

Potencial geotérmico de la República Mexicana

*Christian Arturo Ordaz Méndez*¹, *Magaly Flores Armenta*¹ y *Germán Ramírez Silva*²

¹Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia, Mich., México.

²Actualmente jubilado de la CFE. Correo: christian.ordaz@cfe.gob.mx

Resumen

A nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar como generador de electricidad por medio de la energía geotérmica con una capacidad instalada de 958 MWe. La Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG) es la responsable del aprovechamiento de estos recursos y como parte de la estrategia de la CFE para incrementar la generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales llevó a cabo un cálculo del potencial geotérmico del país. Este cálculo se efectuó a través del inventario nacional de manifestaciones termales con que cuenta la GPG, el cual ha permitido identificar 1380 manifestaciones termales distribuidas en todo el país, con información de las temperaturas tomadas superficialmente y las temperaturas obtenidas por medio de geotermómetros. El cálculo del potencial geotérmico se hizo con base en la clasificación de estas manifestaciones por rangos de temperatura geotermométrica, obteniéndose así recursos de alta, media y baja entalpía. Posteriormente se utilizó el método volumétrico para obtener el potencial geotérmico nacional. Los resultados indican que para las *Reservas Posibles* los recursos de alta entalpía ascienden a 5691 MWe, para los de moderada entalpía son de 881 MWe y los de baja entalpía de 849 MWe dando un total de 7422 MWe. Por otra parte, las *Reservas Probables* para el recurso de alta entalpía son de 1643 MWe, para los de moderada entalpía de 220 MWe y para los de baja entalpía de 212 MWe dando un total de 2077 MWe. Por último las *Reservas Probadas* se tomaron como la capacidad adicional que puede instalarse en cada uno de los campos geotérmicos conocidos, dando un total de 186 MWe. La información se procesó y se integró por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 9.2 ©, dando como resultado la publicación vía Intranet del Mapa del Potencial Geotérmico de la República Mexicana.

Palabras clave: México, potencial geotérmico, reservas probadas, probables y posibles, Sistemas de Información Geográfica.

Geothermal potential in Mexico

Abstract

Globally, Mexico is the fourth largest generator of geothermal electricity with an installed capacity of 958 MWe. The Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG, Geothermal-electric division of the Federal Commission for Electricity –CFE) is responsible for using geothermal resources. The GPG calculated the country's geothermal potential as part of CFE's strategy to increase power generation through non-conventional sources. The calculation departed from the GPG's national inventory of thermal manifestations, which is composed of 1380 manifestations scattered throughout the country. At each, surface temperatures were measured and subsurface temperatures estimated by geo-thermometers. The calculation of the geothermal potential was based on the classifying these manifestations by geo-thermometric temperature ranges, providing for high, medium and low enthalpy resources. The volumetric method was used to obtain the national geothermal potential. The results indicate that the *Potential Reserves* of high-enthalpy resources amounts to 5691 MWe; of moderate-enthalpy resources, 881 MWe; and of low-enthalpy resources, 849 MWe –a total of 7422 MWe. Moreover, the *Probable Reserves* for high-enthalpy resources amounts to 1643 MWe; of moderate-enthalpy resources, 220 MWe; and of low-enthalpy resources, 212 MWe –a total of 2077 MWe. Finally the *Proved Reserves* were considered, defined as the additional capacity able to be installed in each known geothermal field, for a total of 186 MWe. All the information was processed and integrated

using the Geographic Information System (GIS) ArcGis 9.2 ©, resulting in the CFE's intranet publication of the *Geothermal Potential Map of Mexico*.

Keywords: Mexico, geothermal potential, proved, probable and potential reserves, Geographic Information Systems.

1. Antecedentes

La primera estimación de los recursos geotérmicos de la República Mexicana reportada en la literatura fue hecha por Alonso en 1975 (*en Mercado et. al.*, 1982) estimando una capacidad mínima de 100 MWe para los recursos de alta temperatura en cada una de las siguientes zonas: Ixtlán de los Hervores, Los Negritos, Los Azufres, La Primavera, San Marcos, Hervores de la Vega, La Soledad y Los Humeros. De igual manera, se estimó un potencial mínimo de 500 MWe en Cerro Prieto, y se supuso una capacidad media instalada de 75 MWe para aquellas zonas en las que no se habían efectuado estudios. Con estas consideraciones Alonso da una estimación de 4000 MWe.

Un año después Mercado (1976) realiza el cálculo de los recursos geotérmicos por medio de métodos geoquímicos siguiendo tres pasos principales. Primeramente estimó la fracción del sistema que es roca porosa y permeable, posteriormente estimó la fracción de calor almacenado en el volumen poroso y permeable que puede recuperarse en la superficie, y por último estimó la eficiencia con la cual la energía térmica en el cabezal de los pozos puede convertirse a energía eléctrica. Con estos parámetros Mercado reportó un potencial de 13,110 MWe.

En 1985 Alonso nuevamente hace un cálculo utilizando los conocimientos y la tecnología actual basado en las definiciones de reservas probadas, probables y posibles, obteniendo para las primeras 1340 MWe, para las segundas 4600 MWe y para las últimas 600 MWe, que en suma dan 11,490 MWe. En el mismo año Mercado *et. al.* (1985) efectuaron una evaluación genérica de los recursos de temperaturas intermedias a bajas, y para ello dividieron al país en dos regiones. En la primera, la región centro y sur del país, consideraron una franja de 900 km de largo por 4 km de ancho en el Cinturón Volcánico Mexicano, con un espesor de 2 km y temperaturas de 125°C, calculando un potencial de 31,498 MWe. La segunda región comprendió el norte del país con un área de 2000 km², un espesor de yacimiento de 1.5 km y una temperatura de 135°C, obteniendo un potencial de 14,317 MWe. El total para el país resultó en 45,815 MWe.

Posteriormente Iglesias *et. al.* (2002) evaluaron las reservas geotérmicas de una manera más precisa, utilizando el método volumétrico y estimando así la energía térmica de 297 localidades, lo cual representa una primera aproximación a la energía térmica y reservas de México. Iglesias y Torres (2004) estimaron las energías térmicas totales y sus reservas geotérmicas para 276 localidades de la república estimando que con un intervalo de confianza de 90% estas van de 3.08×10^{17} hasta 3.45×10^{17} kJ. Aplicando un factor de recuperación de 0.25 estimaron que el total de las reservas correspondientes a las 276 localidades se encuentra entre 7.7×10^{16} y 8.6×10^{16} kJ (2.14×10^{10} y 2.39×10^{10} MW_th).

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) (Iglesias *et. al.*, 2005) preparó una "Estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la geotermia en México". Los autores discuten las reservas geotérmicas de México y las estimaciones que se han publicado en relación con los recursos de la geotermia para aplicaciones relacionadas con la generación de energía eléctrica, así como aplicaciones no eléctricas, y describen la prospectiva tecnológica de la geotermia en el país y los aspectos ambientales involucrados.

Uno de los últimos trabajos fue el de García (2006), el cual elaboró un Mapa Nacional de los Recursos Geotérmicos de México en el que mediante una técnica de contornos de color se despliega el valor índice

geotérmico, calculado mediante una Evaluación Multicriterios (EMC), el cual presenta localidades para ser exploradas mediante estudios de mayor detalle. Dentro de los resultados obtenidos el autor menciona que las zonas de mayor atractivo se producen en torno a Cerritos Colorados, Los Azufres, Cuitzeo, y zonas volcánicas en Nayarit, Ixtlán de los Hervores y Los Negritos.

2. Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo disponer de un mapa del potencial geotérmico de la República Mexicana vía Intranet elaborado bajo un Sistema de Información Geográfica, que sirva de insumo hacia la planeación estratégica para el desarrollo de proyectos geotermoeléctricos, y forme parte del “Inventario de Recursos Naturales para la Producción de Energía Limpia” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

3. Metodología

3.1. Clasificación de los tipos de recursos geotérmicos

Como parte de las estrategias de la CFE para la generación de energía eléctrica por medio de recursos naturales renovables, la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG) junto con la Gerencia de Estudios e Ingeniería Civil (GEIC), elaboraron en 2009 el Mapa del Potencial Geotérmico de la República Mexicana el cual forma parte del Inventario de Recursos Naturales para la Producción de Energía Limpia. Este trabajo se encuentra en una plataforma SIG accesible en la intranet de la CFE.

Para realizar la estimación se aprovechó el inventario nacional de manifestaciones termales con que cuenta la GPG, el cual permitió identificar más de 1380 manifestaciones distribuidas en todo el país. Estas manifestaciones corresponden a diferentes tipos: manantiales, hervideros, fumarolas, volcanes de lodo, suelos calientes, pozos y norias de agua caliente; de ellos se cuenta con información de las temperaturas tomadas superficialmente y las temperaturas obtenidas por medio de geotermómetros, a fin de estimar el potencial geoenergético disponible y la factibilidad de explotar el recurso para la generación de energía eléctrica (Díaz *et al.*, 2008).

El cálculo se hizo con base en la clasificación de las manifestaciones por rangos de temperatura obtenidas con los geotermómetros. Para ello, primero se determinó el tipo de geotermómetros a utilizar de acuerdo a los requerimientos para su aplicación y al de temperaturas para cada categoría. La combinación de los geotermómetros de Sodio-Potasio-Calcio (Na-K-Ca) y Potasio-Magnesio (K-Mg) representan rangos de temperaturas confiables entre 90 y 150°C, los de Sodio-Potasio y Sílice amorfa (NaK-SiO₂) para rangos de temperatura de 150 a 200°C, y el de Sodio-Potasio (NaK) se utilizó para temperaturas superiores a los 200°C. De acuerdo a esta clasificación se obtuvieron recursos de alta, media y baja entalpía (Sanyal, 2005) (Tabla 1) los cuales se representaron espacialmente (Figura 1).

Recurso	Temperatura °C	Capacidad MWe
Alta entalpía	> 200	2 a 4
Media entalpía	150 - 200	3 a 6
Baja entalpía	90 - 150	Min. 10

Tabla 1. Clasificación por temperaturas obtenidas con los geotermómetros y su capacidad de generación (MWe) para los diferentes tipos de recursos.

3.2. Cálculo de reservas geotérmicas

Para el cálculo de las reservas geotérmicas se utilizó el método volumétrico con el cual se obtuvo el potencial geotérmico nacional. Este método es el más utilizado para estimar las reservas geotérmicas debido a que es aplicable a virtualmente cualquier entorno geológico en función de la cantidad y tipo de información con la que se cuente, y los parámetros requeridos pueden ser medidos o estimados.

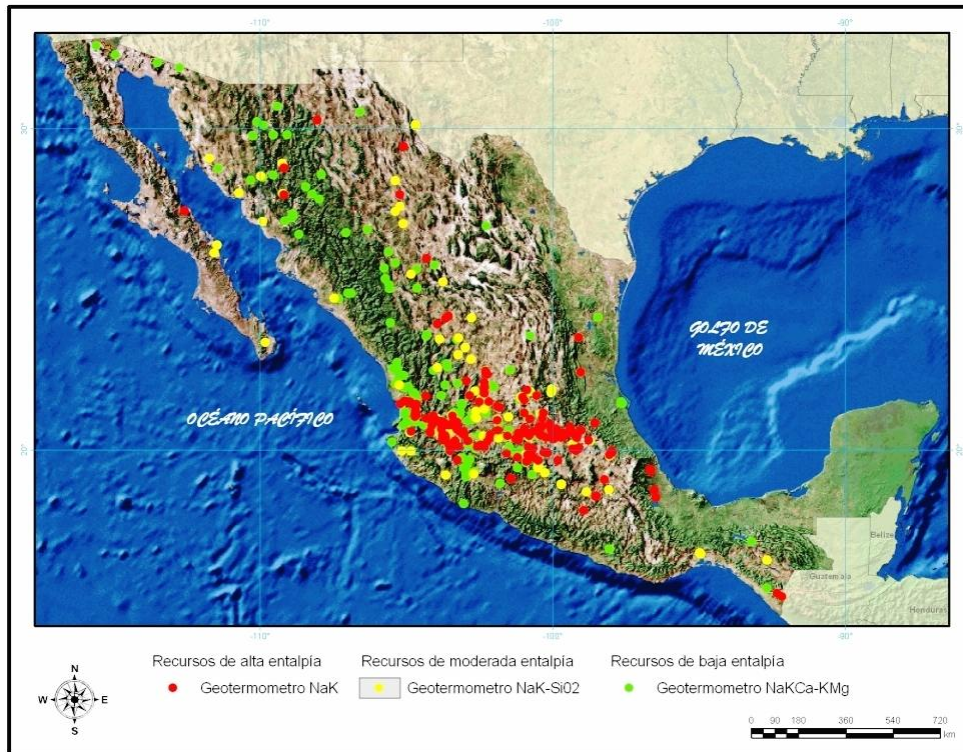


Fig. 1. Clasificación de las manifestaciones hidrotermales por rangos de temperatura geotermométrica que definen recursos de alta, media y baja entalpía.

En este trabajo se utilizaron diferentes parámetros (Tabla 2) para obtener el potencial de reservas probadas, probables y posibles. Con este método volumétrico primero se calcula la energía térmica contenida en un volumen de roca y agua, después se estima la fracción de dicha energía que es recuperable y posteriormente las reservas geotérmicas se computan a partir de las energías térmicas estimadas a las cuales se aplica un factor de recuperación, el cual resume los vínculos físicos y tecnológicos que previenen la extracción total de la energía térmica del yacimiento.

Las reservas probadas se tomaron como aquellas reservas de yacimientos

conocidos que, de acuerdo al análisis de datos de geología e ingeniería, se estima con “razonable certeza” que serán recuperables comercialmente bajo las condiciones económicas y métodos de operación actuales. Si se emplean métodos probabilísticos para su evaluación, habrá al menos un 90% de probabilidad de que las cantidades a recuperar serán iguales o excederán el estimado (Reserva 1P) (<http://www.oilproduction.net>). En el caso geotérmico se consideran como la capacidad adicional que puede instalarse en cada campo geotérmico en operación de acuerdo con los modelos de simulación aplicados en cada yacimiento y que a la fecha se expresan como los proyectos adicionales.

Bajo ese criterio las reservas probadas que pueden instalarse en cada campo son: CP-V (100-75 = 25 MW netos adicionales), Los Humeros II (46 MW netos adicionales) y Los Azufres III (75-35 = 40 MW netos adicionales). La suma adicional neta de estos tres proyectos es de 111 MW, a los que habría que agregar los 75 MW probados de Cerritos Colorados, para un total de 186 MW (Tabla 3) (Raúl Sánchez Velasco, 2009, comunicación personal).

Posteriormente, de acuerdo a los parámetros que se deben de utilizar en el método volumétrico, se calculó el potencial de las reservas probables. La mayoría de esos parámetros se estima en función del conocimiento tanto de geología como de la ingeniería de yacimientos, tomando como referencia las condiciones generales de los campos de la república mexicana actualmente explotados (Tabla 2).

Estas reservas probables se tomaron como las reservas donde el análisis geológico y de ingeniería de yacimientos sugiere que son más factibles de ser comercialmente recuperables, que de no serlo. Si se emplean métodos probabilísticos para su evaluación (e.g., Monte Carlo), habrá una probabilidad de al menos 50% de que las cantidades a recuperar sean iguales o mayores que la suma de las reservas probadas más probables, también llamada reserva 2P (<http://www.oilproduction.net>).

Abreviatura	Descripción	Valor	Unidad
A	Área	1,000,000	m ²
h	Espesor del yacimiento	500	m ²
C _r ¹	Calor específico de la roca	Calculado en función del tipo de roca.	kJ/kg°C
C _f	Calor específico del fluido	Calculado	kJ/kg°C
φ	Porosidad	15	Fracción
T _i	Temperatura inicial del yacimiento	Temperatura de geotermómetro	°C
T _a	Temperatura de abandono del yacimiento	Alta entalpía = 150 Mediana entalpía = 125 Baja entalpía = 90	°C
ρ _r ²	Densidad de la roca	Obtenido dependiendo el tipo de roca	kg/m ³
ρ _f	Densidad del fluido	Calculado	kg/m ³
R _f ³	Factor de recuperación de calor	0.25	Fracción
Ce ⁴	Factor de conversión de eficiencia	0.18 (+200°C) 0.125 (150 a 200°C) 0.11 (90-150°C)	Fracción
Pf ⁵	Factor de planta	0.95	Fracción
t	Tiempo	30 (Años)	Segundos
Q _r	Energía de la roca	Calculado	kJ
Q _f	Energía en el fluido	Calculado	kJ
Q _t	Energía total Q _t = Q _r + Q _f	Calculado	kJ
P	Potencia	Calculado	MWe

^{1 y 2} Tablas de calor específico y densidad de la roca (<http://www.engineeringtoolbox.com>), ^{3 y 5} Tablas de factor de recuperación de calor y tablas de factor de planta (Grand *et. al.*, 2002), ⁴ Tablas de factor de conversión de eficiencia (Tester *et. al.*, 2006).

Tabla 2. Parámetros empleados en el método volumétrico para el cálculo del potencial geotérmico. Valores utilizados para obtener las reservas probables.

Campo geotérmico	Capacidad actual (MWe)	Reservas Probadas (1p) (MWe)
Cerro Prieto, BC	720	25
Los Azufres, Mich.	188	40
Los Humeros, Pue.	40	46
Las Tres Vírgenes, BCS	10	0
Cerritos Colorados, Jal.	0	75
Total	958	186

Tabla 3. Capacidad actual y reservas probadas (1P) (capacidad adicional) en cada campo geotérmico.

Los resultados obtenidos de las reservas probables para el recurso de alta entalpía son de 1643 MWe, para los de moderada entalpía de 220 MWe y para los de baja entalpía de 212 MWe, dando un potencial total de 2077 MWe (Tabla 4).

Por último, se calcularon las reservas posibles con los parámetros que se enlistan en la Tabla 5.

Las reservas posibles son aquellos volúmenes cuya información geológica y de diseño sugiere que es menos segura su recuperación comercial que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilísticos la suma de las reservas probadas, probables y posibles o reserva 3P, tendrá al menos una probabilidad del 10% de que las cantidades realmente recuperadas sean iguales o mayores (<http://www.oilproduction.net>). Los resultados obtenidos de las reservas posibles para los recursos de alta entalpía ascienden a 5691 MWe, para los de moderada entalpía son de 881 MWe y los de baja entalpía de 849 MWe dando un total de 7422 MW (Tabla 4).

Potencial Geotérmico (MWe)					
Probable (2P)	Alta Entalpía	1643.94	Posible (3P)	Alta Entalpía	5691.79
	Moderada Entalpía	220.37		Moderada Entalpía	881.48
	Baja Entalpía	212.70		Baja Entalpía	849.61
	Total	2077.01		Total	7422.88

Tabla 4. Potencial geotérmico para las reservas probables (2P) y reservas posibles (3P) de los diferentes tipos de recursos.

Abreviatura	Descripción	Valor	Unidad
A	Área	1,000,000	m ²
h	Espesor del yacimiento	2,000	m ²
C _r ¹	Calor específico de la roca	Calculado en función del tipo de roca.	kJ/kg°C
C _f	Calor específico del fluido	Calculado	kJ/kg°C
φ	Porosidad	15	Fracción
T _i	Temperatura inicial del yacimiento	Temperatura de geotermómetro	°C
T _a	Temperatura de abandono del yacimiento	Alta entalpía = 150 Mediana entalpía = 125 Baja entalpía = 90	°C
ρ _r ²	Densidad de la roca	Obtenido dependiendo el tipo de roca	kg/m ³
ρ _f	Densidad del fluido	Calculado	kg/m ³
R _f ³	Factor de recuperación de calor	0.25	Fracción
C _e ⁴	Factor de conversión de eficiencia	0.18 (+200°C) 0.125 (150 a 200 °C) 0.11 (90-150°C)	Fracción
P _f ⁵	Factor de planta	0.95	Fracción
t	Tiempo	30 (AÑOS)	Segundos
Q _r	Energía de la roca	Calculado	kJ
Q _f	Energía en el fluido	Calculado	kJ
Q _t	Energía total Q _t = Q _r + Q _f	Calculado	kJ
P	Potencia	Calculado	MWe

^{1 y 2} Tablas de calor específico y densidad de la roca (<http://www.engineeringtoolbox.com>), ^{3 y 5} Tablas de factor de recuperación de calor y tablas de factor de planta (Grand *et. al.*, 2002), ⁴ Tablas de factor de conversión de eficiencia (Tester *et. al.*, 2006).

Tabla 5. Parámetros utilizados en el cálculo del potencial geotérmico para las reservas posibles.

4. Integración de la información y publicación en la intranet de la CFE

La última parte de este trabajo corresponde al procesamiento e integración de la información obtenida, lo que se hizo por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis 9.2©. Estos sistemas son una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Este proceso de integración dio como resultado la publicación del Mapa del Potencial Geotérmico de la República Mexicana en la intranet de la CFE.

El mapa está integrado por imágenes “raster” de la república mexicana, imágenes de relieve sombreado e imágenes de elevación que en conjunto forman el mapa base con información vectorial como capitales, carreteras y límites estatales, entre otras. El mapa está diseñado para que de acuerdo a la escala que se esté visualizando aparezca la información que el usuario podrá ver y consultar. Igualmente se encuentra en él la localización de las manifestaciones termales ya clasificadas por rangos de temperatura y tipo de recurso geotérmico al que pertenece. Cada elemento cartográfico posee su base de datos con información directa, la cual puede ser consultada con las herramientas del SIG si así se requiere (Figuras 2 y 3).

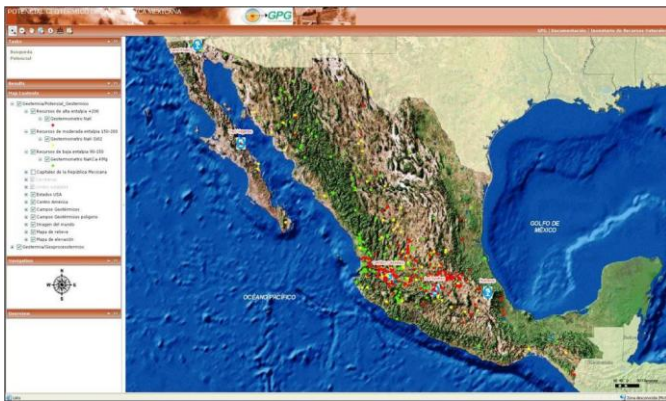


Fig. 2. Servicio vía Intranet. En pantalla mapa de la república mexicana integrado por imágenes “raster”, la localización de las manifestaciones termales y la ubicación de los campos geotérmicos.



Fig. 3. Servicio vía Intranet. En pantalla un acercamiento al mapa con el modelo digital de elevación, el modelo sombreado como mapa base, y en recuadro acercamiento mayor a la zona de Los Azufres.

Vía intranet el usuario puede interactuar con el mapa a través de la aplicación. Por medio del icono “identificador” puede ver la tabla de datos que tenga asociado cualquier elemento cartográfico, y decidir qué información quiere visualizar por medio de la activación de los diferentes elementos cartográficos tales como: tipos de recursos geotérmicos, ubicación de las capitales de los estados y sus nombres, ubicación de los campos geotérmicos, carreteras del país o imágenes “raster”, entre otros elementos. La aplicación también tiene funciones propias de un servicio web, como manipular las escalas de vista, calcular distancias, hacer búsquedas espaciales por uno o varios elementos cartográficos, entre otros servicios. Adicionalmente se cuenta con una herramienta que permite calcular el potencial geotérmico de zonas de interés, dando resultados en función de las manifestaciones que el usuario haya determinado (Figura 4).

Hay también información adicional por medio de “links” a disposición de los usuarios. Esta información comprende ligas a la página interna de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, liga a la documentación que corresponde al resumen, tablas comparativas, diccionario y bibliografía que se empleó en este trabajo.

Por último y como se menciona este mapa forma parte de un atlas que integra el “Inventario de Recursos Naturales para la Producción de Energía Limpia” por lo que hay una liga a dicho atlas donde se puede consultar todo lo relacionado a la generación de energía eléctrica por medio de fuentes limpias.

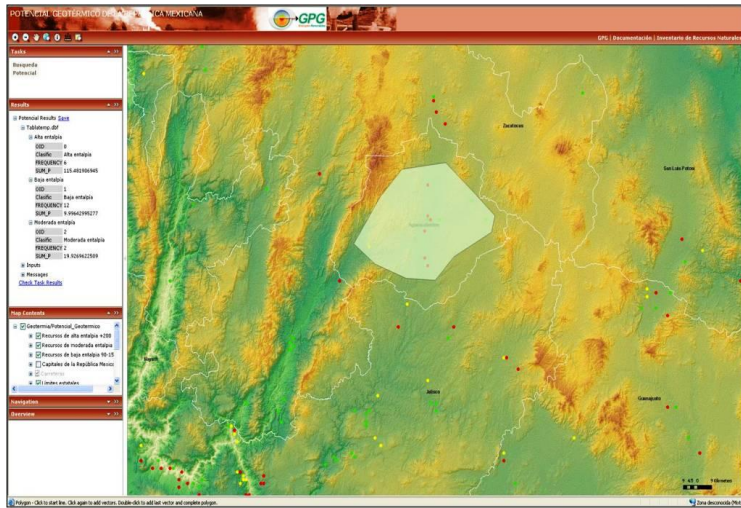


Fig. 4. Herramienta para el cálculo del potencial geotérmico de zonas que resulten de interés.

5. Conclusiones

- El Sistema de Información Geográfica ArcGis 9.2© permitió la integración, análisis, procesamiento y despliegue de la información de una manera oportuna y eficiente.
- El cálculo del potencial geotérmico se hizo con base en la clasificación de más de 1300 manifestaciones por rangos de temperatura geotermométrica, lo que permitió identificar los tipos de recursos geotérmicos con los que se cuenta en la república mexicana.
 - Se clasificaron las manifestaciones en recursos de alta ($> 200^{\circ}\text{C}$), media ($150\text{--}200^{\circ}\text{C}$) y baja entalpía ($90\text{--}150^{\circ}\text{C}$), lo cual permite identificar el potencial geotérmico para cada grupo.
- Se utilizó el método volumétrico para obtener el potencial geotérmico nacional debido a que es aplicable a virtualmente cualquier entorno geológico en función de la cantidad y tipo de datos, y los parámetros utilizados pueden ser medidos o estimados.
- Las Reservas Probadadas (1P) se tomaron como la capacidad adicional que puede instalarse en cada campo, dando un total de 186 MWe.
- Las Reservas Probables (2P) para el recurso de alta entalpía son de 1643.94 MWe, para los de moderada entalpía de 220.37 MWe y para los de baja de 212.70 MWe, dando un total de Reservas Probables de 2077 MWe de acuerdo a simulaciones numéricas.
- Para los recursos de alta entalpía existen Reservas Posibles (3P) por 5691.79 MWe, para los recursos de moderada entalpía de 881.48 MWe y los de baja entalpía por 849.61 MWe dando un total de Reservas Posibles en la República Mexicana de 7422.88 MWe de acuerdo a simulaciones numéricas.
- El Mapa del Potencial Geotérmico de la República Mexicana se publicó en la intranet de CFE y es una herramienta que sirve de insumo hacia la planeación estratégica para el desarrollo de proyectos geotermoeléctricos, además de ser una herramienta de búsqueda, manejo y análisis de la información.

Referencias

Alonso, H., 1985. Present and planned utilization of Geothermal Resources in Mexico: *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 9, pp. 135-140.

- Díaz, L., E. Santoyo y J. Reyes, 2008. Tres nuevos geotermómetros mejorados de Na/K usando herramientas computacionales y geoquimométricas; aplicación a la predicción de temperaturas de sistemas geotérmicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25 (3), p. 465-482.
- García, G., 2006. Mapa Nacional de Recursos Geotérmicos 2006. Reporte GF-MX-08-06, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, 24 p. Inédito.
- Grand, I., I. Donaldson, and P. Bixley, 2002. *Geothermal reservoir engineering: Energy science and engineering*. Academic Press, New York, 369 p.
- Iglesias, E.R., R.J. Torres, J.I. Martínez-Estrella, N. Reyes-Picasso, y R.M. Barragán, 2002. Evaluación de los recursos geotérmicos de temperatura intermedia a baja e identificación de sus aplicaciones. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Informe IIE/11/11780 02/F, 70 p. Inédito.
- Iglesias, E.R. y R.J. Torres, 2004, Estimación de las reservas geotérmicas de 20 Estados Mexicanos. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Informe IIE/11/11542 01/F, 27 p. Inédito.
- Iglesias, E.R., R.J. Torres, y J.I. Martínez-Estrella, 2005. Medium- to low-temperature geothermal reserves of the State of Aguascalientes, Mexico: a partial assessment. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- Mercado, S., 1976. The Geothermal Potential Evaluation of Mexico by Geothermal Chemistry. *Proceedings of the International Congress on Thermal Waters, Geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area*. Atenas, Grecia.
- Mercado, S., V.M. Arellano, R.M. Barragán, R. Hurtado, D. Nieva, E. Iglesias, G. Barroso, y H. Fernández, 1982. Diagnósticos y pronósticos sobre los aspectos científicos y tecnológicos de la geotermia como fuente de energía en México. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Informe IIE/FE-G37/1767/3, bajo contrato con CONACYT, 401 p. Inédito.
- Mercado, S., J. Sequeiros, and H. Fernández, 1985. Low Enthalpy Geothermal Reservoirs in Mexico and Field Experimentation on Binary-Cycle Systems. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 9, pp. 523-526.
- Sanyal, S.K., 2005. Classification of Geothermal Systems – A possible scheme. *Transactions of the Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, p. 8.
- Tester, J., B. Anderson, A. Batchelor, D. Blackwell, R. DiPippo, E. Drake, J. Garnish, B. Livesay, M. Moore, K. Nichols, S. Petty, M. Toksöz, and R. Veatch, 2006. *The Future of Geothermal Energy—Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology, 372 p.