

Caracterización geomagnética y geoeléctrica en la ciudad universitaria de la Universidad del Zulia

Germán Montero* y José Naranjo**

Resumen

En la prospección geofísica se pueden emplear diferentes técnicas tales como: gravimétricas, magnéticas, eléctricas, sísmicas, georadar, para la caracterización del subsuelo. Para el presente trabajo se utilizó los datos obtenidos de un sondeo eléctrico vertical realizado en la zona, y se comparó con un levantamiento magnético aplicado en el mismo lugar. El estudio en esta zona tuvo como objetivo identificar, analizar y comparar los resultados de esta caracterización. Con los datos obtenidos se elaboraron mapas bidimensionales y tridimensionales de espesor e isoresistividad, con los cuales se pudieron señalar las variaciones resistivas del subsuelo en cada capa, así como también se pudo visualizar los cambios geométricos de dichas capas, correlacionando esta información con alguna anomalía presente. Igualmente se elaboraron mapas de resistencia transversal unitaria como herramienta cualitativa para delimitar las áreas con mejores condiciones para su explotación, ya que se puede determinar el contenido salino de las aguas que se alojan en estos sedimentos. De los resultados obtenidos se observa que ambas técnicas coinciden en la búsqueda de anomalías geológicas. Finalmente se determinaron las ventajas e inconvenientes de cada una de las técnicas.

Palabras clave: Geoeléctrica, geomagnética, levantamiento, anomalía, resistividad.

* Lic. En Física, Mg. En Geofísica, Profesor de la Facultad de Humanidades y Educación. Universidad del Zulia. germanmontero@hotmail.com

** Lic. En Física, Mg. En Geofísica, Profesor del Instituto Universitario de Tecnología "Don Rómulo Gallegos". Maracaibo, Venezuela. narajo64@cantv.net

Geomagnetic and Geoelectric Characterization of the University City, University of Zulia

Abstract

In geophysical prospecting, different techniques such as gravimetric, magnetic, electric, seismic, and georadar can be used to characterize the subsurface. This study obtained data from a vertical electric sounding carried out in the area and compared it to a magnetic survey of the same location. The purpose of the study in this area was to identify, analyze and compare the results of these characterizations. With the data obtained, two- and three-dimensional maps of thickness and isoresistivity were elaborated; using these, the resistive variations of the subsurface could be pointed out in each layer, as well as visualizing the geometric changes in these layers, correlating this information with any anomaly present. Likewise, maps of unitary transversal resistance were elaborated as qualitative tools for defining areas with better conditions for their exploitation, since the saline content of waters lodged in these sediments can be determined. From the results obtained, it was observed that both techniques coincide in the search for geological anomalies. Finally, the advantages and disadvantages of each technique were determined.

Key words: Geoeléctric, geomagnética, survey, anomaly, resistivity.

Introducción

Este estudio tiene la finalidad de mostrar los métodos geoeléctricos y geomagnéticos que se utilizan para obtener información geológica y donde se usan para definir con notable precisión la geometría del subsuelo, estableciendo límites o alternativas para poder correlacionar y obtener información de las propiedades de las rocas. De esta forma se efectuará un análisis comparativo entre ambas técnicas donde se tome en cuenta: el tiempo de ejecución, la operatividad y los resultados generados por cada una de ellas.

Se realizan prospecciones geoeléctricas y geomagnéticas de soporte a la Ingeniería Civil, tales como el estudio de las condiciones de cimentación de presas o edificios, de los materiales a extraer para la construcción de una nueva carretera, entre otros. Existen también otras aplicaciones, como la orientación de excavaciones arqueológicas o la localización de galerías subterráneas.

Así mismo, se pueden emplear en la búsqueda de agua subterránea, de petróleo, y en exploraciones mineras.

Bajo estas perspectivas, la presente investigación se orientará a evaluar cada uno de los métodos geofísicos expuestos previamente, que a futuro mejore a las técnicas tradicionales usadas en este ámbito.

El área de la Ciudad Universitaria de Maracaibo perteneciente a la Universidad del Zulia (LUZ) se conoce como una zona donde el aprovechamiento del agua subterránea no ha tenido planificación para su desarrollo, a pesar de los estudios exitosos que se han llevado a cabo [Vivas L: 1999]. Por lo tanto, definir con mayor detalle el desarrollo horizontal y vertical de los acuíferos presentes en el subsuelo de esta área, propone una problemática importante para resolver en el futuro la ubicación de nuevos pozos de explotación.

La utilización de gráficos de resistividades en estudios geoelectricos realizados en cualquier zona, habitualmente no son suficientes y además requieren contar con la experiencia y antecedentes locales para no caer en interpretaciones erróneas [Venancio et al: 1999]. Es así como actualmente, en la ciudad universitaria de Maracaibo, no ha sido aplicado y estudiado el método magnético por investigadores geofísicos y en cuanto al método eléctrico se hizo un estudio previo en el año 1999 por investigadores universitarios de la Universidad del Zulia donde se pudo observar que no se contemplaron un conjunto de propiedades eléctricas.

Esta investigación se realizó en la Ciudad Universitaria de la Universidad del Zulia. En la Figura 1 se presenta el mapa digital de la ubicación del área de estudio.

Información Geológica de la zona

Descripción Litológica del área

Sobre el Arco de Maracaibo, la formación consiste de arenas friables, finas a gruesas, muy micáceas, de color crema a pardo-rojizo, limos micáceos de color gris claro, interstratificados con arcillas arenosas, rojas y pardo-amarrillentas y lentes lateríticos bien cementados. Hay dos capas de arcillas arenosas y limosas, con abundantes fragmentos y troncos de madera silicificada. Estas capas cubren horizontes caracterizados por abundantes nódulos de hierro y formación laterítica, que fueron interpretados

Figura 1
Ciudad Universitaria de la Universidad del Zulia



como paleosuelos, según Graf (1969). El paleosuelo superior separa la gruesa unidad inferior de la sección arenosa, característica de la Formación El Milagro. El paleosuelo inferior está desarrollado sobre el centro del arco, y separa la formación El Milagro de una unidad verdosa, posiblemente equivalente a la formación Onia (Graf: 1969)[Gonzalez et al: 1997].

Aspecto Teórico

La Figura 2 muestra el principio de medida de la resistividad del suelo: se inyecta una corriente I entre el par de electrodos AB y se mide la tensión V entre el par de electrodos MN . El método de Schlumberger aplicado en este trabajo se dispone de una composición simétrica de los electrodos $AMNB$ dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB .

En la práctica, $AB > 5MN$. Si el medio es homogéneo de resistividad "PPP", la diferencia de tensión es [Orellana: 1982]:

$$\Delta V = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right) \quad (1)$$

donde AM , AN , BM , BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión:

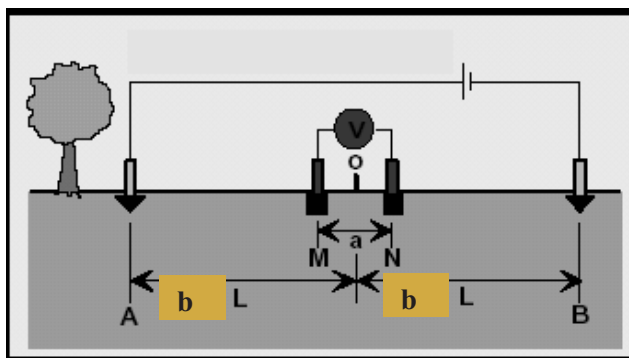
$$\rho = g \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

donde:

$$g = 2 \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3)$$

es un factor geométrico que depende exclusivamente de la disposición de los electrodos.

Figura 2
Dispositivo tetraelectrónico para la medida de la resistividad del suelo

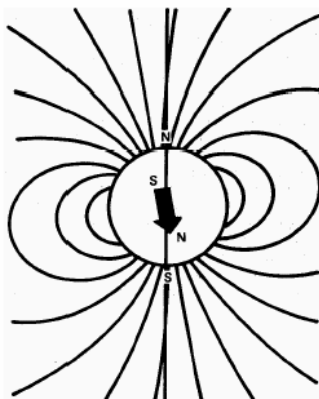


Dispositivo Schlumberger. [Braga: 1999].

El campo magnético de la tierra

El campo magnético de la tierra es similar al campo que genera un gran imán cerca de su centro en el interior de la Tierra. El origen del campo todavía no ha sido bien entendido. Cuando hablamos de un imán de barra que tiene un polo norte y uno polo sur, debemos decir más propiamente que tiene un polo que “busca el norte” y uno que “busca el sur” [Serway: 2006, Breiner: 1999]. Por eso decimos que dicho imán se emplea como brújula, un extremo buscará o apuntará hacia el polo geográfico norte de la Tierra. Así concluimos que un polo magnético norte se localiza cerca del norte geográfico sur, y que polo magnético sur se localiza cerca del norte geográfico norte. En la realidad la configuración de las líneas de flujo del campo magnético se muestra en la Figura 3 [Breiner: 1999].

Figura 3
Líneas de campo magnético de la Tierra



[Breiner: 1999].

Parte Experimental

Levantamiento Geoeléctrico

Este punto consiste en registrar en la superficie información geoeléctrica, aplicando corriente continua en la zona a estudiar. Para este fin se generaron mediciones para 20 Sondeos Eléctricos Verticales, pertenecientes a varios mallados distribuidos en la Ciudad Universitaria de la Universidad del Zulia (Figura 1). Entre estos mallados se tomaron las medidas en los terrenos ubicados a las cercanías de las Facultades de Humanidades, Petróleo-Química.

El instrumento utilizado consta de cuatro electrodos (dos de potencial y dos de corriente). El circuito de corriente está conformado por un tester haciendo la función de miliamperímetro, un pulsador para establecer la corriente y una fuente capaz de suministrarle corriente seleccionable. El modelo de este instrumento fue diseñado con dos UPS- β 1, un circuito, cables conductores y electrodos [Vivas L.: 1999].

Procesamiento de datos eléctricos

Esta parte consistió en procesar los datos geoeléctricos presentados en la recopilación de datos, lo cual radicó básicamente en tomar los valores de resistividad calculados con las ecuaciones 1 y 2. Estos parámetros fueron graficados nuevamente utilizando

el programa Origin empleando la función logarítmica de resistividad versus la distancia ($AB/2$).

Interpretación de los datos eléctricos

Las gráficas obtenidas en función de los espesores de las capas interpretadas se realizaron mediante el procedimiento de igualación de curvas, el cual consiste en utilizar un compendio de curvas teóricas aplicado el método del punto auxiliar. La resolución de las curvas se efectuó mediante la técnica de convolución, generando sistemas lineales discretos [Gosh, D.P.: 1971], donde la curva de resistividad aparente de un sondeo puede ser representada como la salida o respuesta de un proceso iterativo, comparando los valores observados y los teóricos.

Elaboración de mapas eléctricos

De los resultados y gráficas obtenidos por el programa, además de las coordenadas de las estacas, se procedió a elaborar los mapas de espesor e isoresistividad, de cada capa obtenida en los diferentes campos. Estos mapas se elaboraron en forma bidimensional y tridimensional usando el programa Surfer versión 7.0. Así como también se realizaron mapas de resistencia transversal unitaria "T" dentro de la zona del acuífero explotable, aplicando la ecuación 3. Este mapa permite visualizar con rapidez los lugares donde se presentan los valores máximos coincidentes con las mejores características geoelectricas (máximo espesor y resistividad).

$$T_i E_i \rho_i \quad (4)$$

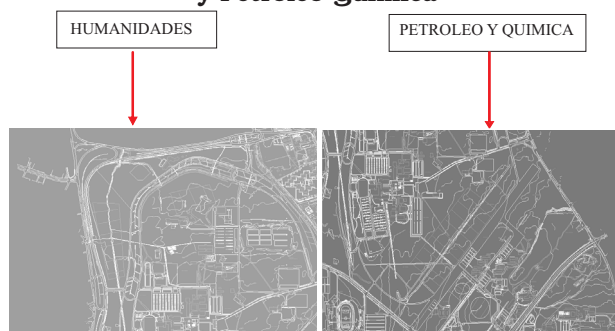
Levantamiento Magnético

Adquisición de Datos Geomagnéticos

En este proyecto se midió el campo geomagnético en diferentes zonas de la ciudad universitaria de la Universidad del Zulia, específicamente en los campos en donde se realizó el estudio geoelectrico con sus respectivas medidas. Los mallados escogidos para este estudio, son los que están ubicados en los campos de Humanidades y Petróleo-Química. En la Figura 4 se muestran los mapas digitales de las zonas en donde se realizaron las medidas magnéticas.

En la selección de estos campos se tomó en cuenta las posibles fuentes de distorsión, por ejemplo: instalaciones eléctricas, tendidas eléctricas, autos, desperdicios metálicos, cañadas, entre otros.

Figura 4
Mapa digital representando el campo Humanidades
y Petróleo-Química



Antes de comenzar a determinar la intensidad del campo magnético se debe establecer una serie de parámetros tales como:

Delimitación de la zona de estudio

Para este caso se tomaron las coordenadas de las estacas en UTM usando un GPS, en los puntos en donde se realizaron las medidas eléctricas en los campos mencionados. Se hizo las cuadrículas, separando los puntos de medidas aproximadamente entre 50, 100 y 150m.

La altura del sensor se ha fijado en 1.8m, orientando su eje en la dirección Este-Oeste.

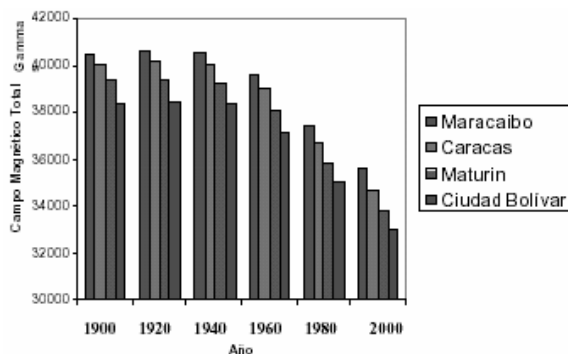
El magnetómetro GSM-19 requiere el valor del campo magnético local, para que se introduzca en el mismo y así calibrar el instrumento con el campo geomagnético, el cual se va a medir [GSM – 19: 2000]. En la Figura 5 se representa el campo magnético local de diferentes ciudades y años [Fernández, F.: 2002]. El producto final del magnetómetro es proveer el resultado de la anomalía magnética, para luego crear un mapa de esta.

Procesamiento de datos magnéticos

Después de obtener los datos se procedió a introducirlos en una tabla de Excel, colocando los valores de campo magnético, coordenadas UTM y altitud de cada punto medido.

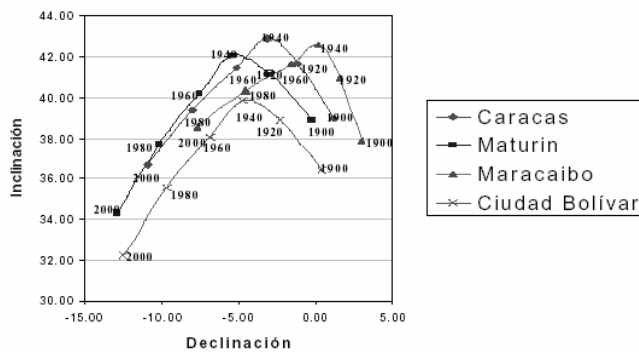
Para realizar los mapas se utilizó un programa llamado Surfer 7.0, creando los mapas de campo magnético total, vertical y horizontal. Para construir estos mapas B_z , B_x y B_y se utilizaron las ecuaciones 4 y los ángulos de Declinación e Inclinación de la zona presentados en el Congreso de Geofísica 2002 [Fernández, F.: 2002] (Figura 6).

Figura 5
Variación temporal del Campo Magnético Total en las ciudades de Caracas, Maracaibo Maturín y Ciudad Bolívar



Fernández, F.: 2002.

Figura 6
Gráfico tipo Bauer donde se muestra la inclinación versus la declinación a través del tiempo para las ciudades de Caracas, Maracaibo, Maturín y Ciudad Bolívar



Fernández, F.: 2002.

$$H = F \cdot \cos I = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

$$X = H \cdot \cos D$$

$$Y = H \cdot \sin D$$

$$Z = H \cdot \tan I$$

(5)

Análisis de los Resultados

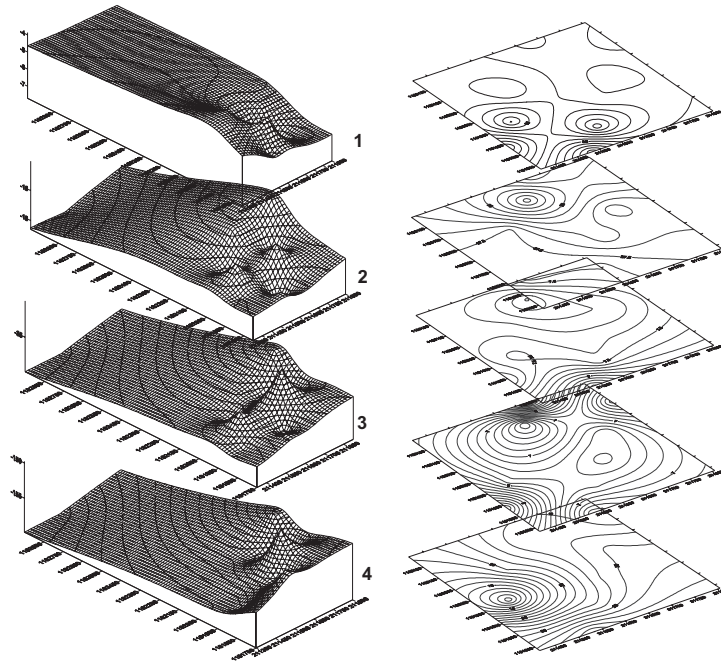
Interpretación de los Mapas de Espesor e Isoresistividad Por Campo

Las Figuras 7 y 8 muestran los mapas bidimensionales y tridimensionales de los valores de resistividades y espesores, obtenidos del programa de interpretación de datos geoelectricos, para cada campo en estudio.

Campo Petróleo-Química

Con referencias a la Figura 7 se adquieren la siguiente interpretación:

Figura 7.
Mapas de espesor e Isoresistividades de las capas 1, 2, 3, y 4 de superior a inferior respectivamente. Campo Petróleo-Química



En la primera capa se observan 6m de espesor y se visualiza un relieve suave con la presencia de protuberancias hacia el sur. El mapa de resistividad indica que existe un material arenaceo de alta resistividad y poca conductividad, es decir seco.

La segunda capa tiene aproximadamente un espesor de 10 a 12m, donde se visualiza un relieve suave, manteniéndose las protuberancias antes mencionadas. En el mapa de resistividad la lectura empieza a disminuir, lo cual aumenta su conductividad, dando señales de humedad, es decir la presencia de agua.

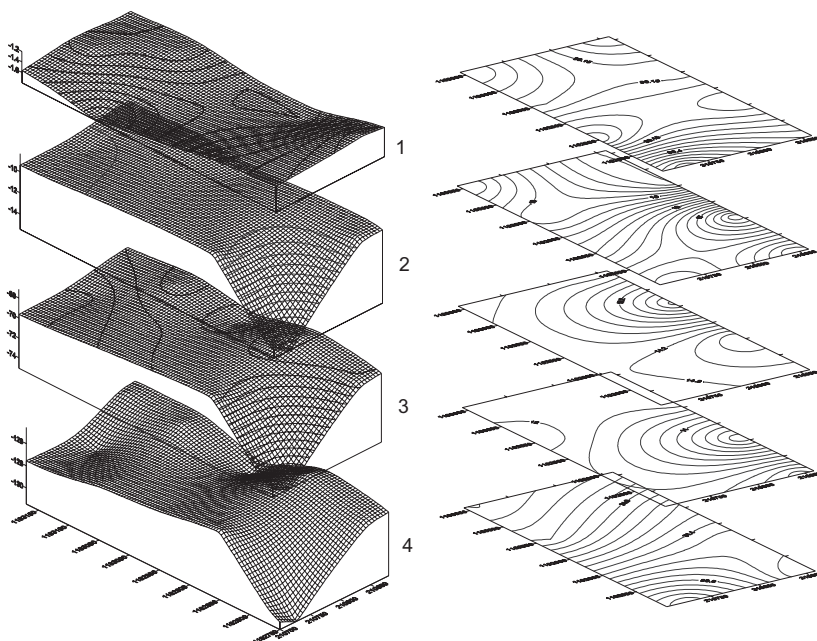
En la tercera capa, se muestra un relieve suave y hacia el sur se observa una anomalía de desniveles posiblemente por la presencia de humedad. El mapa de resistividad confirma que en la dirección Sur-Este, hay presencia de agua con contenido ferroso.

En la cuarta capa muestra espesores superiores a los 35m, repitiéndose las anomalías hacia el sur y donde las resistividades dan lecturas de una roca blanda, probablemente lutita con cierto contenido de humedad.

Campo Humanidades

De la Figura 8, se puede proceder a la siguiente interpretación:

Figura 8
Mapas de espesor e Isoresistividades de las capas 1, 2, 3, y 4 de superior a inferior respectivamente. Campo Humanidades



Para la primera capa el espesor medido es de aproximadamente 1,6 m. El relieve que puede observarse, muestra ondulaciones suaves, característica de una roca sedimentaria con litología arenisca; ya que el mapa de resistividad da lecturas de 90,40 y 90,45 Ω .m [Astier, 1975].

En la segunda capa de aproximadamente 8,4 m de espesor, se presenta una superficie suave con buzamiento hacia el sur, produciendo una anomalía en el relieve. Puede inferirse la presencia de un posible acuífero, pero los valores de resistividad de esta capa, están comprendidos entre 17 y 19 Ω .m, lo cual se sugiere la presencia de un material lutítico [Astier, 1975].

La tercera capa muestra un espesor de aproximadamente 60 m. El relieve que marca es ondulado suavemente persistiendo la anomalía hacia el sur, con valores de resistividades que sugieren la presencia de una capa de arenisca. Tales valores de resistividad, pueden correlacionarse junto a la estructura e inferir sobre la existencia de un acuífero.

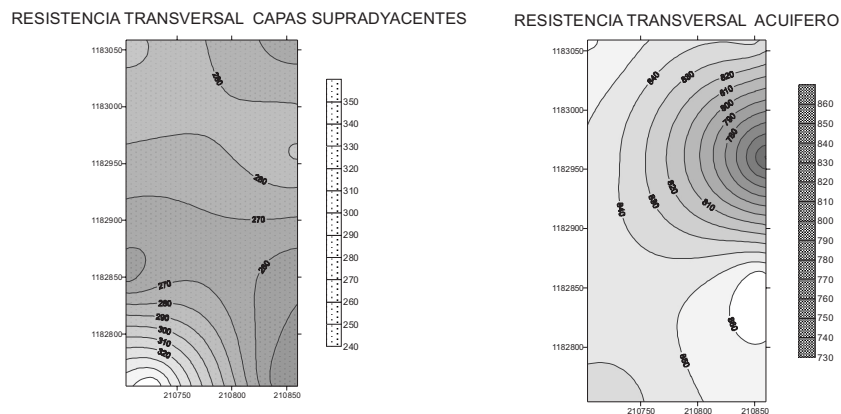
Para la cuarta capa se determina un espesor de 57m, donde el relieve es suave y se mantienen las anomalías hacia el sur. Observando el mapa de resistividad, se interpreta la presencia de rocas tipo lutita con cierto contenido de humedad, debido a los valores muy bajo que posee (11 y 12 Ω .m).

De esta interpretación puede reconocerse la presencia de un acuífero a partir de los 10 m de profundidad con un espesor de 30 m que contiene probablemente agua ferrosa. Este acuífero puede estar confinado entre dos capas de lutita, donde cada una de estas puede tener un espesor entre 5 y 6m.

Los mapas de Resistencia Transversal Unitaria (T), del Campo Humanidades (Figura 9), se realizaron llevando a cabo los cálculos del valor de T correspondiente a las capas suprayacente al acuífero y la capa del acuífero reconocido. Este proceso se realizó para definir las áreas con mejores condiciones de espesor y posibilidades de explotación.

Con los mapas de Resistencia Transversal se confirma que el acuífero hacia la zona sur (zona con sombreado claro), tiene mejores características para la explotación.

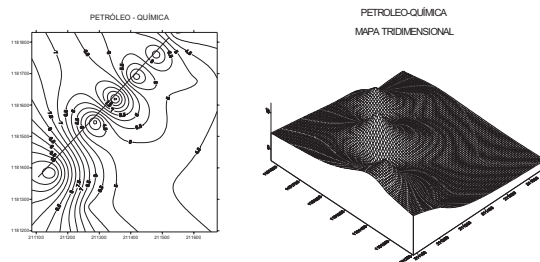
Figura 9
Mapas de Resistencia transversal de las capas del acuífero y de las capas suprayacentes. Campo Humanidades



Resultados del Levantamiento Magnético

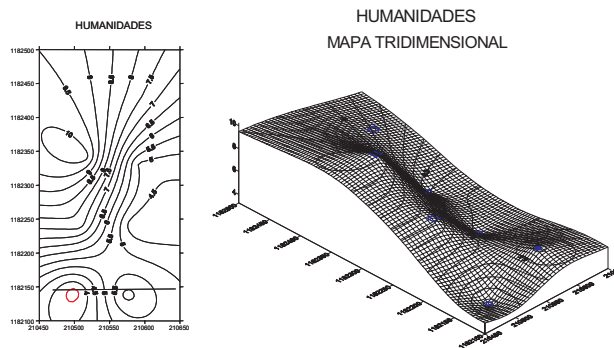
Con cada una de los datos se construyó los mapas de anomalías magnéticas del campo magnético total. En las Figuras 10 y 11 se observan los mapas bidimensionales y tridimensionales de campo magnético total, para cada área en estudio.

Figura 10
Mapa de anomalía magnética Petróleo-Química. Perfil AA*



En el Campo de Petróleo-Química se observaron una mayor cantidad de contornos cerrados, lo cual se asumieron como anomalías de mayor importancia. Por consiguiente se trazó un perfil a lo largo de todas las anomalías (Figura 10). Por otro lado se muestra en el mapa de Humanidades un perfil en la dirección Este-Oeste representados en la Figura 11, para posteriormente realizar su respectiva interpretación.

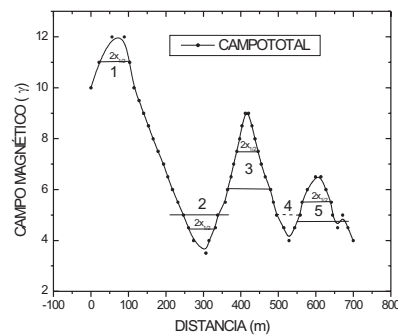
Figura 11
Mapa de Campo total de Humanidades



Resultados de la interpretación deducida de los gráficos

Luego de haber realizado el trazado de los perfiles, se extraen los datos y se procede a graficar la curva de Valores de anomalía magnética (γ) versus distancia (m) en una hoja de cálculo (software Origin 6.0), el cual permitirá tener una relación directa entre estas variables. Una vez que se tienen las gráficas se realiza la interpretación usando el método rápido (Semi-anchura). En la Figura 12, se muestra la gráfica obtenidas el mapa del Campo Petróleo – Química, con sus respectiva interpretación utilizando dicho método.

Figura 12
Gráfica representando la curva de campo magnético versus distancia (Anomalía AA*), del campo Petróleo-Química



Al obtener el cálculo de $2X_{1/2}$ se puede aplicar el método que se aproxime a las figuras simples como la esfera, el cilindro vertical, el cilindro horizontal y el dique, cuyo objetivo es el de hallar la profundidad de la anomalía magnética. En realidad la curva representada no tienen la propiedad de ser simétricas es por ello que se puede ajustar el modelo más cercano a cada anomalía.

Valores Obtenidos por el Método de la Semianchura

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los resultados de las formulas aplicadas en la interpretación geológica para cada uno de los perfiles. En esta interpretación se utilizaron todas las ecuaciones de las figuras simples tales como esferas, cilindros verticales y horizontales, diques [Breiner, S.: 1999].

Tabla 1
Resultados del perfil A A* Dirección Noreste - Suroeste

Figura	Anomalía 1	Anomalía 2	Anomalía 3	Anomalía 4	Anomalía 5
Esfera	81,551	63,89	57,17	61,79	77,35
Cilindro Vertical	53,008	41,528	37,16	40,16	50,2775
Cilindro Horizontal	81,551	63,89	57,17	61,79	77,35
Dique	40,7755	31,945	28,585	30,895	38,675

Fórmulas usadas: Esfera (Dipolo): $Z=2X_{1/2}$, Cilindro Vertical: $Z=1.3 X_{1/2}$, Borde de un Dique: $Z= X_{1/2}$, Cilindro Horizontal: $Z=2 X_{1/2}$.

Tabla 2
Perfil de campo magnético vertical en la dirección Este- Oeste.
Anomalías 1 y 2

Figura	Anomalía 1	Anomalía 2
Esfera	38,918	52,7212
Cilindro Vertical	25,296	34,2687
Cilindro Horizontal	38,918	52,7212
Dique	19,459	26,3606

Se observa en estos resultados que la profundidad de las anomalías depende del ancho de la curva.

Tabla 3
Representación de los valores obtenidos del método de las barras

Barra	Valor (Xz)	Rango $Z=kXz$ $0,5 < k < 1,5$
1	160,158	$80,079 < k < 240,237$
2	54,23	$27,115 < k < 81,345$
3	73,979	$36,9895 < k < 110,9685$

Tabla 4
Representación de los valores obtenidos del método de las barras.
Perfil Este- Oeste campo humanidades

Barra	Valor (Xz)	Rango $Z=kXz$ $0,5 < k < 1,5$
1	35	$17,5 < k < 42,5$
2	55,25	$27,62 < k < 82,88$
3	47,478	$23,739 < k < 71,212$

Resultado obtenido por el método de las barras

Campo Petróleo-Química

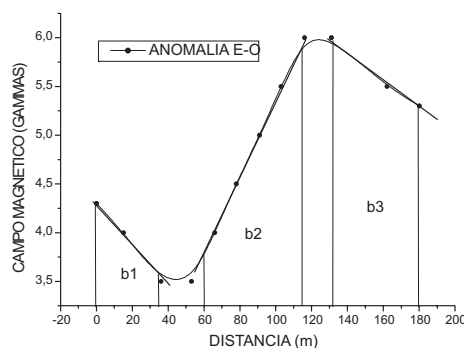
En la Figura 12 se observa el resultado obtenido para el perfil AA* de la anomalía ubicada en la dirección NE-SO (Figura 10), aplicando el método de las barras. De esta gráfica se observa la presencia de tres pendientes representando tres barras. Por medio de las pendientes se calcula el rango de profundidad de la anomalía, proyectando las pendientes hacia el eje de las distancias.

En la Tabla 3 se muestra el resultado del cálculo obtenido del ancho de las barras y sus posibles rangos de profundidad para cada anomalía.

Campo Humanidades

Igualmente como en el caso anterior, en la Figura 13 se observa el perfil de la anomalía magnética producida en dirección Este-Oeste, ubicado en la parte inferior del mapa. En la Tabla 4 se muestra el resultado derivado del *método de las barras*.

Figura 13
Representación del perfil Este- Oeste Campo Humanidades



Conclusiones

El estudio geoelectrico mediante el sondeo eléctrico vertical, dio a conocer las propiedades eléctricas de la zona, donde se presentaron las características relevantes ante la presencia de un acuífero.

Este estudio permitió inferir sobre la presencia de un acuífero confinado en el campo de humanidades, aproximadamente a partir de los 10m de profundidad, distribuido en una capa de lutita suprayacente al acuífero de 5 a 6m de espesor, una capa de arenisca a una profundidad entre 60 y 70m y una capa infrayacente de lutita con cierta humedad.

Se concluye que la zona con mejor calidad de agua se encuentra ubicada en el sur del campo de Humanidades, gracias al análisis realizado en el mapa de resistencia transversal unitaria.

De la prospección geomagnética se concluye que los valores obtenidos en las anomalías presentes, están representadas en las figuras del cilindro vertical y en los diques.

Ambos métodos han mostrado anomalía en el mismo lugar, como es en el caso de Humanidades, lo cual puede indicarnos que en esa posición se encuentra un elemento diferencial del resto. En lo que respecta al valor calculado de la profundidad con el método magnético, se observa que coincide aproximadamente con la profundidad del acuífero confinado.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que los mapas de espesor e isoresistividad calculados por el método eléctrico, proporcionan una buena información de la geometría superficial y la litología de las capas.

Bibliografía

- ASTIER, J.L. (1975). **Geofísica Aplicada a la Hidrogeología**. Editorial Paraninfo.
- BRAGA, A.C. (1999). **Métodos Geoeléctricos Aplicados, Modulo: Hidrogeología**, Universidade Estadual Paulista-UNESP/Campus de Rio Claro. acobra@rcunesp.br.
- BREINER, S. (1999). **Applications manual for portable magnetometers**, pag 28.
- FERNÁNDEZ, F (2002). **Campo Geomagnético de Venezuela y sus variaciones**, PDVSA Intevep. Congreso Venezolano de Geofísica.
- GONZÁLEZ de Juana y otros, (1997). [www.pdvsa.com./](http://www.pdvsa.com/) léxico estratigráfico/ Formación El Milagro. Tercera Edición.
- GOSH, D.P. (1971). Inverse filter coefficients for computation of apparent resistivity Standard curves for horizontally stratified earth- Geoph Prospectig 19,769-775,
- Magnetometers for Land, Air and Space. (2000) Instruction Manual. GSM – 19 v 5.0.
- ORELLANA, E. (1982). **Prospección geoeléctrica en corriente continua**, Paraninfo, madrid, pag 1 – 578.
- SERWAY. (2006). **Física para ciencias e Ingeniería** volumen 2 Sexta Edición. Editorial Thomson, pag. 249.
- VENANCIO, M. SOSA, D. y otros. (1999). **Estudio de fuentes para la provisión de agua potable a la localidad de Las Bandurrias**. Dpto. San Martín. Informe CFI.
- VIVAS, L. (1999). Estudios Geoeléctricos para la Determinación de Acuíferos Utilizando el Método del Sondeo Eléctrico Vertical. Trabajo practico de cuatro semanas campo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geodesia.