

## **Sistema de Información Geográfica, plataforma de análisis de técnicas nucleares en el campo geotérmico de Los Azufres, Mich.**

***Miguel Balcázar<sup>1</sup>, Arturo López<sup>1</sup>, Jesús H. Flores<sup>1</sup>, Marciano Huerta<sup>1</sup>, Delfino. Madrigal<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Apartado Postal 18-1027, México D.F. 11801.

<sup>2</sup>Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, s/n Ciudad Universitaria Toluca Méx. C.P 50110. Correo: [mbg@nuclear.inin.mx](mailto:mbg@nuclear.inin.mx)

### **Resumen**

La Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares han aplicado técnicas nucleares para determinar algunas propiedades de los campos geotérmicos, entre ellos El Ceboruco, Las Derrumbadas, Las Tres Vírgenes y Los Azufres. En este último se ha realizado el fechado del campo mediante el análisis de trazas de fisión en vidrios volcánicos, determinación de fallas geológicas activas por anomalías superficiales de radón, determinación de isotermas mediante la identificación de epidota por microscopia electrónica y difracción de Rayos X de los núcleos de perforación de pozos geotérmicos. Esta información de Los Azufres, obtenida por técnicas nucleares, se ha insertado en un Sistema Geográfico de Información clasificándola como información particular (propia del campo). A esta información particular se ha adicionado la denominada información regional, que comprende datos como la geología, topografía, hidrología superficial y el sistema de fracturas y fallas. Toda la información está contenida en una base de datos clasificada, ligada a una base cartográfica geo-referenciada. Este trabajo permite establecer correlaciones entre la información regional y la información propia del campo, con la ventaja de contar con una base de datos que permite introducir y analiza nuevos datos.

*Palabras Clave:* Geotermia, Radón, Sistema de Información Geográfica, kriging

## **Geographical Information System, analytical frame for nuclear techniques in the Los Azufres geothermal field, Mich.**

### **Abstract**

The geothermal energy division of the Comisión Federal de Electricidad and the Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares have been applying nuclear techniques to determine some properties of the Mexican geothermal fields, among them: El Ceboruco, Las Derrumbadas, Las Tres Vírgenes and Los Azufres. This last field has been subject to fission track dating of volcanic glasses, determination of active faults by means of surface radon anomalies, isotherms determination using epidote identification by means of Scanning Electron Microscopy and X-Ray Diffraction from core-samples of geothermal wells. All information from Los Azufres geothermal field has been introduced in a Geographical Information System, and has been classified in two main groups: regional information and specific information of the geothermal field. The regional information contains data of geology, topography, superficial hydrology, and faults and fractures system. Data of this information is classified and linked to a geographical positioning system. This work permits to perform correlations between regional data and specific information in the geothermal field, the advantage of having all data positioned allowing introduction and analysis of new data.

*Keywords:* Geothermal, Radon, Geographical Information System, kriging.

## 1. Introducción

México es el tercer productor de energía geotérmica mundial con alrededor de 1000 MW. Las zonas de mayor producción se encuentran localizadas sobre el Eje Neovolcánico.

Desde 1980, a solicitud de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) al Instituto nacional de investigaciones Nucleares (ININ), se desarrollaron 3 técnicas nucleares que contribuyen a la prospección geotérmica, permitiendo determinar la edad de los campos geotérmicos, la localización de fallas activas asociadas a las fuentes de calor y la identificación de minerales geotermómetros.

La edad del campo geotérmico está relacionada con la formación de vidrios volcánicos en el lugar como las obsidias, ya que la obsidiana atrapó pequeñas concentraciones de uranio en su estructura durante el vulcanismo que dio formación al campo geotérmico y a las obsidias. El uranio  $^{238}\text{U}$  atrapado se fisiona espontáneamente, produciendo daños internos en la obsidiana, de tal forma que el número de daños por fisión en las obsidias es proporcional a dos parámetros: al tiempo o edad, que ha estado ese uranio atrapado y a la concentración de uranio en las obsidias; la concentración de uranio remanente se determina induciendo fisión mediante irradiación de la obsidiana en el Reactor del ININ; entonces la evaluación de los daños por fisión espontánea y por fisión inducida permiten determinar la edad de la obsidiana y consecuentemente la edad del campo geotérmico.

La localización de fallas activas, asociadas a las fuentes de calor, se logra detectando el Radón en grandes áreas, los sitios de mayor concentración de Radón corresponden a las fallas geológicas por donde el transporte es mayor.

La Epidota es un mineral geotermómetro útil en campos geotérmicos, ya que la temperatura de su formación es por arriba de los 200 °C, así que su presencia o ausencia mediante difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido en muestras extraídas de los núcleos de perforación de los pozos geotérmicos permite delinear tri dimensionalmente a profundidad estos umbrales de temperatura.

## 2. Delimitación del Sitio de Estudio

El área de estudio del campo geotérmico de Los Azufres (CGA) de este trabajo, tiene una superficie aproximada de 153 km<sup>2</sup>. La información básica del campo, se digitalizo de un mapa proporcionado por la GPG al ININ. El mapa fue elaborado en la subgerencia de estudios Geotérmicos por la superintendencia de Geología en junio de 1992, además contiene la localización de pozos de inyección, pozos productores y pozos de exploración, así como el sistema de fallas locales.

La información del campo contiene una base de datos detallada propia, que está ligada a una base cartográfica y que se encuentra clasificada en dos grandes grupos; información regional e información propia del campo Geotérmico. La información regional comprende datos como la Geología, Topografía, Hidrología superficial, y Sistema de Fracturas y Fallas. La información propia del campo Geotérmico incluye datos de un trazador natural radioactivo denominado Radón-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ), con

valores de concentración en tres diferentes áreas estudiadas, localizadas al Norte, al Sur y al Noroeste de las instalaciones del campo Geotérmico de CFE.

La información regional se adquirió de cartas editadas por el INEGI escala, 1: 50,000, con número de clave E14A14 y E14A15 en formato digital, cabe mencionar que la información de Geología, se digitalizo por no existir en formato digital a la venta.

La información del trazador radioactivo natural se obtuvo integrando toda la información existente de trabajos previos de campo, realizados por solicitud de la GPG de la CFE al ININ. Ésta contiene la distribución superficial de concentración del Radón-222, en tres regiones: la región sur productora (N 2184500 a 2189000 y E 322000 a 330500), la norte (N 2191500 a 2195000 y E 323500 a 327500) y otra más en la parte noroeste del campo (N 2197000 a 2188880 y E 317000 a 324020).

### **3. Plataforma de Análisis**

La plataforma informática de análisis es un Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permite la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico georreferenciado que estructura y permite correlacionar ambos conjuntos de información: la regional y la propia del campo geotérmico.

La representación gráfica de los datos se basó en objetos universales, como el punto, línea y área, en este trabajo se utiliza la representación de puntos para las zonas donde se determinó la concentración de Radón, estos puntos se interpolan mediante un modelo Geoestadístico dando como resultado información gráfica que muestra líneas de isovalores, paralelamente esta información delimita el área de trabajo que cubre.

Para las zonas de estudio Norte y Sur los valores experimentales de la concentración de Radón-222, se tienen en mallas equidistantes de 400 metros para la primera y de 500 metros de separación para la segunda; para la zona Noroeste los datos se localizan aleatorios y dispersos. Las tres zonas suman 314 puntos en total, cabe destacar que en la zona norte se tienen cuatro determinaciones de Radón-222 en diversas épocas del año.

Las tres zonas de estudio y los puntos de muestreo están geo-referenciados en el SIG en la orto foto de la Figura 1. En la orto foto de la Figura 2 se indica la clasificación y localización de pozos geotérmicos, así como la localización de los puntos de medición de Radón en las tres zonas del campo.

La Geología regional es mostrada en la Fig. 3 y la Hidrología en la Fig. 4.

### **4. Geo-estadística de las mallas de Muestreo**

La Geo estadística describe la continuidad espacial de variables geofísicas; con ella se conocer la forma en que cambia en el espacio seleccionada una o varias variables seleccionadas, con el nivel de detalle que permite cuantificar este cambio espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. La geo-estadística utiliza funciones para modelar esta variación espacial, y estas funciones son utilizadas posteriormente para interpolar (kriging) en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados. El análisis de varianza para las mallas de muestreo en la zona sur y en la zona norte son mostradas en la Fig. 5 y Fig. 6 respectivamente.

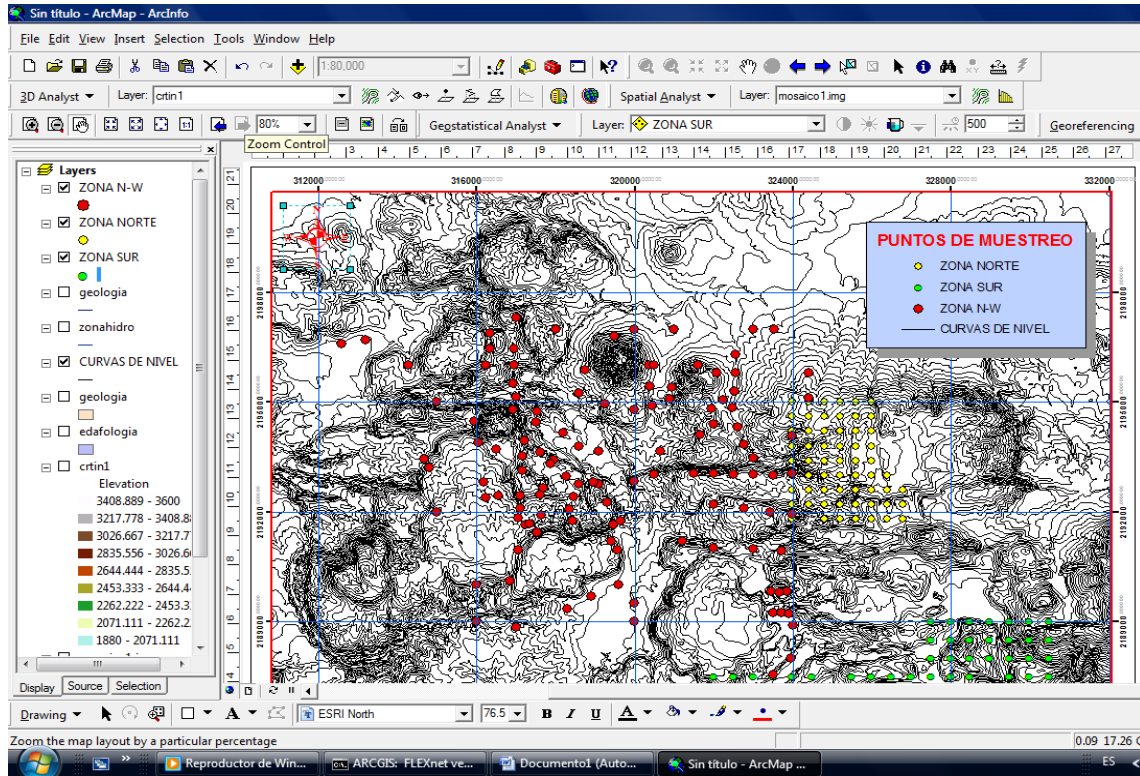


Fig.1 Curvas de nivel y ocalizacion de los puntos de medición de Radón en las tres zonas del Campo Geotérmico de Los Azufres.

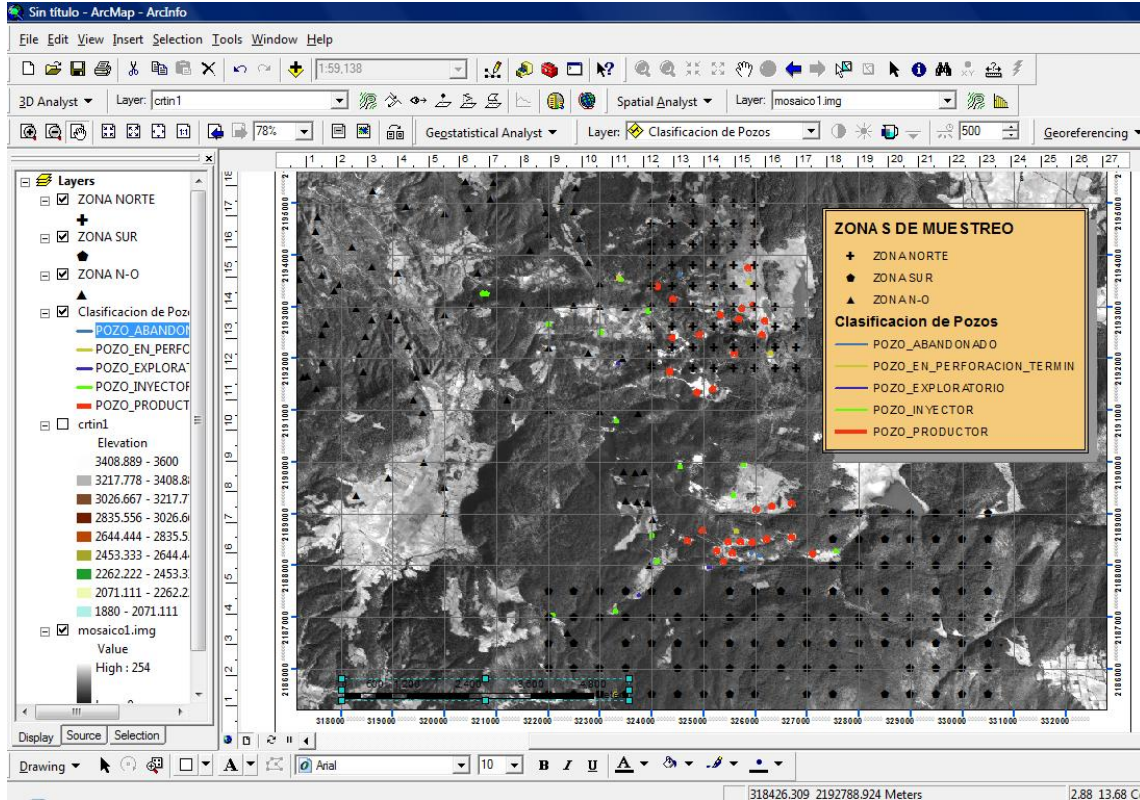


Fig.2 Clasificación y localización de pozos geotérmicos. Localización de los puntos de medición de Radón en las tres zonas del Campo Geotérmico de Los Azufres.

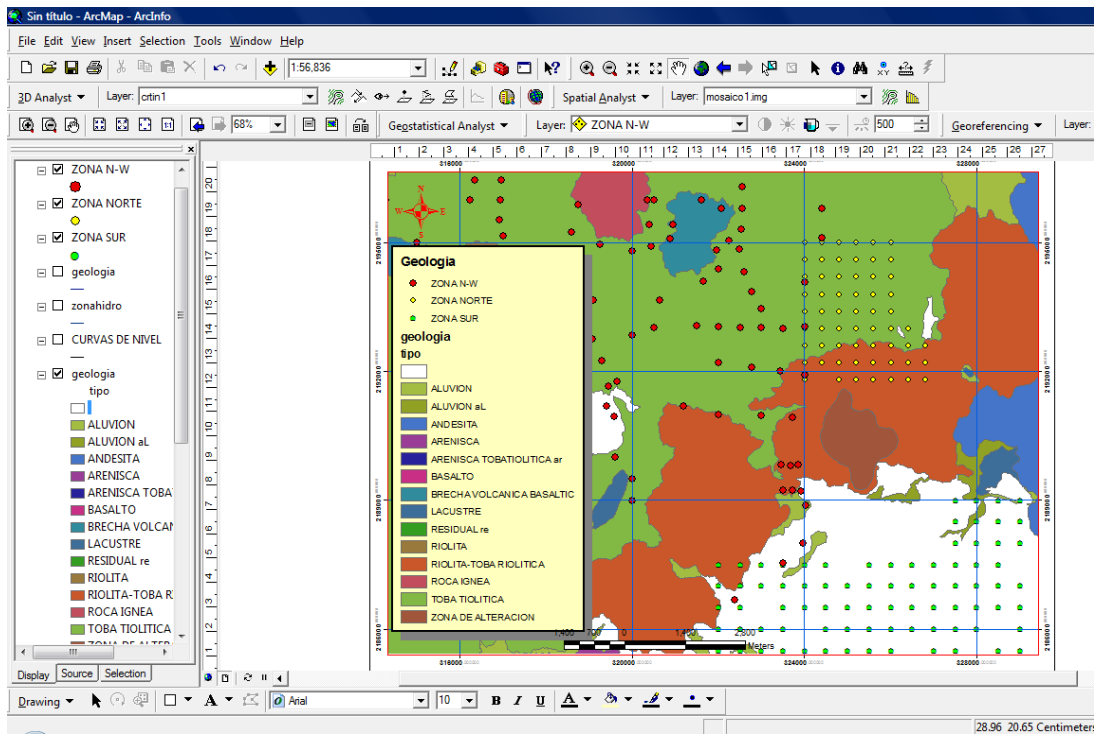


Figura .3 Geología regional asociada al campo Geotérmico de Los Azufres

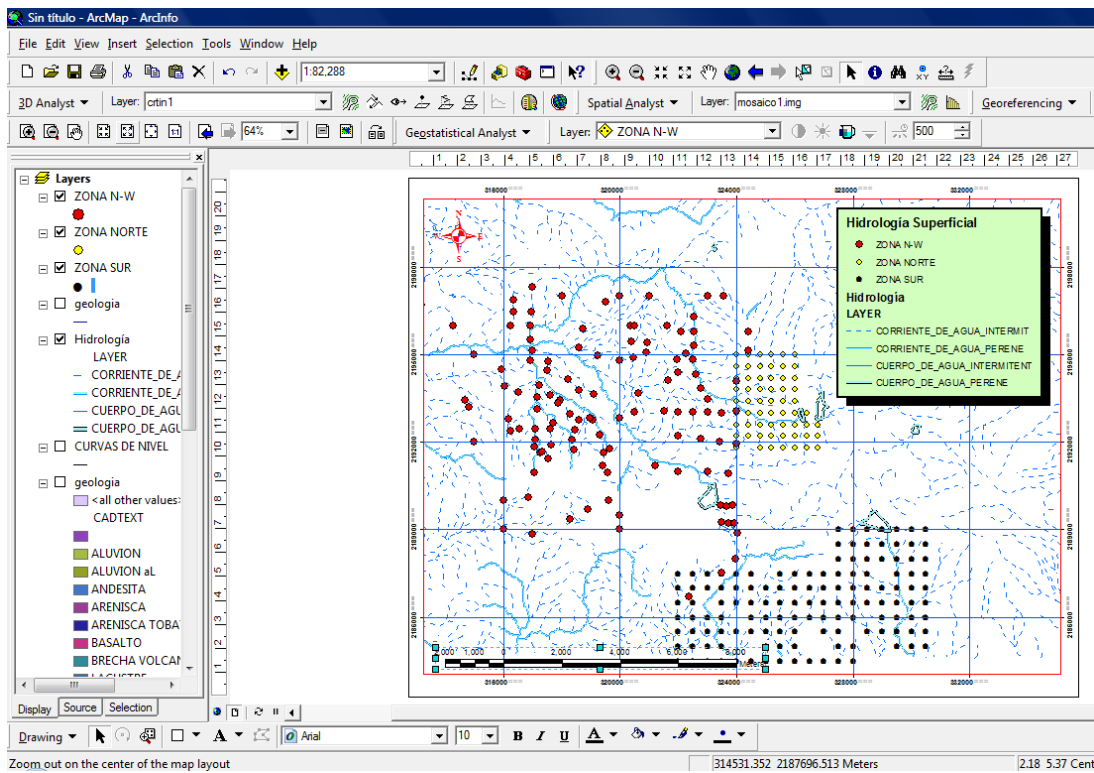


Figura.4 Hidrología superficial del Campo Geotérmico de Los Azufres

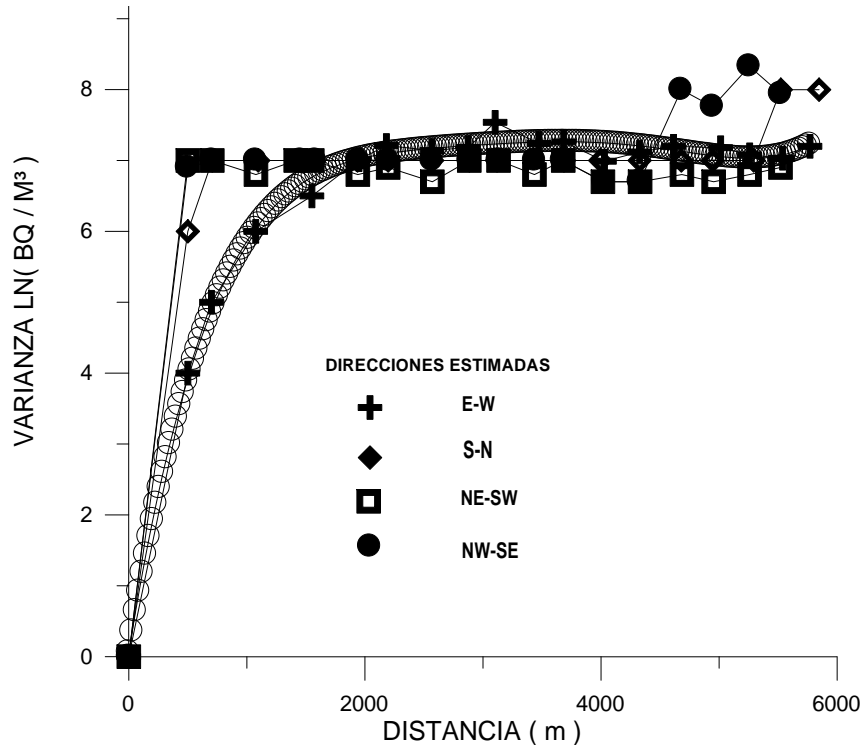


Figura 5. Análisis de varianza en la malla de muestreo de la zona productora sur

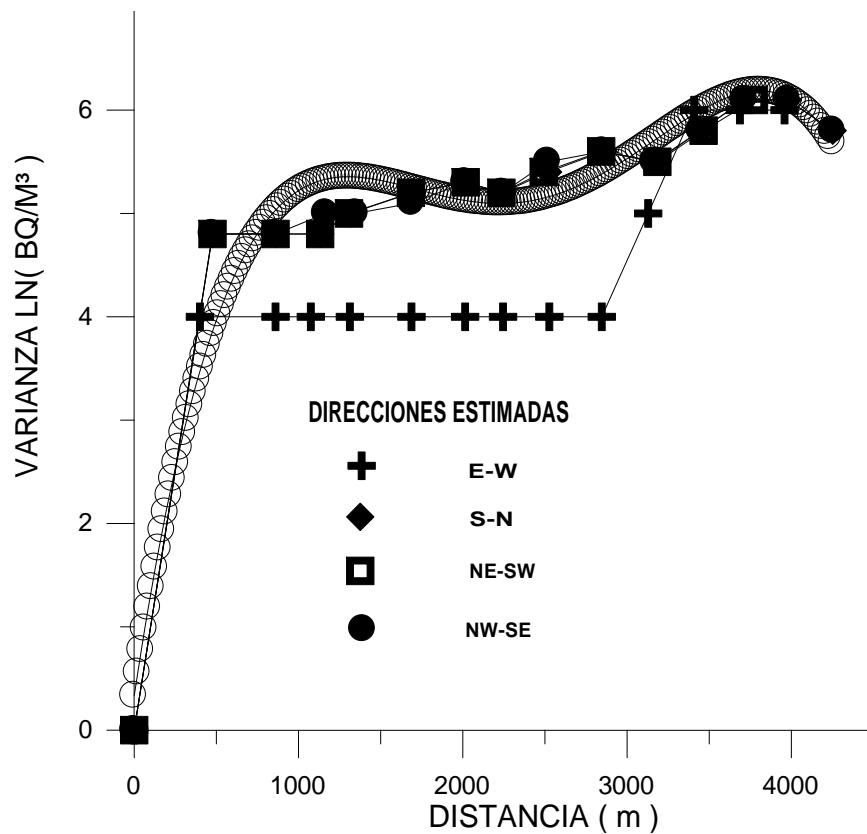


Figura 6. Análisis de varianza en la malla de muestreo de la zona norte

El cambio de la pendiente en la curvas de varianza indican que las mallas de muestreo pudieron haber sido más abiertas, sin pérdida apreciable de datos, sin embargo la doble variación que se muestra en la curva de varianza en la Fig. 6 refleja los dos polos de des uniformidades en la concentración de Radón-222 observados en los cuatro muestreos realizados en la zona norte.

### 5 Interpolación de Datos

Las concentraciones de Radón-222 son interpoladas en una selección de módulos contenidos en el SIG con diferentes operadores estadísticos, como el Ordinary Kriging, Universal Kriging, Probability Kriging y Disjuntive Kriging. Estas interpolaciones se aplican a las tres zonas en forma independiente y juntas como una región; además se sobre ponen la información regional, sobre las interpolaciones obtenidas para realizar las correlacionar de los diferentes datos.

La Figura 7 muestra la interpolación de la concentración de Radón-226 para la zona norte y el sistema de fallamiento asociado; se aprecia mayor actividad termodinámica en la región noroeste. La gran des uniformidad observada se refleja en el análisis de varianza asociado en la Figura 6.

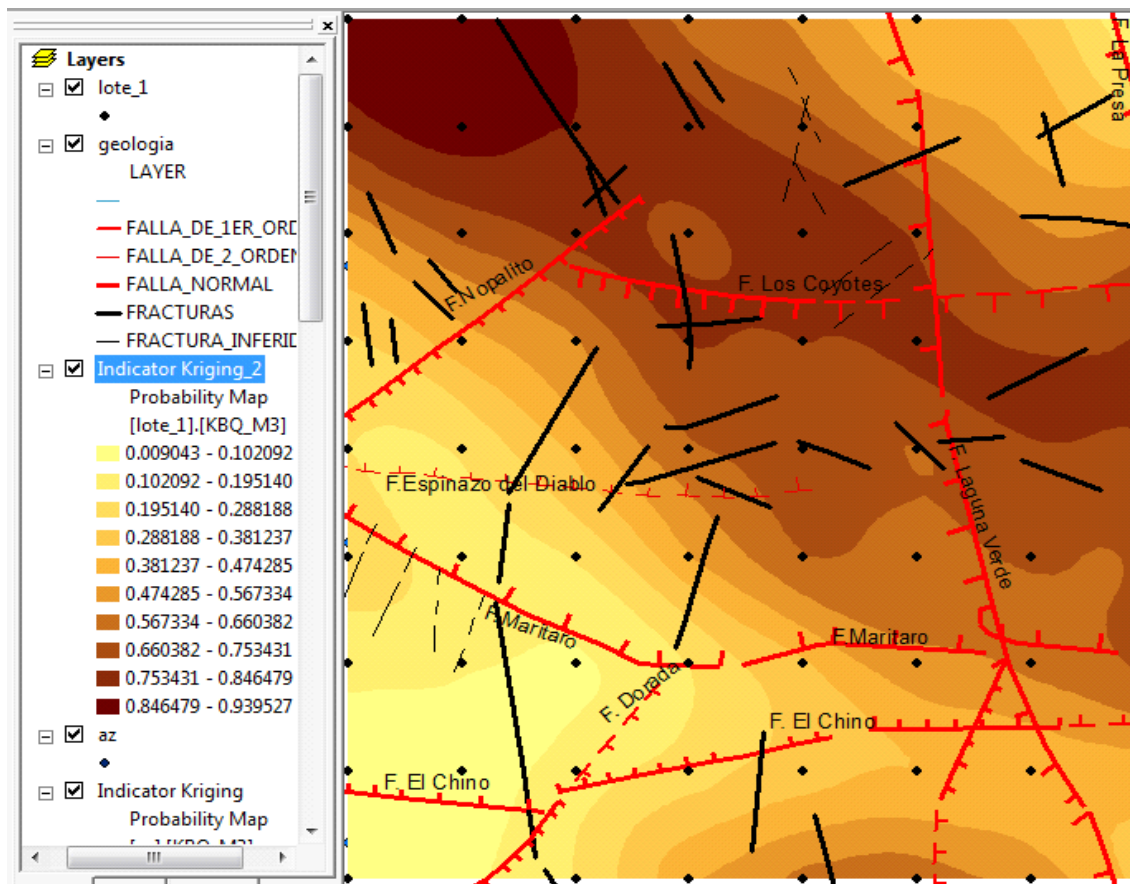


Figura 7. Interpolación de la concentración de Radón-226 para la zona norte y el sistema de fallamiento asociado.

En la Figura 8 se muestran las cuatro áreas estudiadas con el sistema de fallamiento. Se observa que la actividad termodinámica (mayor transporte de Radón-222 a la superficie) es más uniforme en la zona

sur productora; se aprecian las discontinuidades indicadas en la Figura 6 y la Figura 7 para la zona norte; y se observa una mucha menor actividad geotérmica en la zona noroeste.

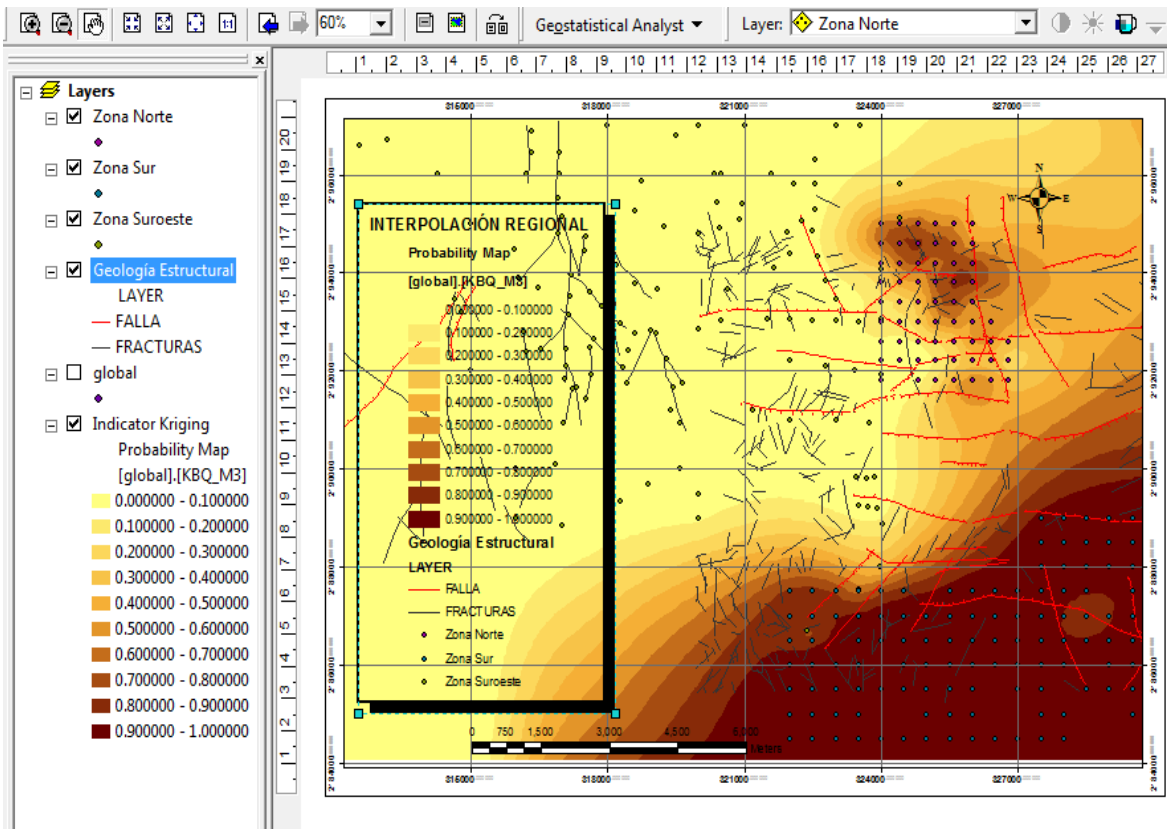


Figura 8. Las cuatro áreas estudiadas, distribuciones de concentración de Radón-222 y sistema de fallamiento correspondiente.

El despliegue en la Figuras mostradas puede ser seleccionado por el administrador del SIG para mostrar cualquiera de los datos de Geológicos, Hidrológicos superficiales, Topográficos, Vías de comunicación y Poblaciones. También se pueden desplegar la localización de pozos geotérmicos, sistema de callamientos, distribuciones de actividad geotérmica (Radón-222) en unidades de Bequerels/m<sup>3</sup>. Los máximos de radón pueden ser interpretados como una presencia de fracturas en el terreno o como una gran actividad termodinámica en el sitio, o si están cercanos a pozos productores como un “reflejo” de la extracción. Esto porque el gas radiactivo es trasportado hacia la superficie por los tres efectos mencionados.

La red de hidráulica superficial natural muestra las corrientes de agua perennes e intermitentes que se localizan en el área de estudio, así mismo la localización de cuerpos de agua importantes perennes localizados en la zona de producción y junto a las zonas de muestreo.

## Conclusiones

Se tiene una plataforma base de análisis para el campo geotérmico de Los Azufres que permite introducir otros datos geo-referenciados para establecer correlaciones entre los diversos parámetros que permitan un mayor conocimiento de la evolución del campo geotérmico.



## Referencias

Balcázar, M., A. López and A. Caupio (1990). Radon as signal to locate geothermal energy source. In Proc. Int. Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental Radioactivity and Health Sciences (eds. L. Tommasino *et al.*), Trieste, 1989, World Scientific, Singapore, pp. 463-468.

Balcázar, M. and J.H. Flores (1992). Statistics applied to radon mapping in geothermal fields. Unpublished results.

Balcázar, M. (1997). Radon and geothermal energy production. In: Radon Measurements by Etched Track Detectors, World Scientific Publishing (Eds. S.A. Derani & R. Ilic), pp. 345-362.

Balcázar, M., E. González and V.M. Arellano (1993a). Anomalías de radón en la zona geotérmica de Chiliapa, El Salvador, C.A. *Geotermia*, Vol. 9, pp. 231-241.

Balcázar, M., E. González, M. Ortega, J.H. Flores, P. Faz, D. Rentería and V. Torres (1993). Geothermal energy prospecting in El Salvador. *Nucl. Tracks Radiat. Meas* 22, 1-4, pp. 273-276.

SIG, Disponible en Internet: <http://www.esri-es.com/index>

Plano Geológico, Superintendencia de Geología, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Julio 1992.