

# CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE CONTAMINANTES EN SUELOS SATURADOS DE AGUA.

E.L. López\*, L. A. Martino, M. De La Vega, A. Osella

Grupo de Geofísica Aplicada y Ambiental (GAIA) - Universidad de Buenos Aires - FCEyN  
Pabellón 1 - Ciudad Universitaria - (1428) - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina  
e-mail: elopez@df.uba.ar

Se realizaron ensayos en laboratorio para estudiar la resolución de los métodos geoelectrico y polarización inducida en la detección de contaminantes en agua. Se diseñaron experiencias con modelos a escalas, simulando configuraciones con distintos tipos de discontinuidades y se eligió como contaminantes dos sustancias con propiedades físicas contrastantes con el agua dulce: agua saturada en sal, de alta conductividad eléctrica y no polarizable, y gasoil, de muy alta resistividad eléctrica y mayor polarizabilidad. Se realizaron mediciones a lo largo de perfiles 2D analizando los datos mediante códigos de inversión a fin de obtener los valores reales de los parámetros físicos que caracterizan los distintos medios. Finalmente, se comparó la sensibilidad de los métodos en los distintos modelos utilizados.

Tests were made in laboratory to study the resolution of geoelectrical and induced polarization methods in the detection of water polluting agents. Scale models with different kinds of discontinuities were designed and two substances with contrasting physical properties with the fresh water - water saturated in salt (high electrical conductivity and nonpolarizable) and diesel oil (very high electrical resistivity and larger polarizability) - were chosen like polluting agents. Measurements along 2D profiles were made and the data were analysed using inversion codes in order to obtain the real values of the physical parameters that characterize the different media. Finally, the sensitivity of the methods for the different models was compared.

## I. INTRODUCCIÓN.

La detección de contaminantes y su posterior caracterización es un tema de gran importancia al determinar la calidad del agua. Los estudios usuales de caracterización involucran la aplicación de métodos geofísicos de teledetección, a fin de tener un primer diagnóstico sobre la extensión y características de la pluma contaminante y su posible evolución tanto espacial como temporal. Los métodos más usados son los eléctricos y electromagnéticos (i.e., georadar, inducción electromagnética con fuente controlada y métodos resistivos). En estos casos lo que se detectan son los contrastes en propiedades físicas como la resistividad y permeabilidad eléctrica, que permiten identificar las anomalías en los materiales<sup>(1, 2, 3 y 4)</sup>.

En trabajos previos se aplicó con éxito el método geoelectrico para caracterización de acuíferos<sup>(5)</sup>, así como para la detección de contaminantes en agua<sup>(6 y 7)</sup>. Ahora bien, la sensibilidad para detectar la presencia de contaminantes depende de sus propiedades respecto al medio que lo rodea; es decir, si presenta contrastes suficientes como para ser resueltos por el método de prospección utilizado. Según sea la concentración, el grado de confinamiento e incluso la porosidad del medio que lo contiene, no siempre es posible la detección a partir de la medición de un único parámetro físico. Por eso es importante la combinación de distintas técnicas a fin de reducir las ambigüedades propias de estos métodos.

Dentro de este contexto, en este trabajo se presentan resultados de ensayos realizados en laboratorio a fin de comparar la sensibilidad de distintas técnicas no destructivas y analizar cómo se pueden combinar para optimizar la caracterización de los

diferentes tipos de contaminantes. Basándose en diferentes propiedades físicas del medio como son la conductividad y la permitividad eléctrica se realizaron modelos a diferentes escalas para comparar los perfiles obtenidos utilizando métodos geoelectricos resistivos y de polarización inducida (IP).

Se utilizaron modelos de suelo con discontinuidades horizontales 2D a los cuales se les inyectó diferentes tipos de contaminantes que presentaban contrastes eléctricos, ya sea conductores como las sales o resistivos como hidrocarburos, de forma tal que a partir de sus distintas propiedades físicas fuera posible su identificación.

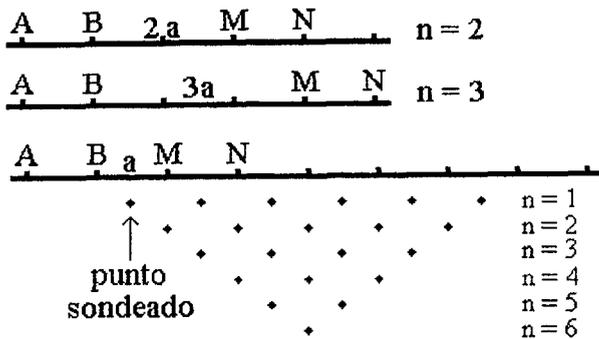
## II. MÉTODO GEOELÉCTRICO.

Los métodos geoelectricos utilizados fueron el método resistivo y el de polarización inducida (IP). Ambos métodos emplean una fuente que inyecta corriente en el suelo mediante el uso de electrodos, midiéndose la diferencia de potencial en otros electrodos en la zona próxima a la inyección de corriente.

El método resistivo consiste en medir la diferencia de potencial al inyectar una corriente alterna de baja frecuencia. El método de polarización inducida en cambio, utiliza el transitorio de una onda cuadrada; cuando la fuente de inyección de corriente cae a cero la diferencia de potencial de los electrodos no decae instantáneamente; ese decaimiento de voltaje es medido en función del tiempo y es lo que se conoce como cargabilidad<sup>(8)</sup>.

Se utilizó la configuración dipolo-dipolo para obtener la distribución de resistividades y cargabilidad

del subsuelo. Dicha configuración consiste en inyectar una corriente mediante dos electrodos (A-B) y medir la diferencia de potencial entre dos puntos con otro par de electrodos (M-N). La configuración dipolo-dipolo y su distribución de electrodos se puede observar en la Fig.1.



Figural. Esquema de la configuración dipolo-dipolo

El punto de sondeo corresponde al punto medio de los electrodos más alejados (A-N) y la máxima profundidad de detección es del orden de la mitad de la máxima separación entre los electrodos B y M. Las mediciones se realizan dejando fijo los electrodos A y B (separados entre sí por una distancia  $a$ ) y corriendo la posición de los electrodos M y N en múltiplos de  $a$ ; una vez completada la serie se corre la posición de los electrodos A y B y se repite la operación.

Todos los datos fueron adquiridos por medio del equipo Sintrex Automated Resistivity Imaging System (SARIS). Se obtuvo en el caso del método resistivo, la diferencia de potencial y la corriente entre los electrodos M y N, para con ellas calcular la resistividad aparente. En el caso del método de Polarización Inducida se obtuvo directamente el coeficiente de cargabilidad.

Los datos fueron invertidos mediante el programa RES2DINV, de Geotomo Software que utiliza el método de inversión de Occam, obteniéndose los perfiles que se presentan en este trabajo.

### III. ENSAYO A PEQUEÑA ESCALA.

#### Montaje experimental.

Se colocaron en una batea de 60 cm  $\times$  45 cm  $\times$  35 cm una capa inferior de tierra y una capa superior de arena como se puede observar en la Fig.2.

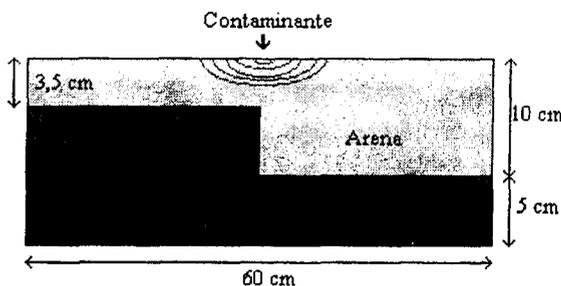


Figura 2. Perfil del suelo preparado.

Se realizaron mediciones de resistividad aparente y de cargabilidad con una configuración dipolo-dipolo con separación entre electrodos de 2 cm, a fin de obtener las características del suelo a contaminar. El perfil obtenido a partir de la inversión de la distribución de resistividades (Fig.3.A.) muestra el contraste entre las resistividades de la arena y la tierra, obteniéndose la imagen del escalón, mientras que el perfil obtenido de la distribución de cargabilidad (Fig.3.B.) no distingue a los distintos pisos.

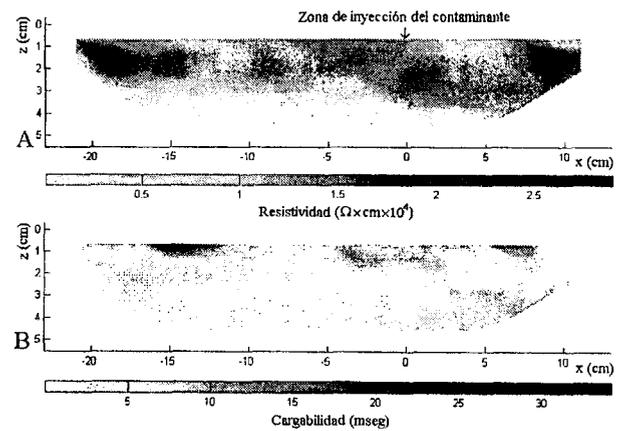


Figura 3. Perfiles obtenidos a partir de la inversión de las mediciones de (A) Resistividad (B) Cargabilidad, sin contaminante.

#### Contaminantes.

Se procedió a contaminar con 100 ml. de una solución de agua con NaCl con una concentración del 20%; el total de la solución se inyectó en forma puntual en la posición  $x = -1$  cm. Se implementó la técnica dipolo-dipolo, obteniendo simultáneamente resistividad y cargabilidad del suelo.

Los resultados obtenidos mostraron una disminución de la resistividad en la zona donde fue inyectada la solución de agua con NaCl; esto hizo que se pierda el contraste en forma de escalón entre la tierra y la arena (Fig.4.A), Las mediciones de cargabilidad no distinguen al contaminante, debido a que el mismo no cambia esa característica del suelo (Fig.4.B).

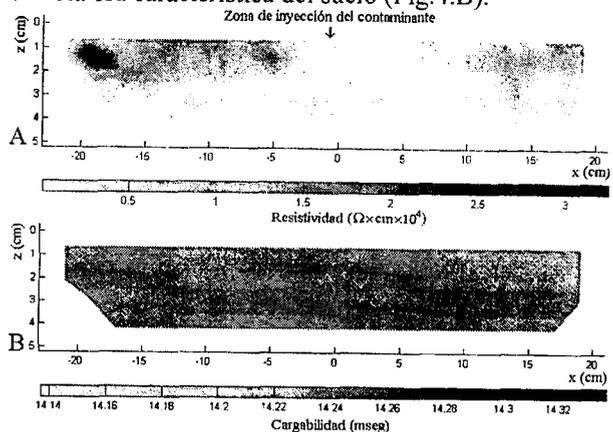


Figura 4. Perfiles de la inversión de los datos de (A)

Resistividad, (B) Cargabilidad, contaminado con agua con NaCl.

Se reemplazó el material contaminado por nuevo material, y se inyectaron 100 ml de gasoil, en forma puntual en la posición  $x = -1$  cm. Se realizó una nueva medición con la configuración dipolo-dipolo obteniéndose para el perfil de resistividades un aumento de la resistividad en la zona de la tierra, con una disminución del escalón, mientras que la zona de arena permanece casi invariante (Fig.5.A). En el perfil obtenido para IP se observa un aumento en la cargabilidad en la zona donde fue inyectado el gasoil; esto se debe a que es en ese lugar en donde la concentración de contaminante es mayor (Fig.5.B).

Si bien por el método resistivo el gasoil no se pudo detectar en la zona de arena debido a que su alta resistividad enmascaró la presencia del mismo, éste sí pudo ser detectado por medio de polarización inducida.

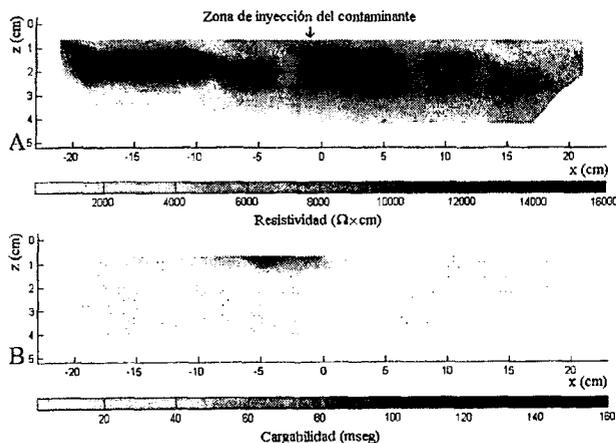


Figura 5. Perfiles obtenidos de la inversión de los datos para (A) Resistividad (B) Cargabilidad, contaminado con gasoil.

#### IV. ENSAYO A MEDIANA ESCALA.

##### Montaje experimental.

Para realizar las experiencias a mediana escala se utilizó una pileta de 300 cm × 200 cm × 100 cm, la cual se llenó con 30 cm de arena saturada con agua y 20 cm de tierra seca.

Un esquema de la configuración inicial y de la posición de los electrodos se puede observar en la Fig.6. Se utilizó la configuración dipolo-dipolo para obtener el perfil de resistividad.

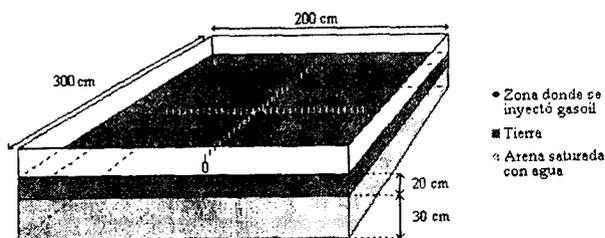


Figura 6. Esquema de la configuración inicial

##### Contaminante.

Se contaminó con 20 litros de gasoil en forma de goteo y se obtuvieron los perfiles de resistividad para 3, 5 y 7 días a partir de la contaminación; para este último se realizó también el perfil de IP. Los resultados de las mediciones conjuntamente con la medición de el estado inicial se pueden observar en la Fig.7.

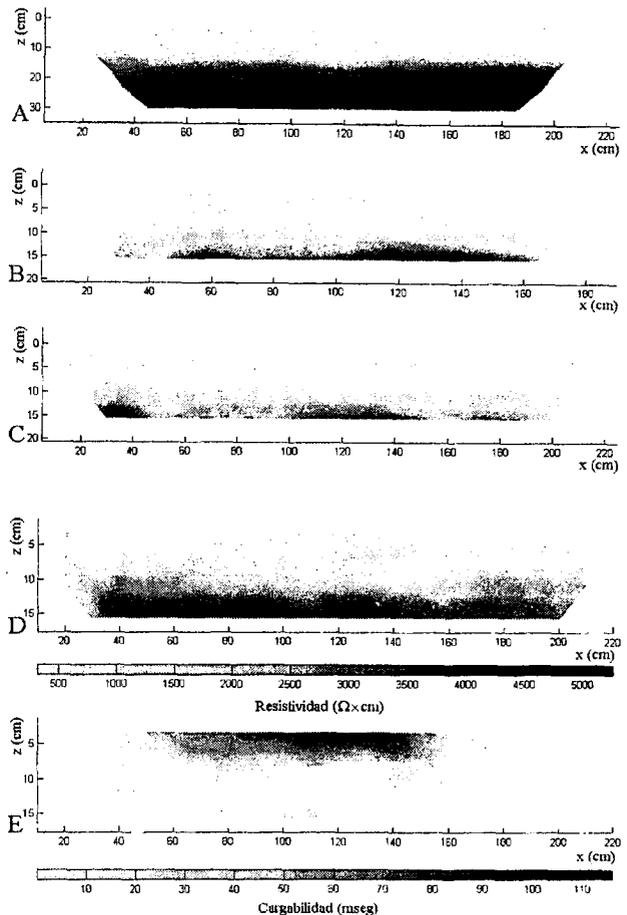


Figura 7. Perfiles obtenidos (A) Estado inicial, sin contaminante (B) Resistividad 3<sup>er</sup> día (C) Resistividad 5<sup>er</sup> día (D) Resistividad 7<sup>mo</sup> día (E) IP 7<sup>mo</sup> día.

Para el estado inicial se observa la siguiente distribución de resistividades: una capa inferior de arena saturada con agua de aproximadamente 150 ohm-m, una zona superior de tierra seca del orden de 11 ohm-m y zona intermedia de tierra húmeda debido al ascenso de agua por capilaridad, del orden de 50 ohm-m.

En los días 3 y 5 a efectos de mejorar la resolución se visualizó el perfil sólo hasta los 15 cm de profundidad, debido a que en la capa inferior no se aprecian variaciones. Se observó una disminución de la resistividad en la capa superior; esto se debe a que el agua continuó subiendo por capilaridad, enmascarando la alta resistividad del contaminante.

Para el día 7 no se detectaron cambios notables en las mediciones de resistividad respecto del día 5; al no

observarse variaciones por el método resistivo se decidió en este caso, utilizar también el método de Polarización Inducida. En el perfil obtenido para la cargabilidad se observa que la zona donde fue inyectado el contaminante presenta una cargabilidad mayor.

## V. CONCLUSIONES.

En las mediciones realizadas para el primer sistema contaminado por agua con alta concentración en NaCl, mediante geoelectrónica, se observó una zona contaminada con límites bien definidos; utilizando el método IP no se detectó diferencia respecto del suelo sin contaminante.

Al contaminar con gasoil el primer sistema, se obtuvo que el método más sensible al contaminante fue IP, debido a que la arena posee valores de resistividad del orden del gasoil y no es detectable por el método resistivo.

En las mediciones a mediana escala no se detectó la presencia de contaminante mediante el método resistivo debido al ascenso de agua por capilaridad, que enmascaró la alta conductividad del contaminante; sin embargo mediante el método de IP se observó una zona en la que se pudo identificar la contaminación con gasoil. Se pudo estimar el volumen aproximado de dicha zona en  $60 \text{ dm}^3$  lo que equivale a tres veces el volumen de contaminante vertido inicialmente.

Para contaminantes resistivos y de alta polarizabilidad en baja concentración, es el método de polarización inducida el que posee mayor sensibilidad, mientras que para contaminantes conductores y no polarizables el método resistivo es el más sensible; se pudo comprobar además que estos resultados son independientes de la resistividad del suelo en la que se encuentra el contaminante ya que para los ensayos a pequeña escala el suelo contaminado era altamente resistivo, mientras que en los de mediana escala era conductor.

## Agradecimientos.

Agradecemos a Área Geofísica y en especial a Adrián Tichno por facilitarnos el uso de sus instalaciones para parte de los ensayos realizados. Este trabajo fue parcialmente financiado con subsidio de la ANPCyT.

## Referencias.

- 1 - Benson, A. K., Payne, K. L., Stubben, M. A., *Geophysics*, **62**, 80-86 (1997).
- 2 - Buselli, G., Lu, K., *J. Appl. Geophys.*, **48**, 11-23 (2001).

3 - Daniels, J. J.; Roberts, R. and Vendi, M., *J. of Appl. Geophys.*, **33**, 195 (1995).

4 - Slater, L. and Sandberg, S., *Geophysics*, **65** (2), 408-420 (2000).

5 - Osella, A., Favetto, A., Martinelli, P. and Cernadas, D., *J. Appl. Geophys.*, **41** (4), 359-368 (1999).

6 - Osella, A., De La Vega, M. y Lascano, E., *J. Environmental and Engineering Geophys.*, **7**(2), 78-87 (2002).

7 - De la Vega, M., Osella, A. y Lascano, E., *J. Appl. Geophys.*, (2002) (aceptado).

8 - Telford W. M., Geldart L. P. And Sheriff R. E., *Applied Geophysics*, 523-610 (1990).