

ESTÁNDAR CARTOGRÁFICO PARA INFORMACIÓN GEOTÉRMICA DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC

J. Camilo Matiz-León¹

¹Servicio Geológico Colombiano – SGC

RESUMEN

La producción de información geotérmica durante la exploración geotérmica superficial, mediante investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas en superficie, permite al Servicio Geológico Colombiano - SGC, modelar e inferir con mayor certeza la existencia del recurso en las áreas de exploración con potencial geotérmico en el país. El volumen de información compilado y generado, se enmarca en la integración de las geociencias que entre si no guardan un estándar para el almacenamiento, representación y procesamiento de datos geotérmicos producidos y utilizados por el SGC, lo cual no permite al especialista tener a disposición los datos necesarios que cumplan con criterios de calidad y uso que se requieren. El SGC como entidad oficial y rectora en Colombia, tiene la función de “integrar y analizar la información geocientífica del subsuelo”, lo que requiere lineamientos para lograr el diseño, desarrollo, implementación y aplicación de un estándar cartográfico para la información geotérmica. Este estándar permitirá constituir una política de simplificación de procesos para el almacenamiento y representación de la información por cada área de exploración con recursos geotérmicos en el país, posicionando al SGC como la entidad encargada de administrar la información geotérmica levantada por futuros operadores que exploten el recurso. Los componentes del estándar corresponden a una base de datos geográfica, un catálogo de símbolos que guarda la representación de cada objeto, un catálogo de objetos que describe cada objeto y un modelo de datos.

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Geológico Colombiano – SGC, como ente rector oficial encargado de conocer y gestionar los recursos del subsuelo colombiano y amparado en sus funciones técnico-científicas asignadas mediante el Decreto 4131 de 2011, quién por medio de la Dirección de Geociencias Básicas y a través del Grupo de Exploración de Recursos Geotérmicos, realiza la investigación enfocada a ampliar, inventariar, caracterizar, analizar y modelar los recursos geotérmicos del territorio colombiano (SGC, 2013). También debe garantizar que la información derivada de la exploración e investigación geotérmica se enmarque dentro de los datos primarios en custodia del SGC, ofrecidos a la comunidad científica en general para la

generación de nuevo conocimiento, productos y servicios. A su vez, esta información es el pilar para la toma de decisiones de la nascente industria geotérmica en el territorio colombiano, para la generación de políticas que gestionen el recurso en el sector minero – energético.

La producción de información geotérmica en la etapa de pre-factibilidad durante la exploración, mediante investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas en superficie, permite inferir con mayor certeza la existencia del recurso en las áreas de exploración del SGC. El volumen de información compilado y generado, se enmarca en una integración de geociencias que entre sí, no guardan un estándar para el almacenamiento, representación y procesamiento de la información geotérmica en el país, lo cual no permite al usuario tener a disposición los datos necesarios que cumplan con criterios de calidad y uso que se requieren (U.S. Geological Survey, 2009).

Para lograr la estandarización de la información geotérmica, se hace indispensable el diseño, desarrollo, implementación y aplicación de un estándar cartográfico para la información geotérmica. El estándar permitirá al SGC y todos los actores internos y externos en el sector minero – energético, tener la documentación necesaria y la simplificación de procesos para el almacenamiento, representación y procesamiento de la información por cada área de exploración en el país (Struckmeier, and Margat, 1995).

El Estándar Cartográfico para la Información Geotérmica presentado a continuación, muestra los lineamientos para unificar el almacenamiento y representación de los datos geotérmicos adquiridos por el SGC y las directrices para la recepción de la información capturada por los operadores interesados en la exploración y explotación de las áreas geotérmicas del país.

2. ANTECEDENTES

Mediante el conocimiento que diversos países han desarrollado en el estudio de los fenómenos que involucra la Geotermia a nivel mundial, y como tal de representarlos por medio de una localización geográfica para conocer su posición absoluta, ha sido inminente la incursión de los Sistemas de Información Geográfica – SIG para la consulta conjunta de la información técnica georreferenciada generada a partir de los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos de los sistemas geotérmicos (British Geological Survey, 2002).

Los sistemas desarrollados por países pioneros en SIG basados en información Geotérmica, que permiten la visualización de información geotérmica, apoyada en cartografía geológica, son un referente de consultabilidad y accesibilidad que genera la interoperabilidad de la información entre los diferentes usuarios (Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, 1989). Diferentes ejemplos de Atlas Geotérmicos, son fuentes invaluable que proporcionan datos de primera mano a las diferentes comunidades interesadas en la geotermia con la

representación de mapas actualizados de los diversos sistemas geotérmicos presentes en los territorios que explotan el recurso geotérmico (UNESCO, 1983). En Latinoamérica, se pueden observar países con disponibilidad de recursos geotérmicos, cuyos gobiernos han sabido aprovechar para tornar factible el uso potencial de la geotermia como energía alternativa, afectando positivamente la industria y las comunidades que se benefician de su desarrollo (Hussien, 2007). Países ricos en sistemas geotérmicos que por varias décadas han consolidado un amplio bagaje en la materia, otorgaron la explotación del recurso geotérmico a empresas privadas, lo cual originó un vacío en la identificación de los sistemas geotérmicos (U.S. Department of Energy, 2014), al condicionar la información como una propiedad privativa y restrictiva que no se comparte con las autoridades oficiales nacionales (China Geological Survey, 2012). La compilación y documentación de conocimientos en geotermia, partió de la base de los entes rectores de cada país en esta área, los cuales implícitamente son los servicios geológicos nacionales, que si bien no han desarrollado propiamente sistemas para representar espacialmente la información, si tienen la experticia en la investigación y levantamiento de los datos que se hacen necesarios para alimentar de una manera dinámica las investigaciones sobre el análisis, diseño, modelización, desarrollo e implementación de un Sistema de Información Geotérmica (Haugerud and Soller, 2018). El desarrollo de estos sistemas permite tener un referente macro de los esfuerzos realizados por entender, conocer, manipular y aprovechar la energía geotérmica (AGRCC, 2010).

En el ámbito nacional, Jean Baptiste Boussingault y François Désiré Roulin hacia 1849, en sus viajes al continente americano, dieron paso a las primeras observaciones sobre el ámbito geotérmico en el territorio colombiano, recopilados en “Viajes Científicos a los Andes Ecuatoriales” presentado a la Academia de Ciencias de Francia. Para 1929, los estudios realizados, se centraron en la descripción de las manifestaciones termales sobresalientes existentes en el departamento de Boyacá por parte de la Gobernación del departamento. En 1968, la Central Hidroeléctrica de Colombia – CHEC, realizo un estudio de reconocimiento para establecer la existencia de un reservorio en la región del Macizo Volcánico del Ruiz y la Organización Latinoamericana de Energía - OLADE, en 1982 realizó un estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de todo el país. Nuevamente la CHEC en 1983, realizo un estudio de prefactibilidad en el Complejo Volcánico del Ruiz y al compartir el sistema hidrotermal Tufiño-Chiles-Cerro Negro con Ecuador, la OLADE en 1987 realizó un estudio de prefactibilidad sobre este sistema. El pozo Nereidas-1 fue perforado en 1997 por la empresa mixta Geoenergía Andina S.A., en el flanco occidental del Nevado del Ruiz (Monsalve et al., 1998). En el año 2000, el proyecto de Exploración de Recursos Geotérmicos, elaboró la primera versión del Mapa Geotérmico de Colombia, convirtiéndose así en el primer logro investigativo del país por generar un esbozo técnico muy detallado del potencial geotérmico que posee el territorio colombiano y a su vez convertir al SGC en autoridad nacional y regional en el tema. Esta primera versión del Mapa Geotérmico de Colombia incluye

el Mapa de Gradientes Geotérmicos, el Mapa de Flujo de Calor y el Mapa de Manantiales Termales (Alfaro et al., 2010). En el año 2009 se genera la segunda versión del Mapa de Gradiente Geotérmico (Alfaro et al., 2009) y el primer estudio detallado para una cuenca sedimentaria con el Mapa de Gradientes Geotérmicos y el Mapa de Flujo de Calor para la Cuenca Llanos Orientales (Alfaro et al., 2015).

El Grupo de Investigación y Exploración de Recursos Geotérmicos del SGC ha generado actividades en cuanto a la recopilación de datos geotérmicos, geoquímicos, geológicos y geofísicos, tales como la aplicación y organización de los libros índice utilizados para el levantamiento de información geológica a las temáticas de geofísica y geología. En el año 2013, bajo la faceta SINGER (Sistema de Información Georreferenciada), se genera el Análisis y Diseño del Modelo Lógico y Conceptual del Subsistema de Información Geotérmica (Matiz-León, 2013), el cual recopila una revisión a nivel mundial, regional y local de los sistemas de información geotérmica existentes y genera un modelo de datos a partir del estándar existente en ese momento para el SGC. Otro de los componentes desarrollados en el ámbito de los SIG, corresponde al Aplicativo del Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales (www.hidrotermales.sgc.gov.co), el cual compila toda la información geoquímica de las manifestaciones hidrotermales presentes en el territorio colombiano, junto con la información general sobre localización, rutas de acceso, características como temperatura del agua, infraestructura turística, información multimedia, información geológica e hidrogeoquímica de manantiales termales y otras manifestaciones superficiales de sistemas hidrotermales del territorio colombiano (SGC, 2015).

3. ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOTÉRMICA

La estructuración de la información geotérmica se centró en el levantamiento de datos a partir de las temáticas centrales que se estudian en la Geotermia: Geología, Geoquímica y Geofísica. La esquematización de estos datos se basa en la espacialización de todos los elementos observados en las áreas de exploración (International Organization for Standardization, 2015). Si bien los datos cumplen con los criterios de calidad técnica para ser presentados ante pares expertos, no se enmarcan bajo estándares para su almacenamiento y representación en ambientes de Sistemas de Información Geográfica – SIG o de cartografía digital (U.S. Geological Survey, 2006), con el fin de ser socializados antes diversos usuarios interesados en la información que contienen un carácter público por provenir de una entidad del estado de ciencia y tecnología (International Organization for Standardization, 2012). En la Figura 1, se observan los tipos de estudios por temática que son realizados para adquirir toda la información necesaria con el objetivo de conceptualizar cada una de las áreas geotérmicas.

Geología	Geoquímica	Geofísica
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Cartografía	<input type="checkbox"/> Caracterización Química de aguas y gases	<input type="checkbox"/> Gravimetría
<input type="checkbox"/> Estructural	<input type="checkbox"/> Caracterización Isotópica de aguas y gases	<input type="checkbox"/> Magnetometría
<input type="checkbox"/> Vulcanología		<input type="checkbox"/> Resistividad
<input type="checkbox"/> Geocronología		<input type="checkbox"/> Sísmica
<input type="checkbox"/> Alteración		<input type="checkbox"/> Radón
<input type="checkbox"/> Hidrogeología		<input type="checkbox"/> Temperatura

FIGURA 1. Estudios ejecutados en las áreas de exploración geotérmica.

Para el almacenamiento de la información, se diseñó un esquema de Base de Datos Geográfica - GDB en el formato nativo de ArcGIS, como software institucional del SGC. Con base en el estándar existente para mapas geológicos en el SGC (Gómez & Montaña, 2016), se diseñó la GDB, la cual integra datasets para los datos geofísicos y geoquímicos. Este esquema permite la implementación de una GDB con estructura de almacenamiento centralizada, organizada y jerarquizada en capas – Features Class y directorios de características – Features Datasets (Falcone et al., 2013). La Figura 2 muestra la representación de una GDB en su estructura nativa de ArcGIS, compuesta de tablas, datos raster, el directorio de características, definido por capas con geometrías línea, punto y polígono, una clase para las anotaciones, una para las redes geométricas, una para la topología y una para las clases de relaciones (Grasby et al., 2009). La GDB se estructuró en el sistema de coordenadas geográficas MAGNA – Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (EPSG 4686).

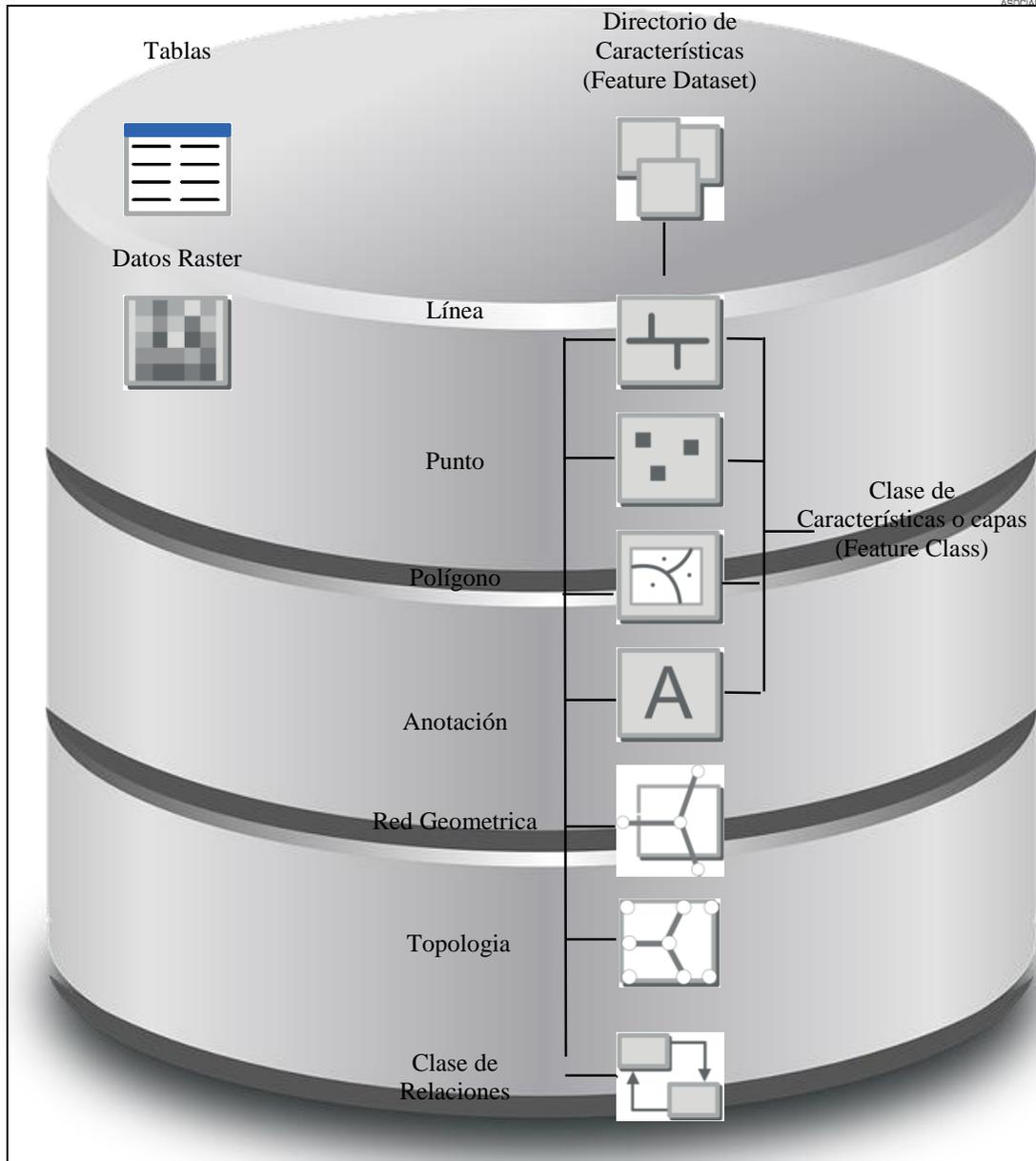


FIGURA 2. Esquema estandarizado para una Base de Datos Geográfica.

Recopilación de Información

La información utilizada durante la estructuración, se encuentra organizada en los formatos de campo elaborados específicamente para cada temática (Pratt, 2003). Con los datos en los formatos de campo respectivos, se estructuran los datos en los libros índices, los cuales corresponden a los datos organizados por campaña de recopilación y temática. Estos datos son migrados a cada Feature Class o tablas según corresponda, con el tipo de cada atributo (entero corto, entero largo, flotante, doble, texto, fechas, datos binarios). Cargada la información, se realiza la presentación por medio de salidas graficas basadas en la escala de representación de las geometrías y la extensión de los datos. La generación de mapas y salidas

graficas de la información de las áreas geotérmicas en exploración en Colombia por parte del SGC, abarca la recopilación de información generada por cada una de las temáticas de exploración (Figura 1). En la Figura 3, se representa el proceso de aplicación de la metodología para los datos dentro del estándar de información geotérmica.



FIGURA 3. Metodología de Recopilación y Estructuración.

La desagregación se realiza por temáticas generales y las subtemáticas a cargo de cada especialista. Bajo este principio, se definió el insumo principal que contiene los datos para la generación de las respectivas capas georreferenciadas, las temáticas que según el área de exploración que podrían ser cargadas a la GDB, el estado de los datos, su nivel de procesamiento, las fechas de entrega, accesibilidad para los usuarios internos y externos y los responsables por cada temática (Figura 4).

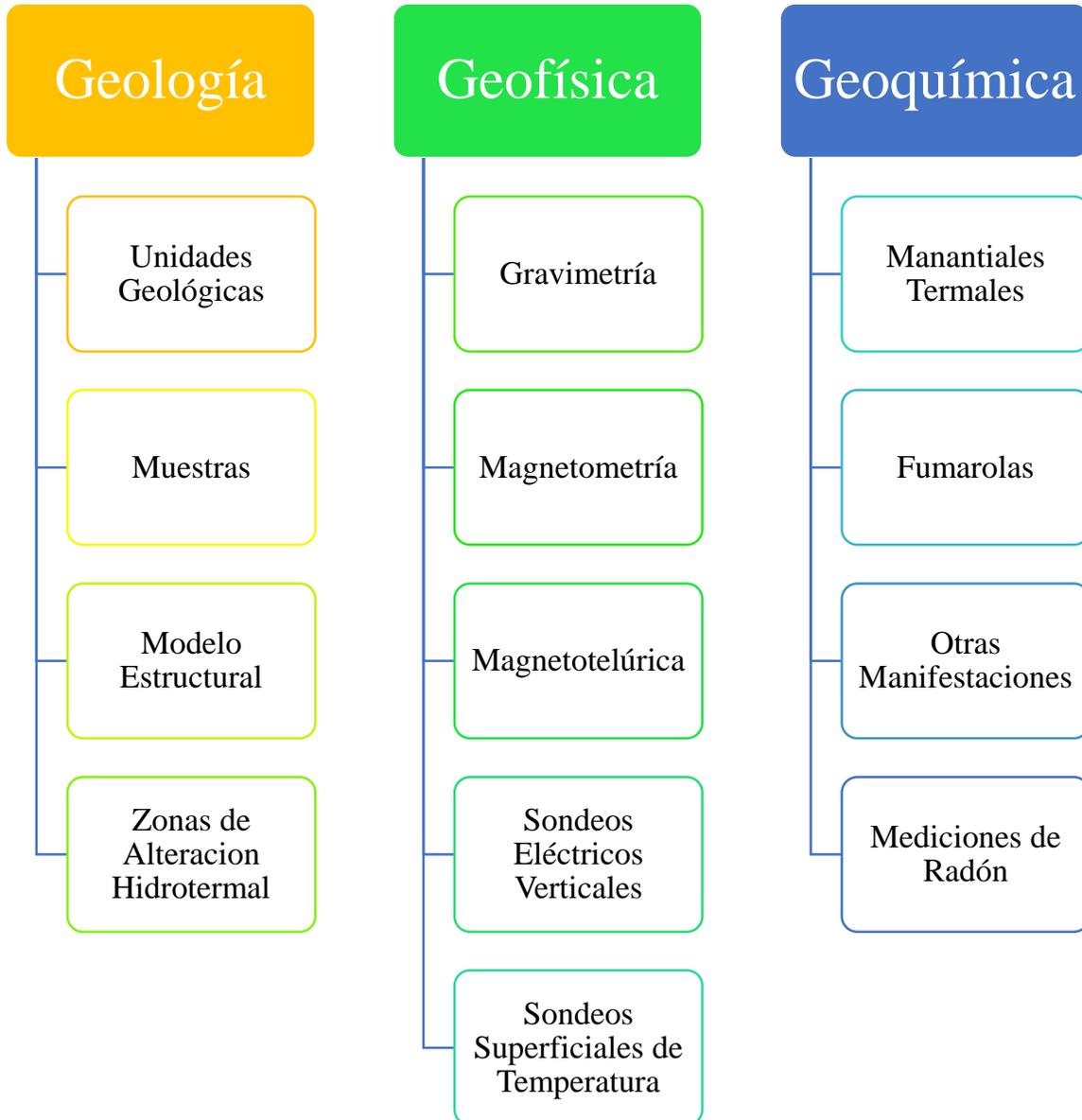


FIGURA 4. Tipos de datos a estandarizar en las diferentes áreas de exploración geotérmica.

4. ALMACENAMIENTO Y REPRESENTACIÓN

El almacenamiento de la información está supeditado a la forma de cargar la información a la GDB. Debido a que los datos no guardan una coherencia de estructuración bajo estándares de bases de datos, es pertinente que los datos abarquen una serie de procesos que permitan a cada registro ser representado espacialmente (Gebrehiwot, 2005).

Estructura de la GDB

Con base en la recopilación de información, diagnosticando sus estructuras y con el estándar geológico ya definido, se crearon los Feature Dataset y Feature Class

correspondientes en la GDB de datos geotérmicos. La selección de los nombres de los Feature Dataset se sustentó en los nombres de las temáticas dominantes dentro de la geotermia: Geología, Geofísica (Society of Exploration Geophysicists, 1991) y Geoquímica (Kipng'ok and Kanda, 2012). A su vez, para los datos que no hacían parte de estas temáticas, se crearon Feature Datasets adicionales, tales como Muestra y Geotermia. En las siguientes figuras, se desglosan los Feature Class que componen cada uno de los Feature Dataset elaborados. En la Figura 5 se muestra la estructura de GDB para datos geotérmicos con los respectivos Feature Dataset, Raster Catalog y Tablas que la componen.

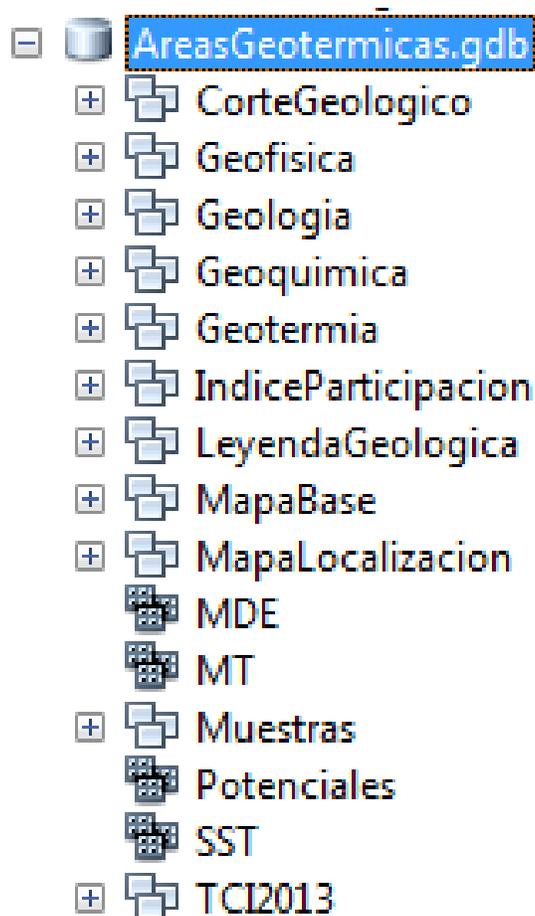


FIGURA 5. Estructura de la Base de Datos Geográfica para el estándar de información geotérmica.

Atributos: Fuente y Observaciones Fuente

Parte de la dinámica de los datos geotérmicos que se utilizan en cada área de exploración, corresponde a identificar el origen de cada registro. En el proceso del levantamiento de los datos y posterior procesamiento y análisis, cada dato crudo se convierte en un dato procesado, siendo el dato georreferenciado que se toma como el dato final para la temática que se está representando. Generalmente estos datos se encuentran asociados a un producto cartográfico (mapa geológico, mapa geofísico, mapa geoquímico) o en su defecto a una memoria o informe técnico, el

cual consigna toda la información correspondiente a las correcciones, procesamientos y análisis que haya a lugar. Para identificar la proveniencia de una forma más rápida en su consulta, se incluyeron para todos los Feature Class de la GDB, dos atributos tipo texto, llamados Fuente y Observaciones Fuente (Obs_Fuente). Fuente, corresponde a la cita bibliografía de cada producto cartográfico o informe técnico asociado a cada registro, utilizando el estándar APA (American Psychological Association) 6ta edición. El campo Obs_Fuente, se refiere al título del producto cartográfico o informe técnico que tiene asociado el dato. En la Figura 6 se observa la estructura de los dos atributos dentro del esquema del Feature Class.

Fuente	Observación Fuente
Pinilla et al., 2006	Mapa Geológico del Altiplano Nariñense. Escala 100k
Velandia, 2003	Cartografía geológica y estructural sector sur del municipio de Paipa
Pardo, 2004	Mapa geológico de vulcanitas de Paipa
Rueda, 2017	Cartografía de los cuerpos dómicos del área geotérmica de Paipa
Grupo Geología de Volcanes - SGC, 2014	Geología del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz. Escala 100k. Anexo B-01
Rueda & Rodríguez, 2016	Mapa Geológico Área Geotérmica de San Diego. Escala 50k. Anexo A
Rojas et al., 2009	Geología del Domo Volcánico de Iza y sus alrededores, sector Pesca e Iza

FIGURA 6. Estructura de la Base de Datos Geográfica para el estándar de información geotérmica.

5. REPRESENTACIÓN

El catálogo de símbolos asociados a las temáticas de Geología, toma como base el Estándar Geológico del SGC (Gómez & Montaña, 2016). Para los símbolos ligados a Geofísica, Geoquímica y Geotermia, se elaboró la primera versión que recoge los datos levantados en campo. Como parte de la finalidad del estándar de representación, se muestran los diferentes datos geotérmicos, cargados al geoservicio que muestra la información de las diferentes áreas de exploración.

Símbolos Vector

A continuación se presentan los símbolos planteados por temáticas (Geofísica, Geoquímica y Geotermia) y para el Feature Dataset Muestras perteneciente a la temática de Geología. En la Tabla 1, se denotan los símbolos para las estaciones incluidas en la temática de Geofísica.

TABLA 1. Símbolos para los datos enmarcados en la temática Geofísica.

Geometría	Símbolo	Descripción	Temática
Punto		Estaciones Gravimétricas	Geofísica
		Estaciones de Densidad	
		Estaciones Magnetométricas	
		Estaciones de Suceptibilidad	

Geometría	Símbolo	Descripción	Temática
		Estaciones Magnetotéluricas de Adquisición donde se adquirió MT y AMT	
		Estaciones Magnetotéluricas de Adquisición donde se adquirió MT	
		Estaciones Magnetotéluricas de Adquisición donde se adquirió AMT	
		Estaciones Magnetotéluricas de Procesamiento	
		Sondeos Superficiales de Temperatura - SST	
		Sondeos Eléctricos Verticales – SEV	

El siguiente grupo de símbolos, se concentra en la representación de elementos incluidos en la temática de Geoquímica (Tabla 2).

TABLA 2. Símbolos para los datos enmarcados en la temática Geoquímica.

Geometría	Símbolo			Descripción	Temática
				Manantial Termal sin clasificar	
	< 40°C	40°C – 60°C	> 60°C	Clasificación Química / Temperatura	
				Bicarbonatado	
				Sulfatado	
				Clorurado	
				Clorurado Sulfatado	
				Clorurado Bicarbonatado	
				Bicarbonatado Sulfatado	
				Sin clasificar	
				Fumarolas	
				Otras Manifestaciones	
				Estaciones de Radón	
				Estaciones de Gas Carbónico	
Punto					Geoquímica

Los siguientes elementos, que aunque se encuentran contenidos dentro de la temática de Geología, componen un Feature Dataset debido a la configuración de los datos, corresponden a las muestras (Tabla 3) obtenidas en el levantamiento geológico de un área de exploración.

TABLA 3. Símbolos para los datos enmarcados en el Feature Dataset Muestras.

Geometría	Símbolo	Descripción	Temática
Punto		Datación Radiométrica	Muestras
		Granulometría	
		Inclusiones Fluidas	
		Fluorescencia	
		Espectrometría de masas	
		Difracción de Rayos X	
		Análisis Macroscópico con Lupa Binocular	
		Microscopia electrónica mediante Microsonda	
		Análisis petrográfico por Secciones Delgadas	

El último grupo de símbolos representado, se incluyó dentro del Feature Dataset de Geotermia, el cual recoge toda la información específica que no está directamente ligadas con las temáticas de Geología, Geofísica y Geoquímica. Para esta versión del estándar se incluyeron los pozos de gradiente térmico y la delimitación de las áreas geotérmicas (Tabla 4).

TABLA 4. Símbolos para los datos enmarcados en el Feature Dataset Geotermia.

Geometría	Símbolo	Descripción	Temática
Punto		Pozos de Gradiente Térmico	Geotermia
Polígono		Áreas Geotérmicas	

Rampas Raster

Parte fundamental en la representación de datos geotérmicos, corresponde a la visualización de las anomalías geofísicas caracterizadas mediante grillas, las cuales muestran por medio de pixeles los valores de la variable física a ejemplificar. La forma de representación para este tipo de datos raster, varía según la variable a simbolizar.

Grillas Campos Potenciales

Las grillas de campos potenciales se generan en el software de procesamiento institucional Geosoft Oasis Montaj, el cual contiene un módulo interno de ArcGIS Tools, que permite que la interoperabilidad de archivos sea mucho más ágil entre las dos plataformas. En la Tabla 5, se definen las principales características del estilo de representación para las anomalías de campos potenciales.

TABLA 5. Rampa de colores para las grillas de campos potenciales.

<p>Espectro invertido – full brillante (Rainbow inverse)</p>	
---	--

Grillas Magnetotelúricas

El software de procesamiento para los datos magnetotelúricos corresponde a la plataforma WinGLink. Esta herramienta permite la discretización de las grillas mediante la asignación de una rampa de colores y su posterior clasificación. La interoperabilidad de los archivos resultantes, es muy baja, ya que los formatos de exportación no representan con alta precisión las anomalías magnetotelúricas en una herramienta SIG como ArcGIS Desktop. En la Tabla 6, se definen las principales características del estilo de representación para las anomalías magnetotelúricas.

TABLA 6. Rampa de colores para las grillas y perfiles magnetotelúricos

<p>Espectro invertido – full brillante (Rainbow)</p>	
---	--

Grillas SST

Las grillas resultantes de los datos de SST, se generan a través de métodos de interpolación geoestadística de los datos en el Software ArcGIS Desktop. Las anomalías de temperatura, generalmente requieren de una baja discretización para su representación. En la Tabla 7, se definen las principales características del estilo de representación para las anomalías de temperatura superficial.

TABLA 7. Rampa de colores para las grillas de SST

<p>Predicción</p>	
--------------------------	--

Geoservicio

La última etapa del estándar está enfocada a la representación de la información geotérmica en plataformas que permitan la visualización de los datos levantados por el SGC y sean puestos a disposición de la comunidad académica, científica y la ciudadanía en general. El esfuerzo inicial se orientó hacia los datos ya levantados de las áreas geotérmicas que actualmente se exploran en el territorio colombiano por parte del SGC: Paipa-Iza, Azufral, Ruiz y San Diego. La carga de la información se trabajó en la plataforma web de datos geográficos de ESRI: ArcGIS Online. En la Figura 7, se localizan las cuatro áreas geotérmicas que contienen información.

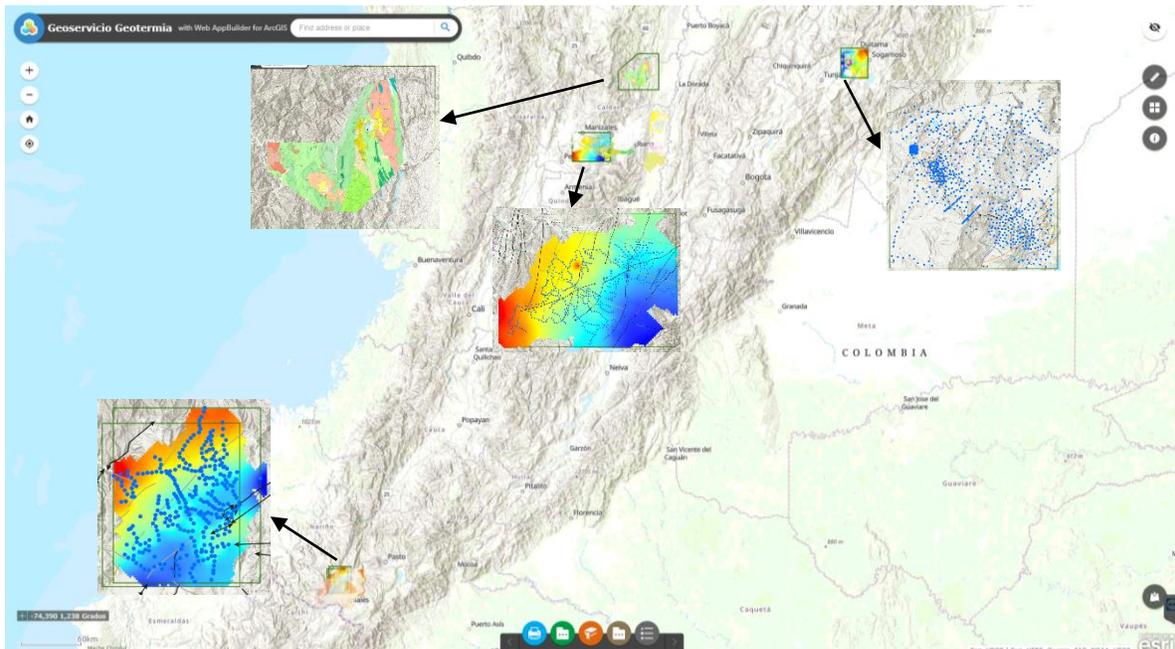


FIGURA 7. Visualización de las áreas de exploración geotérmica en el Geoservicio.

CONCLUSIONES

El SGC como ente rector en la generación de conocimiento de los recursos del subsuelo colombiano, propone una serie de lineamientos y procedimientos dentro del Estándar Cartográfico de Información Geotérmica, que permitan a través de unas buenas practicas almacenar y representar de forma adecuada y organizada los datos geotérmicos de las áreas en exploración. Bajo esta dirección, todos los productos generados en el país en función de la exploración y explotación geotérmica, deben tender a guardar estos lineamientos para construir una comunidad de información científica enfocada en la generación de conocimiento y el desarrollo de la naciente industria geotérmica en suelo colombiano.

Como parte de la función es capturar información geofísica y geoquímica, se presentan una primera aproximación para el almacenamiento y representación de

elementos tales como estaciones, técnicas, muestras, clasificaciones, entre otros. A su vez, se muestra un primer prototipo de representación de información tipo raster, la cual contiene todos los resultados de los campos potenciales, interpolaciones de algunos componentes de la geoquímica y la modelación de los datos magnetotélúricos, teniendo en cuenta los criterios de visualización para las anomalías de cada proceso y el rango de colores para su representación.

La definición de un estándar de datos geotérmicos permite organizar la captura de los datos en campos a partir de los formatos de adquisición y su estructuración en los diversos libros índice según indique la temática. Con unos lineamientos a seguir en el almacenamiento de los datos en una GDB, se hace más esquematizado y automatizado el procedimiento de carga de información, siendo más comprensible y amigable para el usuario.

La generación para el país de políticas, estándares y procedimientos para la recepción y accesibilidad de la información geotérmica levantada por los futuros operadores que exploten el recurso, obteniendo un foco potencial de nueva información que complemente la identificación de los recursos geotérmicos en el país

La inclusión de los campos de Fuente Bibliográfica y Observaciones de la Fuente para referirse al autor o autores y al nombre del producto cartográfico y/o producto técnico que da origen al dato geotérmico, permite llevar a cabo una trazabilidad sobre el origen técnico de cada registro, entendiendo así la interpretación realizada por el autor para cada dato.

Referencias

- Alfaro, C., Alvarado, I. & Manrique, A. *Heat Flow Evaluation at Eastern Llanos Sedimentary Basin, Colombia*. World Geothermal Congress 2015, (34), pp.1–9. (2015).
- Alfaro, C., Alvarado, I. & Manrique Bonilla, A. *Actualización del Mapa Geotérmico de Colombia Fase 2. Mapa preliminar del flujo de calor terrestre en la cuenca de los Llanos Orientales*. Informe Técnico. Ingeominas. Bogotá D.C. (2010).
- Alfaro, C., Alvarado, I., Quintero, W., Hamza, V., Vargas, C. & Briceño, L.A. *Mapa preliminar de Gradientes Geotérmicos de Colombia*. En: XII Congreso Colombiano de Geología. pp 1–24. (2009).
- AGRCC – Australian Geothermal Reporting Code Committee. *The Geothermal Reporting Code. Second Edition*. Technical Report. (2010).
- British Geological Survey. *Cartographic standard geological symbol index. Version 3*. Publications Production, Research Report. (2002).
- Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. *Symbols used on geological maps*. Technical Report. (1989).
- China Geological Survey. *Groundwater Serial Maps of Asia. Hydrogeological Map, Groundwater Resources Map and Geothermal Map*. Explanation, Sinomaps Press. (2012).
- Falcone, G., Gnoni, A., Harrison, B., Alimonti, C. *Classification and Reporting Requirements for Geothermal Resources*. Proceedings: European Geothermal Congress, Pisa, Italy. (2013).

- Gebrehiwot, K. *Geothermal Mapping in Western Ölkelduháls field, Hengill area, SW-Iceland*. Report: Geothermal Training Programme, Reykjavík, Iceland. (2005).
- Gómez, J. & Montaña, Y. *Estándar Cartográfico para Mapas Geológicos a escalas 1M, 500K, 100K, 50K, 25K y 10K*. Informe Técnico, Servicio Geológico Colombiano – SGC, Bogotá D.C. (2016).
- Grasby, S.E., Majorowicz, J. and Ko, M. *Geothermal Maps of Canada*. Technical Document, Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario. (2009).
- Haugerud, R. and Soller, D. *GeMS (Geologic Map Schema)—a standard format for digital publication of geologic maps*. Draft Manuscript, USGS National Cooperative Geologic Mapping Program (NCGMP). (2018).
- Hussien, B. *Standards for regional geologic mapping: Procedures and guidelines for work processes (Part I), Content and digital attributes for products (Part II)*. Technical Document, Regional Geology and Geochemistry Department, Geological Survey of Ethiopia, Ministry of Mines and Energy. (2007).
- International Organization for Standardization. *Geographic information — Portrayal*. Final Draft, Geneva, Italy. (2012).
- International Organization for Standardization. *Energy efficiency and renewable energy sources. Common international terminology. Part 2: Renewable energy sources*. Final Draft, Geneva, Italy. (2015).
- Kipng'ok, J. and Kanda, I. *Introduction to Geochemical Mapping. Report: Short Course VII on Exploration for Geothermal Resources*, UNU-GTP, GDC, KenGen, Kenya. (2012).
- Matiz-León, J. C. *Análisis y Diseño del Modelo Lógico y Conceptual del Subsistema de Información Geotérmica*, Bogotá D.C. SGC. (2013).
- Monsalve, M. L., Rodríguez, G., Méndez, R. & Bernal, N. *Geology of the Well Nereidas 1 Nevado del Ruiz Volcano, Colombia*. Geothermal Resources Council, Volumen 22, pp. 263-267. (1998).
- Pratt, A. *The ASEG-GDF2 standard for point located data. Draft 4*. Prepared for the Australian Society of Exploration Geophysicists - ASEG Standards Committee, Technical Report. (2003).
- SGC. Resolución No. D-248 del 03 de diciembre de 2013. SGC: Bogotá D.C. (2013).
- SGC. Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales. [En línea]. Available at: <http://hidrotermales.sgc.gov.co/>. (2015).
- Society of Exploration Geophysicists. *MT / EMAP Data Interchange Standard*. USA. (1991).
- Struckmeier, W. and Margat, J. *Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. Volume 17*. Technical Document, International Association of Hydrogeologists, Hannover, Germany. (1995).
- UNESCO. *International Legend for Hydrogeological Maps*. International Association of Hydrogeologists (IAH), International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Paris, France. (1983).
- U.S. Geological Survey. *FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization*. Geologic Data Subcommittee, Federal Geographic Data Committee, Technical Document. (2006).
- U.S. Department of Energy. *Guidelines for Provision and Interchange of Geothermal Data Assets. Supporting Advancement of Geothermal by Populating the National Geothermal Data System*. Technical Document, Geothermal Technologies Office. (2014).
- U.S. Geological Survey. *Digital Mapping Techniques '09*. Workshop Proceedings, Morgantown, West Virginia. (2009).