



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE POTENCIAL ESPONTÁNEO (SP) EN CAMPOS GEOTÉRMICOS MEXICANOS

Nallely Jiménez<sup>1,3</sup>, Javier Lermo<sup>1</sup>, Cecilia Lorenzo<sup>2</sup>, Antony Finizola<sup>4</sup>, Oscar Campos<sup>3</sup>, Joel Angulo<sup>3</sup>, Joanna Gutiérrez<sup>1</sup>, Omar R. Machado<sup>1</sup>, Navil A. Téllez<sup>1</sup>, Erick Ramos<sup>1</sup> e Iván Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México (jlermos@ingen.unam.mx)

<sup>2</sup> Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Subgerencia de Estudios, Departamento de Exploración, Morelia, México

<sup>3</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

<sup>4</sup> Laboratoire Géosciences Réunion, Univ. Réunion, IPGP-CNRS-UMR7154-Géologie des Systèmes Volcaniques, 15, Avenue René Cassin, BP 7151, 97715 Saint Denis, La Réunion, France, E-mail: [Anthony.finizola@univ-reunion.fr](mailto:Anthony.finizola@univ-reunion.fr)

### RESUMEN

Se tienen buenos resultados tanto en volcanes, como en campos geotérmicos, ya que, si delimita las zonas más permeables y el sistema hidrotermal, como se observó en el campo geotérmico de Los Humeros y en la zona de La Soledad; sin embargo, para poder delimitar mejor la zona de interés si necesita estar acompañada de otros estudios. En cuanto a la topografía, se presentan no solo problemas para la adquisición de datos, esto debido que no se puede hacer la obtención de los perfiles de forma radial o paralela, lo que también dificulta la obtención del coeficiente  $\nabla\phi/\nabla h$ , para la corrección topográfica, aun así sin esta corrección se puede interpretar las anomalías más importantes de área de estudio. Por último, es una metodología de bajo costo por su aplicación en el campo, instrumentación, y de fácil procesado de sus datos; así como no ocasiona daños en el medio ambiente.

**Palabras Clave** *Potencial espontáneo, Sistema Hidrotermal, Geotermia, volcanes, exploración geotérmica*

### ABSTRACT

Here are good results both in volcanoes and in geothermal fields, since, if it delimits the most permeable zones and the hydrothermal system, as was observed in the geothermal field of Los Humeros and in the area of La Soledad; however, in order to better delimit the area of interest if it needs to be accompanied by other studies. Regarding the topography, not only problems for the acquisition

of data are presented, this is due to the fact that it is not possible to obtain the profiles in a radial or parallel way, which also makes it difficult to obtain the coefficient  $\nabla\phi/\nabla h$ , for the topographical correction, even without this correction can be interpreted the most important anomalies of study area. Finally, it is a low cost methodology for its application in the field, instrumentation, and easy processing of your data; as well as causing no damage to the environment.

**Keywords** *Self-potential, Hydrothermal System, Geothermal energy, volcanoes, geothermal exploration*

### INTRODUCCIÓN

Una de las principales dificultades de la geotermia, es poder identificar los límites del área hidrotermal de cada zona de interés, por esta razón se han utilizado diversos estudios geológicos, geofísicos y químicos, los cuales ayuden a definir y delimitar las zonas principales que se encuentren conectadas con las fuentes de calor. Con este mismo objetivo, en este trabajo vamos a utilizar el método de potencial espontáneo (SP) para determinar los límites hidrotermales de dos campos geotérmicos diferentes por su desarrollo: un campo maduro (campo geotérmico Los Humeros, Pue.) y otro que se encuentra en evaluación (Zona geotérmica de La Soledad) y comparar sus resultados con un mapa de SP desarrollado para el Volcán La Malinche. Estos tres zonas se realizaron con la metodología de campo, instrumentos y procesado.

El método conocido como autopotencial, potencial espontáneo (SP) o polarización espontánea, que es un método pasivo, ya que registra una señal natural del terreno, no provocada deliberadamente, consiste en la medición de la diferencia del potencial en superficie entre dos puntos, donde el común denominador de la generación del SP es el flujo de agua subterránea por un medio poroso. Su uso se ha extendido para resolver problemas de impacto ambiental, filtración de aguas subterráneas y en el mundo de la ingeniería civil. Desde 1970 el SP ha sido retomado para el estudio de los campos geotérmicos y en el estudio de volcanes, principalmente buscando relaciones entre estructuras geológicas y sistemas hidrotermales (Corwin and Hoover, 1979; Reynolds, 2011).

### EL VOLCÁN LA MALINCHE

Este es un caso de mayor aplicación de la metodología SP, en el cual se tiene una mejor interpretación y análisis del su comportamiento.

Este volcán, se localiza en la región centro-oriental SE del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) entre los estados de Puebla y Veracruz. Se realizaron mediciones a lo largo de 8 perfiles, de los cuales 7 se realizaron de forma radial. Los valores de SP muestran claramente la transición de dos zonas principales (Figura 1):

#### **VOLCÁN LA MALINCHE**

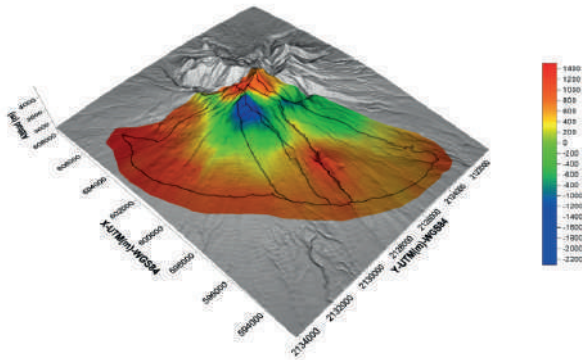


Figura 1 Mapa de SP del volcán La Malinche, Tlax.

Una zona hidrogeológica producto del agua meteórica que genera un flujo descendiente y que se refleja en valores negativos para la curva de potencial espontáneo. Y un sistema hidrotermal producto del aumento en la temperatura del agua meteórica debido a la presencia de un cuerpo magmático en profundidad, produciendo un flujo ascendente reflejado en la curva valores positivos de SP en la parte central del volcán (Figura 1).

Las anomalías de potencial espontáneo indican zonas de alta permeabilidad que se asocian principalmente a estructuras tales como fallas,

colapsos de calderas, límites de calderas y de cráteres. En las curvas obtenidas en el volcán Malinche se evidencia el límite de una caldera antigua.

En la Figura 2 se muestra el mapa de SP de la malinche, mediante una corrección topográfica, en la cual, se realiza una regresión lineal de los valores de SP versus Elevación obteniendo un coeficiente  $\nabla\phi/\nabla h$  con valor de  $-1.2418\text{mV/m}$ , el cual nos permite diferenciar el sistema hidrotermal del volcán, de la zona de acumulación de agua (nivel freático), en este caso se encuentra en la falda del volcán.

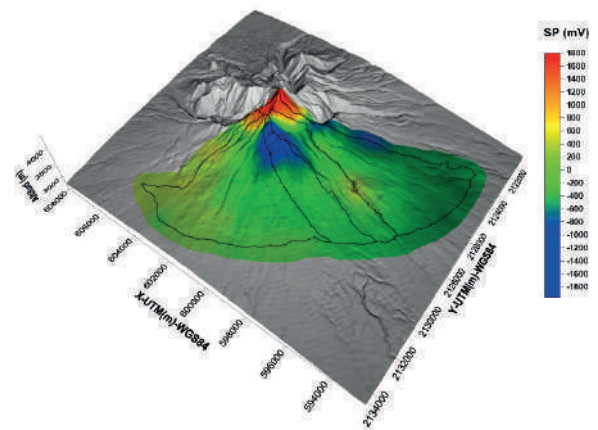


Figura 2. Mapa de SP con corrección topográfica del Volcán la Malinche

### CAMPO GEOTÉRMICO DE LOS HUMEROS, PUEBLA

El campo geotérmico Los Humeros se encuentra localizado en el extremo SE del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) entre los límites de los estados de Puebla y Veracruz; aproximadamente a 32 km al NW de Perote (Veracruz). En este caso, ya se cuenta con diversos estudios, tanto geológicos, químicos y geofísicos. Una de las principales razones por las cuales se realizó un estudio de SP, es para poder analizar si dicha metodología proporciona información que ayude a la identificación de nuevas zonas hidrotermales que limiten un área con posible potencial geotérmico.

Se realizó un total de 2,327 puntos de medición, en su mayoría de forma paralela, una vez realizado el procesado y las correcciones correspondientes se obtuvo el siguiente mapa (Figura 3), concluyendo:

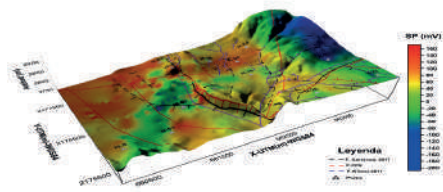


Figura 3. Mapa de SP del campo geotérmico Los Humeros, Pue.

- Las anomalías positivas son asociadas a zonas permeables se encuentra en la parte norte del campo, no se realizó mediciones más arriba debido a la influencia que tienen los pozos en el SP, generando anomalías de SP negativas a causa de las reacciones de óxido-reducción.
- Existe una anomalía de carácter negativa en la parte del pueblo de Los Humeros, de acuerdo con estudios previos se correlaciona con un posible cuerpo frío por debajo de esta zona.
- Se delimita la falla de los humeros presentando valores de hasta 150mV.

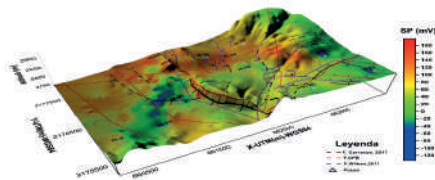


Figura 4. Mapa de SP con corrección topográfica del campo Geotérmico Los Humeros, Pue.

La corrección topográfica, para el caso de los Humeros, Pue., se obtuvieron 4 coeficientes  $\nabla\phi/\nabla h$ , ya que no en toda la zona se tiene los mismo cambios abruptos de topografía: i) Zona NE, con un valor de  $-0.578\text{mV/m}$ ; ii) Zona NW, con un valor de  $-1.357\text{mV/m}$ ; iii) Zona SE, con un valor de  $-0.190\text{mV/m}$  y iv) Zona SW, con un valor de  $-0.061\text{mV/m}$ . En este mapa (Figura 4) ya no se observan los valores negativos en la parte más alta del campo, y se aprecia anomalías negativas asociadas a los pozos. Por otro lado, delimita más las zonas con anomalías altas, tanto en la falla los Humeros y la parte norte. De acuerdo con estudios ya realizados estas zonas concuerdan con estudios

de alta temperatura, zonas de atenuación, sismicidad, etc.

### CAMPO GEOTÉRMICO LA SOLEDAD

Se ubica en el estado de Jalisco, México. Está aproximadamente a 30 km al norte de la ciudad de Guadalajara, entre los municipios de Zapopan y San Cristóbal de la Barranca. Esta es una zona con posible potencial geotérmico en el cual no se tienen estudios previos, más que la ubicación de las manifestaciones hidrotermales. Se han realizado un total de 2,020 mediciones de SP cada 20 m, que corresponden aproximadamente a 40.4 km lineales de tendido, debido a la topografía abrupta del lugar los perfiles realizados no son radiales ni paralelos.

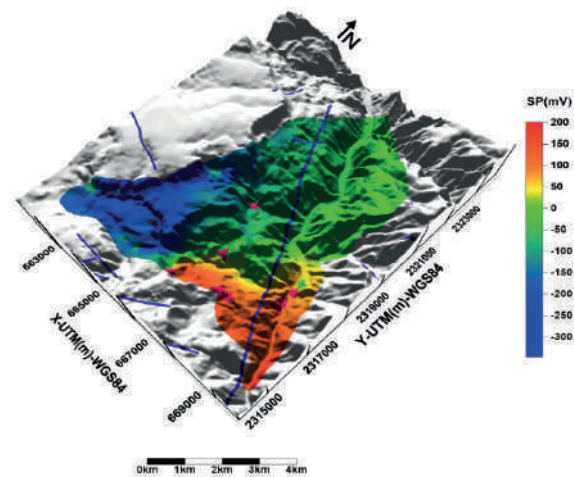


Figura 5. Mapa de Potencial espontáneo de la Soledad, Jal.

De acuerdo con la información obtenida del campo, el mapa de SP (Figura 5), se observa una anomalía positiva (+165mV) que se encuentra en la parte sureste. Estos valores se atribuyen a zonas de alta permeabilidad, zonas de acumulación de agua y sistemas hidrotermales, los cuales son transportado a través de sistemas fallas conectadas con la fuente de calor, o en zonas permeables. Estos valores obtenidos, aunque no sobrepasan los 200mV, se interpretan como una zona permeable, en la cual posiblemente exista la una parte del sistema hidrotermal, que podría tener una mayor extensión hacia la parte sur del mismo.

Asimismo, se observa un punto en la parte este de aproximadamente 40mV, el cual se encuentra rodeado por valores altos (160mV), este punto se considera una zona de infiltración de agua, en ese punto existe tanto infiltración (cargas negativas) como una zona permeable asociada a un sistema hidrotermal (cargas positivas).

Si ahora, realizamos la corrección por topografía (mapa SP, figura 6), se puede apreciar una mejor interpretación del mapa obtenido sin la corrección topográfica (mapa SP, figura 5), debido a que a pesar de que se observa la misma tendencia de que los valores positivos, los valores de SP en todo el mapa se elevan considerablemente de 200 mV hasta 400 mV (Figura 6). Esto debido a que las mediciones no se pudieron realizar de manera radial o paralela, por la topografía abrupta, causando una gran variedad de pendientes para la obtención del coeficiente  $\nabla\phi/\nabla h$ . Por tal motivo se aprecia una mejor interpretación en el mapa de SP, considerando hasta la corrección geohidrológica.

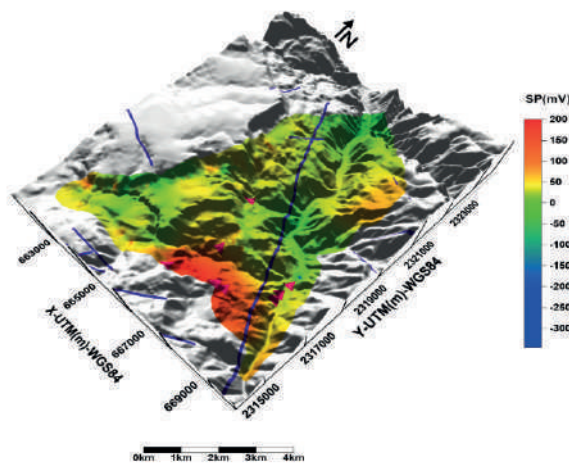


Figura 6. Mapa de Potencial espontáneo con corrección topográfica de la Soledad, Jalisco.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en los tres casos se llegó a las siguientes conclusiones de la metodología de SP:

- Es una metodología de bajo costo y que no ocasiona daños en el medio ambiente.
- Se tienen buenos resultados tanto en volcanes, como en campos geotérmicos, ya que, si delimita las zonas más permeables y el sistema hidrotermal, como se observó en el campo de los humeros y en la zona de la Soledad, sin embargo, para poder delimitar mejor la zona de interés si necesita estar acompañada de otros estudios.
- En cuanto a la topografía, se presentan no solo problemas para la adquisición de datos, esto debido que no se puede hacer la obtención de los perfiles de forma radial o paralela, lo que también dificulta la obtención del coe-

ficiente  $\nabla\phi/\nabla h$ , para la corrección **topográfica**, aun así sin esta corrección se puede interpretar las anomalías más importantes de área de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por el apoyo en cuanto al trabajo de campo de potencial espontáneo y la instalación de la red sísmica. Asimismo, se agradece la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

## REFERENCIAS

- Angulo J, (2018) Análisis de la sismicidad y el sistema hidrotermal de la Malinche, Tlaxcala, UNAM, Tesis en Proceso.
- Corwin, R.F. Hoover, D.B. (1979). The self-potential method in geothermal exploration. *Geophysics*, 44-2, 226-245.
- Carrasco G., López M., Hernández J., Vargas V., 2017. Subsurface stratigraphy and its correlation with the surficial geology at Los Humeros geothermal field, Eastern Tran-Mexican Volcanic Belt. *Geothermics* 67 (2017) 1-17.
- Willcox C. 2011. Eruptive, magmatic and structural evolution of a large explosive caldera volcano: Los Humeros, central México. University of Leicester. Tesis de Doctorado.
- Lermo et al. (2018). Detección de fallas geológicas y extensión hidrotermal en la zona geotérmica la Soledad: mediante la utilización de metodologías complementarias: potencial espontáneo (SP), gas de suelo (CO<sub>2</sub>), térmica y tomografía de resistividad eléctrica y sísmica. CFE, Informe Final.