



# Caracterización geofísica aplicando método magnético en la zona de volcanes del lago de Yojoa 2017

## Geophysical characterization applying the magnetic method in the volcanic zone of Lake Yojoa 2017

J. VALENTÍN-DÍAZ<sup>1</sup>, M. RODRÍGUEZ<sup>2</sup>

**Recibido:** 12 de junio de 2021 / **Aceptado:** 5 de noviembre de 2021

<sup>1</sup>Escuela de Física. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.  
jamesval4477@gmail.com

<sup>2</sup>Escuela de Física. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.  
mrodriguez@unah.edu.hn

### RESUMEN

En este artículo abordamos el estudio que consistió en la realización de dos perfiles en el cráter del volcán de N-S y NE-SW con una longitud aproximada de 515 m y 264 m respectivamente y tres perfiles en el valle que está entre los dos volcanes de N-S, W-E y N-S al pie del volcán con una longitud aproximada de 952m, 1004m y 1008m respectivamente, para describir las estructuras principales del subsuelo a través de sus anomalías magnéticas. El análisis estadístico fue empleado para obtener las correlaciones entre parámetros magnéticos y la composición geológica para identificar el tipo de roca o minerales existente. Los resultados de éste modelado muestran la importancia de la aplicación del magnetómetro y el software de alto rendimiento en la solución de problemas geofísicos, la metodología desarrollada permite modelar estructuras geológicas.

### ABSTRACT

In this article we address the study that consisted in the realization of two profiles in the crater of the volcano of NS and NE-SW with an approximate length of 515 m and 264 m respectively and three profiles in the valley that is between the two volcanoes of N-S, W-E and N-S at the foot of the volcano with an approximate length of 952m, 1004m and 1008m respectively, to describe the main subsurface structures through their magnetic anomalies. Statistical analysis was used to obtain correlations between magnetic parameters and geological composition to identify the type of rock or minerals that exist. The results of this modeling show the importance of the application of the magnetometer and high performance software in solving geophysical problems, the developed methodology allows modeling geological structures.

### PALABRAS CLAVES

Anomalías magnéticas, parámetros magnéticos, prospección geofísica, susceptibilidad magnética, anomalía regional y residual.

### KEYWORDS

Magnetic anomalies, magnetic parameters, geophysical prospecting, magnetic susceptibility, regional and residual anomaly.

\* Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial 4.0 Internacional

\* This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

## I | INTRODUCCIÓN

La prospección geofísica es el conjunto de técnicas físicas y matemáticas aplicadas a la exploración del sub suelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (minerales, fuentes de agua subterráneas, carbón, petróleo, etc). El método aplicado a esta investigación es el método magnético que se basa en medir variaciones en el campo magnético de la tierra con el objetivo de caracterizar el subsuelo a través de la susceptibilidad magnética de los distintos tipos de rocas que lo conforman presentando características con fuertes contrastes magnetométricos que serán captadas con el magnetómetro para la adquisición, procesamiento y reducción de datos para poder graficar y construir los mapas de anomalías magnéticas.

El propósito de esta investigación consiste en la elaboración de modelos de fuente de anomalías de campo geomagnético del volcán James y el valle que está contiguo, a partir de la interpretación de información magnetométrica de Campo Total obtenida durante la campaña realizada en la zona del volcán James en el mes de mayo de 2017. Se presentan los mapas de anomalías regional y residual del Campo Geomagnético Total, de donde se pueden identificar las principales fuentes de anomalía. Finalmente se obtiene cinco modelos 2D de fuente de anomalía magnética regional y locales más relevantes en el área.

### 1 | Localización del área de estudio

El proyecto se desarrolla en el volcán que está ubicado en la aldea la Lomita cerca del hotel Brisas del Valle a una distancia de 140 kilómetros de Tegucigalpa y a 90 kilómetros de San Pedro Sula, entre la carretera de la Guama y la ciudad Peña Blanca, Santa Cruz de Yojoa, Cortés, cubriendo un área de análisis de  $69,889.6 \text{ m}^2$  en el cráter más la falda del volcán. Con una ubicación de  $14^{\circ}56'36.83'' \text{ N}$ ,  $87^{\circ}58'33.11'' \text{ O}$ , (WGS 84) y elevación 762m. Esta región comprende la zona del volcán a estudiar. La tierra es sumamente fértil de origen volcánico con gran contenido de nitrógeno y fósforo, por lo que se presta para la agricultura. El clima es cálido y ocurren dos estaciones al año (verano e invierno).

### 2 | Composición geológica de la zona de estudio

En la zona de estudio encontramos que predominan depósitos de rocas ígneas (ver figura 2) también nombradas magmáticas como ser: Depósito de rocas basálticas ( $Qb$ ), Depósito de escoria de andesita basáltica ( $Qs$ ), Depósito de andesita basáltica ( $Qb_2$ ), Depósito de basalto de olivino ( $Qb_1$ ), Depósito de ceniza volcánica color rojiza ( $Qc$ ). Estas rocas son todas las que se han formado por solidificación de un material rocoso, caliente y móvil denominado magma; este proceso, llamado cristalización, resulta del enfriamiento de los minerales y del entrelazamiento de sus partículas. Este tipo de rocas también son formadas por la acumulación y consolidación de lava, palabra que se utiliza para un magma que se enfría en la superficie al ser expulsado por los volcanes.

Según la composición química debido al predominio del oxígeno y el silicio en la corteza, las rocas ígneas se componen principalmente de minerales de silicato. Estos silicatos se pueden dividir generalmente en silicatos claros y oscuros. Los silicatos oscuros también se llaman ferromagnesianos, debido a la presencia de hierro y magnesio en ellos. Estos incluyen el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita. Los silicatos de color claro son el cuarzo, la moscovita y el feldespato. E. (2008)



Figura 1: Imagen en Google Earth, de la zona de estudio, el cráter del volcán James y el valle.

El segundo elemento más abundante en las rocas es el silicio, sílice ( $SiO_2$ ), ya que su contenido global varía entre el 35 % y el 80 %. De acuerdo al análisis elemental por fluorescencias de rayos x, analizador XRF portátil encontramos un 24 % de  $SiO_2$  perteneciendo al grupo de rocas ígneas de Ultrabásicas o ultramáficas y minerales félsicos (feldespatos y minerales ricos en Si, Al, Ca, Na y K) y 10.4 % de  $Fe_2O_3$  perteneciendo al grupo de las rocas ígneas Básicas o máficas de los minerales ferromagnesianos, según el mapa geológico de la zona Bustillo (1976).

## II | METODOS Y DATOS

### 1 | Operaciones, técnica de campo

En la etapa de campo se cartografió la zona del cráter del volcán y el valle que esta entre los volcanes mediante una brújula y el GPS.

La magnetometría terrestre se efectuó en tres secciones perpendiculares a la foliación regional para medir la intensidad del campo magnético total en la superficie, la cual contiene una componente regional debida al campo magnético terrestre y una componente residual (inducida y/o remanente) debida al efecto de los minerales magnético en la rocas. Se utilizó un magnetómetro protónico de precesión GSM-19 del Instituto Hondureño de Ciencias de la tierra UNAH. Normalmente los datos se toman con dos magnetómetros, uno con base y otro para tomar los datos durante el levantamiento, sin embargo para este estudio no contamos con el magnetómetro base.

El estudio magnetométrico consistió en cinco perfiles realizando tres en el valle que está entre los dos volcanes y dos en el cráter y bordes del volcán. Para cada medición se colocó el sensor del magnetómetro de forma vertical y a una distancia de la consola mayor a 2.5 m. Se realizaron cinco perfiles para tener una cuadrícula de toda la zona de investigación.

Para llevar a cabo la adquisición de los datos fue necesario calibrar el magnetómetro con el valor promedio de la intensidad del campo total que caracteriza la zona de estudio.

Una vez realizada la adquisición de los datos, se debe realizar un pre-procedimiento en campo para garantizar la efectividad de los valores medidos, luego en la oficina, se realiza el procesamiento, que consiste en la aplicación de un control de calidad a los datos y distintas técnicas de filtrado y se procede

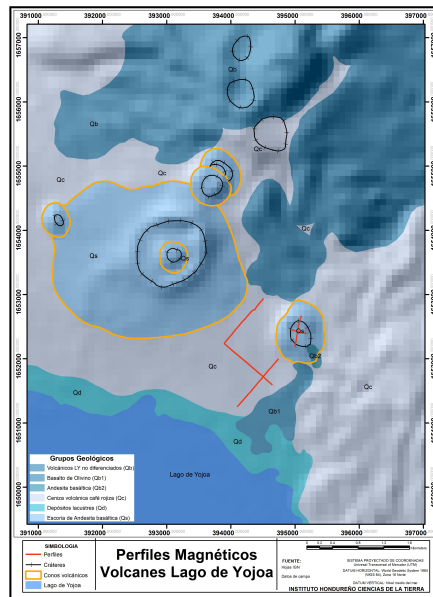


Figura 2: Mapa geológico de la zona de estudio con sus respectivos perfiles magnéticos del valle entre volcanes y dentro de cráter. Las líneas de color rojo muestran los cinco perfiles realizados en la zona (Elaborado Alex Javier Cardona) de el mapa geológico (Donald Curran, 1976).

a realizar la descarga de los datos obtenidos en el magnetómetro en una laptop para luego poder importar en GEOSOFT-Oásis montaj y el canal con los datos magnéticos medidos en mag, para la posterior obtención e interpretación de perfiles, gráficas, grillas y mapas.

Antes de interpretar los datos de campo fue necesario hacer algunas reducciones, en este caso por ser un trabajo de prospección sobre un área pequeña, los datos solo fueron corregidos por variación diurna.

## 2 | Instrumentación utilizada en la investigación

En el levantamiento magnetométrico llevado a cabo en el cráter, bordes del volcán James y el valle que está entre los dos volcanes se utilizó un magnetómetro de precesión de protones constituyen en la actualidad una de las formas más precisas que determinan la intensidad total del campo geomagnético de la marca Overhauser, modelo GSM-19, cuya resolución es de 0.01 nT, una precisión absoluta de 0.2 nT, el rango de lectura es de 20,000 nT a 120,000 nT, una tolerancia de inclinación de  $< 10,000nT/m$  y un rango de temperatura de  $-40^{\circ}C$  a  $50^{\circ}C$ . El magnetómetro consta de un sensor de forma cilíndrica, adaptado a un tubo de metal de aproximadamente 2 metros, una consola en la que se opera el instrumento y se visualizan las lecturas del campo y una batería que alimenta la consola.

Para la localización espacial de las estaciones se utilizó un GPS del mismo magnetómetro Overhauser, modelo GSM-19, además, una brújula brunton.





Figura 3: Magnétometro GSM-19 v7.0 con su respectiva consola, sensor y antena GPS.

### 3 | Espectrómetro de fluorescencia de rayos X

Los resultados de las muestras de las rocas de la zona del cráter del volcán se realizó en las instalaciones del laboratorio de INHGEOMIN para verificar la existencia de algunos compuestos pertenecientes a las rocas ígneas y comparar con los datos obtenidos con el magnetometro GSM-19.

El porcentaje mayor encontrado en la muestra de las rocas del cráter del volcán según el espectro corresponde a los compuestos  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ; perteneciendo al rango establecido de las rocas ígneas ultrabásicas o ultramáficas del grupo de los silicatos oscuros también llamados ferromagnesianos y de estos porcentajes antemencionados de los compuestos llegamos a la deducción de la existencia de olivino, piroxeno y anfíbol en la zona del cráter y el valle que está entre los dos volcanes.

## III | ANÁLISIS DE DATOS

### 1 | Intensidad Magnética Total

El procesamiento, interpretación, mapeo y modelamiento de datos se realizó utilizando el GEOSOFT Oásis montaj Geophysics, obteniendo y configurando los datos corregidos de Intensidad Magnética Total utilizando algunos métodos geofísicos, geoestadísticos, geoquímicos y geológicos para la configuración de perfiles, mapas de contorno. Estos métodos son herramientas útiles para evaluar variables que dependen de la posición, los métodos que se utilizaron en esta investigación fueron: el Análisis de Fourier detectando las anomalías por sus anchos, los que se mide como longitudes de onda y el de mínima curvatura obteniendo el plano de configuración de Intensidad Magnética Total de Campo.

El método de mínima curvatura de acuerdo con su nombre, este método de interpolación trata de

### Datos geoquímico de las rocas en forma de óxidos

compuesto	resultado
Hierro ( $Fe_2O_3$ )	10.4 %
Aluminio ( $Al_2O_3$ )	9.56 %
Titanio ( $TiO_2$ )	2.03 %
Potasio ( $K_2O$ )	0.48 %
Manganeso (MnO)	1.52 %
Calcio (CaO)	3.27 %
Sodio ( $Na_2O$ )	1.24 %
Cobre (Cu)	0.007 %
Silice ( $SiO_2$ )	24.0 %
Magnesio (MgO)	ND
Azufre (S)	ND
Niquel (Ni)	0.1 %

Tabla 1: Resultados geoquímico obtenidos con el espectrómetro por fluorescencia de rayos x analizador XRF portátil.

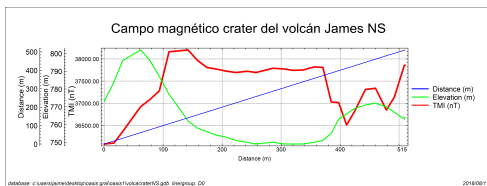


Figura 4: Gráfica de campo magnético vs longitud.

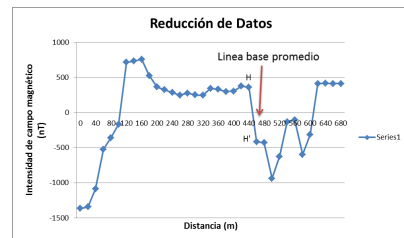


Figura 5: Representación gráfica del perfil magnetométrico luego de la reducción y corrección de datos

producir la superficie continua de mínima curvatura sobre la cual todos los puntos de observación están anclados. Superficies aún menos curvadas son por ejemplo las superficies de tendencia basadas en una regresión polinomial de mínimos cuadrados o bien las superficies planas producidas por las redes triangulares, genera una superficie análoga a una capa delgada linealmente elástica que pasa por cada uno de los valores de los datos generando superficies suavizadas siempre y cuando los valores sean muy cercanos. Todo esto es realizado por el sistema a partir de los valores de los datos y las coordenadas de cada estación.

En el análisis de la estadística descriptiva (tabla 2) para un total de 35 datos de Intensidad Magnética Total se puede observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 36080.53 y 38202.40 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango correspondiente para Honduras de aproximadamente 40000 nT según el mapa de Intensidad Magnética Mundial. El mínimo valor

Parámetros	Datos	Parámetros	Datos	Parámetros	Datos
Mínimo	36080.53	Mínimo	37073.52	Mínimo	37301.56
Máximo	38202.40	Máximo	38495.19	Máximo	38018.67
Media	37445.265	Media	37787.255	Media	37713.351
Mediana	37720.96	Mediana	37722.33	Mediana	37725.76
Moda	37743.92	Moda	37718.22	Moda	37753.81
Desviación est.	574.678	Desviación est.	368.575	Desviación estándar	150.437
Rango	2121.87	Rango	1421.67	Rango	717.11
No. de datos	35	No. de datos	26	Número de datos	90

Tabla 2: Datos de Intensidad Magnética Total del perfil cráter volcán James Norte-Sur.

Tabla 3: Datos de Intensidad Magnética Total del perfil cráter volcán James NE-SO.

Tabla 4: Datos de Intensidad Magnética Total del perfil valle Norte-Sur.

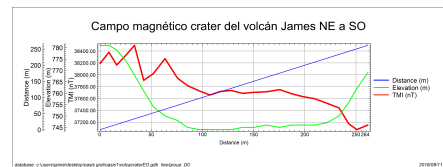
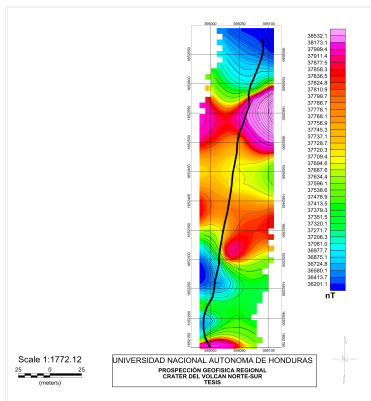


Figura 7: Gráfica de campo magnético vrs longitud.

Figura 6: Perfil y mapa de Intesidad Magnética Total utilizado para la construcción de los modelos teóricos.

magnético de este grupo de datos se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ}56'40.70''$  N y  $87^{\circ}58'34.12''$  W asociado al alto y bajo magnético producto de la existencia de calcio y un porcentaje bajo en silice. el máximo se ubica entre  $14^{\circ}56'44.63''$  N y  $87^{\circ}58'32.98''$  W asociándose a los depósitos de escoria de andesita basáltica,relacionada con silicatos oscuros oferromagneticos ricos en hierro y magnesio.

En el análisis de la estadística descriptiva (tabla 3) para un total de 26 datos de Intensidad Magnética Total se puede observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 37073.52 y 38495.19 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango para Honduras de aproximadamente 40000 nT según el mapa de Intensidad Magnética Mundial. El mínimo valor magnético de este grupo de datos se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ}56'40.62''$  N y  $87^{\circ}58'35.69''$  W asociado al alto y bajo magnético producido presuntamente por la falla del norte del lago de Yojoa, así mismo, el máximo se ubica entre  $14^{\circ}56'42.94''$  N y  $87^{\circ}58'32.12''$  W asociándose a los depósitos de escoria de andesita basáltica por la respuesta magnética y geológica de la zona.

Parámetros	Datos
Mínimo	37205.79
Máximo	38029.23
Media	37692.980
Mediana	37716.843
moda	37735.24
Desviación estándar	181.112
Rango	823.44
Número de datos	84

Tabla 5: Datos de Intensidad Magnética Total del perfil valle Oeste-Este.

Parámetros	Datos
Mínimo	36745.50
Máximo	38144.70
Media	37530.388
Mediana	37563.65
Moda	377735.22
Desviación estándar	214.851
Rango	1399.2
Número de datos	91

Tabla 6: Datos de Intensidad Magnética Total del perfil valle pievolcán Norte-Sur.

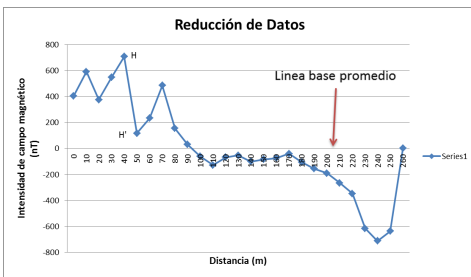


Figura 8: Representación gráfica del perfil magnetométrico luego de la reducción y corrección de datos

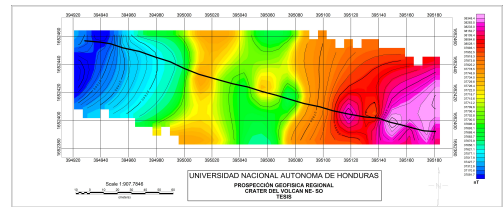


Figura 9: Perfil y mapa de Intensidad Magnética Total utilizado para la construcción de los modelos teóricos.

En el análisis de la estadística descriptiva (tabla 4) para un total de 90 datos de Intensidad Magnética Total se puede observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 36080.53 y 38495.19 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango correspondiente para Honduras de aproximadamente 40000 nT según el mapa de Intensidad Magnética Mundial. El mínimo valor magnético de este grupo de datos se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ}56'38.02''$  N y  $87^{\circ}59'07.72''$  W asociado al alto y bajo magnético producido presuntamente por la ceniza basálticas café rojisa con un porcentaje alto en sílice y baja concentraciones de óxido de aluminio, calcio, hierro y sodio. el máximo se ubica entre  $14^{\circ}56'34.95''$  N y  $87^{\circ}59'10.50''$  W. A una distancia de 180m a 300m existe un gran cambio en el perfil y en el mapa, asociándose esta situación con la existencia de un depósito de basalto de olivino de la zona.

En el análisis de la estadística descriptiva (tabla 5) para un total de 84 datos de Intensidad Magnética Total se puede observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 37205.79 y 38029.23 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango correspondiente para Honduras de aproximadamente 40000 nT según el mapa de Intensidad Magnética Mundial. El mínimo valor magnético de este grupo de datos se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ}56'15.91''$  N y  $87^{\circ}58'49.77''$  W asociado a la existencia de silicatos claros como el cuarzo y el feldespato, así mismo, el máximo se ubica entre  $14^{\circ}56'21.34''$  N y  $87^{\circ}58'56.57''$  W a una distancia de 520m a 660m. Existe un gran cambio

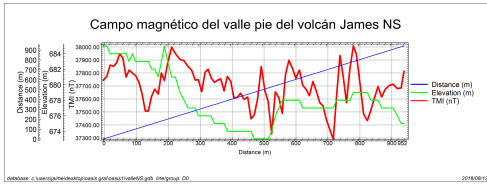


Figura 10: Gráfica de campo magnético vs longitud.

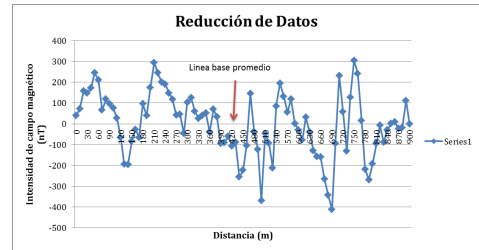


Figura 11: Representación gráfica del perfil magneto-métrico luego de la reducción y corrección de datos

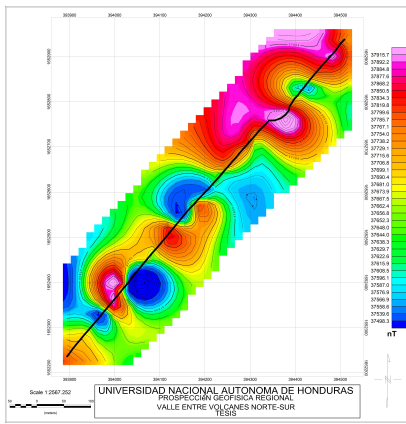


Figura 12: Perfil y mapa de Intensidad Magnética Total utilizado para la construcción de los modelos teóricos.

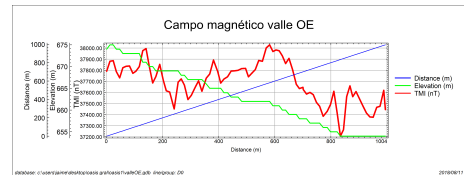


Figura 13: Gráfica de campo magnético vs longitud.

en el perfil y en el mapa, asociándose con la existencia de un depósito de basalto de olivino de la zona.

El análisis de la estadística descriptiva (tabla 6) para un total de 91 datos de Intensidad Magnética Total se puede observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 36745.50 y 38144.70 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango para Honduras de aproximadamente 40000 nT según el mapa de Intensidad Magnética Mundial. El mínimo valor magnético de este grupo de datos se ubica entre las coordenadas  $14^{\circ}56'09.60''N$  y  $87^{\circ}58'58.40''W$  asociado al alto y bajo magnético producido presuntamente por la ceniza volcánica producto de la descomposición de roca y por la Falla del Norte del lago de Yojoa, así mismo, el máximo se ubica entre  $14^{\circ}56'03.73''N$  y  $87^{\circ}59'03.23''W$ . Al final del perfil a una distancia de 1008m. Se presentan escasas oscilaciones en las propiedades magnéticas de los materiales, debido a sus dimensiones se interpreta como una interferencia puntual ocasionada por algún elemento metálico probablemente el alambre de la cerca o el cable del tendido eléctrico.

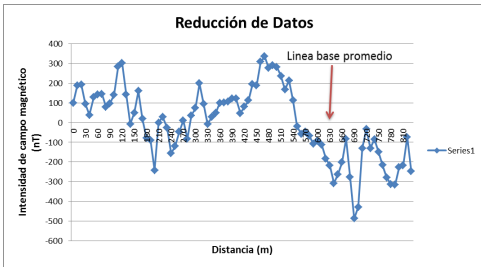


Figura 14: Representación gráfica del perfil magneto-métrico luego de la reducción y corrección de datos

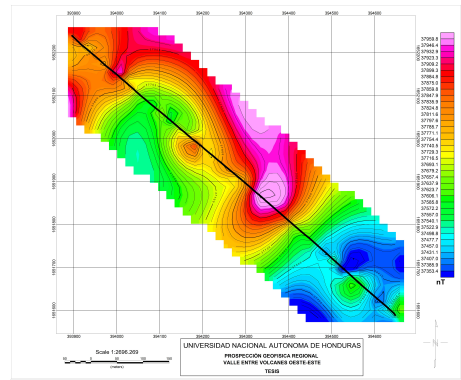


Figura 15: Perfil y mapa de Intesidad Magnética Total utilizado para la construcción de los modelos teóricos.

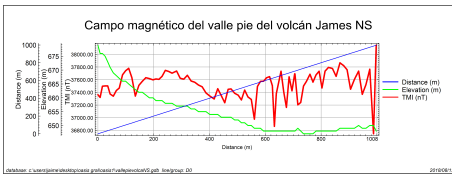


Figura 16: Gráfica de campo magnético vs longitud.

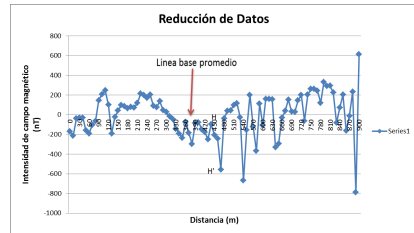


Figura 17: Representación gráfica del perfil magneto-métrico luego de la reducción y corrección de datos

IV | CONCLUSIONES

- El estudio magnetométrico permitió documentar la lectura del campo magnético característico de la estructura volcánica en el sector norte del lago de Yojoa. La zona de estudio comprende la región del valle que está entre los volcanes, el borde exterior del norte del volcán, el cráter y los bordes internos del volcán. En la Intensidad Magnética Total se pueden observar que el rango está comprendido entre un mínimo y máximo de 36881.38 y 38178.38 nT respectivamente, el mismo se encuentra dentro del rango correspondiente para Honduras de aproximadamente 40,000 nT.
- De los datos obtenidos en los perfiles se obtuvieron mapas de intensidad magnética total donde se muestran anomalías con puntos máximos y mínimos de intensidades magnéticas, los cuales se asocian con algunos cuerpos principales ferromagnéticos y que durante la adquisición se pudo observar la presencia de estos cuerpos.
- Según las gráficas de los perfiles realizados en el cráter del volcán los picos más altos se encontraron en los bordes interno del volcán indicando la existencia de roca basáltica rica en silicatos de magnesio, hierro y en silice perteneciente al grupo de los ferromagnéticos y la zona plana del crater cubierta de sedimento.

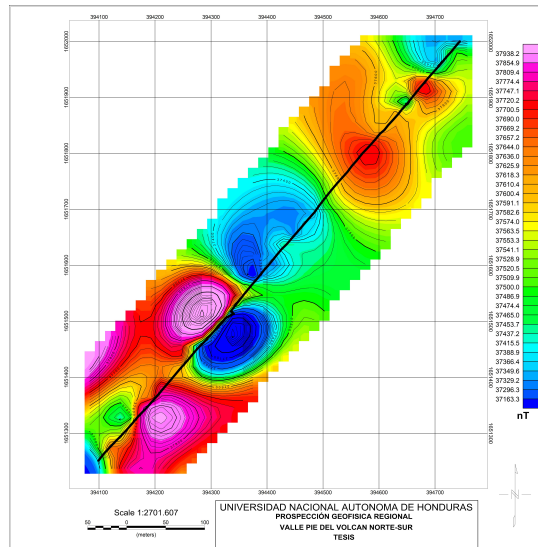


Figura 18: Perfil y mapa de Intesidad Magnética Total utilizado para la construcción de los modelos teóricos.

## I REFERENCIAS

- Appel., H. V. M. K. E. (1999). *Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution*. (n.º 66). Journal of Geochemical Exploration..
- Bustillo, M. A. (1976). *Texturas de rocas de la silice inorgánica en ambiente continental y significado genético: Estudio geológico*. (n.º 32).
- Conte, G. U.-F. J. G. A. S.-A. A., y MortonBermea. (2004). *Paleomagnetic study of lavas from the popocatepetl volcanic region*. (Vol. 46). Central Mexico:International Geology Review..
- E., L. R. (2008). *Geología general de México*. edit - trillas México..
- et al., B. . M. (1879). Prolonged history of silicic peralkaline volcanism in the eastern pacific ocean. *Cambridge University Press. Reino Unido, 101(85)*, 11,457- 11,474.
- F., B. . R. (1991). *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*. California, Blackwell Science..
- Galván, A. (2001). *Análisis temporal del campo magnético y deformación en el volcán popocatepetl*. Tesis de Ingeniería Geofísica. Instituto de Geofísica UNAM.
- Hanesch M., P. N. (1999). *Magnetic properties of a recent parabrown-earth from southern germany*. (n.º 169). Earth Planetary Science and Letters.
- J., U. F. (1977). *Importancia del magnetismo remanente en la interpretación de anomalías magnéticas*. (Vol. XVIII). Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración..
- John, D. (1994). *Environmental magnetic susceptibility using the bartington ms2 system*. Bartington Instruments, Oxford.
- Jordanova D., V. H., N. Jornadova. (2006). *Magnetic mineralogy and grain-size dependence of hysteresis parameters of single spherules from industrial waste products*. (n.º 154). Physics of the Earth and Planetary Interiors..
- L., A. E. . D. (2008). *Modelación en 3d de datos magnéticos para caracterizar estructuras arqueológicas*. Tesis de Doctorado en Ciencias, Instituto de Geofísica UNAM, México.
- L., M. (1997). *El geomagnetismo. cuadernos del instituto de geofísica* (n.º 11). México, Instituto de Geofísica, UNAM - Ed. Plaza y Valdés..
- la Cruz R. Tilling R. I., D. H. D. (2004). *Characterization of individual rock magnetic components by analysis of remanence curves. physics and chemistry of the earth*. (n.º 29).
- O., M. (2004). *Creación de un programa para realizar modelado directo 2d de datos gravimétricos y magnéticos*.

Universidad Simón Bolívar, Trabajo Especial de Grado..

- P.V., S. (1997). *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge University Press. Cambridge University Press..
- R., E. (2004). *The 1994 present eruption of popocatepetl volcano: Background, current activity, and impacts*. (n.º 170).
- R.J., B. . (1996). *Potential theory in gravity and magnetics applications*. Cambridge University Press. Reino Unido.
- S., B. (1973). *Applications manual for portable magnetometers*. Geometrics. California.
- W., L. (2007). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge University Press..
- W. Bevan, B. (2006). *Understand magnetic maps*. Geosight, Virginia..
- web1. (s.f.). Descargado de <http://www.googleearth.com>
- web2. (s.f.). Descargado de <http://www.abae.gob.ve/images/vector-campo-magnetico.jpg>
- web3. (s.f.). Descargado de <http://www.intermagnet.org/>
- web4. (s.f.). Descargado de <http://www.ngdc.noaa.gov/wist/magfield.jsp>
- William, L. (1997). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge University Press, UK..
- W.M., T. (1976). *Applied geophysics*. Cambridge University Press. Estados Unidos de América.
- Yamazaki Y., R. T. (1970). *Local anomalous changes in the geomagnetic field at matsushiro*. (n.º 48). Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo..
- y Mammerickx., K. (1982). *Northern east pacific rise: Magnetic anomaly and bathimetric framework*. (Vol. 87) (n.º 88). Journal of Geophysical Research..
- y R. Scholger., H. M. (2002). *Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements*. (n.º 42).