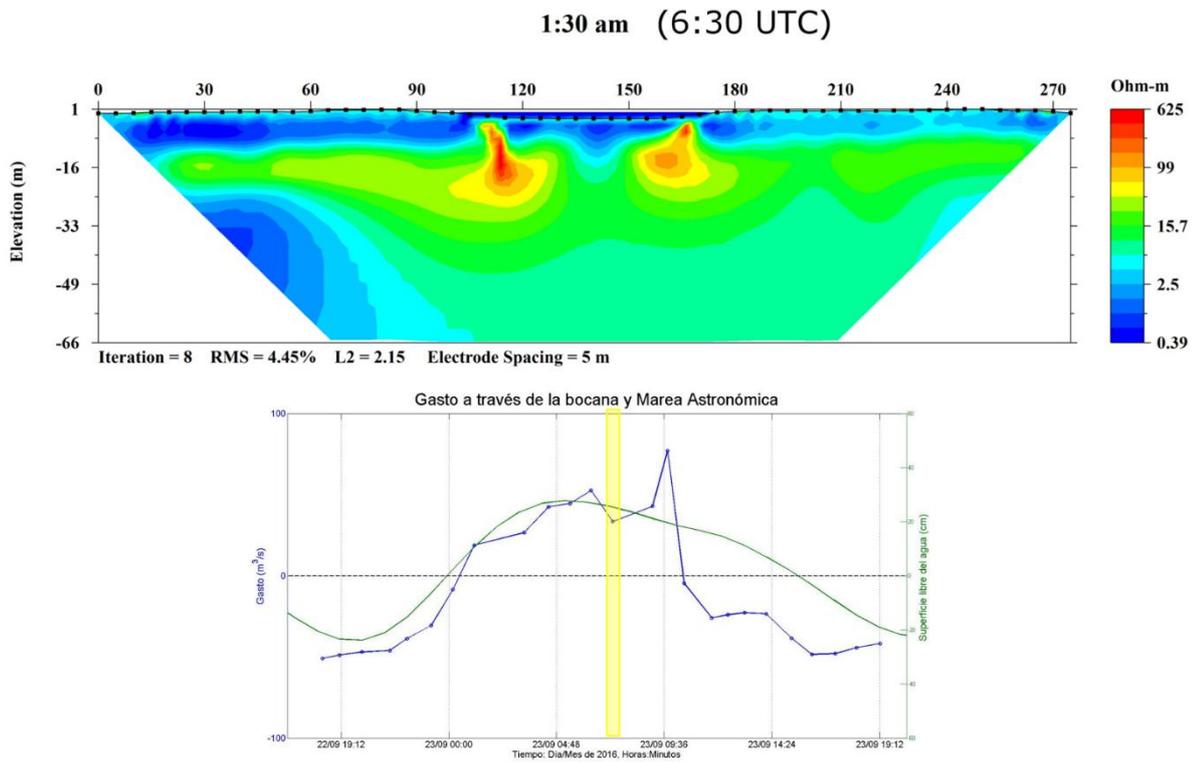


Figura 15. Medición en T1 a la 1:30 am.

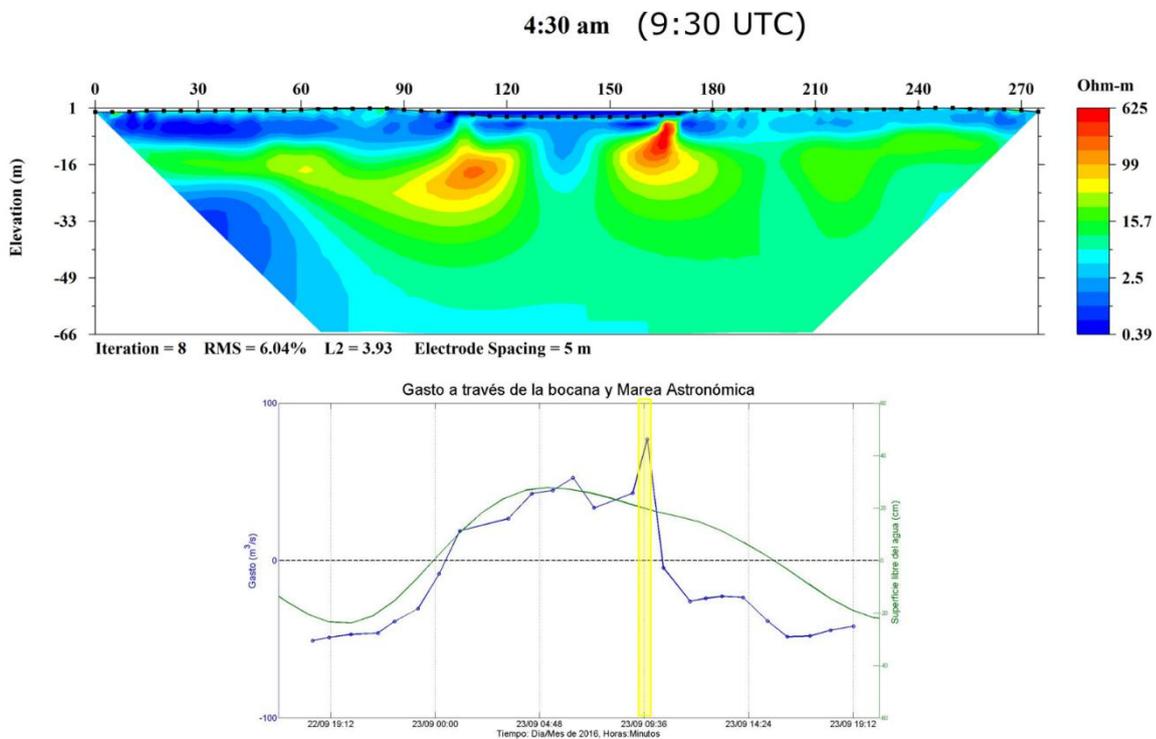


Figura 16. Medición en T1 a las 4:30 am.

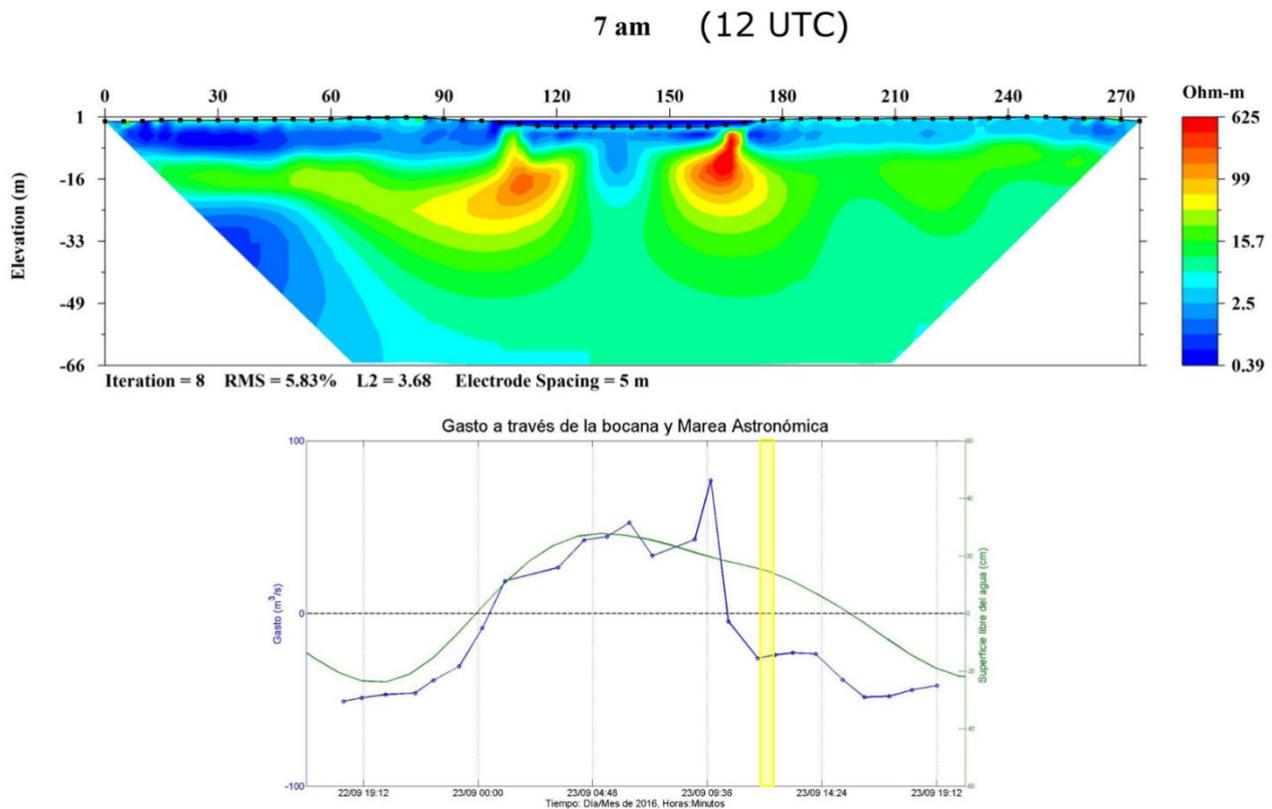


Figura 17. Medición en T1 a las 7 am.

## T2. OJO DE AGUA

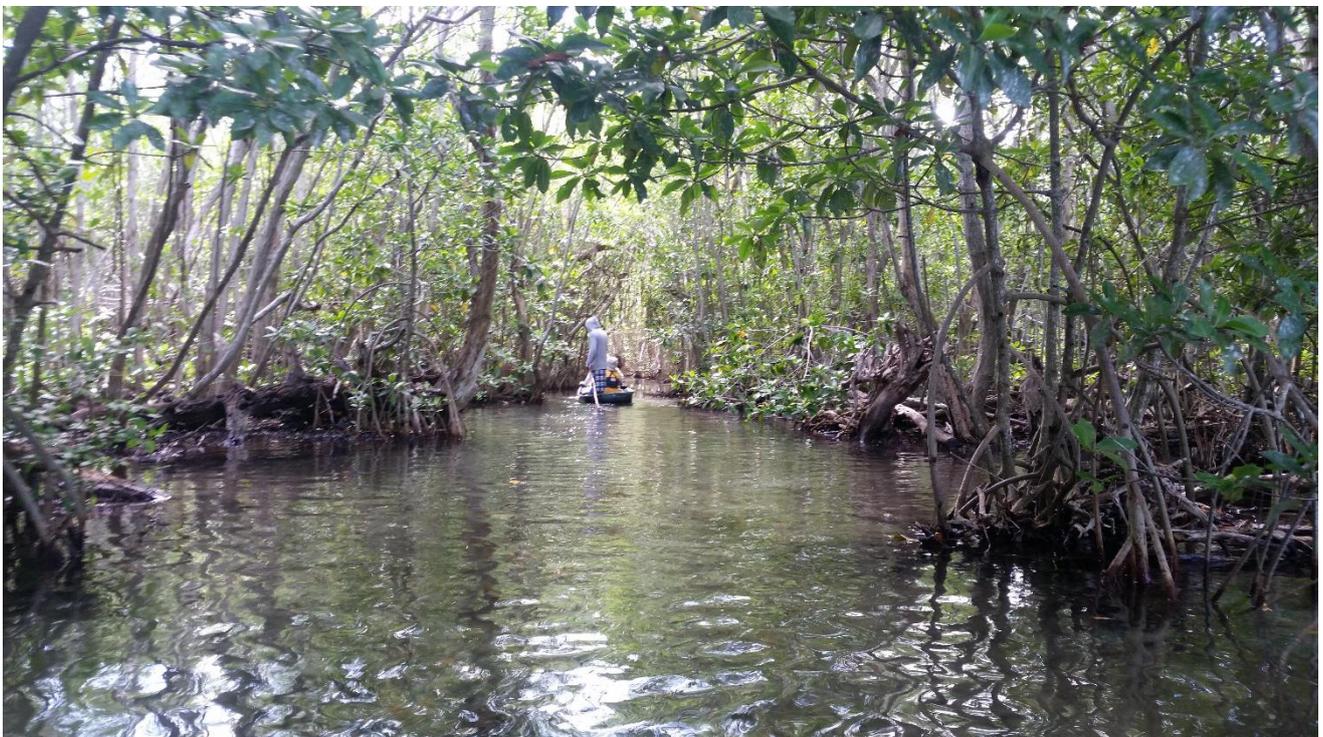
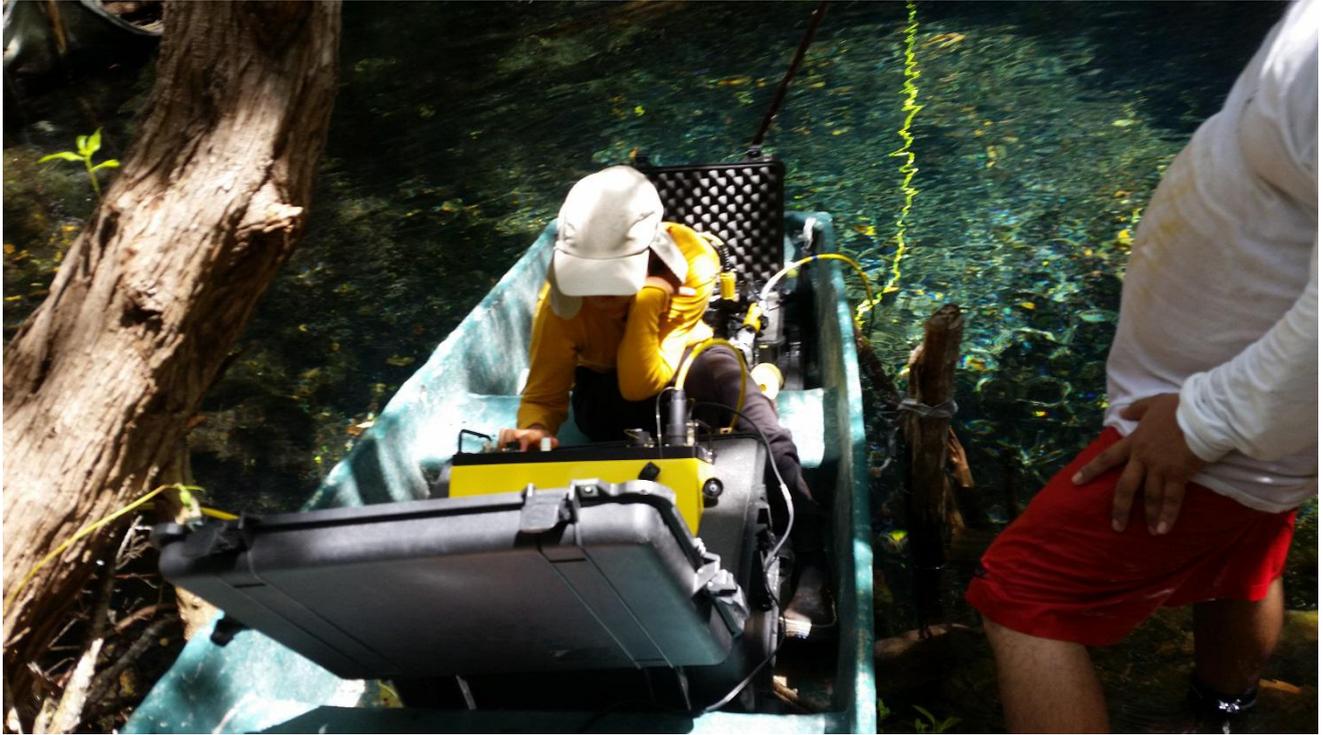
### DISEÑO EXPERIMENTAL T2

- Fecha: 23 septiembre
- Arreglo: Dip-dip 56 electrodos (max sep (n)= 8; min a= 1; max a=10)
- End adress: 25
- Cable: Terrestre
- Imágenes y video: <https://goo.gl/photos/EzQTBRR4QDHtZjyx9>

### SÍNTESIS DE RESULTADOS

Los resultados en el ojo de agua se ajustan al modelo conceptual de una fractura en la la capa más resistiva de la tomografía. Dicha fractura muestra cierta pendiente no se trata de un ojo de agua con paredes verticales, lo cual se corrobora directamente en campo. La colocación del transecto fue todo un reto debida a la espesa vegetación del manglar. Como se puede apreciar en la figura 18, el transecto quedó bastante lejos de ser un perfil recto, pero las condiciones del lugar hicieron imposible lograr un geometría más lineal.

No obstante la calidad de los datos tanto en resistencia de contacto, como inyección de corriente fueron satisfactorias y podemos asegurar que este trabajo presenta la primera tomografía de resistividad eléctrica de este emblemático ojo de agua.



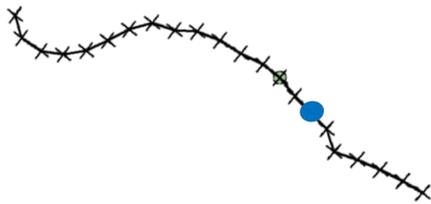


Figura 18. Derecha: Orientación del transecto de ERT en OJO de agua. En morado se muestra trayectoria seguida en alijo. Marcador amarillo representa la posición del ojo de agua y línea amarilla disposición final del transecto medida con cinta y brújula. Izquierda: Ampliación de la orientación del transecto.

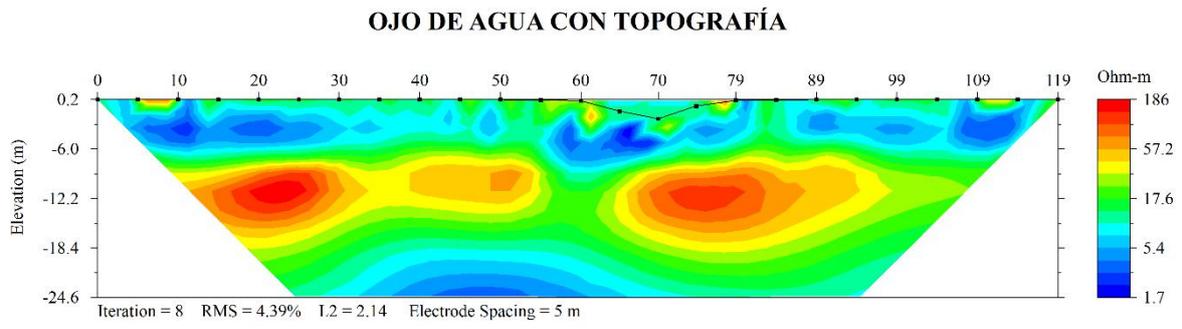


Figura 19. Pseudosección de resistividad invertida en el ojo de agua.