

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA CON FINES DE ABASTO CON AGUA SUBTERRÁNEA A BAYAMO UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN.

Rebeca Fernández Enríquez

EIPH Camagüey, Cuba, espsup23-5@eipi.cmg.hidro.cu, Avenida de la Libertad # 20 entre Alonso Fruto y Candelaria, Camagüey 70300

RESUMEN

El área de estudio se encuentra localizada próximo a las comunidades de Pompita y Malvango, entre (3,0 – 4,0) km al oeste de la ciudad de Bayamo, ocupa un área de 87 Km². Las investigaciones geofísicas se realizan con el objetivo de determinar: la salinidad, composición litológica del corte, tanto en profundidad como en planta, determinar la presencia de estructuras geológicas y delimitar las áreas más perspectivas para nuevas fuente de abasto.

Se utilizó el método eléctrico en su variante de Tomografía eléctrica y prospección electromagnética en el dominio del tiempo (TDEM). Como resultado final en cada perfil, planta y tomografía se proponen las zonas perspectivas para la acumulación de agua subterránea y se plantean como valores de resistividad perspectivas los que se encuentran en un rango superior a 7.5 ohm.m. También se ubican las posibles zonas de fallas. A los 15 metros de profundidad en un 61 % del área de trabajo (centro y este) predominan las rocas con posibilidades de acumular agua subterránea. A los 40 m de profundidad las posibles rocas acuíferas se localizan al noreste y sur del área y se estiman en un 37 %. A los 60 m de profundidad las posibles rocas acuíferas se localizan al oeste del área y se estiman en un 24 %. A los 100 m de profundidad predominan las arenas en un 53 %, se localizan al norte del área. A los 300 m de profundidad no hay posibilidad de encontrar agua subterránea.

ABSTRACT

The study area is located next to the communities of Pompita and Malvango, among 3 or 4 km to the west of the city of Bayamo, occupies an area of 87 Km². The geophysical investigations had the objective of determining: the salinity, composition of the earth's crust in depth and in map, to determine the presence of geologic structures and to define the areas more perspectives for new supply source. The electric method was used in its variant of electric Tomography and electromagnetic prospecting TDEM (Time Domain Electromagnetic). As a final result we obtained profile, map and tomography with the areas more perspectives for the accumulation of groundwater (resistivity mayor 7.5 ohm.m. The possible areas of fractures are also located. To the 15 meters of deep in 61% of the areas (center and east) prevail the rocks with possibilities of accumulating groundwater. To the 40 m of depth the possible aquifer's rocks are located to the northeast and south of the area and they are considered in 37%. To the 60 m of depth the possible aquifer rocks are located to the west of the area and they are considered in 24%. To the 100 m of depth the sands prevail in 53%, they are located to the north of the area. To the 300 m of depth there is not possibility to find groundwater.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones geofísicas se realizan cerca de las Comunidades Pompita y Malvango aproximadamente a unos 3 – 4 km al oeste de la ciudad Bayamo con el objetivo de determinar:

- Las condiciones de interacción agua superficial/agua subterránea.
- Salinidad en profundidad y en planta, teniendo en cuenta que hacia la parte norte del área las aguas son ligeramente salinizadas (interfaz agua dulce/agua salada).
- Potencia acuífera (recursos).
- Condiciones de fronteras y alimentación del área de estudio.
- Composición litológica del corte, tanto en profundidad como en planta.
- La presencia de estructuras geológicas, como dislocaciones tectónicas

En la zona se realizaron en total 52 sondeos electromagnéticos hasta una profundidad de 500 m y 21 tomografías eléctricas.

Se realizaron investigaciones geofísicas utilizando el método electromagnético de superficie en el dominio del tiempo (TDEM) y tomografía eléctrica.

Los trabajos se realizaron sobre la base del mapa de Microlocalización y datos reales a escala 1:25 000 ejecutado por los ingenieros de la empresa RAUDAL de Bayamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una primera etapa se realizó:

1. La recopilación de datos de archivo obtenidos de la UEBPI de Bayamo.
2. Preparación y confección del programa de investigación.

Posteriormente se realizaron los trabajos de campo y gabinete.

Para los cálculos y el dibujo se empleó el sistema automatizado AUTOCAD, SURFER, EXCELL y programas propios de la Especialidad IX1D y RES2DINV.

Método electromagnético

Se utilizó un lazo de 100 x 100 m, el transmisor y receptor se situaron dentro del mismo. Se estudió el corte geológico hasta una profundidad de 500 m. Se realizaron en total 52 sondeos electromagnéticos. Se midió en el tiempo con las frecuencias 30, 7.5 y 3 Hz.

Método electromagnético: el suelo se excita por medio de un campo magnético artificial y se mide su respuesta como una función de tiempo para determinar la resistividad del terreno debajo del punto de observación como una función de profundidad. La corriente directa estable en el lazo transmisor genera un campo magnético constante alrededor del lazo y la abrupta interrupción de la corriente induce corrientes de remolino cerca de la superficie del terreno en tanto se intenta mantener el mismo campo magnético de antes. Las corrientes de remolino que se ilustran en la Figura 1 penetran en la tierra con el tiempo. El decaimiento de estas corrientes de remolino representa la función de la resistividad a lo largo del recorrido de la corriente. Al medir el decaimiento del campo magnético por medio de la espiral de inducción (véase Figura 2) en la superficie del terreno se puede determinar la resistividad de los estratos del suelo.

A continuación se muestra la ecuación para calcular la resistividad:

$$\rho_a(t) = \frac{k_2 M^{2/3}}{e(t)^{2/3} t^{5/3}}$$

donde:

ρ_a : resistividad del terreno (ohm-m)

k_2 : una constante

M : producto de la corriente T_x (A) * área del lazo (m^2)

t : tiempo (segundos)

$e(t)$: voltaje de salida de una espiral receptora de una sola vuelta con un área de 1 m^2

En el método TDEM, los buenos conductores muestran un tiempo de decaimiento mayor que los malos conductores. La profundidad de penetración en el método TDEM es una función de tiempo luego de la interrupción de la corriente. En momentos posteriores la espiral receptora detecta corrientes de remolino a profundidades mayores. En general, la profundidad de penetración del método TDEM resulta mayor que la alcanzada con otros métodos electromagnéticos.

Para la descarga de los datos se utilizó el programa PROTEMW, fueron filtrados los datos con el programa PROTIX y salvados en USF con el programa USFXLT. Los sondeos electromagnéticos fueron interpretados con el software IX1D.

Tomografía Eléctrica

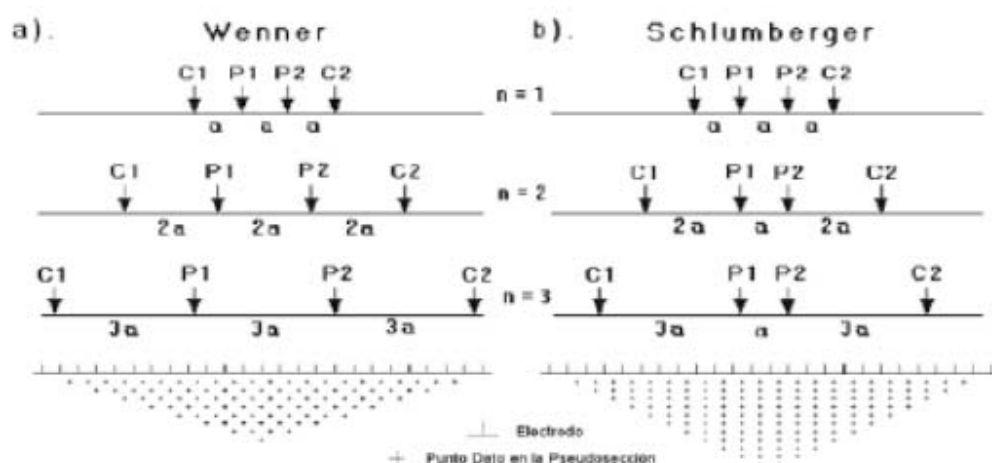
El método constituye una técnica de investigación en 2D del corte en profundidad, con un alto grado de detalle y un mínimo error en las mediciones.

Se utilizaron los dispositivos Wenner - Schlumberger, Polo – Dipolo y Polo – Polo. El primero mapea con gran efectividad los primeros metros de profundidad y sirve para detectar con precisión el espesor del acuífero a la profundidad de 15 m o más. Con este dispositivo se realizaron 2 tomografías en el mismo perfil donde se realizaron las tomografías 1 y 2. Se logró con 36 electrodos alcanzar una profundidad de investigación de 60 m.

Para lograr una profundidad cercana a los 100 m con 36 electrodos se emplearon los dispositivos Polo – Dipolo y Polo – Polo. Por la calidad en la obtención de los datos se tomó como mejor dispositivo el Polo – Polo.

Wenner – Schlumberger

Este es una configuración híbrida entre los dispositivos Wenner y Schlumberger (Pazdirek y Blaha 1996). Una forma modificada del dispositivo Schlumberger con un espaciado constante se muestra en la Figura a; note que el factor "n" es la relación entre la distancia de los electrodos C1-P1 (o P2-C2) y el par potencial P1 – P2. (C1 y C2 son los electrodos de corriente, P1 y P2 son los electrodos en donde se mide la diferencia de potencial).



Este conjunto es moderadamente sensible a estructuras horizontales y verticales. En áreas en donde ambos tipos de estructuras geológicas son esperadas, este conjunto puede ser utilizado convenientemente. La combinación de estos dos dispositivos permite obtener los beneficios

conjugados de estos dos dispositivos en uno, es decir mayor efectividad en el mapeo de estructuras verticales y horizontales, mayor cobertura horizontal y mayor profundidad.

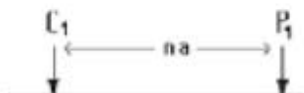
Polo – Dipolo

El conjunto Polo-Dipolo requiere también un electrodo remoto (el electrodo C2) que debe ponerse suficientemente lejos de la línea del sondeo. Debido a su buena cobertura horizontal, este es un conjunto atractivo para medir resistividades con un sistema multi-electrodo que posea un número relativamente pequeño de electrodos.



Polo – Polo

Este conjunto no es tan usado como los anteriores; en la práctica, el dispositivo Polo-Polo posee un único electrodo de corriente y un electrodo de potencial. El segundo electrodo de corriente y el electrodo de potencial (C2 y P2) deben ponerse a una distancia mayor de 20 veces la separación máxima entre C1 y P1 que se utilizaron en el sondeo.



Se utilizaron 3 trenzas con un total de 36 electrodos con una distancia entre ellos de 10 m, se comprobó la toma a tierra para cada uno de los electrodos y luego se procedió a medir. Variando la distancia entre pares de electrodos emisión-receptor por múltiplos de un valor

“n” de profundidad se realizan mediciones del potencial y corriente al introducir corriente externa en el suelo con el objetivo de determinar la resistividad aparente en dependencia del factor geométrico K. Resistividad Aparente (**pa**).

Es la variable que expresa los resultados de las mediciones eléctricas en la Tomografía Eléctrica, la que se toma como base de la inversión y posteriormente en la interpretación de los datos.

La misma está definida por la siguiente ecuación:

$$pa = k \Delta U x \Delta I^{-1}$$

Donde: K es la constante del dispositivo o factor geométrico el cual para el dispositivo Wenner – Schlumberger es igual = $\pi a n (n+1)$, para Polo – Dipolo = $2 \pi a n (n+1)$ y para Polo – Polo = $2 \pi a$, donde a es la distancia entre los electrodos de medición, ΔU es la diferencia de potencial y ΔI es la corriente medida en los electrodos.

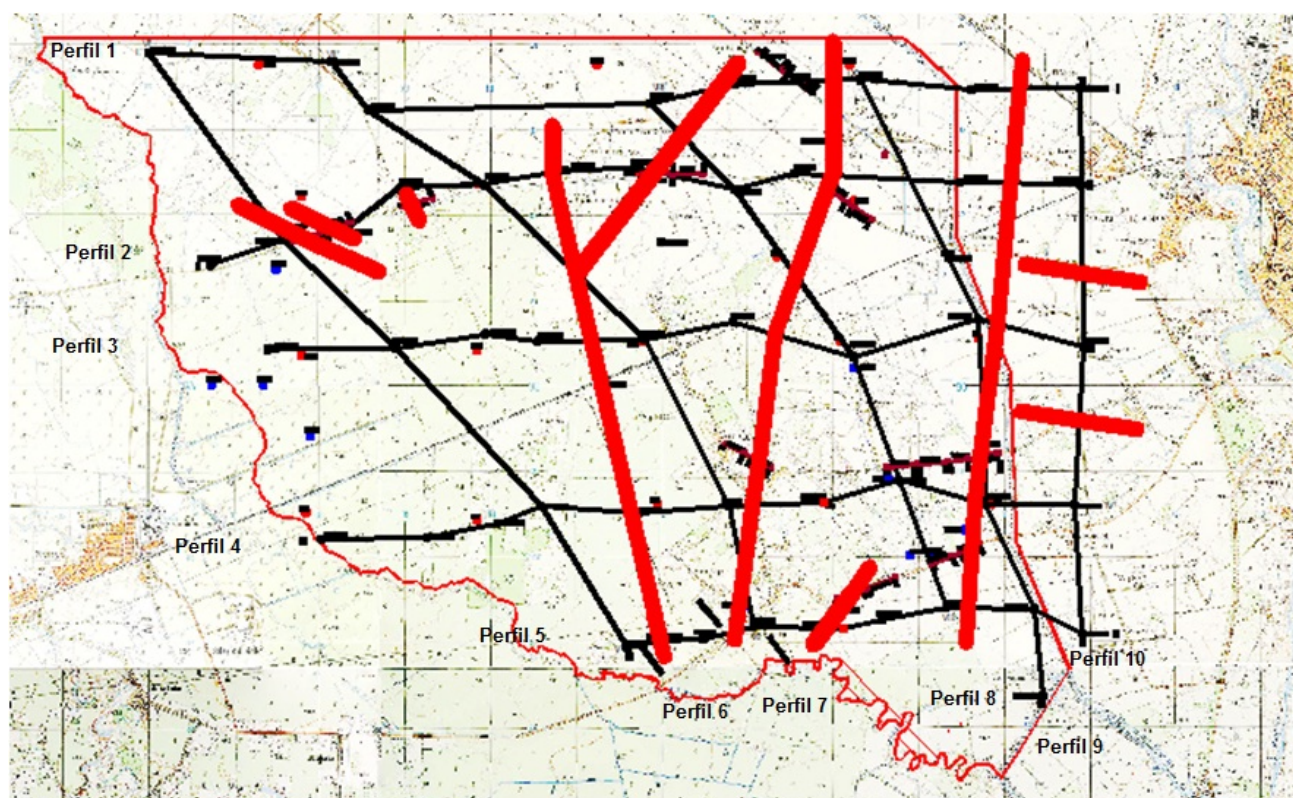
En el caso de los registros de campo se utilizó para la carga y descarga de los mismos el Electre II y el Proxys II respectivamente.

RESULTADOS

Tabla I. Valores de resistividad asociados a los diferentes tipos de rocas.

Tipo de roca asociada	Valor de resistividad (ohm.m)
Arcillas, arcillas y otras en medio salobre,	menores de 3 ohm.m
Arcillas poco arenosas, aleurolitas en medio salobre	3 - 5 ohm.m
Arcillas arenosas, arenas con agua un poco salobre	5 - 7.5
Arenas, arcillas arenosas con gravas o c/r o carbonatadas, areniscas	mayores de 7.5

En cada perfil, tomografía y planta realizada se proponen los valores de resistividad perspectivas para la acumulación de agua subterránea. Se mapean con precisión las zonas de fracturas y las diferentes rocas presentes en el corte.



A continuación se presenta un ejemplo de un perfil realizado con el método de tomografía eléctrica y sondeo electromagnético en el dominio del tiempo.

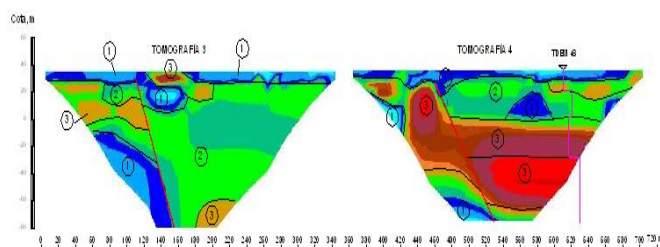


Figura 1. Perfil de Tomografía eléctrica
En carmelita y rojo los estratos arenosos

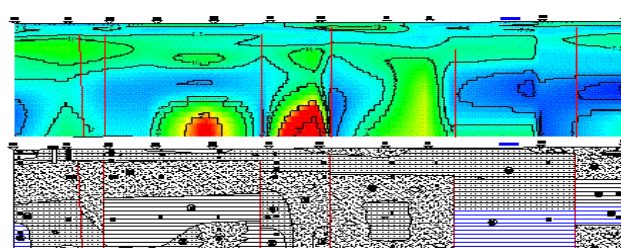


Figura 2. Perfil realizado utilizando el TDEM
En verde los estratos arenosos

CONCLUSIONES

- En cada perfil, planta y tomografía descrita se proponen las zonas perspectivas para la acumulación de agua subterránea y se plantean como valores de resistividad perspectivas los que se encuentran en un rango superior a 7.5 ohm.m. También se ubican las posibles zonas de fallas.
- Debido a las bajas resistividades que presenta el corte litológico en la zona de trabajo es casi imposible separar las resistividades que presentan las arcillas de las que presenta el agua mineralizada. Por lo que se recomienda un levantamiento hidrogeológico para determinar tanto en superficie como en profundidad la mineralización de las aguas subterráneas.
- A los 15 metros de profundidad en un 61 % del área de trabajo (centro y este) predominan las rocas con posibilidades de acumular agua subterránea. Debido al corte obtenido y los valores de resistividad en los primeros 15 metros en ambos lados del canal de la derivadora Bayamo debe haber interrelación de las aguas del canal y las aguas subterráneas.
- A los 40 m de profundidad predominan las arcillas arenosas (58 %). Las posibles rocas acuíferas (3) se localizan al noreste y sur del área y se estiman en un 37 %.
- A los 60 m de profundidad predominan las arcillas arenosas (70 %). Las posibles rocas acuíferas (3) se localizan al oeste del área y se estiman en un 24 %.
- A los 100 m de profundidad predominan las arenas (3) en un 53 %, se localizan al norte del área.
- A los 300 m de profundidad predominan las arcillas con muy poco contenido de arena (1) en un 82 %, de ellas el 37 % se estima en un medio salobre.
- Las rocas acuíferas se encuentran en diferentes acuíferos y poseen un espesor variable de 15 hasta 70 m.
- Las tomografías presentan en profundidad un corte similar al obtenido en los perfiles con los sondeos electromagnéticos, por lo que se validan entre sí y con las calas estudiadas en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

Ferrás, L. 2005. Manual de prospección geoelectrica con corriente continua GEIPI.
Yabuta, T. 2010. Libro de Texto de Prospección Electromagnética en Dominio de Tiempo (TDEM) (CITA Camagüey).