

# **Ra Ximhai**

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo  
Sustentable

Ra Ximhai  
Universidad Autónoma Indígena de México  
ISSN: 1665-0441  
México

2012

## **DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL MONITOREO DE LA SALINIDAD EN EL SUBSUELO**

Mariano Norzagaray-Campos; Patricia Muñoz-Sevilla y Cipriano García-Gutiérrez  
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3  
Universidad Autónoma Indígena de México  
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 143-147.



**e-revist@s**

## DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN EQUIPO PARA EL MONITOREO DE LA SALINIDAD EN EL SUBSUELO

### DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EQUIPMENT FOR MONITORING THE SALINITY IN THE SUBSOIL

Mariano Norzagaray-Campos<sup>1</sup>; Patricia Muñoz-Sevilla<sup>2</sup> y Cipriano García-Gutiérrez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesor Investigador. CIIDIR-COFAA IPN-SINALOA. Bulevard Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Guasave, Sinaloa. Teléfonos: 687 8729625 y 8729626. Ext. 87615. mailto: mnorzacam@yahoo.com.mx. <sup>2</sup>Profesor Investigador. CIEMAD-IPN-México. Calle 30 de Junio de 1520 s/n, Barrio la Laguna Ticomán C.P. 07340 Del. Gustavo A. Madero México, D.F. Tel. 57 29 60 00 Ext. 52711 y 52735.

#### RESUMEN

Los equipos de exploración geoquímica que permiten conocer los contaminantes y estructuras geológicas del subsuelo provienen del extranjero, son costosos y en ocasiones las piezas para reemplazo no están disponibles en el mercado, por lo que es necesario desarrollar equipos que satisfagan estas necesidades. Para el monitoreo de las variaciones de la salinidad existen algunos equipos semiautomáticos, pero son de difícil manejo. Sin embargo, para el estudio indirecto de la salinidad del subsuelo no existen equipos. En este trabajo se diseñó un equipo para realizar las mediciones de la resistividad aparente del subsuelo, mismas que permitieron conocer la salinidad del subsuelo y la detección de algún contaminante en las aguas subterráneas. Para su construcción se seleccionó un diseño de puesta a tierra con aditamentos electrónicos que se unieron para aplicar al subsuelo corriente eléctrica continua (CD) mediante un arreglo dipolo-dipolo y un sondeo eléctrico vertical, con electrodos de latón y de acero inoxidable. En la puesta a tierra los electrodos fueron colocados en línea equidistantes entre los detectores del potencial y los de corriente. Se utilizó un factor geométrico (K) que depende de la distancia electrónica y la corriente eléctrica directa (I) inyectada por los electrodos A y B, para medir la diferencia de potencial entre los electrodos M y N; se logró calcular la resistividad punto a punto para obtener en conjunto una tomografía geoelectrica del subsuelo. El equipo se calibró con errores muy pequeños (rms < 2 %) respecto a curvas obtenidas en equipos comerciales similares. Se construyó un aparato automático para determinar la salinidad del subsuelo, y se probó en la zona de las microcuencas de Texcoco, Estado de México, logrando definir la geometría del medio formado por sedimentos aluviales o lacustres provenientes de rocas ígneas (andesitas, riolitas y tobas vítricas o "tepetates") que por su composición mineralógica permitió a las variaciones laterales de la resistividad asociarlas con los elementos traza que se desprenden dentro del acuífero libre: *Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Pb* o *Zn*, entre otros. Este método constituye un avance en los estudios de impacto ambiental, sobre todo para el monitoreo de subsuelos de sitios en vías de recuperación.

**Palabras clave:** Acuífero, equipo, subsuelo, resistividad, remediación, aguas subterráneas.

#### SUMMARY

Geochemical exploration equipments to explore the contaminants and structures geological in the subsoil come from abroad are expensive and sometimes parts for replacement are not available in the market. So it is necessary design apparatus that meet cover these needs. To the monitoring of variations in salinity there is semi-automatic equipment, but it always has difficult to manage. However, is not equipment for the indirect study of salinity in the subsoil. In this work was design equipment for measurement the apparent resistivity in the subsoil, at same time allow know the salinity, as well as the detection of any pollutant in groundwater. For make it, was selected a design of earthing systems, with electronic hardware which were jointed for apply to subsoil a direct current (DC) through an array dipole-dipole and vertical electric sounding, with brass and stainless steel electrodes. In the earthing systems the electrodes were collocated in the equidistant line between the detectors of potential and current. A geometric factor (K), that depend on the electrodes distance and direct current (I) injected in the electrodes A and B, was used for measure the potential difference between the electrodes M and N; after was calculate the resistivity point to point for obtain a subsoil tomography geoelectrical. The equipment was calibrated with minimum error (rms < 2%) whit respect to curves obtained in similar commercial equipment. On this situation, in this work was modernized and automated an equipment to determine the salinity of the subsoil. The instrument was tasted in the micro basin Texcoco, State of Mexico, to define the environment geometry formed by alluvial or lake sediments from igneous rocks (andesites, rhyolites and tuffs vitreous or "tepetates") which by its mineralogical composition allowed to the lateral resistivity be associate with free components trace from the aquifer: *Cd, Cu, Cr, Co, Ni, Pb* or *Zn* and others. This method constitutes an advance in studies of environmental impact, especially for the monitoring of sites where the subsoil are in process of recovery.

**Key words:** Aquifer, equipment, subsoil, resistivity, remediation, groundwater.

#### INTRODUCCION

Según Telford *et al.* (1990) y Sánchez (2004), la localización de los recursos naturales y estructuras geológicas inmersas en el subsuelo se puede realizar con técnicas geofísicas basadas en la medición de las variaciones de sus propiedades físicas. En nuestro país, un fenómeno que altera la calidad del agua en los acuíferos costeros es la intrusión salina provocada por el agua salada (procedente del mar) cuando fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce. Este

proceso se debe a la mayor densidad del agua del mar, ya que contiene más solutos con respecto a la del agua dulce; lo cual provoca que la presión en el fondo de una columna de agua salada sea mayor que la de una columna de agua dulce de la misma altura (Calvache y Bosh, 2003).

Cuando llegan a conectarse ambas columnas de agua con una perforación, inmediatamente el agua salada fluiría hacia la columna de agua dulce contaminando el pozo, debido a que la disolución solo se detiene cuando la columna de agua dulce es mayor, provocando que la presión aumente y en consecuencia la concentración sea igual a la del agua de mar, inundando así al acuífero de agua salada y con ello haciendo muy difícil su recuperación. Posh (1999) señala que para evitar que el agua dulce llegue al agua salada se debe definir la profundidad a la que se encuentra la interfase salobre y para ello de manera indirecta se calcula la profundidad que tiene la resistividad de los materiales en el subsuelo o el inverso de ésta, también conocida como conductividad. Esta profundidad y magnitud de la resistividad del subsuelo se mide con técnicas geofísicas eléctricas y electromagnéticas. Algunas de estas técnicas son más modernas y más precisas, pero la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) y las tomografías geoeléctricas (TGe's) siguen siendo las más importantes por ser herramientas ampliamente utilizadas por su sencillez y relativa economía. El SEV sirve para obtener un perfil de la variación vertical de la resistividad considerando que el suelo está compuesto por minerales que pueden, según el paso de la corriente, considerarse como resistivos y conductores.

Según Orellana *et al.* (1995) y Boyd (1996) cuando se utiliza el método de resistividad en prospección geofísica, se introduce una corriente eléctrica que puede ser continua o alterna de baja frecuencia en el terreno; esto se realiza por medio de un par de electrodos que mide la diferencia de potencial entre otro par de electrodos dispuestos en una configuración ya establecida, dando como resultado un perfil del terreno (SEV's) o las variaciones de la resistividad en la lateral (TGe's).

Para realizar esta determinación en campo, la mayoría de los equipos son de procedencia extranjera y en México son muy pocas las investigaciones al respecto; por mencionar una, la del CIIDIR-Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional donde se realizó un aparato que realiza la medición de la resistividad (Sepúlveda, 2009); el cual es un buen equipo, pero es voluminoso y poco automatizado; y solo trabaja hasta 110 VDC, por lo que el objetivo de este trabajo fue; el diseño y aplicación de un equipo de bajo costo para el monitoreo indirecto de contaminantes geoquímicos en el subsuelo.

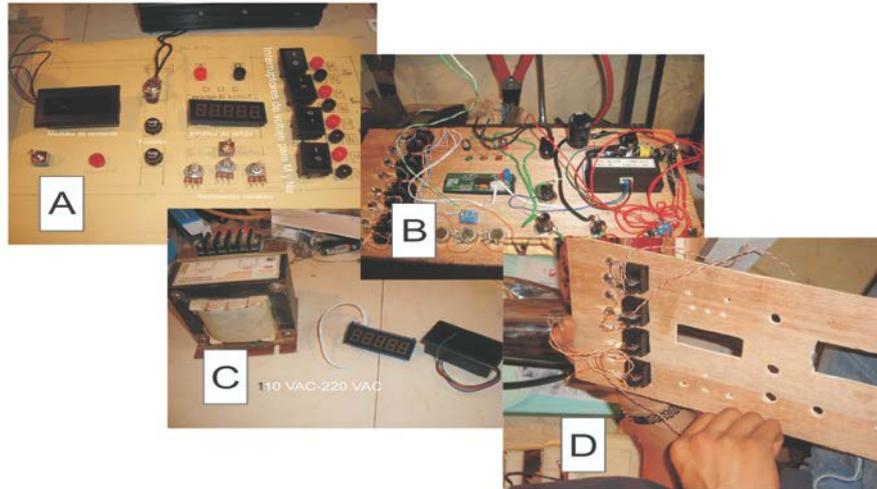
El diseño del equipo se realizó debido a que los aparatos utilizados en las exploraciones geoquímicas del subsuelo provienen del extranjero, son costosos, delicados y si se descomponen las piezas para repararlos no se encuentran en el mercado.

Por esta razón es necesario el desarrollo de tecnología propia que satisfagan las necesidades de este tipo de investigaciones. La metodología para el estudio de las propiedades de los materiales en el subsuelo es típica en la localización del petróleo, aguas subterráneas y minerales. Los intentos por construir aparatos eficientes deben evitar que sean voluminosos, semiautomáticos con la finalidad de satisfacer algunas de las necesidades que otros equipos no tenían; en este trabajo se diseñó, modernizó y automatizó un equipo de mejor funcionamiento para realizar las mediciones geoeléctricas que permitan obtener pseudosecciones de la resistividad aparente del subsuelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un equipo para mediciones geoeléctricas que funciona mediante una pila recargable de 12 VCD que eleva mediante un circuito electrónico el voltaje hasta 157 V y 278 VCD, necesarios para energizar al subsuelo y obtener la corriente inyectada y el potencial inducido a distancias horizontales por arriba de los 500 m de profundidad. El equipo permite elegir la polaridad de la corriente inyectada; esto con el fin de eliminar las dos fuentes principales de ruido: la polarización de electrodos y las corrientes telúricas.

En el mercado nacional se compro un amperímetro (6 A) y un voltímetro (3 V), un botón de encendido, distintas resistencias variables y fijas, un transformador de 12 VCD a 110 VAC, un transformador de 110 VAC a 220 VAC, perillas de baquelita que se usaron en los dos selectores de funciones; botón para energizar y botón que alimenta el voltaje, diversos conectores, cable de distintas medidas, condensadores de 470  $\mu$ F para 250 VAC, diodos leed, conectores hembra y macho, interruptores, entre otros. Todos los materiales en base al diseño de la Fig. 1. Para ponerlos en operación se unieron las partes sobre una tabla de madera por ser aislante y evitar posibles cortos eléctricos. Una vez montados los circuitos se procedió al diseño de la presentación comercial, la cual se hizo con el programa Corell Draw versión X4 (2008) y se imprimió sobre un papel especial, contra el agua y el sol, ya que el aparato comúnmente trabaja a la intemperie.



**Figura 1.** Pasos del armado del equipo de resistividad: A) diseño previo del equipo antes de conjuntar todos los dispositivos electroditos, B) unión de todos los dispositivos electroditos, C) convertidor de corriente 110 VAC a 220 VAC, y madera donde se montaron todos los aditamentos electrónicos.

Debido a la sensibilidad de los aparatos de medición de la corriente y el voltaje, se colocaron en la parte lateral derecha cuatro salidas que provienen de la estructura interna del aparato para medir la corriente y el voltaje con un multímetro convencional, previendo así cualquier falla en campo. Para ponerse a prueba, el equipo operó en las microcuencas de Texcoco, Estado de México mediante una TGe y un SEV cerca del río Papalotla, en el Municipio de Tezoyuca. Los resultados fueron comparados con un equipo comercial de procedencia extranjera. Para validar su funcionamiento se compararon las curvas obtenidas entre los dos equipos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyo un equipo útil en investigación que permite una exploración profunda del subsuelo, manejando grandes cantidades de energía, con aplicación en diferentes ramas del conocimiento. Su validación en campo dio la certeza de su funcionalidad para el uso propuesto, ya que al comparar la curva de resistividad aparente obtenida con este aparato y la resistividad del aparato comercial se manifestó una diferencia de un rms  $<2\%$ .

El equipo terminado se presenta en la Fig. 2, en la que se puede observar que es un equipo portátil, de buen diseño y pequeño (36x18x15-19cm). El tablero frontal tiene un ángulo de 25 grados que permite al observador mejor comodidad al hacer las lecturas en campo. Se aprecia también que es un equipo funcional, automático y moderno, útil, para su uso en trabajos de investigación. Además se evito comprar un aparato en el extranjero a costo elevado; y en caso de falla del aparato la reparación es en nuestro laboratorio a precio económico.



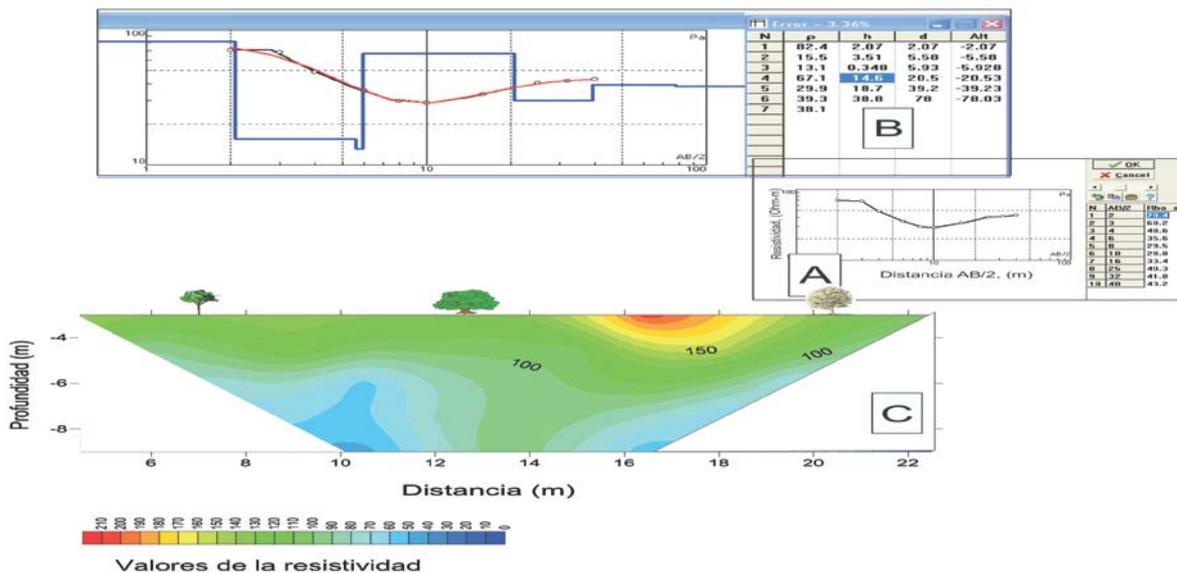
**Figura 2.** Equipo terminado, A) muestra las salidas para las lecturas de la corriente, B) la salida para la lectura de la diferencia de potencial y C) las salidas alternativas en caso de falla en campo de los lectores de corriente y diferencia de potencial.

En México este equipo constituye un avance en los estudios de impacto ambiental; por citar un ejemplo, en el monitoreo de sitios en vías de recuperación donde se aplica un método de remediación. Con este equipo todo sitio puede ser monitoreado en el espacio y tiempo con más facilidad que los métodos tradicionales.

### CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

De los resultados de su aplicación en una de las microcuencas de Texcoco, Estado de México, donde se puso a prueba el aparato para su validar su funcionalidad, se logro definir la geometría del medio formada por sedimentos aluviales o lacustres provenientes de rocas ígneas (andesitas, riolitas y tobas vítricas o tepetates) que por su composición mineralógica fácilmente alterables, permitió observar las variaciones laterales de la resistividad y asociarlas con los elementos traza producidos por la contaminación antropogénica y que se desprenden dentro del acuífero libre: *Cd*, *Cu*, *Cr*, *Co*, *Ni*, *Pb* o *Zn*.

Por el resultado de la pseudosección (Fig. 3) de la microcuenca antes mencionada, elaborada a través de la interpolación de los datos de campo (Emery, 2007) en el programa SURFER 9.0 y DIP.for y Fortan 8.0., se logro calcular la distancia de cobertura y profundidad de la TGe. De igual manera para los SEV's realizados en campo, con lo que quedo demostrada la funcionalidad y efectividad de este equipo para monitorear la salinidad del subsuelo. Este método constituye un avance en los estudios de impacto ambiental, sobre todo para el monitoreo de subsuelos de sitios en vías de recuperación.



**Figura 3.** A) Curva de datos de campo para la resistividad aparente de un perfil SEV-Schlumberger, B) tomografía geoelectrica Wenner y C) modelo calculado para la curva de resistividad aparente en una de las macrocuencas de Texcoco, Estado de México.

#### LITERATURA CITADA

- Boyd, T. 1996. **Introduction to geophysical exploration.** (En línea). Disponible en: [http://galitzin.mines.edu/INTROGP/main\\_template.jsp?menu=res\\_menu.html&page=DC%20Resistivity%3A%20Home&url=RES%2Fmain.html](http://galitzin.mines.edu/INTROGP/main_template.jsp?menu=res_menu.html&page=DC%20Resistivity%3A%20Home&url=RES%2Fmain.html)
- Calvache, P. M. and Bosch A. 2003. **Saltwater intrusion into a small coastal aquifer (Río Verde, Almuñecar), southern Spain.** Journal of Hydrology. 129 (4):1945-213.
- Emery, X. 2007. **Conditioning simulations of Gaussian random fields by ordinary kriging.** Mathematical Geology. 39(6): 607-623.
- Orellana, E., Higuera M., Merchán F. 1995. **La interpretación automática (por medio de ordenador) en la prospección geofísica.** Caso de refracción sísmica y de SEV. Física de la Tierra no. 7. pp. 33-51.
- Poch, M. 1999. **Las calidades del agua.** Cuadernos del medio ambiente. Rubes Editorial. Barcelona. 256 pp.
- Sánchez, F. 2004. **Prospección geofísica: Sondeos eléctricos verticales.** Departamento de Geología. Universidad de Salamanca España. (En línea). Disponible en: <http://web.usal.es>
- Sepúlveda, E. E. 2009. **Diseño de un resistivímetro de corriente directa para realizar estudios geoelectricos en los valles centrales.** Tesis Maestría. CIIDIR-IPN-Sinaloa. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 188 p.
- Telford W., Geldart L., Sheriff R. 1990. **Applied Geophysics.** (2nd. Ed.) Cambridge University Press. 672 pp.

#### Mariano Norzagaray Campos

Doctor en Ciencias Marinas y Dr. en Geohidrología con especialidad en Contaminación Costera y Geohidrología. Miembro del sistema Nacional de Investigadores y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular del CIIDIR-IPN-Sinaloa.

#### Patricia Muñoz Sevilla

Doctora en Ciencias con especialidad en Oceanografía Biológica. Profesor Titular. Actualmente Directora del CIEMAD-IPN-México.

#### Cipriano García Gutiérrez

Licenciatura en Biología por el Instituto Politécnico Nacional y Maestría en Ciencia en Entomología y Acarología por el Colegio de Posgraduados. Doctor en Ciencias en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II y miembro honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores. Profesor Investigador Titular en el Dpto. de Biotecnología Agrícola del CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa.