

GEOTÉRMIA EN LA REGIÓN CENTRAL



**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE
CALDAS**

*GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN*



2020



Convenio Interadministrativo 080 de 2019. Región Administrativa y de Planeación Especial RAP-E – Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Director RAP-E:

- Doctor Fernando Flórez Espinosa

Supervisor Convenio:

- Ingeniero Jorge Eduardo Aya Rodríguez

Responsable del eje de Infraestructura, transporte, logística y servicios públicos.



Rector Universidad Distrital Francisco José de Caldas:

- Doctor Ricardo García Álvarez

Director Idexud:

- Ingeniero Carlos Yezid Rozo Álvarez

Equipo Técnico:

- Alejandro Hurtado Beltrán
- Alejandra Patarroyo
- Miguel Ángel Ocaciones
- Felipe Cruz Espitia
- Juan David Salinas
- Luis Antonio Gutiérrez
- Jaime Adrián Matéus Ramírez
- Wendy Katherine Villarraga Clavijo
- Oscar Daniel Guerrero Mora
- Heguar Stins Goyeneche Mendivelso
- César Andrés Rincón Triana

Equipo Específico:

- José Alexander Ovalle Murcia

Coordinadora Grupo/Semillero de Investigación:

- Nubia Marcela Rodríguez Figueroa

Director Grupo/Semillero de Investigación:

- Ingeniero Andrés Escobar Díaz

Contenido

Siglas y Acrónimos	8
Introducción	12
Metodología de Investigación	13
Objetivos.....	14
1. Panorama a nivel mundial	14
2. Panorama a nivel nacional.....	15
2.1. Actual y en vigencia.....	16
2.1.1. Zonas de Potencial Actuales	18
2.1.2. Demanda nacional de energía eléctrica.....	21
2.1.3. Rentabilidad Proyecto Geotérmico	21
2.1.4. Tecnologías.....	26
2.2. Avance y proyección.....	35
2.2.1. Proyección de la demanda de energía eléctrica	36
2.2.2. Estudios que se contemplan en un campo geotérmico.....	38
2.2.3. Tipos de campo geotérmico.....	39
2.3. Impacto ambiental	40
2.3.1. Disposición de recursos naturales para la implementación de proyectos.....	43
2.3.2. Permisos y licencias ambientales	43
2.3.3. Incentivos tributarios, arancelarios y contables.....	44
2.3.4. Beneficios ambientales.....	49
3. Panorama a nivel región central	50
3.1. Actual y en vigencia Distrito Capital.....	50
3.2. Actual y en vigencia Cundinamarca.....	50
3.2.1. Zonas de potencial actual.....	52
3.2.2. Estudios realizados.....	53
3.2.3. Tecnología implementada.....	59
3.3. Actual y en vigencia Boyacá	61
3.3.1. Zonas de Potencial Actual	62
3.3.2. Estudios realizados.....	63
3.4. Avance y proyección.....	68
3.4.1. Proyección de perforaciones de Gradientes Térmicos.....	69
3.4.2. Disposición de recursos naturales con aprovechamiento energético.....	71

3.4.3. Permisos y licencias ambientales para la puesta en marcha de nuevas generadoras	71
3.5. Actual y en vigencia Tolima	72
3.6. Actual y en vigencia Meta	73
3.6.1. Zonas de potencial actual	75
3.6.2. Estudios realizados.....	76
4. Conclusiones y Hallazgos	78
5. Recomendaciones	79
6. Bibliografía.....	80
7. Entidades y actores	85
8. Clasificación de referencias	89
9. Legislación.....	96

Listado de Tablas

Tabla 1 Estimación de Capacidad Instalada y Demanda Satisfecha por FNCER para el año 2030.	21
Tabla 2 Comparativa en Costos de Inversión de Diferentes Tecnologías.	23
Tabla 3 Comparativa en Costos de Conexión de Diferentes Tecnologías.	23
Tabla 4 Comparativa Rentabilidad Diferentes Tecnologías.	24
Tabla 5 Clasificación de Recurso Geotérmico según su entalpía.	30
Tabla 6 Uso de Recurso Geotérmico de Acuerdo a la temperatura.	30
Tabla 7 Proyectos Geotérmicos presupuestados en Colombia.	36
Tabla 8 Proyectos presupuestados en Colombia según el tipo de generación.	36
Tabla 9 Áreas geotérmicas convectivas con potencial geotérmico.	37
Tabla 10 Emisión de gases contaminantes de acuerdo al uso de distintas tecnologías.	41
Tabla 11 Comparativa de área requerida según tipo de tecnología.	43
Tabla 12 Resumen de incentivos por el uso de FNCE.	48
Tabla 13 Características Bomba Calor Geotérmico Ecoforest utilizada en Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	59
Tabla 14 Comparativa de Paipa con las demás zonas geotérmicas del país.	69
Tabla 15 Flujos y temperaturas del agua de los campos.	77
Tabla 16. Entidades y Actores.	88
Tabla 17 Clasificación de las referencias.	95
Tabla 18 Legislación usada en el documento por agente.	96

Listado de Figuras

Figura 1 Capacidad de Potencia Eléctrica Instalada a Nivel Mundial para el año 2015.	15
Figura 2 Mapa de Gradientes Geotérmico Colombianos.	17
Figura 3 Ubicación Zonas con Potencial Geotérmico Colombia.	18
Figura 4 Fase para Desarrollo de un Proyecto Geotérmico.	22
Figura 5 Costos para Desarrollo de un Proyecto Geotérmico.	22
Figura 6 Ventajas vs inconvenientes de implementación de energías Geotérmicas.	26
Figura 7 Tipo de Tecnologías Usadas en Generación Geotérmica de acuerdo a la Carga Instalada Mundialmente en Proyectos Geotérmicos al 2010.	26
Figura 8 Esquema de un Sistema Geotérmico.	28
Figura 9 Sistema Geotérmico.	29
Figura 10 Usos de la Energía Geotérmica a diferentes temperaturas.	31
Figura 11 Esquema de planta de generación Flash.	32
Figura 12 Esquema de planta de generación Binaria.	33
Figura 13 Esquema de planta de generación Vapor Seco.	34
Figura 14 Pozos de Gradiente Geotérmico.	35
Figura 15 Proyectos presupuestados según el tipo de generación en Colombia.	37
Figura 16 Tipo de datos obtenido por estudio.	38
Figura 17 Elementos que definen un campo Geotérmico Convencional.	40
Figura 18 Comparativa de emisiones al aire de gas de Óxido de Nitrógeno.	41
Figura 19 Comparativa de emisiones al aire de gases Azufrados como SO ₂	42
Figura 20 Comparativa de emisiones de material Particulado.	42
Figura 21 Comparativa de emisiones de Dióxido de Carbono CO ₂	42
Figura 22 Normas que realizan la regulación de los incentivos en Colombia.	49
Figura 23 Inventario manifestaciones geotermales Distrito Capital (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales).	50
Figura 24 Gradiente Geotérmico de Cundinamarca.	51
Figura 25 Inventario manifestaciones geotermales Cundinamarca (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales).	52
Figura 26 Esquema funcionamiento Cuarto Frio Parque Industrial la Gran Sabana.	53
Figura 27 Diagrama y Geología del pozo 1 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	55
Figura 28 Diagrama y Geología del pozo 2 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	56
Figura 29 Diagrama y Geología del pozo 3 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	57
Figura 30 Proceso de generación pozos geotérmicos para proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana n°1.	58
Figura 31 Proceso de generación pozos geotérmicos para proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana n°2.	58
Figura 32 Bomba Calor Geotérmico Ecoforest utilizada en Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	59
Figura 33 Panorámica del Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	60

Figura 34 Instalación bomba calor geotérmica proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	60
Figura 35 Sistema instalado bomba calor geotérmica proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana.	61
Figura 36 Gradiente Geotérmico de Boyacá.	61
Figura 37 Inventario manifestaciones geotermales Boyacá (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales).	62
Figura 38 Mapa de mediciones de temperatura del suelo en la zona geotérmica de Paipa a 1.5 m de la superficie.	64
Figura 39 Localización de manantiales termales del área geotérmica de Paipa.	65
Figura 40 Geología del área Geotérmica de Paipa.	67
Figura 41 Ubicación propuesta para perforaciones geotérmicas.	69
Figura 42 Gradiente Geotérmico de Tolima.	72
Figura 43 Inventario manifestaciones geotermales Tolima (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales).	73
Figura 44 Gradiente Geotérmico de Meta.	74
Figura 45 Inventario manifestaciones geotermales Meta (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales).	74
Figura 46 Localización de campos de producción Apiay, Castilla, Suria.	75

Siglas y Acrónimos

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

C: Centígrado

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

DIAN: Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales

CELEC EP: Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador

CH₄: Metano

CHEC: Central Hidroeléctrica de Caldas

cm: Centímetros

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

CVCBCM: Complejo Volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín

CO₂: Dióxido de Carbono

db: Decibelios

EPM: Empresas Públicas de Medellín

ESMAP: Energy Sector Assistance Program

FGR-29: Declaración de Costos de Inversión y Anual de Operación

FGR-67: Formulario Único de Licencias Ambientales

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

FV: Fotovoltaica

GESA: Geoenergía Andina S.A.

GW: Gigavatio

GWh: Gigavatio hora

GWh/año: Gigavatio hora año

H₂S: Ácido Sulhídrico

ICETEX: Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior

ICANH: Instituto Colombiano de Antropología e Historia

INECEL: Instituto Ecuatoriano de Electrificación

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería

ITP: Instituto Turismo Paipa

IVA: Impuesto de Valor Agregado

kg: Kilogramo

kJ: Kilo Joule

km: Kilometro

km²: Kilometros Cuadrados

kPa: Kilo Pascal

kW: Kilovatio

kWh: Kilovatio hora

L: Litro

lb: Libra

m: Metro

m²: Metros Cuadrados

m³: Metros Cúbicos

MADS: Ministerio de Ambiente y
Desarrollo Sostenible

mm: Milímetros

MW: Megavatio

MWh: Megavatio hora

OIEA: Organismo Internacional de
Energía Atómica

RAP-E: Región Administrativa y de
Planeación Especial

SiO₂: Oxido de Silicio

SGC: Servicio Geológico Colombiano

SO₂: Dióxido de Azufre

SOC: Superintendencia de Operación
centralizada

TIR: Tasa Interna de Retorno

TW: Teravatio

TWh: Teravatio hora

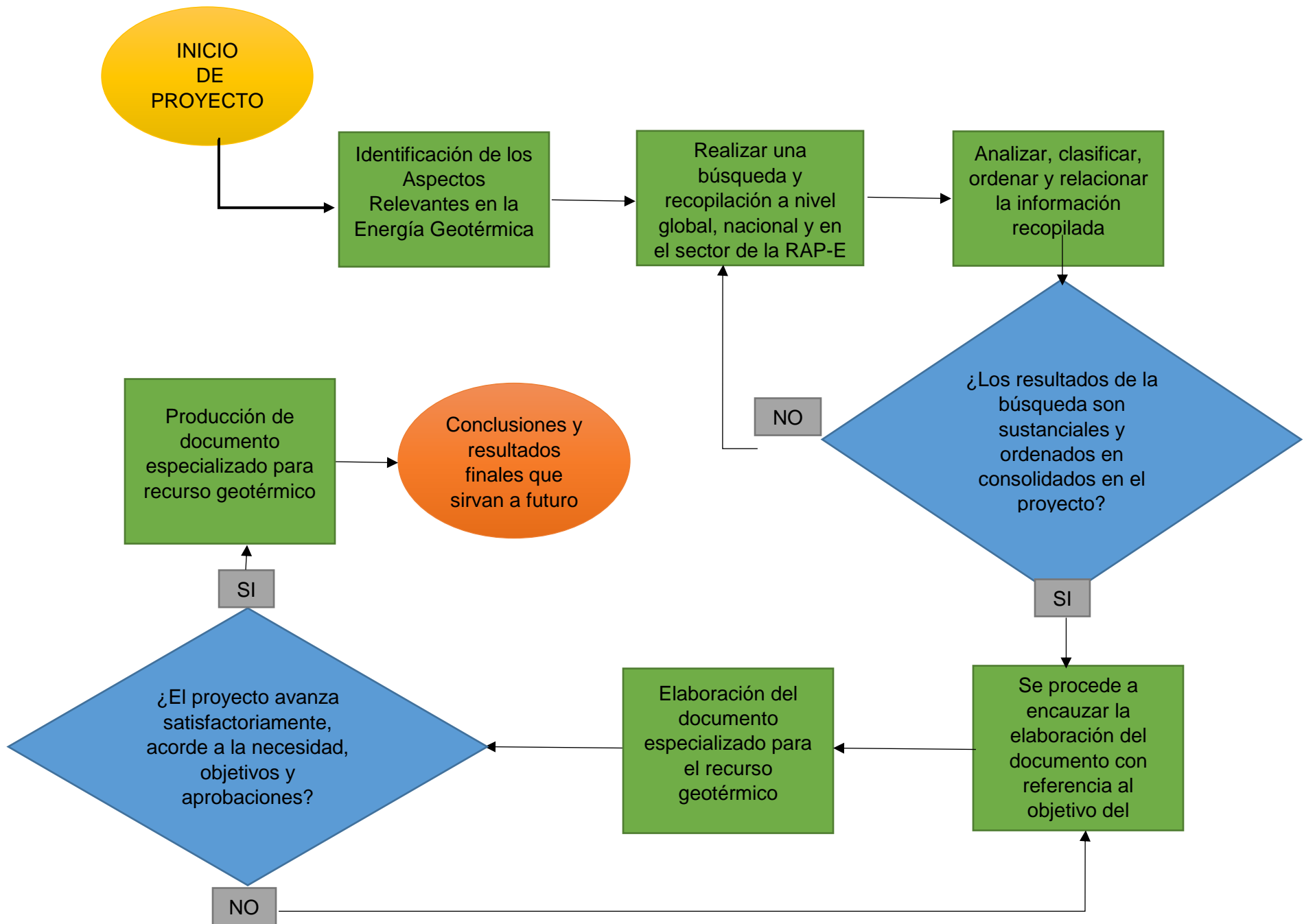
TWh/año: Teravatio hora año

UPME: Unidad de Planeación Minero
Energética

USD: Dólar

USD/MW: Dólar Megavatio

WACC: Coste promedio ponderado del
capital



GEOTERMIA

Panorama Nacional

Actual y en Vigencia

- Zonas de potencial
- Demanda Nacional de Energía Geotérmica
- Rentabilidad Proyecto Geotérmico
- Tecnologías

Avance y Proyección

- Proyección de la demanda energía eléctrica
- Estudios que se contemplan en un campo geotérmico
- Tipos de campo geotérmico

Impacto Ambiental

- Disposición de recursos
- Permisos y licencias ambientales
- Incentivos tributarios, arancelarios y contables
- Beneficios ambientales

Conclusiones y hallazgos

Clasificación de Referencias

Entidades y actores

Legislación

Panorama Región RAP-E

Distrito Capital

Actual y en Vigencia

Cundinamarca

Actual y en Vigencia

- Zonas de potencial Actual
- Estudios realizados
- Tecnología implementada

Tolima

Actual y en Vigencia

Meta

Actual y en Vigencia

Boyacá

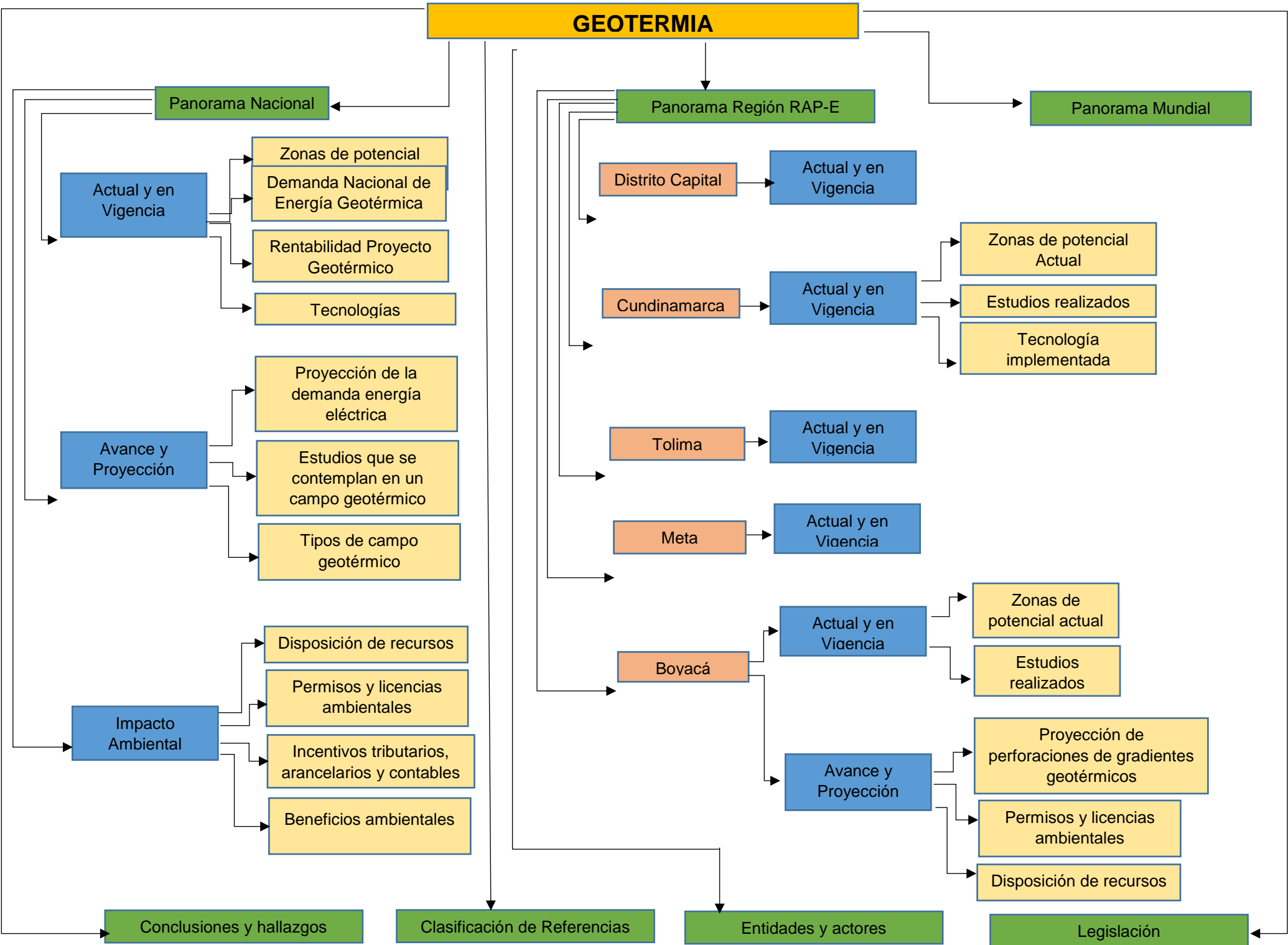
Actual y en Vigencia

- Zonas de potencial actual
- Estudios realizados

Avance y Proyección

- Proyección de perforaciones de gradientes geotérmicos
- Permisos y licencias ambientales
- Disposición de recursos

Panorama Mundial



Introducción

La generación geotérmica en Colombia, parte como una nueva alternativa para suplir necesidades eléctricas utilizando Fuentes no Convencionales de Energía (FNCER) y con ello contribuir a una transición en el uso de tecnologías que contribuyan en materia ambiental, para eso se ha venido realizando durante el tiempo investigaciones en varias zonas del país, donde se identifica el potencial energético del recurso geotérmico en el territorio, teniendo referente de la empresa privada como ISAGEN. [1]

Los resultados de esta línea de investigación, referentes a generación geotérmica; servirán como base para el desarrollo de posteriores trabajos de investigación e implementación de proyectos para aprovechamiento de recursos renovables hacia la región central RAP-E con sus organizaciones adjuntas.

Por otro lado, también es posible observar como el desarrollo tecnológico de esta tecnología en el estado no se ha desarrollado, careciendo de implementación de proyectos y por consiguiente requiriendo diferentes tipos de impulsos estatales, así como de la ley 1715 de 2014 respecto al uso de Fuentes no Convencionales de Energías Renovables, que brinda cierto tipo de beneficios a los implementadores de tales tecnologías o la necesidad de inversión externa que hagan que este tipo de proyectos sean atractivos y rentables para desarrollar. [1]

Si se llegase a realizar implementación de tecnologías, basadas en el uso de recursos geotérmicos; se podría llegar a Zonas no Interconectadas del país, debido a que la ubicación de este tipo de recursos se encuentran en zonas alejadas y remotas de la región, brindando con ello soluciones a estos territorios y ofreciendo una oportunidad para el crecimiento social y tecnológico, sin embargo también se debe tener en cuenta los impactos sociales y ambientales que representan la explotación del recurso geotérmico, ya que como se menciona al estar ubicado en zonas remotas las mismas se encuentran en reservas naturales o sitios sagrados para culturas indígenas. [2]

La Región Central RAP-E tiene en su territorio zonas con alto potencial geotérmico, en zonas como de Boyacá y Tolima al estar situadas en zonas volcánicas o con afluentes geotérmicos tienen la posibilidad para la implementación de tecnologías de generación geotérmica, para dar un ejemplo como el de Paipa, observamos un interés de sus recursos geotérmicos el cual desde el año 2002 se ha incluido como uno de los objetivos de investigación geotérmica por su variedad en depósitos volcánicos y concentración de fuentes de aguas termales. [3]

Metodología de Investigación

Para el desarrollo e investigación de este documento se realizan las siguientes actividades, con el fin de realizar una recolección de información que permita describir el estado actual y desarrollo en el país y la región central RAP-E, sobre generación geotérmica, para ello tal documento se toman dos procesos fundamentales en el desarrollo del mismo:

Recolección de información.

En este proceso se realizará una investigación y lecturas del material disponible, fuentes que hayan desarrollado proyectos, investigaciones o resúmenes del recurso geotérmico; seleccionando la información actualizada, que refiera al recurso geotérmico y brinde un panorama sobre el mismo enfocando la misma a la región central RAP-E. Para ello se realizan las siguientes actividades:

1. Verificación del estado actual de la documentación referente al recurso geotérmico.
2. Gestión de información primaria y secundaria.
3. Identificación de autores, entidades y fuentes con mayor relevancia.
4. Unificar las diferentes fuentes de información.
5. Selección de información con mayor relevancia y actualidad.

Procesamiento y Análisis de Información.

La finalidad de este proceso es el de mostrar el estado actual de los proyectos y recurso geotérmico, además de identificar los organismos que cuentan con la información más importante, generando con ello una bibliografía de las fuentes potenciales de información y consolidación de información en un documento especializado de la contribución y desarrollo respecto a la generación geotérmica, catalogando la importancia, vigencia, características primordiales de las fuentes y actores. Para ello se realizan las siguientes actividades:

1. Verificación y validación de la información.
2. Consolidación de la información relevante del recurso geotérmico de diferentes entes.
3. Procesamiento de la información, generando resúmenes y diagnóstico de la generación geotérmica de la región central RAP-E.
4. Comparación del recurso a nivel nacional y región central RAP-E.
5. Generación de documento especializado que brinde un panorama sobre el estado de generación geotérmica.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Recopilar y consolidar información concerniente a la generación geotérmica en la región central RAP-E (Cundinamarca, Tolima, Meta, Boyacá y el Distrito Capital), mostrando el estado actual del recurso, sus posibles aprovechamientos a futuro, las adversidades y beneficios que tiene la implementación de proyectos con este recurso, así como la posibilidad de brindar soluciones a Zonas no Interconectadas de la región que cuente con este recurso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar la recopilación de información de recurso y proyecto geotérmicos en la región central RAP-E (Cundinamarca, Tolima, Meta y Boyacá).
2. Solicitar y consolidar a la UPME los datos actualizados correspondientes al recurso geotérmico de la región, con el fin de generar un informe que permita determinar el estado del mismo.
3. Determinar los beneficios que se obtienen al implementar recursos geotérmicos teniendo como punto de partida los beneficios que ofrece la ley 1715 de 2014 respecto al uso de Fuentes no Convencionales de Energías Renovables.
4. Presentar un documento especializado sobre las condiciones en las que se encuentra el recurso geotérmico en la región.

1. Panorama a nivel mundial

Respecto del panorama mundial, la energía geotérmica como tecnología es una fuente importante y una posible solución para satisfacer las necesidades energéticas que

existen a nivel mundial debido al continuo desarrollo en tecnologías basadas en recursos hidrotermales y geotérmicos; en el 2009 la capacidad de generación geotérmica era de 11.7 GW y se generaban en este periodo de tiempo aproximadamente unos 67.2 TWh/año de electricidad utilizando el recurso geotérmico teniendo como principal impulsador la industria de Hidrocarburos. [1] [4] [5]

Tal desarrollo de energía geotérmica tiene importante demanda en países como Islandia correspondiente al 25% de su demanda general, El salvador con un 22%, Kenia y Filipinas con 17% cada uno y Costa Rica con un 13%; mientras que países como Estados Unidos en el 2009 generaban en producción geotérmica 16.603 GWh/año teniendo una capacidad instalada de 3093 MW. [5]

Para el 2010, se planeaba un crecimiento a nivel mundial de 11 GW de energía geotérmica, para el 2020 de 17,5 GW y para el 2030 de 25GW, repartidos en regiones como Indonesia, el Valle del Rift en África del Este, América Central y del sur, Japón, Nueva Zelanda así como nuevo crecimiento de generadores actuales como lo son Estados Unidos e Islandia. [1] [6] presentando un panorama interesante como potencial del recurso en el mundo.

CAPACIDAD POTENCIA MUNDIAL INSTALADA EN 2015

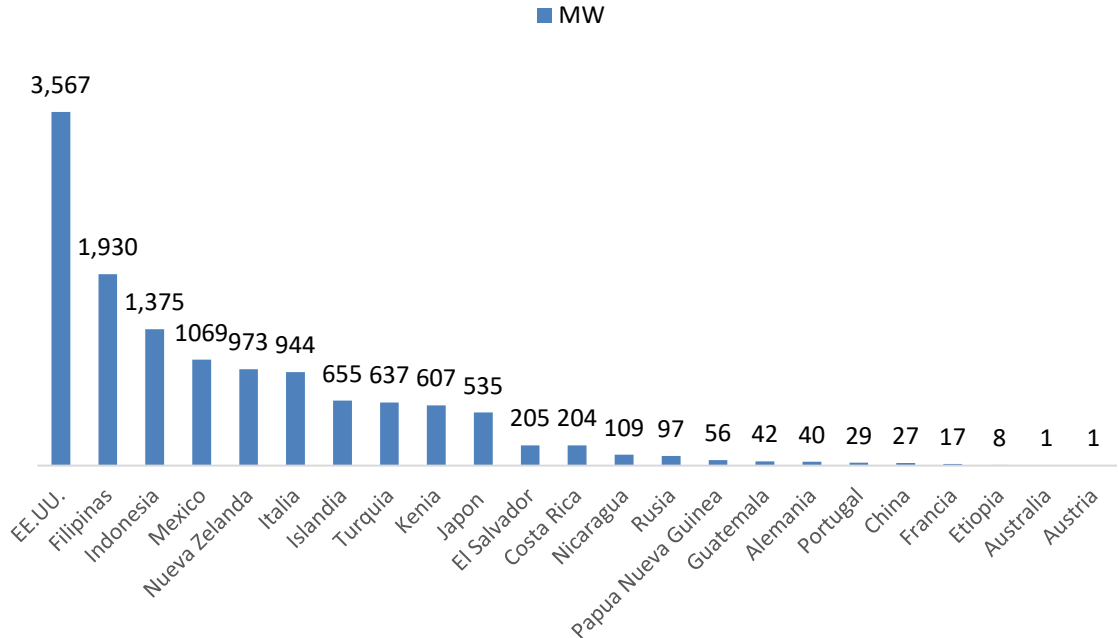


Figura 1 Capacidad de Potencia Eléctrica Instalada a Nivel Mundial para el año 2015. [1][7]

2. Panorama a nivel nacional

Colombia en la actualidad no se encuentra aprovechando ningún tipo de generación geotérmica, sin embargo, no significa que no se han realizado avances de ámbito investigativo referente al tema.

Desde la década de los 70's se realizan estudios del potencial geotérmico, las posibles ubicaciones para su implementación además de ser integral en el plan de expansión de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) y en cada una de su documentación para la integración de fuentes de energía no convencionales. [1]

Las primeras investigaciones se remontan al año de 1968, cuando la Central Hidroeléctrica de Caldas por medio del Ente Nacional de Electricidad de Italia realizo una evaluación para el desarrollo geotermico en el complejo volcanico del Nevado del Ruiz, tal estudio se realizo en un área de 1500 km², en donde se observaron zonas con potencial geotermico y se recomendo continuar con la investigación. [3]

Por otra parte, el lento crecimiento para el desarrollo de estas tecnologías en el país se debe a diferentes causas las cuales están comprendidas por:

- El costo de la investigación, exploración en sitio y los recursos especializados que se requieren para la implementación de tales tecnologías.
- La inversión en tal investigación es considerada de alto riesgo, lo cual genera incertidumbre en los posibles desarrolladores de esta tecnología y el mercado como tal.
- Las áreas con potencial geotérmico se encuentran ubicadas en zonas volcánicas, en su mayoría las mismas son parques naturales con protección ambiental en el país, lo cual implica varios desafíos técnicos, ambientales e infraestructurales.
- La conexión de la generación geotérmica a la red interconectada nacional es compleja debido a la ubicación de las zonas con potencial geotérmico, lo cual puede implicar un uso acotado a las zonas donde se encuentre tal potencial.
- Culturalmente se debe capacitar a la comunidad debido al desconocimiento sobre el uso, ventajas y adversidades de tal tecnología.
- No se ha realizado aprovechamiento de tal recurso en el país lo que implica incertidumbre en los resultados que se puedan obtener, por ende se requiere un asesoramiento externo; tomando como referencia los resultados obtenido en otros países. [1]

2.1. Actual y en vigencia

A pesar de que en Colombia no se tiene una implementación de proyectos geotérmicos, se debe tener en cuenta el considerable avance en reconocimientos e investigación de los recursos geotérmicos; durante 45 años mediante INGEOMINAS y posteriormente con el Servicio Geológico Colombiano quienes han generado un gran esfuerzo en las etapas de exploración de superficies, teniendo como obstáculo la falta de desarrollo del recurso, observando que tales reconocimientos e investigaciones carecen de las perforaciones necesarias que confirmen la posibilidad real de explotación geotérmica. [3] [8]

2.1.1.1. Proyecto Binacional Tufiño-Chile-Cerro Negro

Respecto de los proyectos binacionales, empresas nacionales como ISAGEN y EPM han realizado en el último tiempo grandes esfuerzos que puedan reactivar la exploración de zonas con potencial geotérmico como en la zona del Nevado del Ruiz y el proyecto binacional de Colombia y Ecuador Tufiño-Chile-Cerro Negro, la cual fue descubierta por instituto ecuatoriano de electrificación (INECEL) en 1978, durante reconocimientos geotérmico. [3] [10] [11] [12]

El proyecto binacional Tufiño-Chile-Cerro Negro inicia su investigación en el año 2010 con la firma de los Gobiernos de Colombia y Ecuador para la exploración de la zonas fronterizas, tal proyecto se encuentra en una etapa de estudio de pre factibilidad que permita realizar una cuantificación de los recursos existentes en la zona y definir los pozos a explorar, su inversión se presupuesta en 6.860.000 US a cargo de ISAGEN por Colombia y CELEP EP por Ecuador, el cual tiene una oposición social en el territorio Colombiano, generado por la poca divulgación a las comunidades de influencia referente a los beneficios y riesgos del proyecto. [3] [10] [11] [12] [13]

2.1.1.2. Volcán Azufra

Esta área geotérmica se encuentra ubicada en la cordillera occidental del suroeste de Colombia, en el departamento de Nariño, cuenta en la cercanía de la ladera del volcán con la ciudad de Tuquerres y una carretera la cual hace que el área tenga buenas características de carácter logístico y de acceso, además de contar con la cercanía de una de las líneas de interconexión eléctrica de Colombia y Ecuador. [3] [10]

En 1982 el área se clasificó como una zona de alta prioridad para el reconocimiento de potencial geotérmico sin embargo los estudios e investigaciones reales iniciaron a finales de la década del noventa bajo la dirección de INGEOMINAS (Hoy el Servicio Geológico Colombiano) bajo mandato del gobierno nacional de la época. Luego tal proyecto tuvo el apoyo del BID, con financiamiento del Fondo Fiduciario del Japón, el cual se encargó de realizar un estudio de pre-factibilidad asignando tal estudio en abril del 2001, mediante una licitación internacional, a la firmas consultoras West Japan Engineering Consultants y Geohazards Consultants International; el cual se canceló sin dar inicio al proceso en el año 2002, debido a problemas de seguridad en la zona y falta de apoyo de autoridades locales, por tanto INGEOMINAS siguió la investigación en el área, completando la cartografía en 2003 y realizando la exploración geotérmica en 2006. [3] [10] [14]

Por otro lado se debe tener en cuenta que tal zona se encuentra en área de influencia de cinco reservas indígenas, las cuales consideran el área del volcán como zona sagrada, el volcán también posee una zona de conservación forestal y reserva natural; lo cual ha llevado a que la población local tenga temor por el posible daño a los ecosistemas, expropiación de territorios, explotación sin control, pérdida de tradiciones ancestrales de la comunidad indígena, causando todo eso; la oposición a cualquier tipo de avance sobre el proyecto. [3] [10]

2.1.1.3. Nevado del Ruiz

Este proyecto se encuentra ubicado en la cordillera occidental de Colombia, en el cual se encuentra además del Nevado del Ruiz, otros centros volcánicos importantes como Cerro Bravo, Santo Domingo, Santa Rosa de Cabal, El bosque, Nevado del Tolima, Cerro Machín el cual componen unas 100 manifestaciones termales, las cuales componen un tercio de toda Colombia. Estas manifestaciones en el Nevado del Ruiz se dividen en tres diferentes grupos denominadas por: Sector Nororiente, Sector Suroccidental y Sector Occidental en donde en esta última se encuentran fuentes termales con aguas cloruradas de alta temperatura. [3] [10]

La zona del Nevado del Ruiz es la más estudiada y conocida de Colombia en cuanto a fuentes geotérmicas, hallando que la ciudad de Manizales es la más cercana a la fuente de potencial geotérmica, originando las primeras investigaciones en el año de 1968 por la empresa CHEC quien contrato al ente Nacional de Electricidad de Italia que realizo un estudio de reconocimiento geotérmico del sector identificando zonas de interés y generando recomendaciones para la continuación de exploración, finalizando el estudio de pre-factibilidad por CHEC quince años después el cual selecciono las zonas de Nereidas, Laguna del Otún y Volcán Machín como prioritaria para realizar perforación exploratoria. [3] [15]

Hasta 1992 la empresa consultora mexicana Geocónsul llevó a cabo por cuenta de CHEC una revisión al estudio de pre-factibilidad, además de realizar estudios geológicos de la zona y muestreos geoquímicos con el fin de realizar una perforación exploratoria cosa que se concretó hasta el año de 1997 por Geoenergía Andina S.A. (GESA, subsidiaria de CHEC), el cual en la zona de Nereidas perforo un pozo de 1466 m de profundidad encontrando 200°C, pero sin tener una capa de permeabilidad lo cual llevo a suspender proyecto por CHEC. [3] [14]

En 1997, el Gobierno Nacional entra en escena encargando a INGEOMINAS de realizar las primeras investigaciones geotérmicas del país, lo cual implico el levantamiento de trabajos de investigación en el área del Nevado del Ruiz, lo cual llevo al estudio de la geología del pozo hecho en Nereidas. Actualmente bajo el Servicio Geológico Colombiano se sigue con los programas de investigación en la zona. [3] [16]

Solo hasta el 2009 la empresa EPM ahora con CHEC como subsidiaria retomo las actividades de investigación en las Nereidas, lo que produjo a la contratación de la firma consultora Dewhurst Group LLC para realizar investigaciones socio-ambientales y nuevos estudios geológicos y geofísicos, donde se estimó un potencial de 50 MW, lo cual requiere la perforación de pozos exploratorios profundos para confirmar tal potencial. [3]

Por otro lado desde el 2010, ISAGEN trabaja en dos áreas con extensión total de 350 km² en el flanco septentrional y occidental del Nevado del Ruiz con la característica que las mismas se encuentran fuera de la extensión del Parque Nacional Natural de Los Nevados, abarcando también la zona de la Nereidas, en la cual ISAGEN logro avanzar con la perforación de tres pozos de gradiente a 300 m de profundidad y culminó con la elaboración de un estudio de pre-factibilidad del campo geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz, el cual se completó con la colaboración del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la empresa consultora Nippon Koei, dejando el proyecto en fase de

evaluación ambiental y preparación para la perforación de cinco nuevos pozos exploratorios. [1] [3] [10] [14] [17]

En 2015, ISAGEN junto con la empresa japonesa Toshiba, firman un acuerdo para desarrollar un proyecto con instalación de planta geotermo-eléctrica de 50MW, la cual se prevé que pueda entrar en operación. [1] [3] [14] [15]

2.1.1.4. Paipa

Tal proyecto se encuentra ubicado en el área de interés de la región RAP-E por tal razón se dará una explicación detallada del mismo en los capítulos destinados a la región.

2.1.2. Demanda nacional de energía eléctrica

En el país no existe generación de energía eléctrica con gran demanda basada en la utilización de recursos geotérmicos, sin embargo en los últimos años se evidencia un crecimiento y desarrollo de proyectos en etapa de pre-factibilidad, que buscan satisfacer la demanda de ciertas regiones con 188 MW de capacidad eléctrica, tal información debe considerarse de tipo informativa ya que los proyectos y estudios no se han llevado a una fase detallada para determinar realmente el potencial geotérmico y la demanda que pueda satisfacer, sin embargo se considera que al 2030 la generación geotérmica podría encontrarse aportando a la demanda eléctrica en Colombia con 16,635 GWh/año con una carga instalada de 2.110 MW. [2]

Estimación de Capacidad Instalada y Demanda Satisfecha por FNCER para el año 2030			
Tecnología	GWh/año	MW	Factor de Planta
Eólica	81.216	24,800	37%
Fotovoltaica	N/A	N/A	16%
Geotérmica	16.635	2.110	90%
Biomasa (Bagazo de Caña)	32.980	5.540	68%
Biogás (Palma de Aceite)	4.448	1.410	36%

Tabla 1 Estimación de Capacidad Instalada y Demanda Satisfecha por FNCER para el año 2030. [2]

2.1.3. Rentabilidad Proyecto Geotérmico

Un proyecto geotérmico tiene como gran limitación, condiciones específicas a considerar y que generan variación en el análisis rentable del proyecto; las condiciones geológicas del recurso, su ubicación, la posibilidad de interconexión con la red, capacitación de trabajadores, infraestructura interna y externa, entre otros factores hacen que se tenga que considerar en cada proyecto de diversas formas. [2] [14]

En casos de proyectos geotérmicos encontramos que en las etapas de exploración, en busca de un buen potencial geotérmico se evidencia como las compañías desarrolladoras de tales proyectos no cuentan con ningún ingreso económico en un periodo extendido de tiempo, en el cual no se genera electricidad, pero si requiere de

uso de recursos técnicos y de infraestructura para el estudio y la consideración de la explotación geotérmica en una determinada zona en la cual se pueden obtener tiempos hasta de 8 años para el adecuado desarrollo del proyecto. [1] [2] [14] [18]

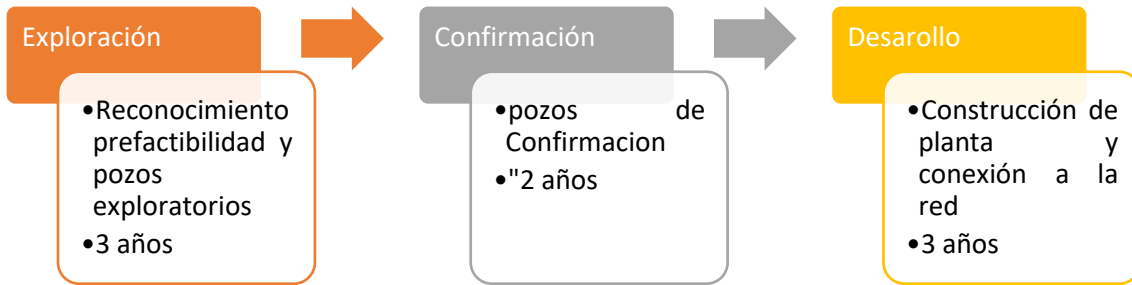


Figura 4 Fase para Desarrollo de un Proyecto Geotérmico. [2] [4]

Se tiene por ende, que respecto al costo total para el desarrollo de un proyecto geotérmico un 6 al 8% del mismo correspondiente a la etapa de confirmación y exploración, en donde como se menciona anteriormente no se obtendrá ningún tipo de ingreso económico ni incentivo, los cuales se afrontan en la fase inicial y no garantizan que los mismos arrojen un factibilidad positiva, ya que no necesariamente todos los pozos geotérmicos cuentan con un potencial adecuado para su explotación teniendo una tasa de referencia de 50%, la cual implica para la implementación del proyecto la generación de elementos de riesgo. [2] [4] [19]

COSTOS PARA DESARROLLO DE UN PROYECTO GEOTÉRMICO



Figura 5 Costos para Desarrollo de un Proyecto Geotérmico. [2] [4]

Costo USD/MW	Eólica	Solar Comercial	Solar Residencial	Solar Gran Escala	Biomasa	Biogás	Geotermia
Equipo de Generación	1.413.322	2.854.358	3.974.963	2.734.692	617	378	5.155.000
Balance	184.158	855.403	1.005.802	732.779	529	1.764	-

Costo USD/MW	Eólica	Solar Comercial	Solar Residencial	Solar Gran Escala	Biomasa	Biogás	Geotermia
Planta							
Costos de Desarrollo	175.552	-	-	2.788	-	756	-

Tabla 2 Comparativa en Costos de Inversión de Diferentes Tecnologías. [4]

Se tiene en cuenta que en los últimos años la tasa de éxito en fases de exploración y confirmación de pozos geotérmicos ha tenido un incremento promedio debido a la implementación de nuevas y mejores tecnologías. [2] [12] [18]

Otro impacto a tener en cuenta en el análisis rentable de un proyecto geotérmico es el costo de conexión, ya que la ubicación de tal recurso suele encontrarse en zonas aisladas o en lugares de gran impacto y protección ambiental, ya que tales factores no están ligados a la capacidad de generación de la central geotérmico y por el contrario dependen de externalidades como la distancia desde la red a la planta, la distancia de la red a los usuarios en caso de proyectos no interconectados a la red, la distribución geográfica de la zona, ubicación de equipos, permisos ambientales. [2] [4] [14] [12]

Costo de Conexión	USD/MW
Proyectos Solares FV (gran escala)	200.000
Proyectos eólicos	300.000
Proyectos con biomasa	200.000
Proyectos geotérmicos	250.000

Tabla 3 Comparativa en Costos de Conexión de Diferentes Tecnologías. [4]

Sin embargo se tiene en cuenta en las centrales geotérmicas ventajas como la no dependencia climática, la cual hace que disminuyan impactos como los producidos por el fenómeno del niño, la disponibilidad del recurso en épocas de sequía, la eficiencia de sus plantas las cuales se mantienen por un periodo amplio de tiempo y una vez inicia la disminución de eficiencia puede generarse pozos secundarios para mitigar tal impacto. [2] [18]

Por ende los proyectos geotérmicos en condiciones favorables, se calculan con una tasa interna de retorno (TIR) estimada en un 3,5% en Colombia, incluyendo los beneficios generados por la ley 1715 de 2014, lo cual no es suficiente contra el coste promedio ponderado del capital WACC del 7.9%, arrojando como resultado que este tipo de proyectos no sean rentables, lo cual es necesario la aplicación de estrategias para la reducción del coste de tales proyectos especialmente en etapas exploración y conexión además de necesitar inversión e incentivos externos para contar con una rentabilidad positiva. [2] [12]

Tecnología	Rentable Sin Incentivos	Rentable Con Incentivos	Rentable Con Externalidades	Aspectos a Tener en Cuenta
Eólica	No	Depende de los aspectos a	Si	Velocidad del Viento.

Tecnología	Rentable Sin Incentivos	Rentable Con Incentivos	Rentable Con Externalidades	Aspectos a Tener en Cuenta
		tener en cuenta		Costo de Conexión.
Solar Residencial	No	Depende de los aspectos a tener en cuenta	Si	Precio de Compra de Energía.
Solar a Gran Escala	No	No	Si	Costo Conexión. Precio de Energía.
Geotérmica	No	No	Si	Exploración y Confirmación. Costo de Conexión
Biomasa	Si	Si	Si	Producción de Calor. Costo de Bagazo. Costo de Instalación.
Biogás	No	Si	Si	Producción de Calor Costo de tratamiento de POME. Costo de Instalación.

Tabla 4 Comparativa Rentabilidad Diferentes Tecnologías. [2]

En resumen, las implicaciones que tiene la generación geotérmica se pueden dividir en tres grandes categorías (ambientales, económicas y sociales), estas se analizan porque muchas no son cuantitativas, pero si significativas. A continuación se enumeran las más importantes: [20]

Ambiental: [20]

- Reducción de la contaminación producida en los ciclos de generación de energía eléctrica Reducción de desechos.
- Impacto ambiental mínimo.
- Uso de energía renovable
- El consumo de agua es menor que el de otros generadores.
- Se puede tener escapes de gases, como el dióxido de azufre que es contaminante por ende es necesario tomar precauciones.
- Altos niveles de ruidos por el tipo de tecnología que se usan.

Económicos: [20]

- Reducción de costos directos y de externalidades negativas.
- Genera ingresos por venta de bonos por reducción de gases de efecto invernadero
- Ingresos por la venta de energía.
- Los precios de la energía no están relacionados con los precios del petróleo que son muy volátiles.
- Los costos iniciales son los más relevantes por lo elevados, pero los de operación y mantenimiento son menores.
- Producción constante en el tiempo y con alto grado de uso

Social: [20]

- Crea nuevas fuentes de empleo.
- El precio de la energía para los usuarios finales es menor.
- Se puede ubicar en zonas de poca accesibilidad y olvidadas.
- Cambios culturales debido a la llegada de nuevas personas y tecnologías.

Por otro lado las especificaciones que se deben tener en cuenta para obtener una rentabilidad del proyecto se pueden consolidar en: [20]

- Evaluar el recurso geotérmico. [20]
- Cumplir las diferentes normas de acuerdo a la ley respecto al cuidado y protección de las zonas naturales de Colombia, debido a que el proyecto se encuentra cerca de una zona protegida. Además que contribuya con un medio ambiente más sano y más limpio Evaluar que la recuperación de la inversión se obtenga dentro del tiempo de vida del proyecto y que sea financieramente viable para un inversionista privado. [20]
- Buscar el mínimo impacto social para no modificar considerablemente el estilo de vida de los nativos de la región. [20]
- Cumplir con todas las normas legales y de seguridad para evitar que se ponga en riesgo la integridad de la población y la sostenibilidad del proyecto. [20]
- Evaluar que se cuente con la tecnología adecuada para el correcto aprovechamiento del recurso. [20]
- Verificar que se puedan evaluar diferentes puntos que son relevantes en la generación con fuentes de energía no convencionales. [20]
- El proyecto deberá concluir si es viable la construcción de una generadora geotérmica. Considerar el recurso geotérmico como una fuente agotable sino se hace un proyecto que sea sostenible. [20]
- Considerar externalidades como que el recurso se agote en un tiempo menor al esperado. [20]
- Tener en cuenta que este recurso natural tiene un costo debido a su extracción, y uso. [20]

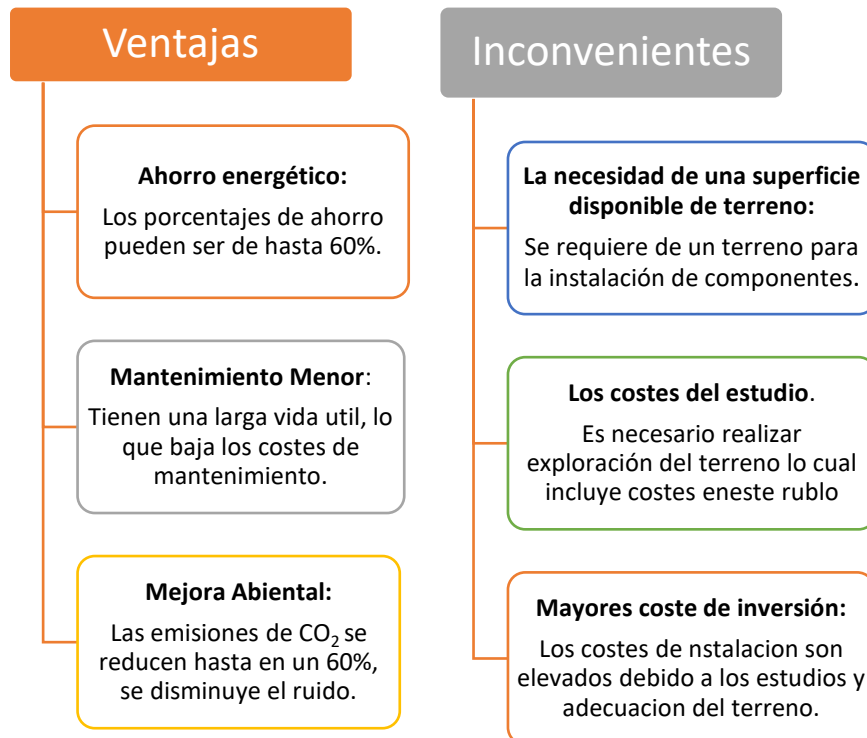


Figura 6 Ventajas vs inconvenientes de implementación de energías Geotérmicas. [21]

2.1.4. Tecnologías

En los procesos de generación geotérmica es posible observar el uso de cinco tipos de tecnologías como estándar en la implementación de proyectos geotérmicos, los cuales están acotados a la ubicación del recurso y su potencial energético; entre las tecnologías que destacan se pueden nombrar: Flash individual, Flash doble, Binaria, Contrapresión y de vapor seco. [5] [6] [22]

TIPO DE TECNOLOGÍAS USADAS EN GENERACIÓN GEOTÉRMICA

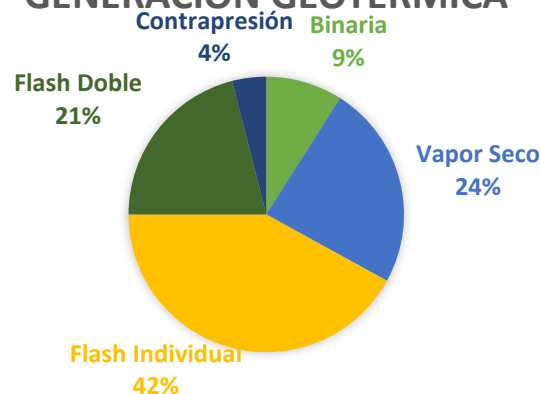


Figura 7 Tipo de Tecnologías Usadas en Generación Geotérmica de acuerdo a la Carga Instalada Mundialmente en Proyectos Geotérmicos al 2010. [6] [22]

Para la implementación de cualquier tipo de tecnología se entiende como un sistema geotérmico al conjunto de elementos naturales que se encuentran en un área específica y del cual se obtienen fluidos geotérmicos compuestos de los siguientes componentes [1] [23]:

- **Fuente de Calor:** Es el medio físico que se encuentra en contacto ya sea con un cuerpo volcánico, una cámara magmática o gases calientes de origen magmático. [1] [23]
- **Reservorio o Yacimiento Geotérmico:** Es la formación de rocas permeables en la cual circula los fluidos geotérmicos el cual puede ser explotado en un proyecto geotérmico. [1] [23]
- **Sistema de Suministro de Agua:** Es el sistema en las rocas que permiten la recarga del reservorio geotérmico remplazando los fluidos que salen en forma de manantiales o a través de pozo de explotación. [1] [23]
- **Capa Sello:** Es el estrato impermeable, producto de la alta temperatura, que cubre el reservorio, lo contiene y evita la pérdida de fluidos geotérmicos. [1] [23]
- **Fluido Geotérmico:** Se denomina así a los fluidos geotérmicos ya se líquidos, en vapor o la combinación de ambos, que se encuentran en el reservorio geotérmico. [1] [23]

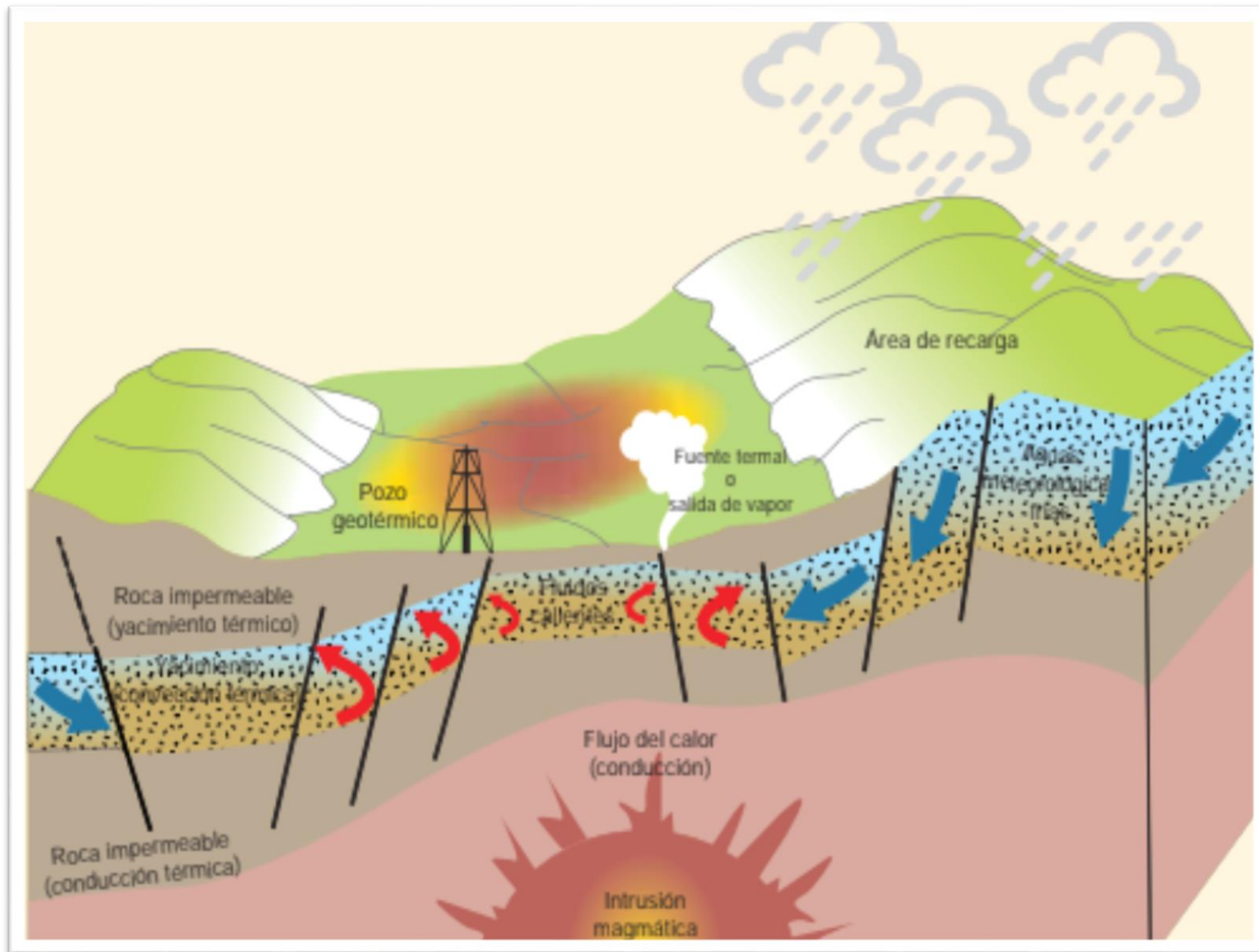


Figura 8 Esquema de un Sistema Geotérmico. [1] [6]



Figura 9 Sistema Geotérmico.[23]

Adicional a tales elementos para la implementación tecnológica se tienen también en cuenta factores que clasifican al recurso geotérmico según su entalpía la cual es la capacidad del recurso de absorber o ceder energía termodinámica y que dependiendo al autor de referencia está clasificadas por ciertos valores: [1] [24]

Clase de Sistema	Muffler y Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Benderitter y Cormy (1990)	Haene. Rybach y Stegena (1998)
Baja entalpía. (Agua termal)	<90° C	<125° C	<100° C	<150° C
Media entalpía (Vapor y agua)	90° a 150° C	125° a 225° C	100° a 200° C	N/A
Alta entalpía (Dominado por vapor seco)	>150° C	> 225° C	>200° C	>150°C

Tabla 5 Clasificación de Recurso Geotérmico según su entalpía. [1]

Las tecnologías geotérmicas realizan la transferencia de calor mediante convección o movimiento de fluidos, estos se extraen y transportan por medio tuberías aisladas térmicamente, y dependiendo de la temperatura, presión generada por la central y el pozo geotérmico, se podrá realizar dicho transporte en una distancia específica, la cual va perdiendo potencia de acuerdo a la distancia de la zona que se quiera aprovechar con los fluidos geotérmicos, idealmente se habla de utilizar generadores eléctricos directamente en la boca del pozo teniendo como limitante que en muchos caso ya sea por infraestructura o zona geológica de explotación tal acción no es posible. [1] [19] [24]

Temperatura	Ubicación Geográfica y Geológica	Uso/ Tecnología
Alta >200°C	Globalmente alrededor de los límites de las placas tectónicas, en zonas calientes y área volcánicas	Generación de energía con tecnología convencional de vapor seco, flash o doble flash
Medio 150-200 °C	En forma global principalmente en geología sedimentaria o adyacente a recursos de alta temperatura.	Generación de energía con centrales eléctrica binarias.
Baja <150°C	Existen en la mayoría de países.	Usos directos como la calefacción, según la tarifa uso de tecnología binaria.

Tabla 6 Uso de Recurso Geotérmico de Acuerdo a la temperatura. [6]

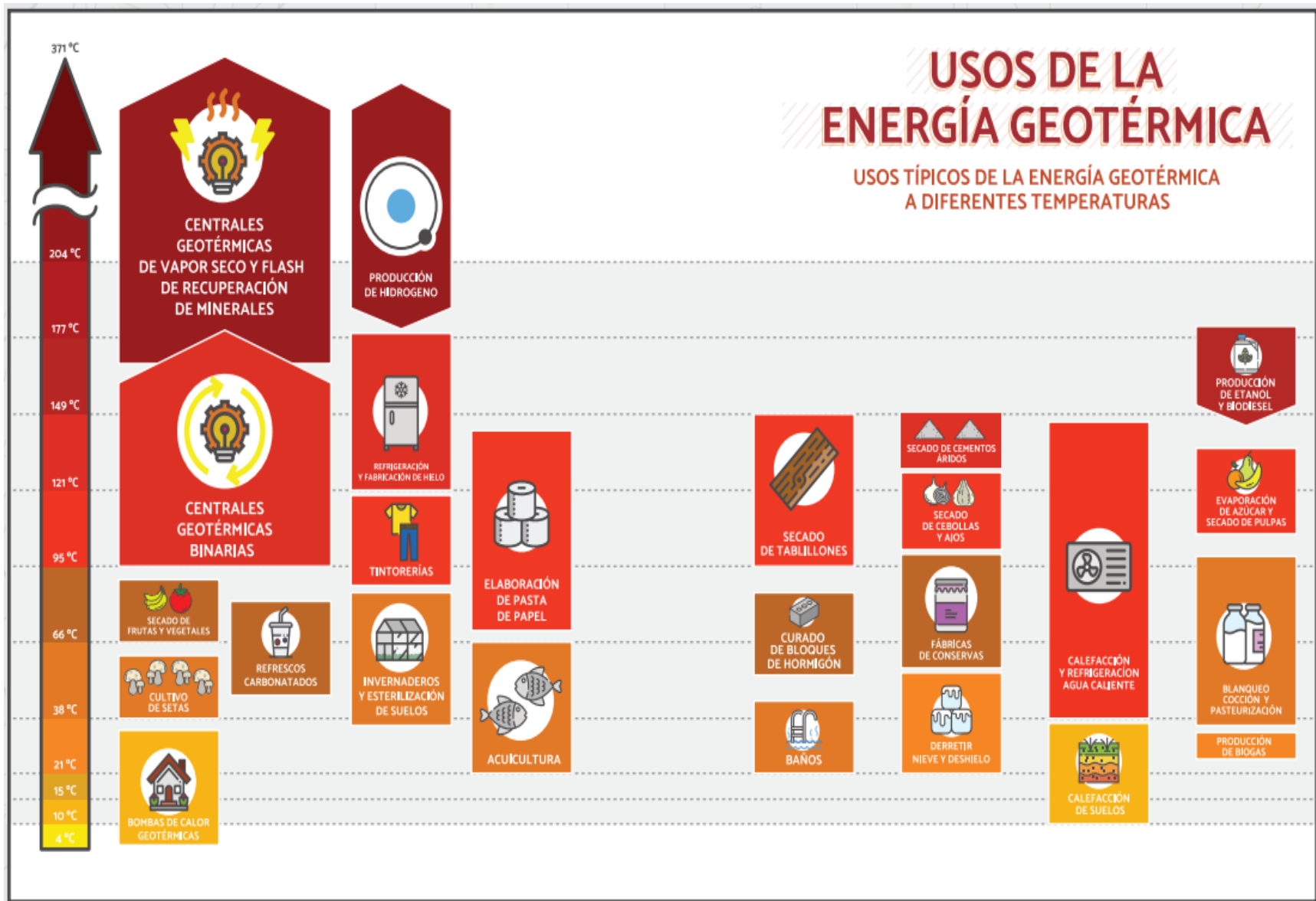


Figura 10 Usos de la Energía Geotérmica a diferentes temperaturas. [23] [24]

2.1.4.1. Centrales Flash Individual o Flash Doble

Tal tecnología está basada en el aprovechamiento de fluidos de agua o vapor a temperaturas superiores de 200°C, utilizándose generalmente en construcción de centrales entre los 25 a 60 MW y teniendo con ello la mayor implementación en proyectos geotérmicos; estas centrales utilizan un pozo que llega al recurso geotérmico en el cual se encuentra una combinación de agua y vapor a alta presión y temperatura, realizando un direccionamiento del vapor por medio de tuberías, siendo dirigido a una turbina que realizará la generación eléctrica, teniendo como resultado una central flash individual; cuando se realiza reinyección de fluidos al pozo a diferentes temperaturas y presiones con el fin de generar más vapor obtenemos una central flash doble. [5] [6] [24]

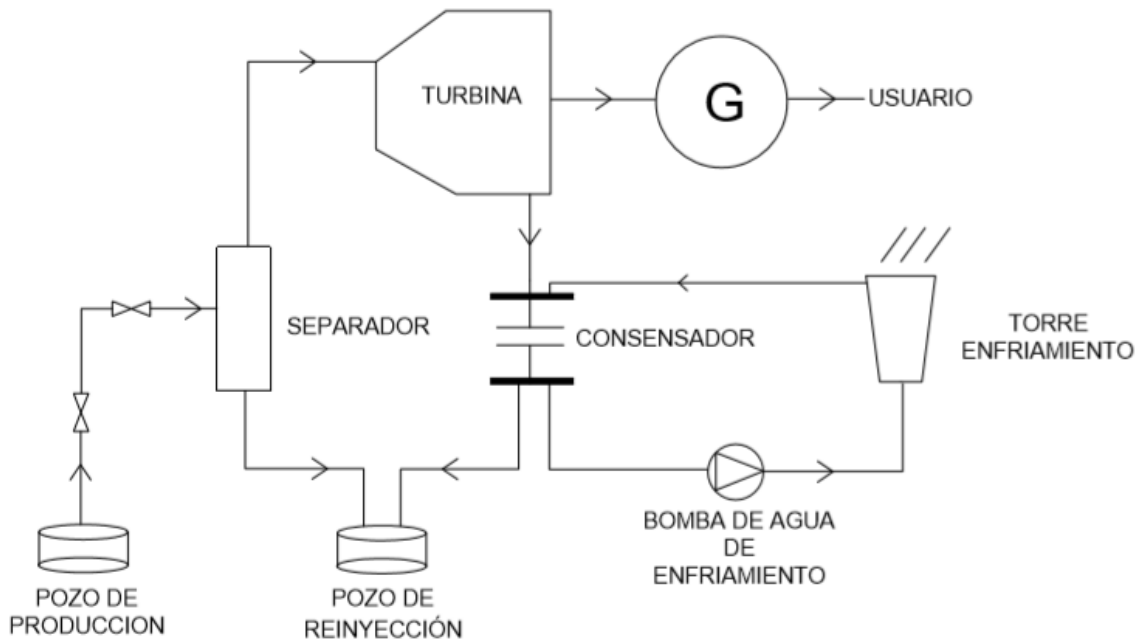


Figura 11 Esquema de planta de generación Flash.[6] [22]

2.1.4.2. Centrales Binarias

Esta tecnología tiene como característica principal el aprovechamiento de recurso geotérmico a baja o media entalpía o por desechos de fluidos generados por otro tipo de centrales geotérmicas, utilizando temperaturas que pueden ir desde los 73°C a los 180°C, siendo construidas generalmente entre los 0.1 a 5 MW, en donde se observa que en gran cantidad de ocasiones estas plantas utilizando fluidos orgánicos secundarios como el pentano o el butano que cuentan con un punto de ebullición bajo y presiones de vapor altas, el cual por medio de intercambiadores de calor se realiza cambios de temperatura del fluido calentándose y vaporizándose para ser utilizado por una turbina que realiza la generación eléctrica, donde una vez pasa por esta se realiza un proceso de enfriamiento para la utilización nuevamente en el ciclo. [5] [6] [22] [24]

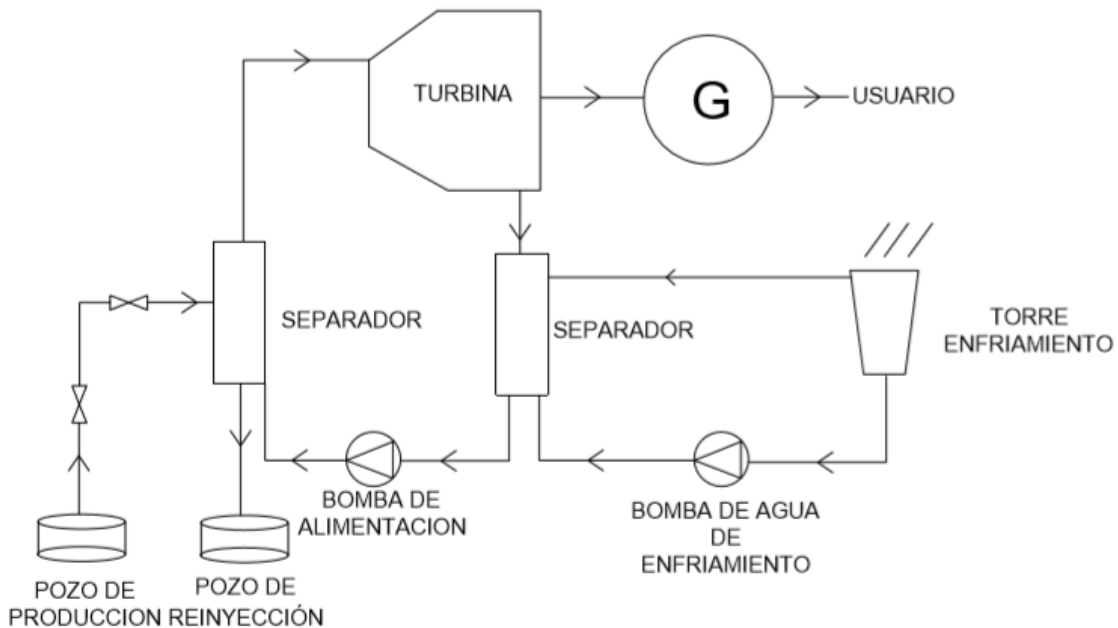


Figura 12 Esquema de planta de generación Binaria. [6] [22]

Adicionalmente se debe tener en cuenta que tales centrales son propicias como unidades secundarias y de reaprovechamiento de otras centrales, ya que al requerir temperaturas de funcionamiento bajas o medias pueden tomar fluidos de desecho o calor residual de una central principal aumentando la eficiencia de una central geotérmica, en la cual solo dependiendo de la rentabilidad económica puede implementarse como unidad secundaria, de igual manera son ampliamente consideradas cuando el área de ubicación del recurso geotérmico se encuentra aislado ayudando así a satisfacer estas áreas. [6] [22] [24]

2.1.4.3. Centrales Vapor Seco

Las centrales de generación geotérmicas a vapor seco se presentan cuando el yacimiento del recurso genera vapor caliente en estado puro sin encontrarse algún fluido, el cual se canaliza y se lleva a una turbina para la generación de energía eléctrica, el funcionamiento de estas centrales es similar al realizado en las de generación flash teniendo como gran diferencia que en esta no hay que realizar la separación de fluidos geotérmicos; por otro lado tales centrales presentan alto grado de eficiencia y su construcción es de gran tamaño además en algunos casos el vapor después de pasar por la etapa de generación eléctrica es condensado y reinyectado en el yacimiento o simplemente utilizado en el enfriamiento de la planta. [5] [6] [22] [24]

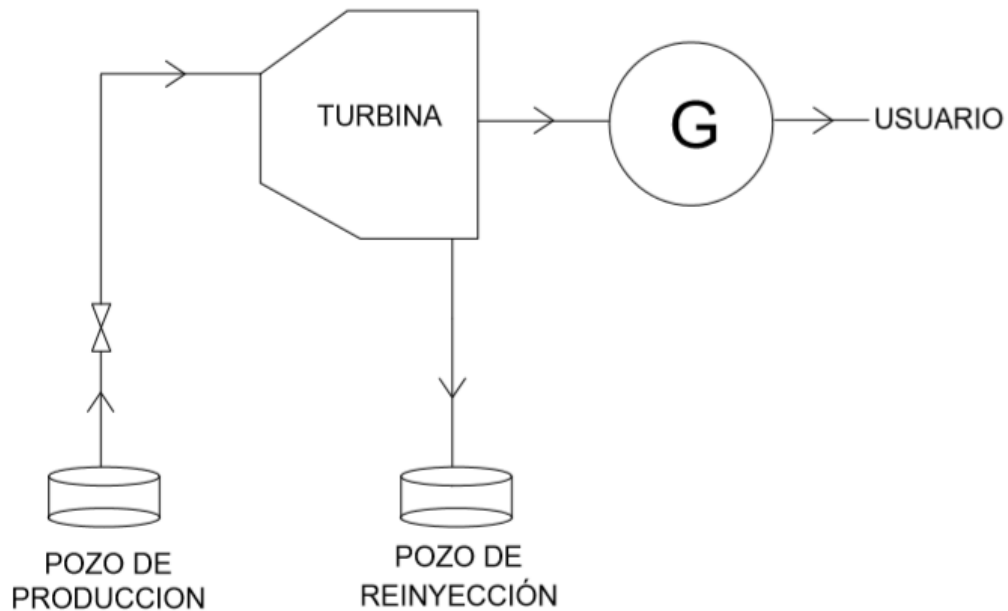


Figura 13 Esquema de planta de generación Vapor Seco. [25]

2.1.4.4. Centrales Contrapresión

Las centrales de contrapresión realizan la expulsión del vapor utilizado directamente a la atmósfera, lo cual hace que tales centrales sean compactas debido a la supresión de partes que componen una central geotérmica convencional (Como Columnas de enfriamiento o directamente el ciclo de reinyección), tales centrales se usan en pruebas y en generación de bocas de pozo debido a la facilidad para su instalación sin embargo son poco eficientes además que progresivamente realizan desgaste del recurso geotérmico al no contar con reinyección al sistema. [6]

2.1.4.5. Pozos Geotérmicos

Los pozos de gradiente geotérmico pueden ser de dos tipos: de diámetro único y telescópico. En estos últimos el diámetro de la tubería se reduce con la profundidad. El diámetro de estas tuberías es inferior a 10 cm en el fondo del agujero, cuya profundidad en general no excede los 500 m. [26] [27]

En el proceso de exploración de un campo geotérmico, los pozos que se perforan suelen conocerse como exploratorios, por otro lado dependiendo de la profundidad de los mismos también se les suele conocer como someros o profundos. [27]

Un pozo de producción geotérmica expulsa líquidos calentados por el calor natural de la tierra. Los fluidos geotérmicos pueden ser de vapor seco o de agua caliente. Los fluidos geotérmicos muy calientes pueden ser utilizados para la generación de energía eléctrica. Los fluidos geotérmicos más "fríos" se destinan a proyectos tales como la calefacción, la acuicultura, el derretimiento de nieve, la elaboración de alimentos, la deshidratación, las tinas calientes y spas. [27]

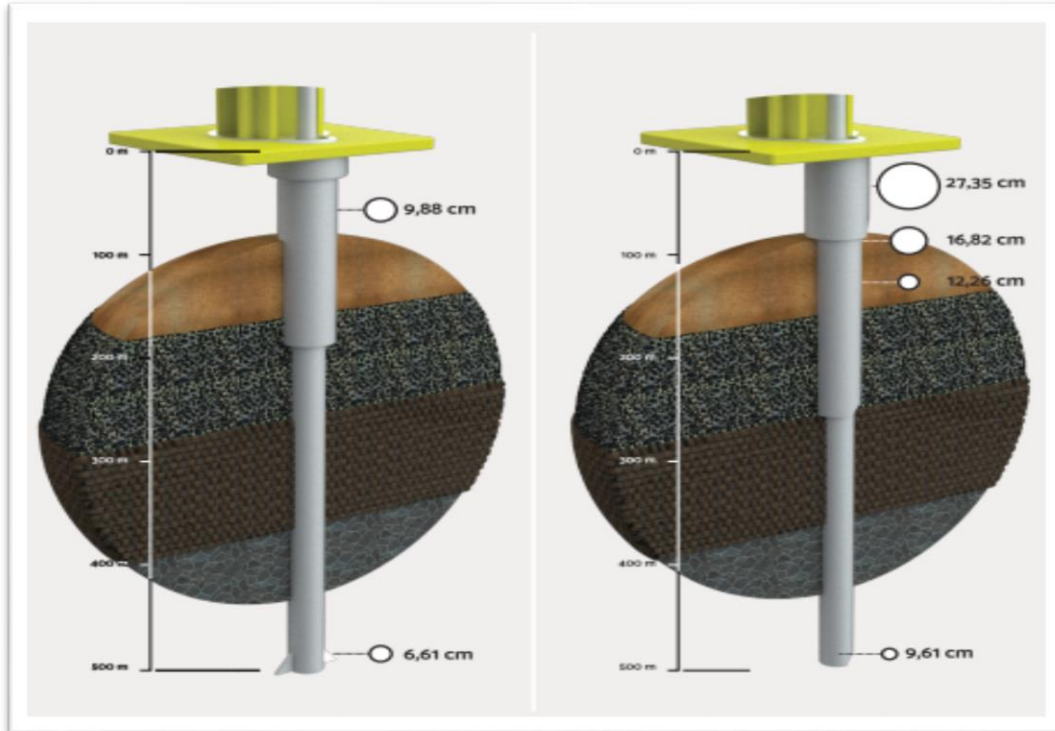


Figura 14 Pozos de Gradiente Geotérmico. [26]

2.2. Avance y proyección

Un paso importante que ha ayudado a la integración de tal tecnología recae en entidades como la UPME, el Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), el Gobierno Nacional y al apoyo de la empresa privada como ISAGEN, encontrando aportes significativos de los cuales es necesario nombrar:

- En la década de los 90's bajo la supervisión del Servicio Geológico Colombiano se realizaron exploraciones en la zona del Nevado del Ruiz, no obtuvieron resultados positivos; sin embargo deja como lecciones aprendidas la estructura y características de la zona y admitiendo con ello la posibilidad abierta de realizar exploraciones futuras en otras zonas. [1]
- La UPME en el plan de expansión de referencia Generación-Trasmisión 2015-2029 se contemplan en los escenarios de largo plazo 10, 11 y 12, la implementación de tal tecnología como complemento a las que se encuentran actualmente en operación. [28]
- En tales escenarios (10,11 y 12) del plan de expansión de referencia Generación-Trasmisión 2015-2029 de la UPME, se tiene previsto la instalación de 50 MW de generación geotérmica. [28]
- La UPME basa tal información teniendo en cuenta la posible implementación del proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico del Ruiz concebido por ISAGEN en el departamento de caldas cuyo estado se encuentra en la fase 1. [29]

- Durante las investigaciones efectuadas en el Macizo Volcánico del Ruiz se realizó la perforación de tres pozos y verificación del potencial geotérmico de la zona. [3]

2.2.1. Proyección de la demanda de energía eléctrica

Para realizar una proyección de energía geotérmica es necesario el cálculo de la cantidad de electricidad que será producida por la planta en su vida útil, teniendo en cuenta la modificación de la energía geotérmica a través del tiempo ya sea por degradación o reestructuración interna del recurso lo cual hace necesario de generar nuevos pozos de remplazo que se adapten a tales condiciones. [2]

En el ámbito geotérmico se tiene proyectado a nivel nacional un solo proyecto de acuerdo a los estudios preliminares realizados por los diferentes organismos, el cual corresponde a :

CANTIDAD DE PROYECTOS GEOTÉRMICOS COLOMBIA						
	Cant	Departamento	Proyecto	Capacidad Prevista [MW]	Estado	Promotor
Colombia	1	CALDAS	Proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico Del Ruiz	50	Fase 1	ISAGEN S.A. E.S.P.

Tabla 7 Proyectos Geotérmicos presupuestados en Colombia. [29]

Tal proyecto refleja un 0,07% de la carga presupuesta que se busca ampliar para en el país.

CANTIDAD DE PROYECTOS SEGÚN EL TIPO DE GENERACIÓN EN COLOMBIA		
	Cantidad	Porcentaje
Solar	769	50,86%
Hidráulico	547	36,18%
Térmico	122	8,07%
Eólico	39	2,58%
Biomasa	33	2,18%
Geotérmico	1	0,07%
Otros	1	0,07%
TOTAL	1512	100,00%

Tabla 8 Proyectos presupuestados en Colombia según el tipo de generación. [29]

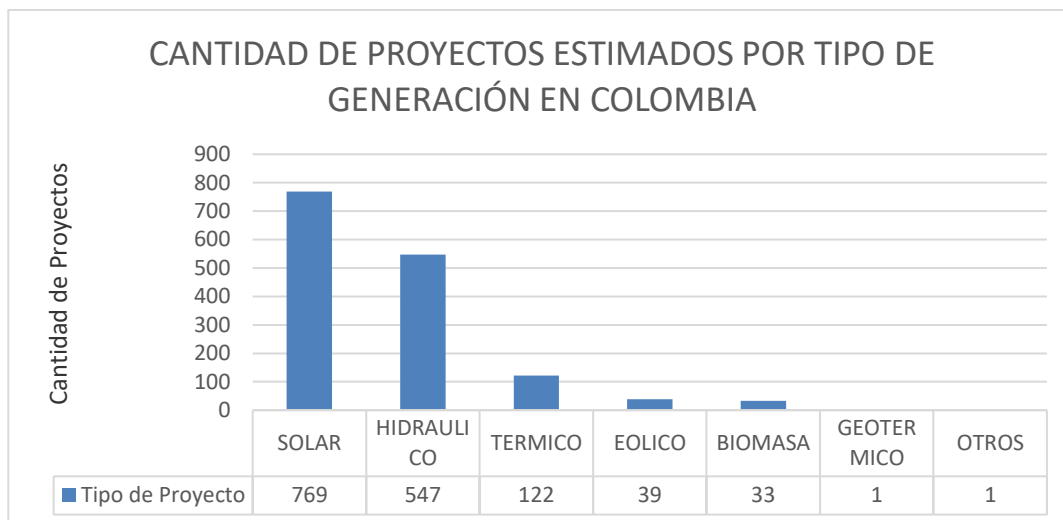


Figura 15 Proyectos presupuestados según el tipo de generación en Colombia. [29]

Durante el estudio del proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico del Nevado del Ruiz, ISAGEN en sus informes de gestión verifica la pre factibilidad para la ejecución del mismo encontrando parámetros a tener en cuenta en los cuales se tiene una inversión del proyecto al 2012 corresponde a 1.347 millones de pesos. [17] [30]

Por otro lado, entidades como el Servicio Geológico Colombiano en sus reportes ha buscado la forma de ampliar las regiones y establecer nuevos planes para dar un panorama más amplio al uso de la energía geotérmica. Si citamos algún ejemplo observamos en la reunión nacional geotérmica efectuada en la ciudad de Manizales del año 2017 buscando la incorporación de nuevas áreas de potencial geotérmico, las cuáles se presentan a continuación en la Tabla 9. [9]

Áreas geotérmicas Convectivas	Estado
Complejo volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín (CVCBCM): Nereidas – Botero Londoño	Pre factibilidad
CVCBCM: Machín	Reconocimiento
CVCBCM: Laguna del Otún	Reconocimiento
CVCBCM: Cerro Bravo	Reconocimiento
CVCBCM: Falla Villamaría – Termales	Reconocimiento
CVCBCM: Santa Rosa – San Vicente	Reconocimiento
Chiles-Cerro Negro	Pre factibilidad
Azufral	Pre factibilidad
Paipa	Pre factibilidad
Galeras	Reconocimiento
Puracé	Reconocimiento
Sotará	Reconocimiento
Doña Juana	Reconocimiento
Huila	Reconocimiento
San Diego	Pre factibilidad temprana
Sibundoy	Sin datos

Tabla 9 Áreas geotérmicas convectivas con potencial geotérmico. [9]

Dentro de sus avances encontramos el levantamiento de un aplicativo web el cual incluye datos sobre fuentes termales, fumarolas y zonas hidrotermales propensas a una posible explotación de recurso geotérmico, lo cual ha arrojado como resultado la identificación de unas aproximadas diez zonas que pueden tener un desarrollo geotérmico, las cuales tienen como característica estar situadas en las zonas de la cordillera andina. [3] [9] [31]

Tales proyectos tienen barreras cruciales para la implementación y materialización de proyectos en el país, principalmente encontramos falta de garantías en uso del recurso y generación de concesiones que permitan una inversión externa y amortigüen los impactos presentes en las etapas iniciales de los proyectos aumentando tales riesgos, requiriendo para su mitigación una inversión de 6 a 8 millones de dólares por pozo los cuales tienen un 20% de probabilidades de explotación efectiva una vez implementado el proyecto. [4]

2.2.2. Estudios que se contemplan en un campo geotérmico

Para el desarrollo de proyectos geotérmicos se deben tener en cuenta ciertos estudios que justifique y verifique el potencial geotérmico de una zona en concreto. [16] [26] tal como se presenta a continuación:

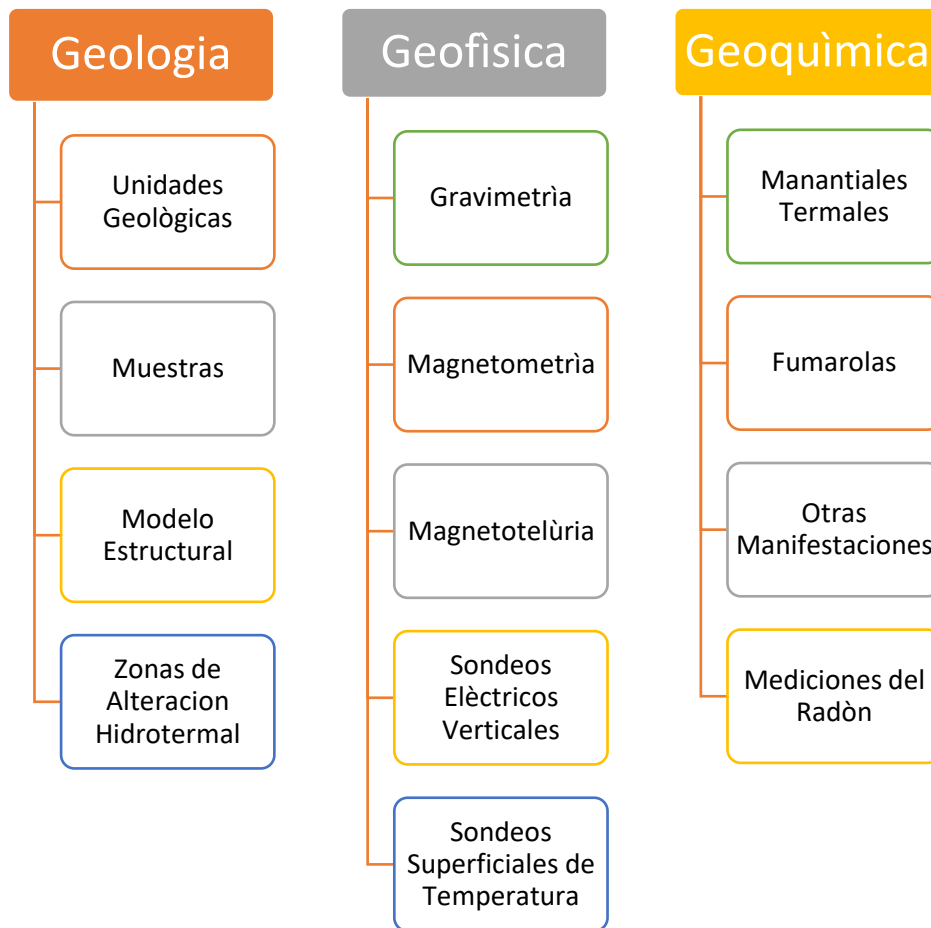


Figura 16 Tipo de datos obtenido por estudio. [32]

2.2.2.1. Estudios geológicos

Tales estudios determinan zonas fracturadas o si en el mismo se presentan alteraciones de origen hidrotermal el cual se realiza en cada una de las etapas del proyecto, inicialmente la misma busca la manifestación de elementos superficiales como manantiales, géiseres, fumarolas, pozos de lodo hirviente, entre otras; y que determinen la posibilidad de existencia de recurso geotérmico. [16] [26]

2.2.2.2. Estudios geofísicos

Estos estudios comprenden informes que determinan la cantidad de elementos presentes detentando la densidad promedio del subsuelo en una zona con potencial geotérmico (Estudios gravimétricos), magnetometrías en donde se miden las alteración del campo magnético de la tierra, termométricos en donde se mide la temperatura de las muestras, sísmicos y de resistividad que ayudan a la detección de las diversas capas de materiales, así como a la posible identificación de su naturaleza, con el fin de determinar la estructura de la zona y las posibles localizaciones del recurso geotérmico además de confinamiento de aguas subterráneas. [16] [26]

2.2.2.3. Estudios geoquímicos

Los estudios geoquímicos abarcan el muestreo de agua y gases de las manifestaciones superficiales (manantiales, géiseres, pozos de lodo, etc.), el cual analiza y estima la temperatura y la composición química de las mismas, en donde ciertos constituyentes pueden tomarse para evaluar probable temperaturas del depósito, como ejemplo el análisis de hidrógeno y oxígeno en aguas geotérmicas es un medio de determinar el origen de dichas aguas, sin embargo ningún método de exploración puede probar la existencia o el tamaño de un depósito geotérmico; solo la perforación de pozos profundos y el ensayo encontrado en el mismo determinan si puede realizarse explotación del recurso. [16] [26]

2.2.3. Tipos de campo geotérmico

Lo sistemas geotérmicos se dividen principalmente en dos clases generales de campo, sin embargo, es necesario tener en cuenta que para el aprovechamiento eléctrico corresponde a sistemas con temperaturas superiores de 200°C, es decir recursos de alta entalpía. [16] [33] [30]

En general, un sistema geotérmico hidrotermal, es decir con agua caliente (porque hay otros sistemas que no la tienen), está conformado por 5 elementos fundamentales: [23]



Figura 17 Elementos que definen un campo Geotérmico Convencional. [23]

2.2.3.1. Sistema dominado por vapor

Un sistema denominado por vapor produce vapor desde saturado hasta ligeramente sobrecalentado, en la cual se encuentran temperaturas de entre los 250°C y presiones de entre 3.000 y 3.500 kPa, en el cual se encuentra un depósito que generalmente se compone de roca fracturada y porosa, además el flujo del pozo puede estar a una profundidad de 1.000 y 2.500 m. [16] [30]

2.2.3.2. Sistema dominado por líquido

Los sistemas dominados por líquido se dividen en dos tipos en los cuales uno de ellos tiene fluidos de elevada entalpía a más de 837 kJ/kg y el otro con baja entalpía a menor cantidad de calor. Esta división es conveniente a la hora de elegir los fluidos útiles para la generación de energía eléctrica; los sistemas de alta entalpía contienen agua con sólidos disueltos las temperaturas de estos sistemas se encuentran entre los 200 y 388°C, los pozos perforados en este tipo de depósito producen una mezcla de agua y vapor utilizando el último para accionar turbinas por medio de separación; mientras que los líquidos de baja entalpía son de propiedades más variables, la temperatura en tales depósitos varía desde unos 10°C sobre la temperatura anual de la zona hasta los 200°C. [16] [33] [30]

2.3. Impacto ambiental

Al tener una tecnología que se desarrolla principalmente en zona de reservas forestales y páramos, el tratamiento de la misma está limitado a las normas y licencias ambientales que se encuentran vigentes en el país relacionadas a estas ubicaciones;

adicional a ello se debe contar con el tema cultural que se tiene de las regiones ya que en algunas zonas encontramos reservas indígenas que tienen una percepción diferente de los recursos naturales. [1]

Observamos en la generación geotérmica una baja contaminación por el tipo de recurso utilizado, se observan en las plantas de generación que estas generan al ambiente emisiones primordialmente compuestas de vapor de agua y en menor proporción de CO₂, en tales plantas de generación no se usan combustibles fósiles ya que el aprovechamiento de la energía viene directamente desde la tierra. Los arranques de las plantas se toman directamente desde la red de energía aunque es necesario tener en cuenta que en zonas remotas y sin acceso de fluido eléctrico se usan motores a Diésel para el accionar de tales maquinas. [1]

Emisión [lb/MWh]	Carbón	Aceite Combustible	Gas Natural	Geotermia
Óxido de Nitrógeno	4,31	4	2,96	0
Dióxido de Azufre	10,39	12	0,22	0,35
Material Particulado	2,23	-	0,14	0

Tabla 10 Emisión de gases contaminantes de acuerdo al uso de distintas tecnologías. [1]

Se realiza de igual forma la acotación que generación de otro tipo de emisiones como ácido sulfhídrico (H₂S), Dióxido de Carbono (CO₂) y en algunos casos mercurio, en las tecnologías de generación geotérmica es muy bajo además de la utilización de técnicas de filtrado y separación, evitando que tales componentes representen problema ambiental. [1] [34] [35]

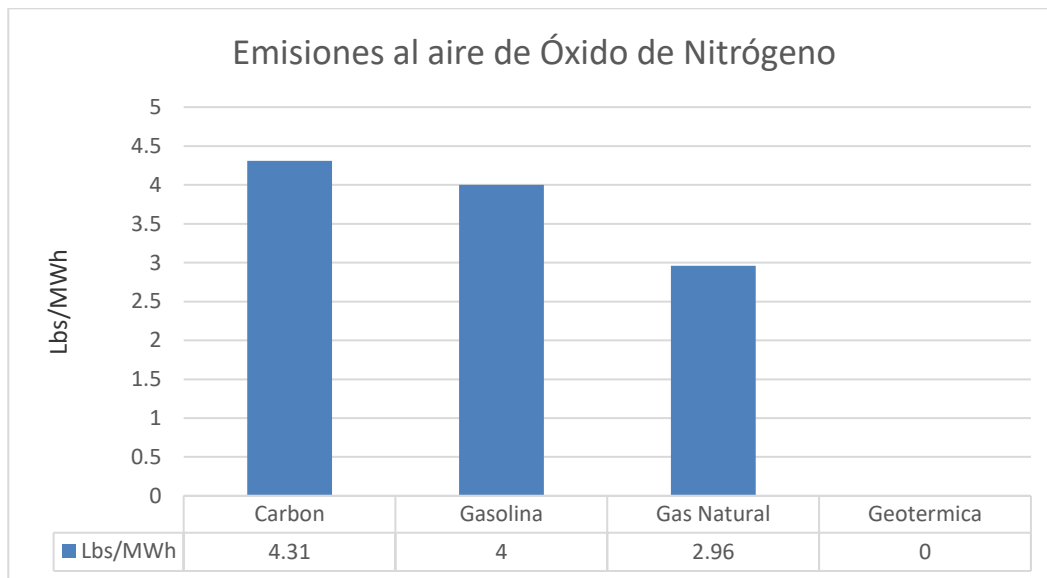


Figura 18 Comparativa de emisiones al aire de gas de Óxido de Nitrógeno. [36]

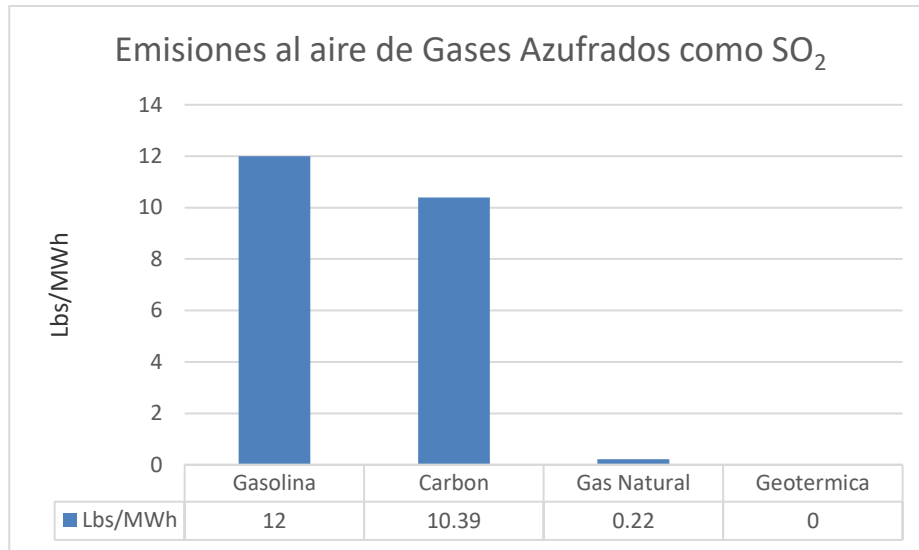


Figura 19 Comparativa de emisiones al aire de gases Azufrados como SO₂. [36]

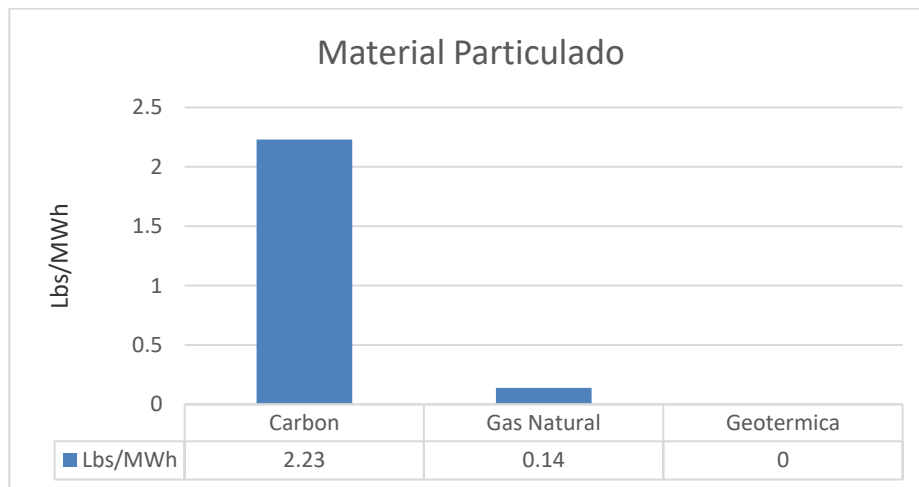


Figura 20 Comparativa de emisiones de material Particulado. [36]

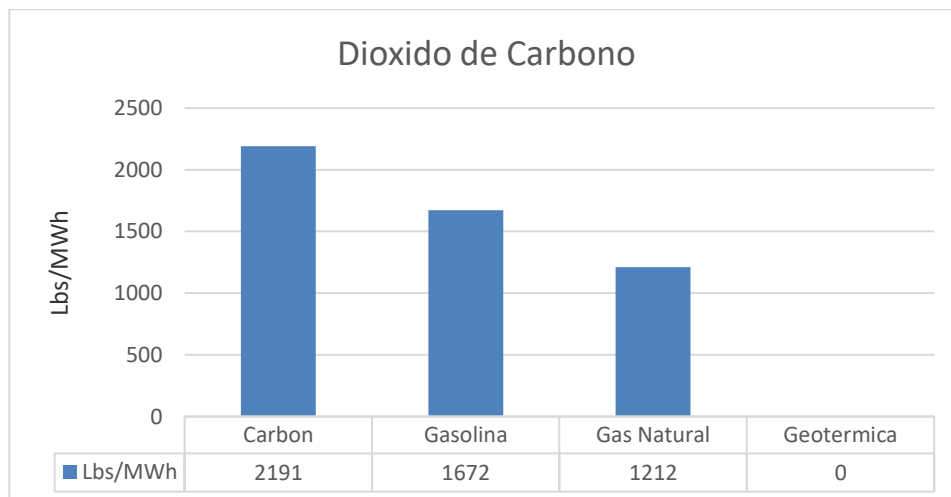


Figura 21 Comparativa de emisiones de Dióxido de Carbono CO₂. [36]

Por el lado de residuos sólidos y líquidos encontramos que las plantas geotérmicas no generan desechos de tal índole, sin embargo, durante las etapas de exploración y perforación se producen lodos, tales sustancias deben tratarse de manera responsable con el fin de evitar la contaminación de acuíferos y reservas de agua subterránea, para ello se utilizan tuberías para el direccionamiento de estos elementos, lo cual genera impactos en hábitats y suelos. [1] [6] [35]

Tecnología	Área requerida (m2/GWh)	Observaciones
Carbón	3,642	Incluye actividad minera.
Solar Térmica	3,561	Proyecto con estación central no en azoteas de edificios.
Solar Fotovoltaica	3,237	Proyecto con estación central no en azoteas de edificios.
Geotérmica	404	Área ocupada por las turbinas y vías de servicio

Tabla 11 Comparativa de área requerida según tipo de tecnología. [1]

2.3.1. Disposición de recursos naturales para la implementación de proyectos

El calor producido por la Tierra es constante y producido principalmente a partir de la descomposición del material radioactivo del planeta, poder utilizar tal potencial es importante debido a que el recurso que lo compone es enorme, prácticamente inextinguible y amigable con el ambiente sin embargo el aprovechamiento del recurso es un tema complejo, debido a las ubicaciones en la que se encuentran principalmente en áreas volcánicas activas, profundidades del océano, regiones montañosas y/o bajo glaciales cubiertas por hielo. [6]

Los recursos geotérmicos colombianos principalmente se sitúan en área de la cordillera de los Andes, el cual de acuerdo a estudios como el generado en el año de 1981 por parte de la Organización Latinoamericana de Energía mostro las zonas del Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima como zonas con alta probabilidad de aprovechamiento geotérmico, complementado con zonas no volcánicas como las del bacín los Llanos, el bacín de Caguan-Putumayo y del valle del Magdalena. [2]

Por otra parte, El código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente establece que la Nación es el encargado de definir y decidir sobre el uso de los recursos geotérmicos, teniendo en consideración su uso para la generación eléctrica, calefacción, uso industrial u otros usos. [3]

2.3.2. Permisos y licencias ambientales

En cuestiones de permisos y licencias Colombia al no tener proyectos ejecutados cuenta con un déficit en la legislación concerniente a concesiones geotérmicas, ni normas específicas para el desarrollo y exploración del recurso; sin embargo el recurso se engloba en el marco jurídico para energías renovable no convencionales. [3]

Los recursos naturales renovables tienen una regulación establecida por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, en el cual se describe al recurso geotérmico como: *“una combinación natural del agua con un*

fuentes calóricas endógenas subterráneas cuyo resultado es la producción espontánea de aguas calientes o de vapores” y de también “fuentes calóricas endógenas subterráneas a las cuales sea posible inyectar agua para producir su calentamiento, o para generar vapor”; además de ello el código define como recursos geotérmicos a los fluidos termales *“que afloran naturalmente o por obra humana con temperatura superior a 80 grados centígrados o a la que la ley fije como límite en casos especiales”*, mientras las aguas que no se encuentren en este rango de temperatura solo serán consideradas como “aguas termales”. [3] [37] [38]

El uso del recurso geotérmico será otorgado por la nación por medio de concesiones bajo condiciones establecidas en el código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, adicionalmente es necesario tener en cuenta que la geotermia como recurso natural en el país está ligado al uso de aguas y uso de suelo las cuales también debe generarse una concesión de tales recursos para el aprovechamiento geotérmico. [3] [37] [38]

Otro documento de importancia legal a tener en cuenta para el aprovechamiento de recursos geotérmico es la Ley 697 de 2001 la cual fomenta el uso racional y eficiente de la energía, además de realizar promoción al uso de energías alternativas, declarando en tal el uso eficiente y racional de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, que con ello brinde abastecimiento energético, competitividad en la economía colombiana, protección al consumidor y promover el uso sostenible energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales, mediante la cual el Ministerio de Minas y Energía tiene la responsabilidad de promover organizar además de garantizar el desarrollo de formas de energía no convencionales. [3] [37] [38] [39]

Bajo tal marco jurídico el Ministerio de Minas y Energía faculta a la Unidad de Planificación Minera y Energética (UPME) de tal manera que la misma en el año 2010 establece un plan de desarrollo de fuentes no convencionales de energía en Colombia y en donde se establece e para los recursos geotérmicos metas para completar estudios de pre-factibilidad en áreas geotérmicas prioritarias como los son: El volcán Azufral, Tufiño-Chiles-Cerro Negro y Paipa-Iza, además de empezar a generar regulaciones necesarias para la explotación del recurso geotérmico. [3]

2.3.3. Incentivos tributarios, arancelarios y contables

Respecto a incentivos tributarios, aranceles y contables, amparada por la ley 1715 de 2014, el gobierno nacional promueve el desarrollo y uso de fuentes no convencionales de energía, en mayor medida aquellas que protejan al medio ambiente y sean renovables, realizando con ello una integración al sector energético, promoviendo el uso eficiente de la energía. Tal ley permite la participación de todos los sectores tanto públicos o privados que puedan brindar una solución brindando a tales organismos incentivos que serán regulados por la CREG, mediante métodos de medición bidireccional con el fin de verificar la cantidad de excedentes eléctricos generados por el generador y entregados a la red de distribución. [8] [40] [41]

Cuando se realice generación a baja escala se permitirán sistemas de medición bidireccional de bajo costo para verificación de consumo y entrega a la red eléctrica. La

venta de energía por parte de generadores distribuidos será regulada por la CREG conforme a los principios establecidos en las Leyes 142 y 143 de 1994 además de todos los lineamientos que expida el Ministerio de Minas y Energía. [40] [42]

LA UPME mediante programas de divulgación se encargará de informar al público los requisitos, beneficios y procedimientos para la implementación de soluciones a pequeña escala, además de manera focalizada realizará las respectivas investigaciones de zonas donde se pueda realizar tales implementaciones y divulgará al público en general tales investigaciones, bajo guías técnicas y financieras. [40] [42]

El financiamiento de los proyectos que implementen fuentes de energía no convencionales será brindado por el Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, de los cuales los recursos saldrán de la Nación o de entidades tanto públicas como privadas, así como de entes multilaterales o internacionales. Dicho fondo será reglamentado por el Ministerio de Minas y Energía y será administrado por una fiducia asignada por la entidad, de acuerdo a las consideraciones del fondo este podrá financiar de manera parcial o total a los programas que sean dirigidos a estratos 1,2 y 3, lo cuales deben cumplir con una evaluación de costo-beneficio. [40] [42]

Por otro lado, como incentivos los obligados a declarar renta que realicen investigación, desarrollo e inversión para la utilización de fuentes de energía no convencionales tendrán el derecho a la reducción anual de su renta, por los 5 años siguientes a los que se haya realizado la inversión del 50% del valor total de la inversión realizada; el valor a deducir jamás podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión. [40] [42]

Para la obtención de tal incentivo el inversor debe adicionalmente obtener la certificación de beneficio ambiental expedida por el Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en concordancia con lo establecido en el artículo 158-2 del Estatuto tributario. [40]

Por parte de los equipos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen en la utilización de fuentes de energía no convencionales, así como en su medición y estudios estarán excluidos de, para tal aplicación a tal incentivo de igual manera el Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible certificara los equipos y servicios que serán excluidos de tal gravamen, basándose en una lista que es expedida por la UPME. [40] [41] [42]

Las personas naturales y jurídicas que sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de fuentes de energía no convencionales se les brindaran la exención del pago de los Derechos Arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos de proyectos con dichas fuentes si tales elementos no son producidos por la industria nacional y solo si los mismos requieren de importación. Para la aplicación de tal exención se debe solicitar a la DIAN en un mínimo de 15 días hábiles antes de la importación de la maquinaria, equipos, materiales e insumos necesarios para los proyectos de fuentes de energía no convencionales siendo avalada tal documentación con la certificación emitida por el Ministerio de Minas y Energía. [40] [42]

La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que

sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin, a partir de la vigencia de la Ley 1715 de 2014. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación no podrá ser mayor al veinte por ciento (20%) como tasa global anual. La tasa podrá ser variada anualmente por el titular del proyecto, previa comunicación a la DIAN, sin exceder el límite señalado del veinte por ciento (20%), excepto en los casos en que la ley autorice porcentajes globales mayores. [40] [42]

Norma	Incentivo	Duración	Monto	Limites
Artículo 11 Ley 1715 de 2014	Tributario. Las inversiones	Durante los 5 años siguientes al año gravable en el que se realizó la inversión.	50% valor de la inversión realizada.	En ningún caso el valor a deducir podrá ser superior al 50% de la renta líquida antes de restar la deducción. Certificación beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Artículo 158-2 ET	Tributario. El valor de las inversiones realizadas durante el año gravable en bienes, equipos o maquinaria destinados a proyectos, programas o actividades de ahorro de energía y/o eficiencia energética	Durante el año que se realizan las inversiones.	100% de la inversión realizada.	En ningún caso podrá ser superior al veinte por ciento (20%) de la renta líquida antes de restar la deducción. Certificación beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Artículo 12 Ley 1715 de 2014	Tributario. Los equipos, elementos y maquinaria nacional o importada, así como los servicios que se destinen para pre inversión o inversión, producción o utilización de FNCE, así como para la evaluación y medición de los potenciales recursos están excluidos del IVA.	No aplica.	No aplica.	Certificación de Min Ambiente con base en listado de la UPME.
Artículo 13 Ley 1715 de 2014	Arancelario. Los titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos FNCE gozarán de exención pago de derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados para pre inversión e inversión de FNCE.	No aplica.	No aplica.	El beneficio es aplicable sobre aquellos elementos no producidos en el país. Se debe solicitar a la DIAN 15 días antes de importación, según certificado Min ambiente.

Norma	Incentivo	Duración	Monto	Limites
Artículo 14 Ley 1715 de 2014	Tributario. Régimen de depreciación acelerada sobre maquinaria, equipos y obras civiles asociados a la construcción o adquisición de FNCE.	No aplica.	No aplica.	Solo asociado a las fases de pre inversión, inversión y operación. La tasa anual de depreciación no podrá ser mayor a 20%.
Artículo 207-2 ET	Tributario. Se considera venta exenta del impuesto de renta, la venta de energía eléctrica generada con recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas	Por un término de 15 años.	No aplica.	1) Realizada únicamente por empresas generadoras 2) Tramitar, obtener y vender certificados de emisión de bióxido de carbono, de acuerdo con los términos del Protocolo de Kioto. 3) Al menos el cincuenta por ciento (50%) de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados sean invertidos en obras de beneficio social en la región donde opera el generador

Tabla 12 Resumen de incentivos por el uso de FNCE. [2] [40] [42]

El ICETEX por otro lado beneficiara a estudiantes con otorgamientos de préstamos para el estudio de carreras o especializaciones orientados al uso racional de la energía. [39] [43]

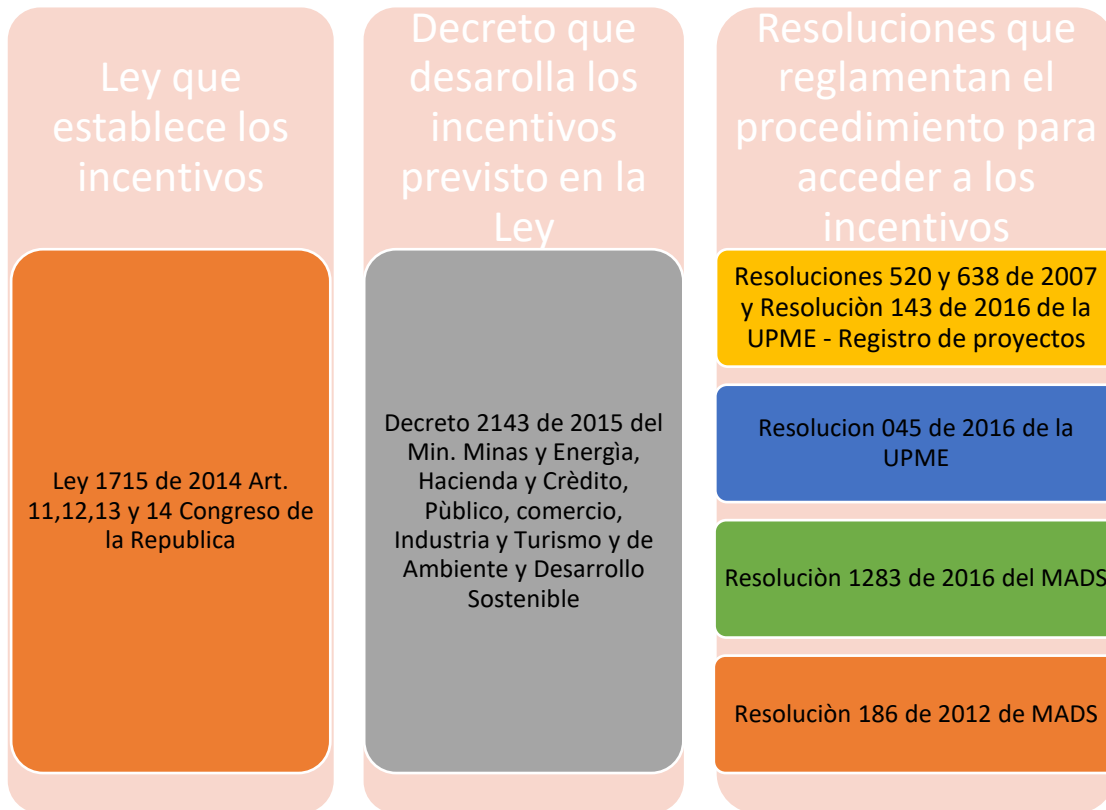


Figura 22 Normas que realizan la regulación de los incentivos en Colombia. [44]

2.3.4. Beneficios ambientales

Al encontrar en Colombia una generación eléctrica principalmente basada en recursos hidroeléctricos se han encontrado estudios demostrando que el llenado de los embalses necesarios para la aprovechamiento del recurso generan emisiones de metano (CH₄) y en algunas ocasiones de dióxido de carbono (CO₂), ya que el material vegetal y/o animal que queda una vez se inunda el terreno inicia un proceso de descomposición, liberando desde el fondo del embalse a la superficie tales gases que se integran con la atmósfera, agregando el hecho que el movimiento de las turbinas de la central de generación produce un fuerte movimiento y liberación de estos gases la cual tienen un impacto grande como fuente de gases de efecto invernadero. [2] [45]

Por ende, es posible determinar cómo beneficios ambientales para la energía geotérmicos los siguientes:

- Minimiza la dependencia energética.
- Es una energía perfecta para el uso residencial.
- Es respetuosa con el ambiente

3. Panorama a nivel región central

3.1. Actual y en vigencia *Distrito Capital*

En relación con el Distrito Capital, el servicio geológico colombiano durante su proceso de actualización de información y verificación de información referente al recurso geotérmico se ha encargado de realizar el levantamiento de un inventario con las manifestaciones geotérmicas de la región de Distrito Capital, el cual puede ser consultado por su visor, y con ello teniendo un énfasis específico en las manifestaciones geotermiales con el fin de generar recursos para: la generación de tecnologías y metodologías de explotación del recurso, la vigilancia en actividad volcánica, el estudio de microorganismos y el estudio de tectónico de la zona. Esta ayuda tiene como objetivo para el servicio geológico colombiano ser compartido a la ciudadanía y promover la investigación del recurso. [31]

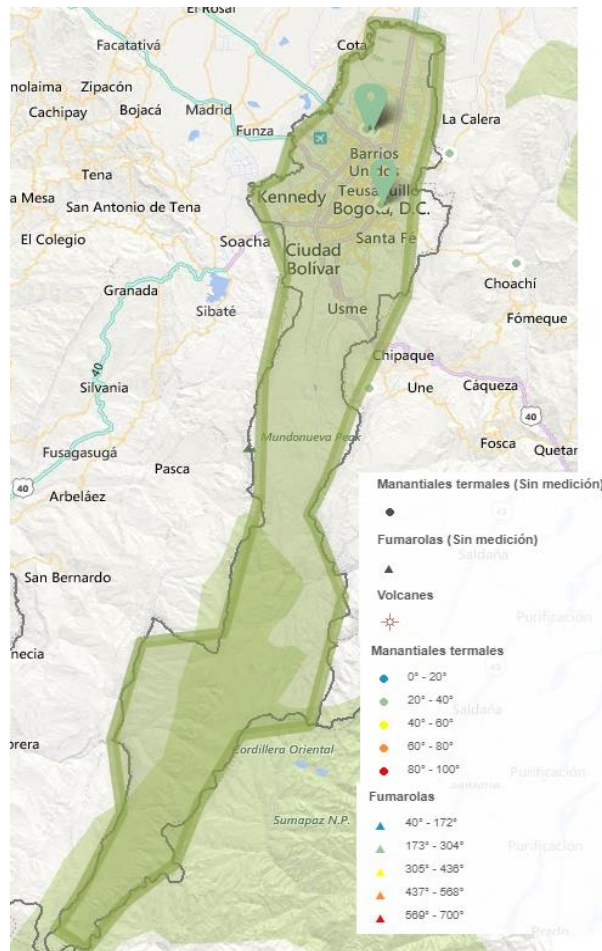


Figura 23 Inventario manifestaciones geotermiales Distrito Capital (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales). [31]

3.2. Actual y en vigencia *Cundinamarca*

El servicio geológico colombiano durante su proceso de actualización de información y verificación de información referente al recurso geotérmico se ha encargado de realizar

el levantamiento de un inventario con las manifestaciones geotérmicas de la región de Cundinamarca, el cual puede ser consultado por su visor, y con ello teniendo un énfasis específico en las manifestaciones geotermales con el fin de generar recursos para: la generación de tecnologías y metodologías de explotación del recurso, la vigilancia en actividad volcánica, el estudio de microorganismos y el estudio de tectónico de la zona. Esta ayuda tiene como objetivo para el servicio geológico colombiano ser compartido a la ciudadanía y promover la investigación del recurso. [31] tal como se expresa en las siguientes graficas:

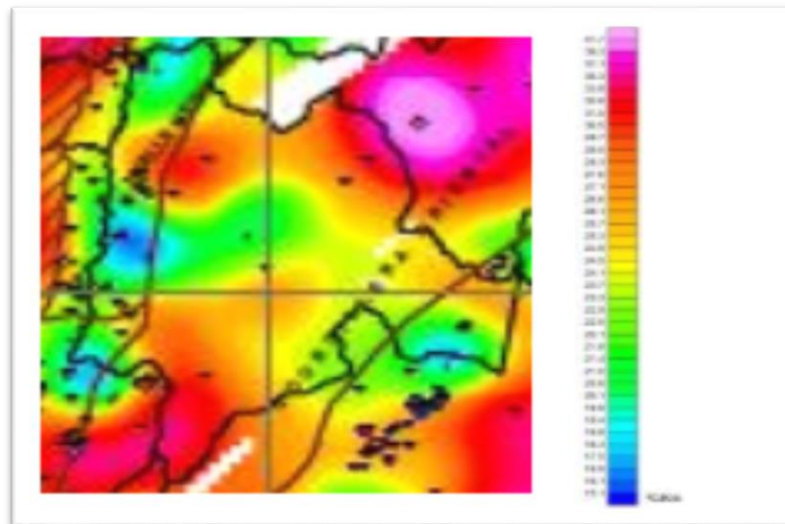


Figura 24 Gradiente Geotérmico de Cundinamarca. [1] [9]

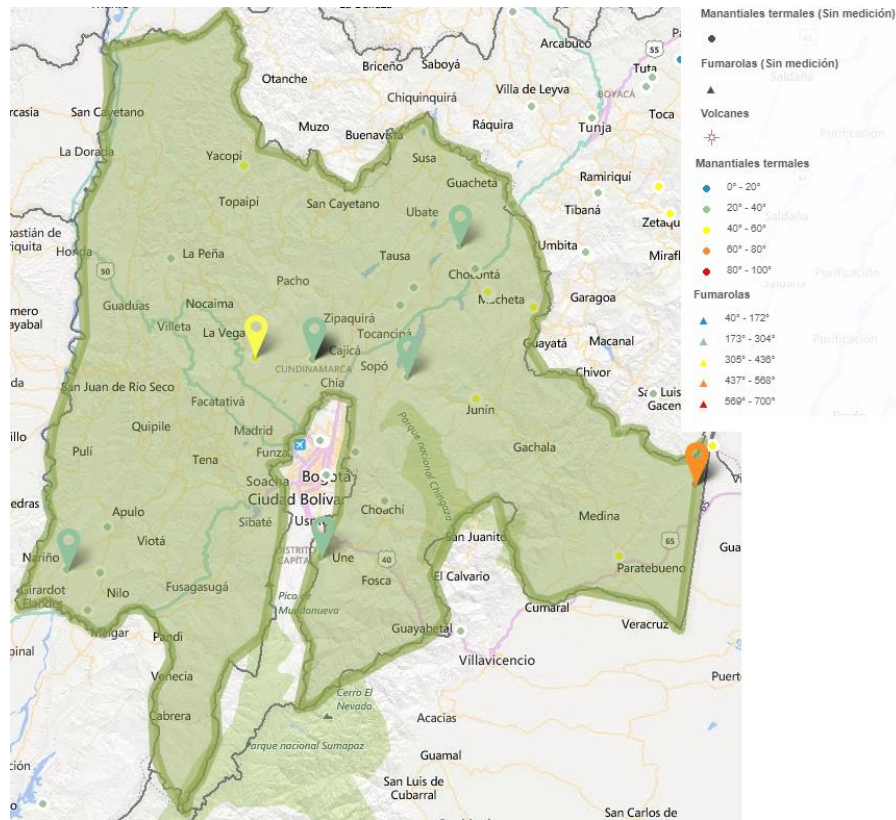


Figura 25 Inventario manifestaciones geotermales Cundinamarca (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales). [31]

3.2.1. Zonas de potencial actual

3.2.1.1. Tocancipá, Parque Industrial la Gran Sabana

Como proyecto geotérmico piloto en el departamento de Cundinamarca, encontramos el parque industrial de la Gran Sabana ubicada en Tocancipá realizando la implementación y verificación de funcionamiento de un cuarto frío, utilizando un sistema geotérmico de baja entalpía, con el fin de realizar el intercambio de calor de las tuberías del sistema de enfriamiento del cuarto haciendo el sistema de enfriamiento más eficiente, suprimiendo la unidad condensadora que se encuentra en un sistema de enfriamiento y replazándolo por el pozo geotérmico. [46]

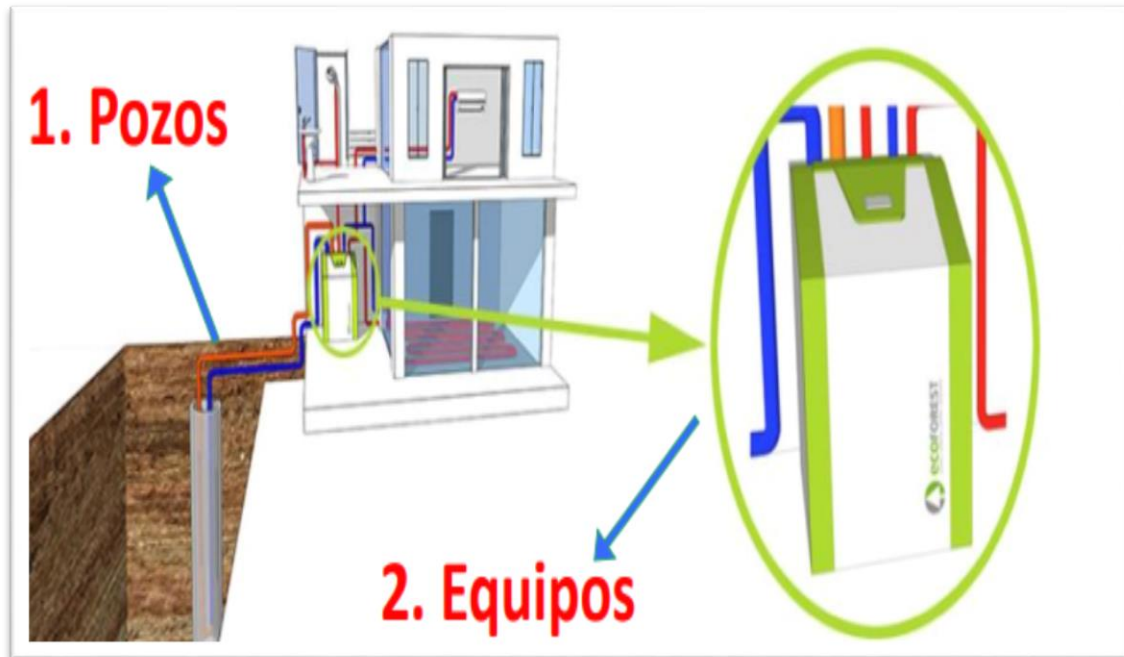


Figura 26 Esquema funcionamiento Cuarto Frío Parque Industrial la Gran Sabana. [46]

El proyecto consistió en la instalación de un cuarto frío de 90 m³ en las instalaciones del parque industrial la gran sabana, el cual tiene una potencia de refrigeración de 12 kW y para el cual se realizaron tres pozos de los cuales dos de ellos se cuentan con una profundidad de 70 m y el restante de 80 m, utilizando una bomba de calor Geotérmica. [46]

De acuerdo con la información aportada al ANLA, el proyecto denominado Proyecto piloto para la generación de temperatura de -10°C en un cuarto frío, a partir de la energía geotérmica fría, tiene como objetivo la instalación de un cuarto frío de 12 kW de potencia, con temperatura del aire de -10°C y cuya energía proviene, en un 75%, de la geotermia de baja temperatura acumulada en el subsuelo del terreno. El proyecto se encuentra ubicado en la bodega No.34 del Parque Industrial Gran Sabana, del municipio de Tocancipá, departamento de Cundinamarca. [47]

3.2.2. Estudios realizados

Para este proyecto no se llevaron a cabo estudios para determinar el potencial geotérmico de la zona, ya que el aprovechamiento de la energía geotérmica de muy baja entalpia o energía geotérmica fría se hace desde cualquier punto del lugar donde se requiera instalar el sistema de climatización, es decir, cualquier zona es apta para el aprovechamiento de esta energía. [48]

Para la implementación del proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos:

Bomba de calor geotérmica: consiste en extraer el calor del interior del cuarto y cederlo al terreno debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el subsuelo, por medio de agua que circula dentro de las sondas en los pozos de captación. La bomba de calor funciona exactamente de la misma forma en que lo hacen las neveras para

mantener refrigerado y/o congelado su interior. Es la encargada de producir la temperatura de -10°C en el cuarto frío. [47] [49]

Perforación pozos de captación: Con el fin de realizar el intercambio de calor entre la superficie y el subsuelo. [47]

Servicio de instalación de la bomba de calor geotérmica: En donde se aseguró la correcta instalación de la bomba de calor geotérmica encargada de producir la temperatura en el cuarto frío y realizar las pruebas finales a todo el sistema. [47]

La instalación se realizó utilizando un sistema de baja entalpía que permite transformar la energía almacenada en el subsuelo, en temperaturas entre -10°C y 55°C mediante la utilización de la bomba de calor geotérmica. Para ello, se debe realizar el intercambio de calor entre la superficie y el subsuelo, a través de los pozos de captación que pueden ser para este proyecto de manera vertical debido a la fiabilidad y rendimiento de este tipo de sistema, para ello se realizaron tres pozos, dos de 70 m y uno de 80m. En dichos huecos se instalaron sondas de captación en circuito cerrado las cuales se llenan con agua. Además de la instalación de termo cúpulas para el sistema de control y medición del sistema. [46] [47] [49] [50]

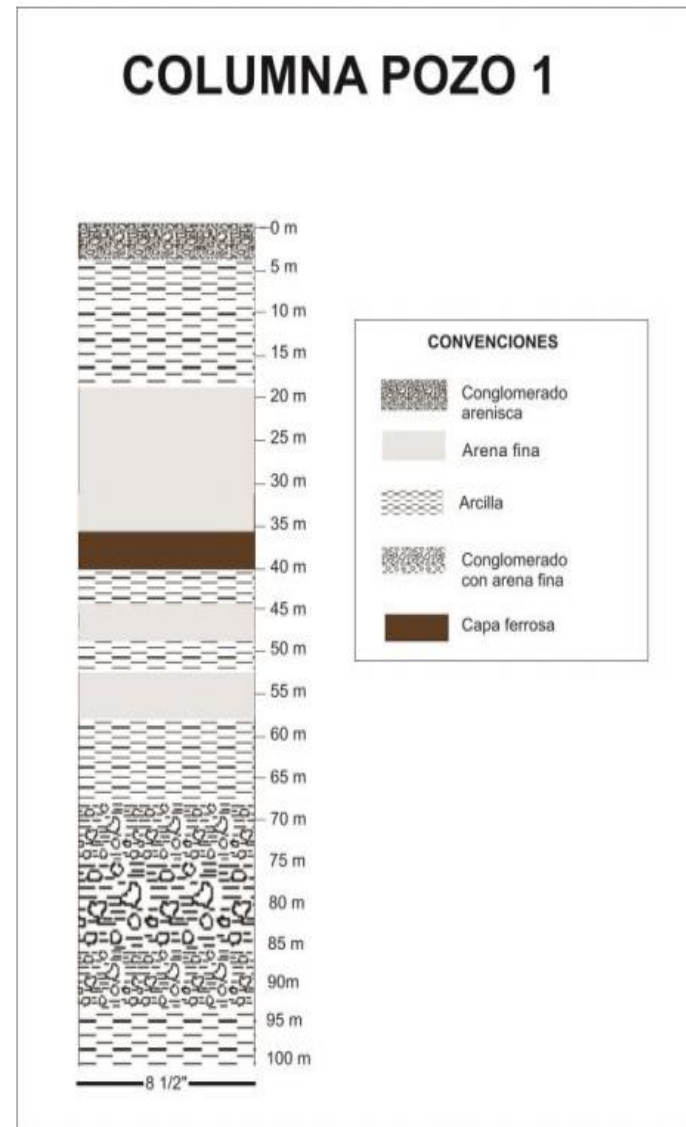
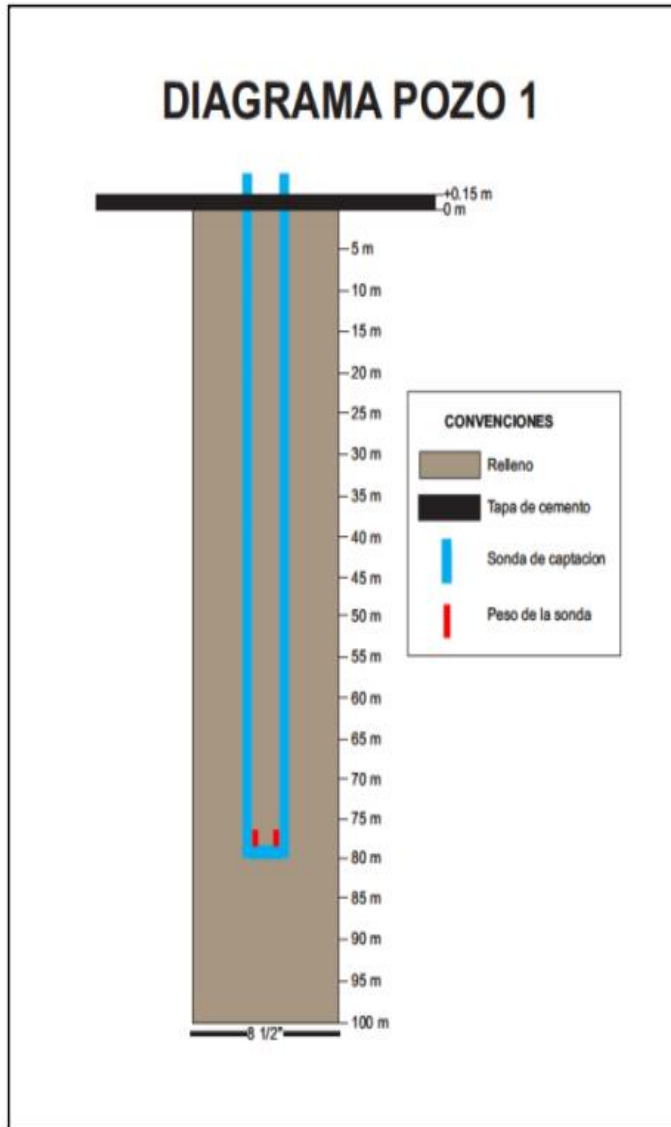


Figura 27 Diagrama y Geología del pozo 1 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]

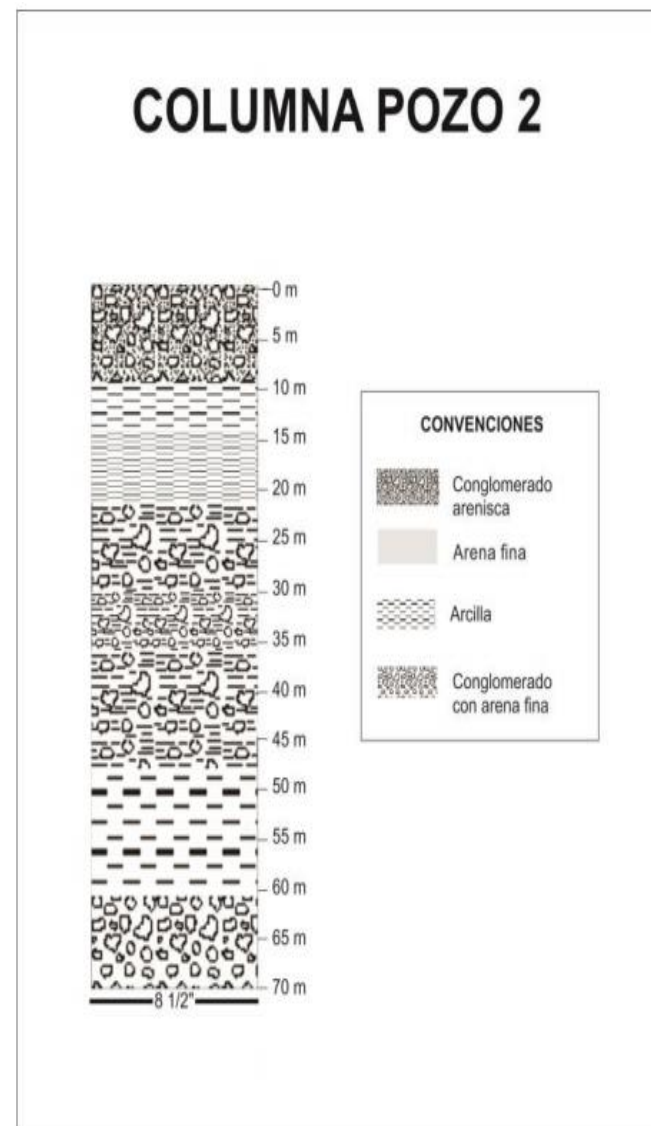
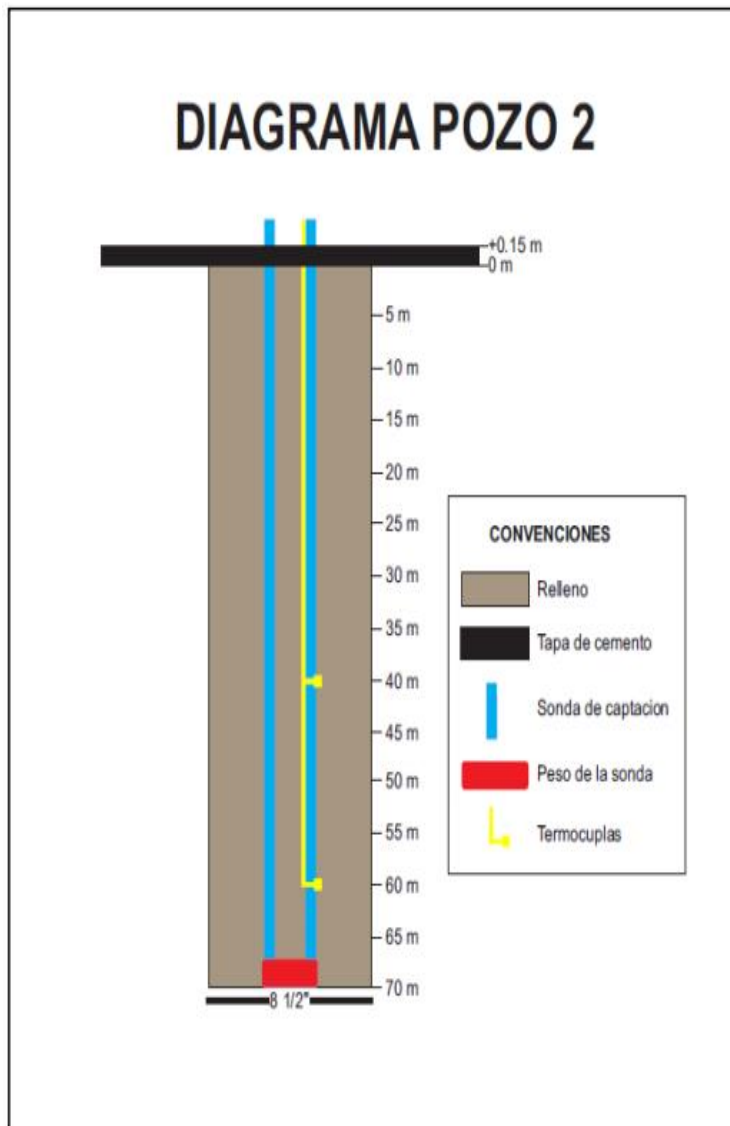


Figura 28 Diagrama y Geología del pozo 2 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]

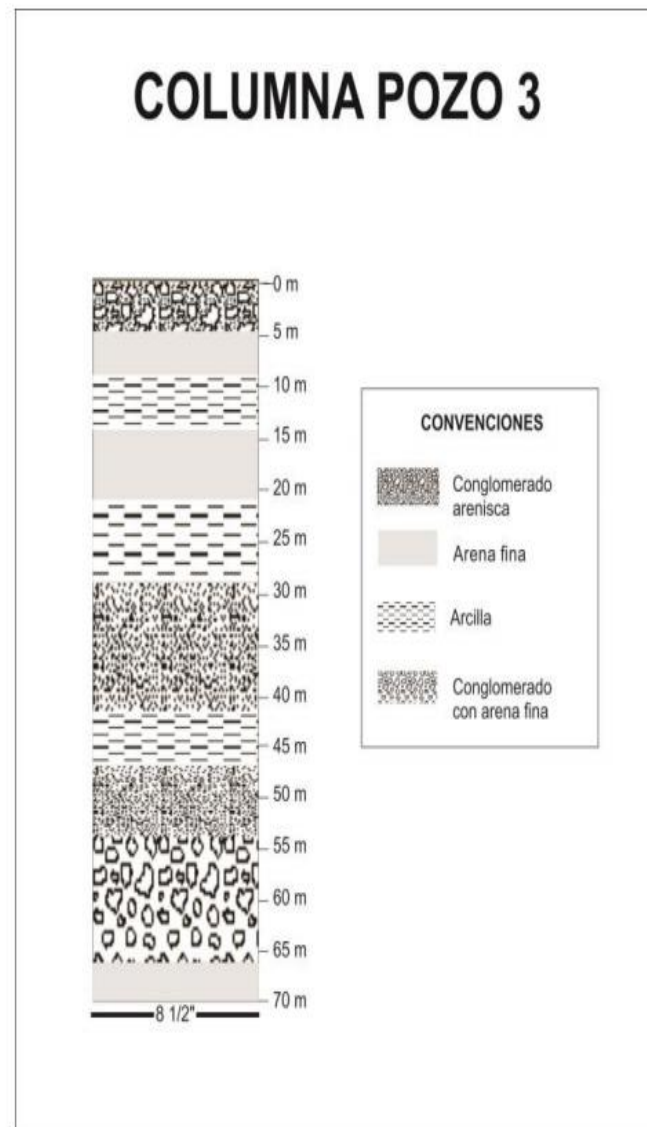
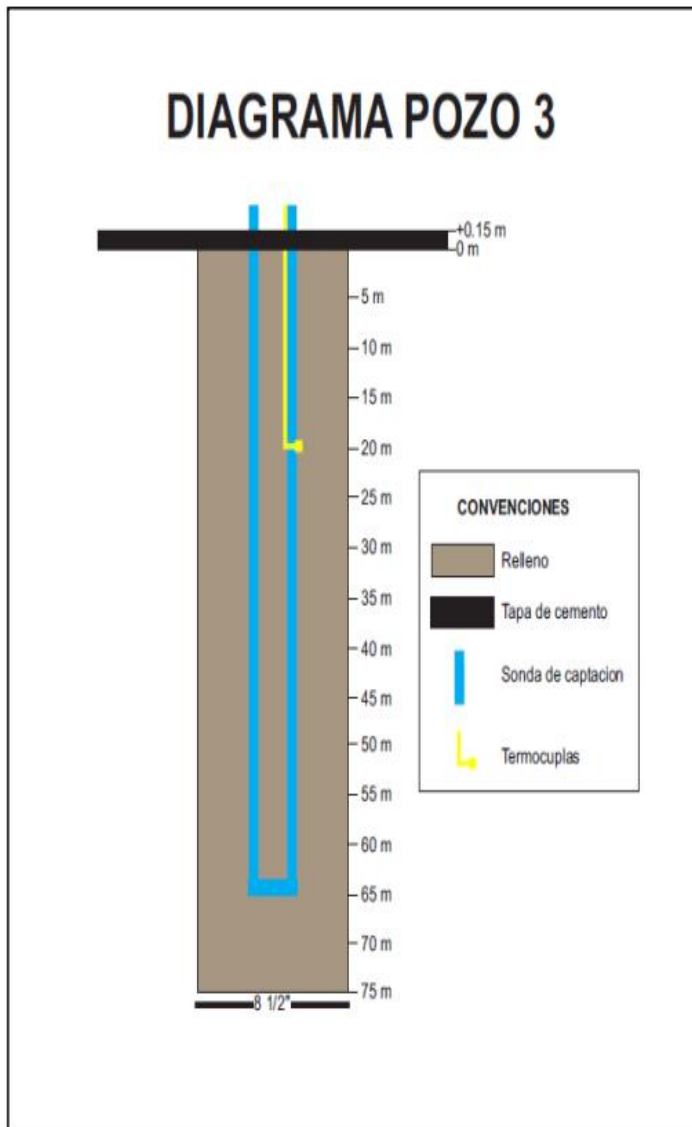


Figura 29 Diagrama y Geología del pozo 3 proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]



Figura 30 Proceso de generación pozos geotérmicos para proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana n°1. [46]



Figura 31 Proceso de generación pozos geotérmicos para proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana n°2. [46]

3.2.3. Tecnología implementada

Sobre la tecnología implementada, en el proyecto piloto la Gran Sabana se realizó la implementación de una bomba de calor Geotérmica suministrada por la empresa privada SAGG Alternative Resources, de su división geotérmica y de la línea Ecoforest, con unas dimensiones en mm de 1.060x600x710 y un peso de 185 kg, además de una emisión sonora de 35 a 46 db, tal bomba se encarga del intercambio de calor entre la cuarto frio y los pozos geotérmicos, controlando la temperatura del cuarto con una unidad evaporadora. [46]

Maquinaria	Capacidad	Marca	Modelo-Referencia	Vendedor	Función
Bomba Calor Geotérmica	12 kW	Ecoforest	ecoGEO B3 5-22 kW HTR EH	SAGG S.A.S	Producir temperatura de congelación de - 10°C

Tabla 13 Características Bomba Calor Geotérmico Ecoforest utilizada en Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [47]



Figura 32 Bomba Calor Geotérmico Ecoforest utilizada en Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]



Figura 33 Panorámica del Cuarto Frio proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]



Figura 34 Instalación bomba calor geotérmica proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]



Figura 35 Sistema instalado bomba calor geotérmica proyecto Piloto Parque Industrial la Gran Sabana. [46]

3.3. Actual y en vigencia Boyacá

El servicio geológico colombiano durante su proceso de actualización de información y verificación de información referente al recurso geotérmico se ha encargado de realizar el levantamiento de un inventario con las manifestaciones geotérmicas de la región de Boyacá, el cual puede ser consultado por su visor, y con ello teniendo un énfasis específico en las manifestaciones geotermales con el fin de generar recursos para: la generación de tecnologías y metodologías de explotación del recurso, la vigilancia en actividad volcánica, el estudio de microorganismos y el estudio de tectónico de la zona. Esta ayuda tiene como objetivo para el servicio geológico colombiano ser compartido a la ciudadanía y promover la investigación del recurso. [31]

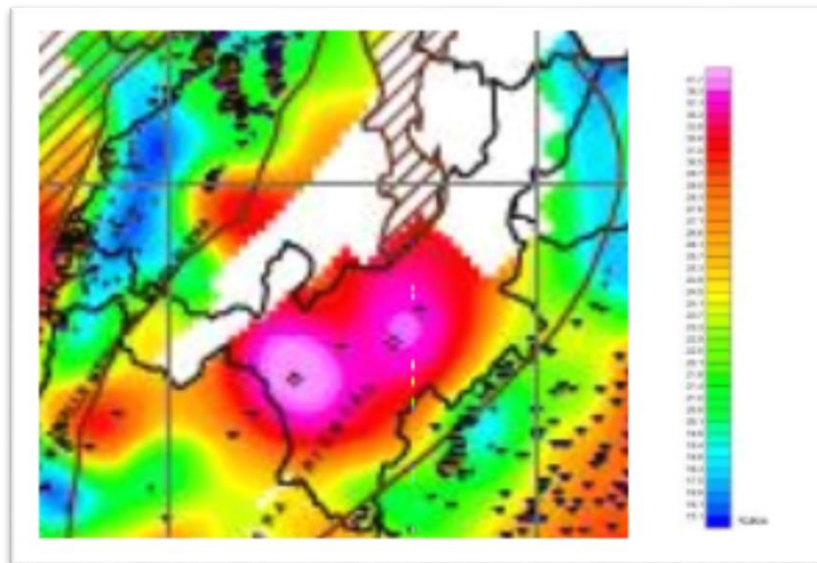


Figura 36 Gradiente Geotérmico de Boyacá. [1] [9]

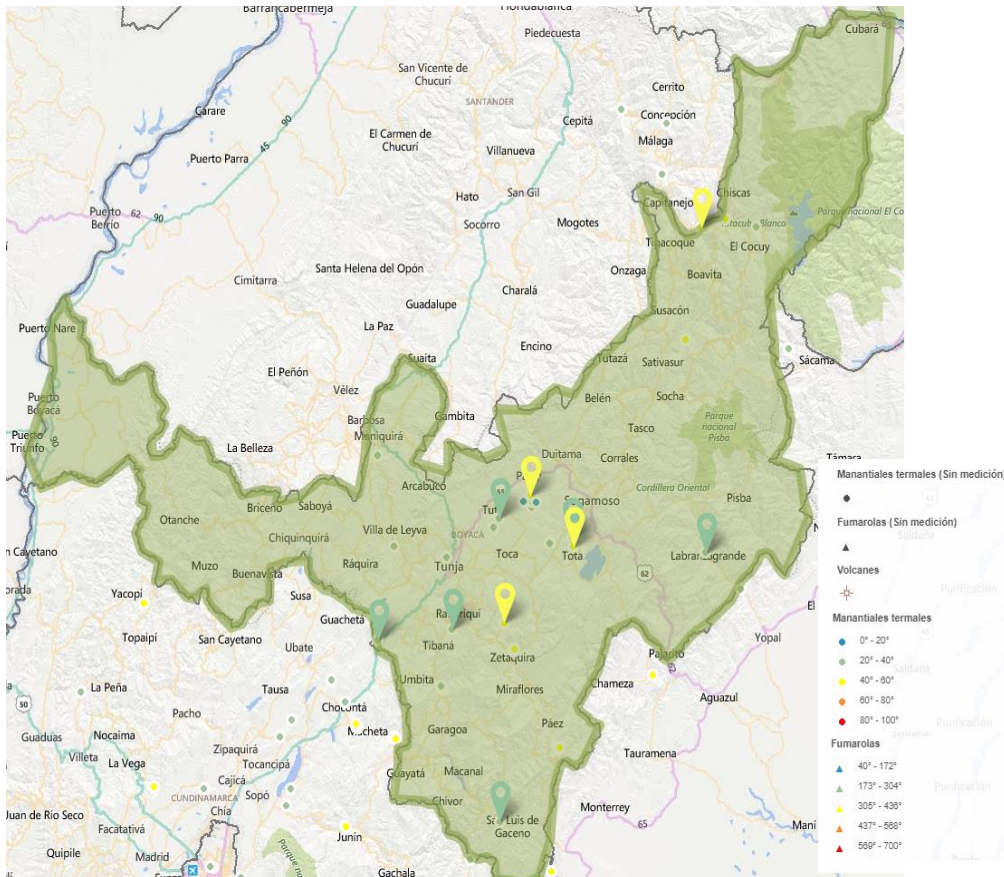


Figura 37 Inventario manifestaciones geotermales Boyacá (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales). [31]

3.3.1. Zonas de Potencial Actual

3.3.1.1. Paipa

Tal proyecto en un principio denominado como Paipa-Iza, el cual con el paso del tiempo según los estudios realizados determinaron que desde el punto de vista geotérmico, Paipa e Iza constituyen dos áreas completamente separadas, presentando a Paipa como la más prometedora de las dos y a la cual se enfoca la investigación realizada. [10] [16]

El sistema geotérmico de Paipa se localiza en un terreno basculado de sur a norte hacia el río Chicamocha, limitado al oriente y suroriente por el anticlinal Tibasosa – Toledo y al norte, por el Río Chicamocha. Este proyecto se tiene contemplado para la zona axial de la cordillera andina oriental de Colombia a unos 150 km al noreste de la ciudad de Bogotá y unos 5 km al sur de la ciudad de Paipa, se encuentra localizada entre los 5°38' N y los 5°45' N de latitud y los 73°08' W y los 73°10' W de longitud, al sur del área urbana del municipio de Paipa, enmarcada en la zona centro del departamento de Boyacá, la cual es una zona con fácil accesibilidad generando con ello unas buenas condiciones logísticas para un eventual desarrollo de un proyecto geotérmico, encontrando además varias fuentes termales con aguas sulfatadas, las cuales

actualmente se utilizan como balnearios termales con un desarrollo de la industria turística, la cual ante un posible desarrollo de un proyecto geotérmico podría generar conflictos, encontrando históricamente oposiciones por la industria turística hacia actividades de extracción para la generación de cemento. [3] [51] [52] [53]

Las investigaciones de la zona se remontan a la primera mitad de 1800, enfocando los recursos en el estudio de la composición química del agua y sus efectos terapéuticos; la primera investigación geotérmica se encuentra en 1982 en donde se clasificó a Paipa como un sector de prioridad medio-alta lo cual trajo la atención del organismo japonés JCF el cual evaluó en 1983 las perspectivas de desarrollo geotérmico de la zona, arrojando como resultado la necesidad de investigaciones más avanzadas que definan la posibilidad de implementar un proyecto geotermo- eléctrico, las cuales no se efectuaron teniendo dos décadas con baja investigación y realizando solo estudios específicos por parte de la Universidad Nacional y el Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA. [3]

Solo hasta el año 2002 el área de Paipa se incluye en los programas de investigación geotérmica del Servicio Nacional de Colombia, realizando con ello una definición preliminar del sistema geotérmico de Paipa, además de seguir llevando investigaciones geoquímicas y geofísicas complementarias cuyo objetivo es el de integrar toda la información, actualizar el modelo del sistema geotérmico y planificar un pozo exploratorio profundo. [3] [51]

Entre el años 2004-2005 se realizaron estudios por medio de INGEOMINAS los cuales consistieron en :

- El conducto de fluido geotérmico que se presentaba en la zona.
- Las zonas con alteración Hidrotermal.
- Estudio de gases recolectado de manantiales termales, la cual determino que el fluido geotérmico tiene una dirección principal sur-nororiente. En el cual sobre el manantial de El Hervidero se presenta una alta descarga de gas, el cual está aislado del fluido geotérmico.
- La temperatura de los manantiales termales encontrados en Paipa se encuentra entre los 76°C. [16] [53]

3.3.2. Estudios realizados

Para la zona del municipio de Boyacá perteneciente a la región RAP-E encontramos estudios geotérmicos realizados en la zona de Paipa donde se pudo determinar un potencial geotérmico para aprovechar.

3.3.2.1. Estudios geofísicos

Para este estudio se realiza en el municipio de Paipa una toma de temperaturas del suelo en 141 estaciones, con una profundidad de 1.5 m de profundidad, en los cuales se obtuvo una temperatura promedio de 4.9°C, la cual está por encima de la temperatura media ambiental. Tal estudio permite determinar dos áreas con anomalías

Por otro lado el manantial Olitas localizado a 1.5 km de Hervidero, se compone de aguas con bicarbonatado sódico con temperaturas de 23°C, se caracteriza por la concentración de sílice presente en sus aguas con un orden máximo de 100 mg/L, el cual es el registro máximo encontrado en los manantiales de la región. [51] [54]

Por Ultimo los manantiales de SALPA, encontrado a 1.7 km del sector de ITP-Lanceros, cuentan con temperatura de 21°C, con aguas de tipo sulfato sódico y característica principal de presentar la máxima concentración de solidos disueltos en su agua. [51]

De tales estudios geoquímicos y muestras obtenidas, se establece que existen mezclas que ocultan la composición química e isotópica característica de los fluidos profundos lo cual no permite estimar la temperatura de los mismos con el uso de geotermómetros, teniendo una estimación de temperatura del fluido geotérmico de unos 120°C basados en una concentración de sílice disuelta, la cual presupuestando condiciones adecuadas y favorables se podría obtener una temperatura máxima de 230°C. [51]

3.3.2.3. Estudios Geológicos

El área geotérmica de Paipa, cuenta con una extensión de 130 km², según el estudio realizado tal zona presenta afloramientos de rocas sedimentarias de edad Cretácica, del Paleógeno, Neógeno y Cuaternaria además de encontrarse una brecha hidrotermal, tales formaciones se componen por niveles de areniscas, arcilolitas, limolitas, con excepción de las formaciones que se encuentran en la zona de Labor y Tierna y Plaeners, la cuales se caracterizan por contener arenitas cuarzosas y liditas silíceas fracturadas, algunas de las formaciones del área geotérmica también se caracterizan por presencia de mantos de carbón y Shales. [51] [52] [54]

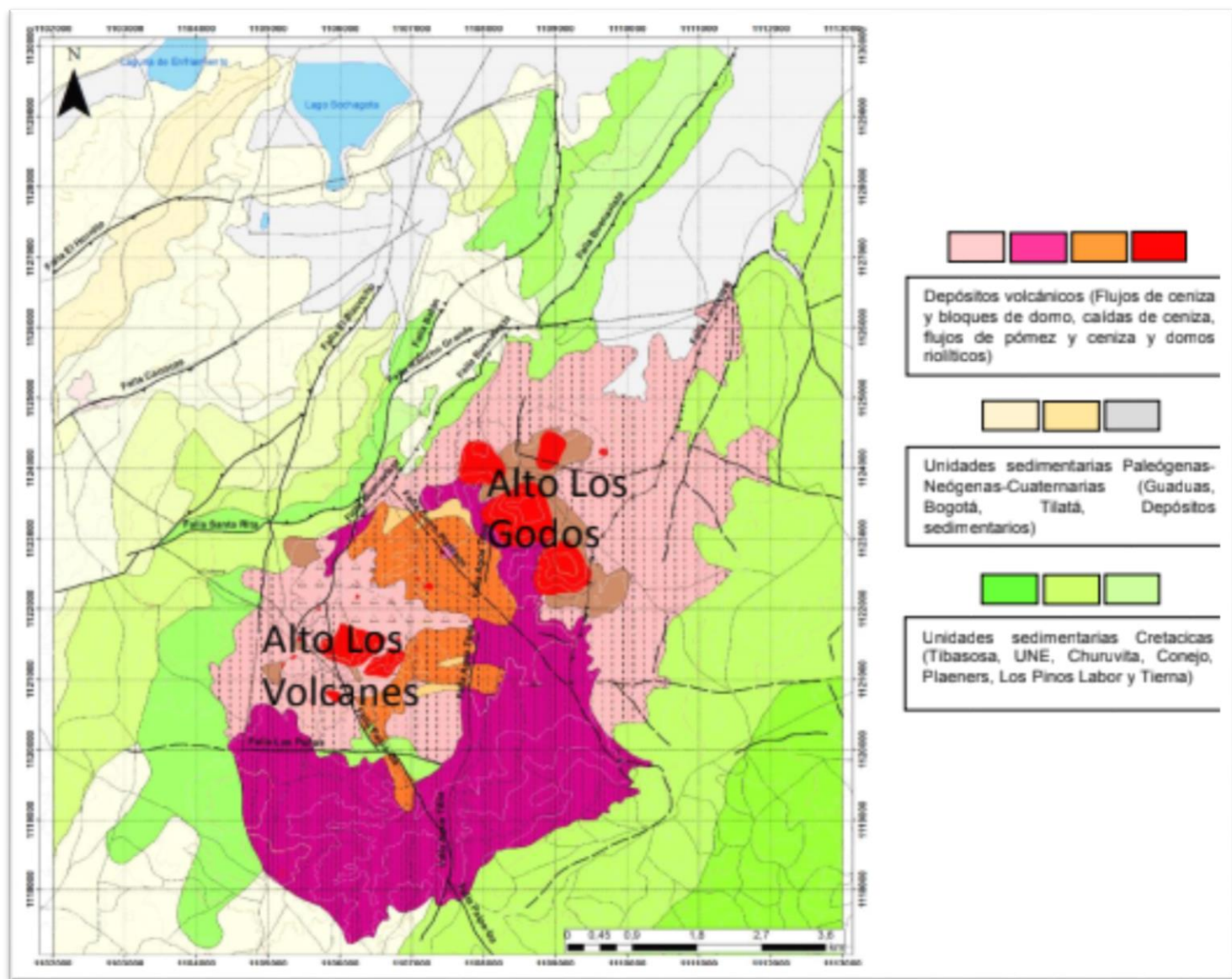


Figura 40 Geología del área Geotérmica de Paipa. [51]

Se registran durante el estudio por lo menos diez cuerpos con geoforma de domos en la zona distribuidos en los sectores del Alto Los Volcanes, Alto de Godos y Quebrada de Honda, los cuales poseen características en común como la presencia de grandes megacristales de feldespatos potásico, finos cristales máfico. Las dataciones sobre muestras de depósitos piroplásticos de la zona, evidencia actividad volcánica de al menos 10 Millones de años, el rango de estos depósitos se reporta entre 1 y 9.9 Millones de años. [51] [53] [54]

3.4. Avance y proyección

La selección de la región de Paipa sobre Iza para ser determinada como más potencial geotérmico sobre la otra recae en ciertas características que pueden determinarse de la siguiente manera:

- Es una zona aledaña de Bogotá, con la posibilidad de la obtención y disponibilidad de información. [16] [51]
- Por la topografía, la cercanía de la zona a líneas de transmisión es un factor de influencia para la posible implementación de un proyecto geotérmico. [16]
- Los estudios geotérmicos arrojaron la zona como un área promisoría para ser utilizada en la generación eléctrica. [16]
- De generarse un proyecto geotérmico en la zona la misma generar un mejoramiento en la condiciones de vida de los asentamientos humanos, beneficiando el desarrollo industrial y tecnificación. [16]
- El alto auge turístico y su crecimiento durante los años, hace que se requiera infraestructura que supla las necesidades de tal crecimiento. [3] [16]
- El reservorio ha alcanzado temperaturas alrededor de 320°C y se cree que en la actualidad se conservan condiciones de alta temperatura por encima de 225°C. [55]
- Es posible que haya uno o más reservorios superficiales. [55]

Se prevé que el reservorio de Paipa cuenta con una temperatura mayor a los 200°C, esta temperatura se propone con bases a los estudios realizados en el área, sin embargo dicha temperatura requiere una evaluación con estudios avanzados que permitan determinar la temperatura mayor, ya que la confiabilidad de los estudios realizados no cuentan con un grado de confiabilidad adecuado debido a que el sistema geotérmico de Paipa, se encuentra enriquecido con fuentes de manantiales de fuentes no geotérmicas como los son los bancos salinos. [3] [16] [55]

Sistema Geotérmico	Fuente Calor	Temperatura Promedio	Reservorio Posible	Fumarolas	Observaciones
Paipa	Magmática	74°C	Secuencia Sedimentaria	Magma Hidrotermal es	Fuente magmática de posible alta temperatura
Azufra	Magmática	50°C	Vulcanitas Terciarias	Hidrotermal es	Prospecto de alta temperatura
Nevado	Magmática	94°C	Metamórficas	No tiene	Prospecto de alta

Sistema Geotérmico	Fuente Calor	Temperatura Promedio	Reservorio Posible	Fumarolas	Observaciones
Ruiz(Las Nereidas)	a		Vulcanitas Terciarias	fumarolas	temperatura
Tufiño-Chiles Cerro Negro	Magmática	40°C	Vulcanitas Terciarias	Respiradero de Vapor	Prospecto de alta temperatura

Tabla 14 Comparativa de Paipa con las demás zonas geotérmicas del país. [16]

3.4.1. Proyección de perforaciones de Gradientes Térmicos

De acuerdo a los estudios realizados en la zona geotérmica de Paipa, se seleccionan siete posibles zonas para realizar tres de perforaciones de gradiente térmico y conocimiento geológico, los cuales tienen como objetivo confirmar las anomalías positivas de la región geotérmica, verificar la temperatura del fluido geotérmico y ajustar el modelo geotérmico de la región; según las estimaciones del modelo geotérmico del Servicio Geológico Colombiano se plantean dos planes de acción, compuesto de un plan principal con la perforaciones identificadas como 1,2 y 3, un plan alternativo con perforaciones identificadas como 4,5 y 6. Además de ello se incluye en las propuestas una perforación complementaria identificada como 7, en caso de no poder llevar a cabo el plan principal o el plan alternativo. [51] [56]

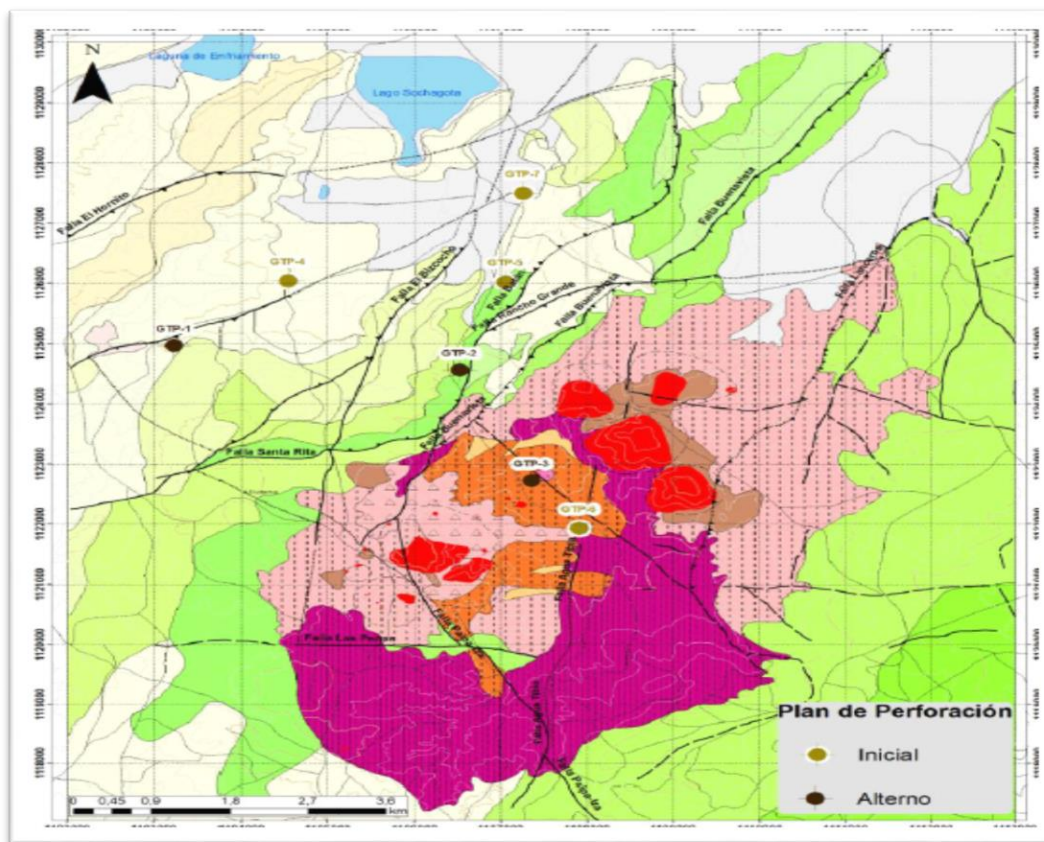


Figura 41 Ubicación propuesta para perforaciones geotérmicas. [51]

Las perforaciones propuestas cuentan con las siguientes características:

- Profundidad de 500 m.
- Diámetro del pozo de perforación de 27.3 cm o 10.75 pulgadas.
- Fluido de perforación: Lodo.
- Entubado y cementación en todo el tramo de la perforación, para establecer condiciones requeridas para mediciones de perfiles de temperatura y prevenir la entrada y salida de agua subterránea, que ayuda con la preservación de acuíferos que se puedan encontrar en la perforación.
- Tiempo de medición de perfiles de temperatura, después de realizada la perforación, de cada dos meses
- Registros físicos en todo el tramo de la perforación los cuales incluyen: temperatura, rayos gama, resistividad, densidad, pruebas neutrónicas sónicas y prueba cualitativa de sulfato de lodos.
- Una vez finalizada las pruebas, estudios y perforación, se realizara taponamiento de la perforación y recuperación del área afectada incluyendo sus alrededores a las condiciones más próximas a las iniciales. [51]

Los sitios se seleccionan tomando a consideración de acuerdo a las siguientes características:

- Las perforaciones 1 y 4, cuenta con una composición sedimentaria completa, circulación superficial de agua salobre sulfatada sódica y no se registran manantiales termales ni otro tipo de manifestación hidrotermal, la perforación 1 se localiza al oriente de la zona conocida como El Durazno, sobre la formación de Guaduas al sur del trazo de la falla geológica de Canocas; mientras que la perforación alternativa 4 se localiza al noreste la perforación 1 sobre la formación de Guaduas al norte del trazo de la falla de Canocas. [51]
- Las perforaciones 2,5 y 7, se proponen a partir de la falla de cerro Plateado, encontrando el manantial de mayor temperatura de la zona geotérmica el cual es de 76°C; la perforación 2 se localiza en formación Plaeners, en la zona de influencia de anomalías positivas de densidad y elementos radiactivos; la perforación 5 es la alternativa a la perforación 2 la cual se localiza al norte de la misma, sobre la formación Plaeners, cerca al cruce de la fallas El Batán y Rancho Grande con misma influencia de la perforación 2; Por último la perforación 7 es la más alejada de la zona geotérmica principal (ITP-Lanceros), aproximadamente a 1 km al sur de esta, en los predios de La Casona del Salitre. [51]
- Las perforaciones 3 y 6, se encuentran intrusiones ígneas con y sin expresión superficial, donde se logró identificar una anomalía geoquímica positiva; la perforación 3 se localiza a pocos metros al sur de la falla de Cerro Plateado donde se presume que el flujo geotérmico iniciaría su flujo subterráneo lateral; la perforación 6 alternativa a la perforación 3, se localiza al suroriente de la perforación 4, también a pocos metros al sur de la falla de Cerro Plateado y en proximidades del cruce entre dicha falla y la Falla de Agua Tibia. [51]

Durante las consideraciones científicas realizadas por el Servicio Geológico Colombiana acerca del modelo geotérmico de Paipa durante el mes de noviembre de 2016,

contando con los expertos Paolo Bona, geólogo consultor Senior en Geotérmica de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y consultor independiente; Anna Colvin, geóloga consultora en geotérmica del sector privado de Chile; Salvador Espíndola, ingeniero mecánico especialista en desarrollo de proyectos geotérmicos vinculado como socio y fundador de ENAL de México, William Thomas, geólogo e ingeniero de perforación senior, de GeothermEX's y Jonathan Hernández, geólogo e ingeniero geólogo con experiencia en perforación geotérmica, vinculado a Dewhurst Group, L.L.C.; junto con los miembros del grupo de trabajo del Servicio Geológico Colombiano; dieron los pasos a los sitios seleccionados, teniendo como recomendaciones realizar perforaciones de manera secuencial según la identificación y el plan asociado. [51]

3.4.2. Disposición de recursos naturales con aprovechamiento energético

De acuerdo a la región de Boyacá en donde se encuentra la zona de potencial geotérmico de a la región RAP-E, cada trámite se debe realizar ante la entidad Corpoboyacá, la cual es una entidad autónoma regional que tiene como fin realizar el control, conservación, administración y protección de los recursos naturales renovables y el ambiente de la región de Boyacá en la cual se encuentra el municipio de Paipa, cada proyecto que se presente un impacto al ambiente debe realizarse la respectiva solicitud de licencia a dicha entidad la cual se avala bajo el Decreto 1076 de 2015. [57] [58]

3.4.3. Permisos y licencias ambientales para la puesta en marcha de nuevas generadoras

El licenciamiento ambiental ante Corpoboyacá se debe realizar mediante la presentación de un Formulario Único de Licencias Ambientales (FGR-67) y los documentos anexos que se relacionan en la hoja 2 del formulario de solicitud, tal documento debe ser entregado en el punto de atención “*Ventanilla Única de Trámites Permisarios*” de la entidad además de realizar la solicitud de liquidación para el pago por servicios de evaluación Ambiental. [57]

Recibida la documentación la Autoridad Ambiental establecerá la expedición de un auto de inicio de trámite para Licencia Ambiental, en donde se realizará una evaluación de la información suministrada y la verificación normativa, la cual ante algún tipo de duda o información adicional se citará mediante un oficio la necesidad de aclaración y la cual el usuario tendrá el plazo de un mes para hacer llegar la información correspondiente, la cual en caso de no llegar la información correspondiente, la entidad procederá a ordenar el archivo del trámite de la licencia ambiental y la devolución de la información que tenga en su poder; una vez revisada la información y evaluada se emitirá el concepto técnico respectivo y el área jurídica expedirá un Acto Administrativo en el cual se otorgara o negara la licencia ambiental, se debe tener claridad que este proceso debe realizarse en la sede central Tunja. [57]

Resumen de documentación solicitada por Corpoboyacá [57]

- Formulario Único de Licencia Ambiental.

- Planos que soporten el EIA, de conformidad con lo dispuesto en la Resolución 1415 de 2012, que modifica y actualiza el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Geodatabase) o la que la sustituya, modifique o derogue.
- Costo estimado de inversión y operación del proyecto “FGR-29 Declaración de Costos de Inversión y Anual de Operación”.
- Poder debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado.
- Constancia de pago para la prestación del servicio de evaluación de la licencia ambiental.
- Documento de identificación o certificado de existencia y representación legal, en caso de personas jurídicas.
- Certificado del Ministerio del Interior sobre presencia o no de comunidades étnicas y de existencia de territorios colectivos en el área del proyecto de conformidad con lo dispuesto en las disposiciones relacionadas con el Protocolo de Coordinación Interinstitucional para la Consulta Previa.
- Copia de la radicación del documento exigido por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), a través del cual se da cumplimiento a lo establecido en la Ley 1185 de 2008.
- Formato aprobado por la autoridad ambiental competente, para la verificación preliminar de la documentación que conforma la solicitud de licencia ambiental.

3.5. Actual y en vigencia *Tolima*

El servicio geológico colombiano durante su proceso de actualización de información y verificación de información referente al recurso geotérmico se ha encargado de realizar el levantamiento de un inventario con las manifestaciones geotérmicas de la región de Tolima, el cual puede ser consultado por su visor, y con ello teniendo un énfasis específico en las manifestaciones geotermales con el fin de generar recursos para: la generación de tecnologías y metodologías de explotación del recurso, la vigilancia en actividad volcánica, el estudio de microorganismos y el estudio de tectónico de la zona. Esta ayuda tiene como objetivo para el servicio geológico colombiano ser compartido a la ciudadanía y promover la investigación del recurso. [31]

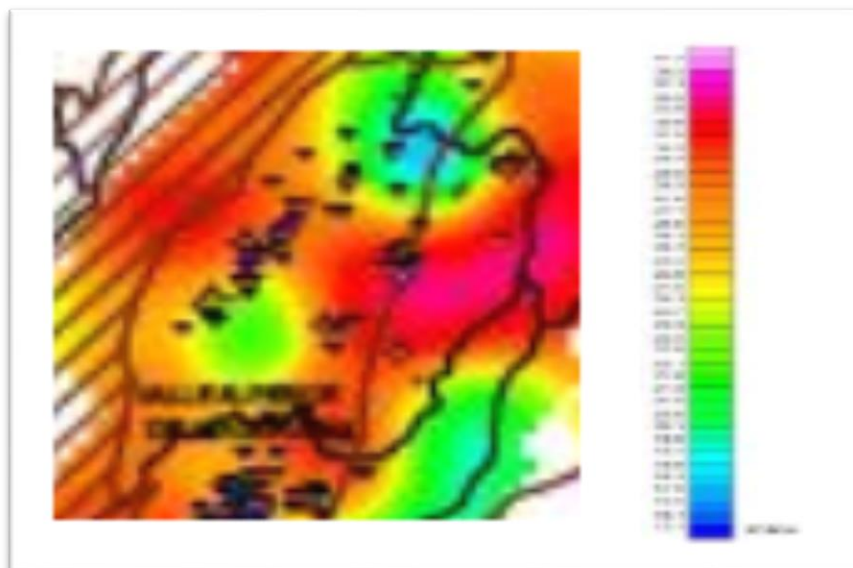


Figura 42 Gradiente Geotérmico de Tolima. [1] [9]

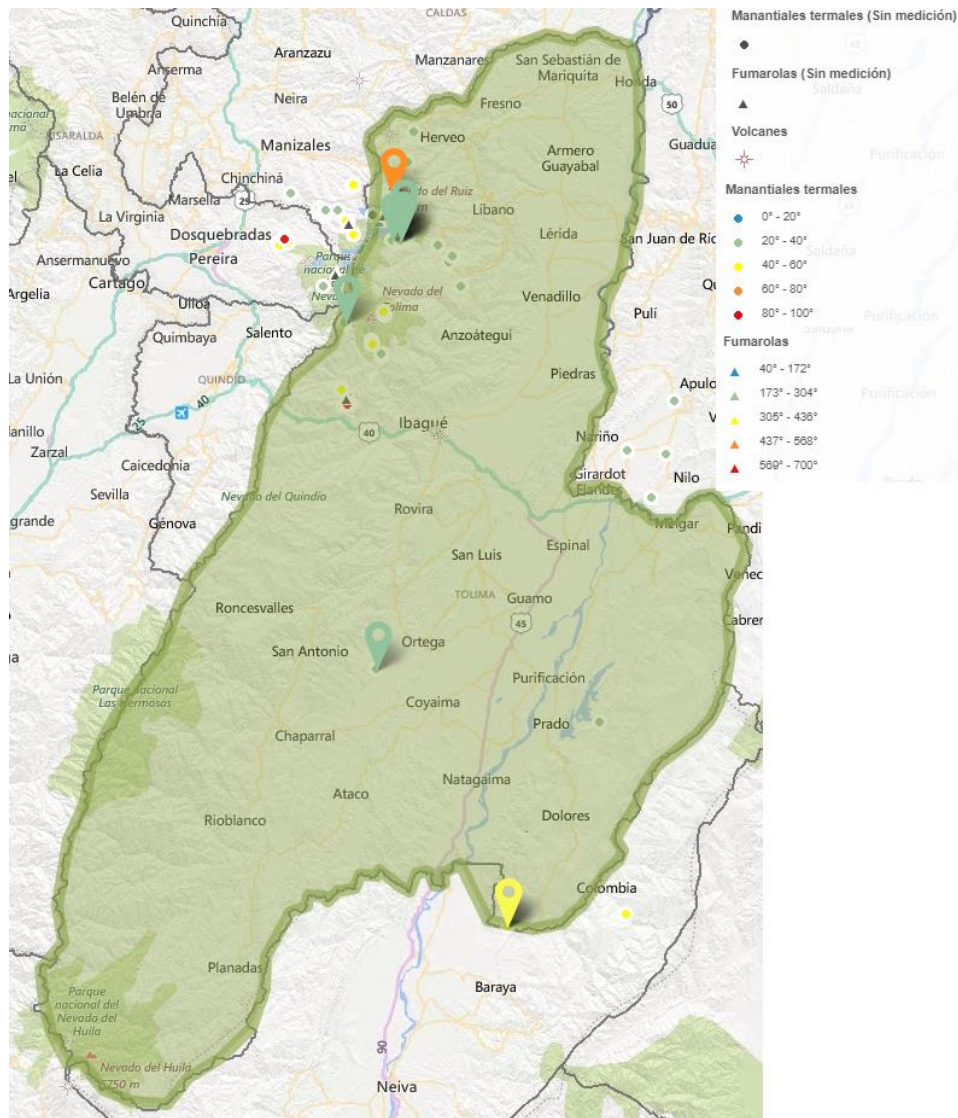


Figura 43 Inventario manifestaciones geotermales Tolima (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales). [31]

3.6. Actual y en vigencia Meta

El servicio geológico colombiano durante su proceso de actualización de información y verificación de información referente al recurso geotérmico se ha encargado de realizar el levantamiento de un inventario con las manifestaciones geotérmicas de la región de Meta, el cual puede ser consultado por su visor, y con ello teniendo un énfasis específico en las manifestaciones geotermales con el fin de generar recursos para: la generación de tecnologías y metodologías de explotación del recurso, la vigilancia en actividad volcánica, el estudio de microorganismos y el estudio de tectónico de la zona. Esta ayuda tiene como objetivo para el servicio geológico colombiano ser compartido a la ciudadanía y promover la investigación del recurso. [31]

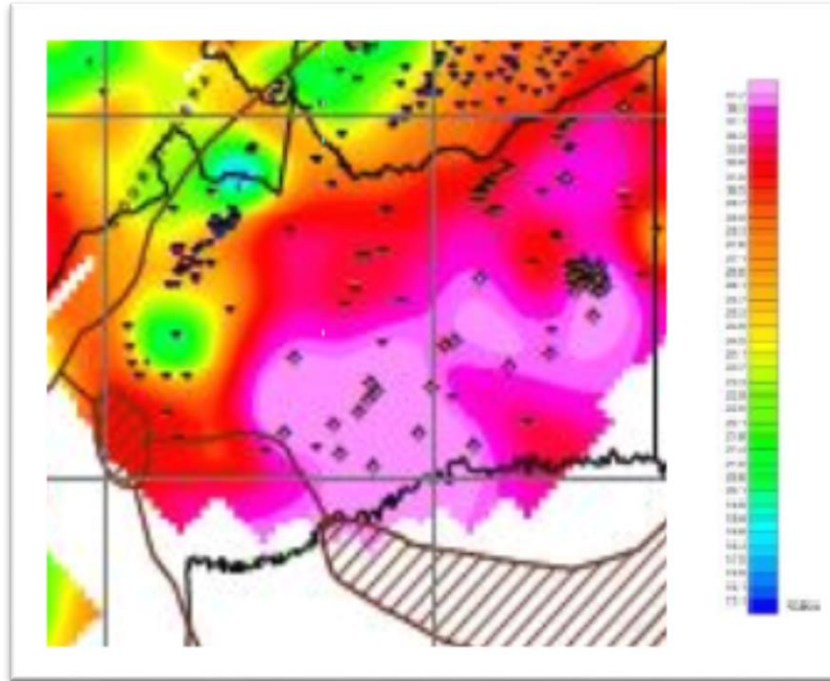


Figura 44 Gradiente Geotérmico de Meta. [1] [9]

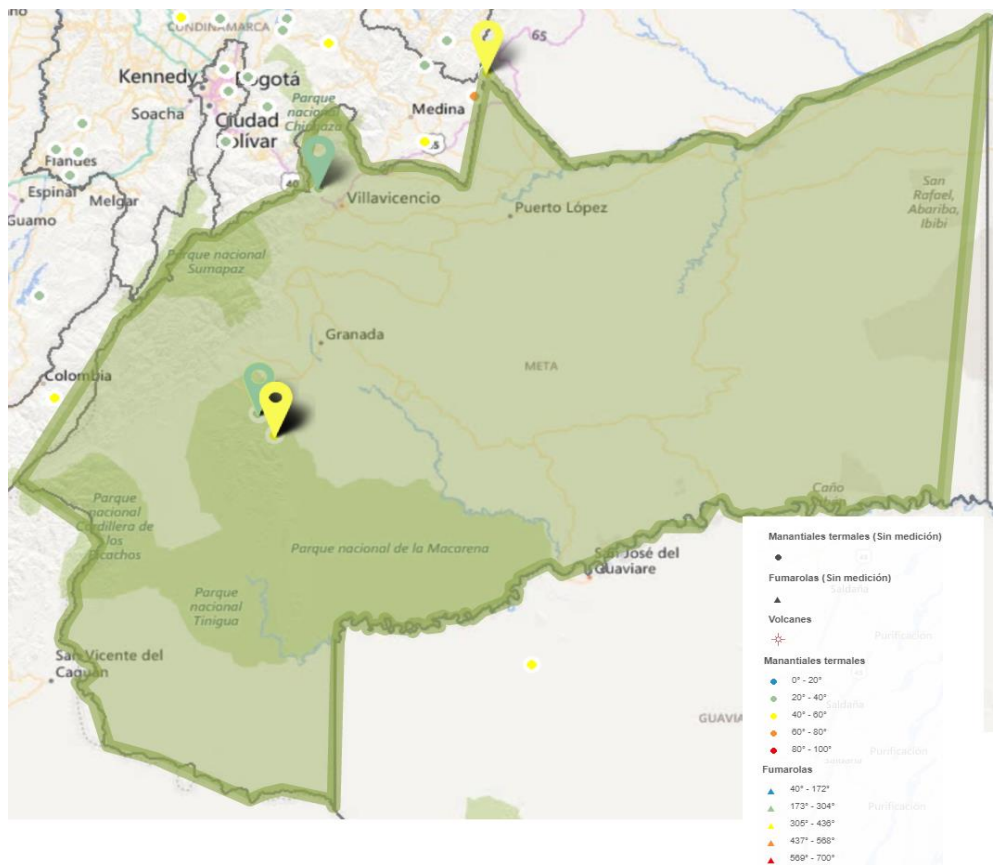


Figura 45 Inventario manifestaciones geotermales Meta (Con énfasis en Manifestaciones Hidrotermales). [31]

3.6.1. Zonas de potencial actual

3.6.1.1. Campos de Producción Petrolera del Apiay, Suria y Campo Castilla

Se realiza la verificación técnica, económica y ambiental para la implementación de un proyecto de generación geotérmica de baja entalpía que se encuentran en los campos de producción petrolera del Apiay, Suria y Campo Castilla, siendo apalancado con venta de bonos de CO₂. [59]

Campo Castilla, Campo Suria y Campo Apiay, son tres campos que pertenecen a la SOC (Superintendencia de Operación centralizada), bajo la propiedad y manejo de Ecopetrol y cuyo principal objetivo es la producción de crudo para el consumo interno de las refinerías y los excedentes de exportación. [59]



Figura 46 Localización de campos de producción Apiay, Castilla, Suria. [59]

El área de explotación petrolera del campo de Apiay posee un área de 47.601,05 hectáreas y se ubica en el departamento del Meta, dentro de los municipios de Villavicencio, Acacias y San Carlos de Guaroa, en la cuenca de los Ríos Ocoa, Negro y Guayuriba y los Caños Quenane y Suria; el área de Apiay se encuentra constituida por 37 pozos activos, 2 inactivos y 2 abandonados. [59]

El área de Suria se localiza en la parte suroriente del Bloque Apiay, aproximadamente 32 Kilómetros al oriente de la ciudad de Villavicencio por la vía que conduce al municipio de Puerto López; en esta área se han perforado 41 pozos en sectores de producción que se han identificado como los Campos Pompeya, Suria Sur, Guayuriba, Quenane,

Suria, Tanané, Saurio, Ocoa y Austral. De estos pozos, 39 están activos y 2 abandonados. [59]

Los campos Castilla y Chichimene están localizados a 100 kilómetros aproximadamente al sureste de Bogotá y a 60 kilómetros aproximadamente al sur de Villavicencio. Se ubican en jurisdicción de los municipios de Acacias y Castilla La Nueva, específicamente al suroriente de la cabecera municipal de Acacias está el campo y estación Chichimene y la nueva estación Acacias, mientras que al norte de la cabecera de Castilla La Nueva están el campo Castilla y las estaciones Castilla I y Castilla II. [59]

Para acceder al campo Castilla y Chichimene se toma la vía que conduce de Villavicencio – Acacias – Guamal – San Martín, posteriormente se desvía hacia el oriente por la vía que conducen a San Carlos de Guaroa y hacia Castilla La Nueva, las cuales de acuerdo a lo observado, se encuentran pavimentadas en su totalidad, de tal manera que cuentan con una carpeta asfáltica de 10 cm sobre una sub-rasante en recebo compactado, no se observaron procesos de inestabilidad, cuentan con un adecuado manejo de aguas lluvias y señalización. [59]

3.6.2. Estudios realizados

El uso de pozos petroleros para la aplicación de intercambiador de calor en pozo geotérmico, se justifica por la reducción de los costos de perforación al aprovechar pozos ya abandonados en un campo de crudo y por el aumento de la factibilidad económica de la planta geotérmica. [60]

Se propone para el estudio de los campos de producción petrolera del Apiay, Suria y Campo Castilla, la utilización de un ciclo Rankine orgánico que consiste en un fluido líquido (fluido de trabajo, en este caso orgánico) que entra a un evaporador a alta presión (con respecto a otros lugares del ciclo) y se evapora con el calor proporcionado por una fuente de calor (por ejemplo gases calientes provenientes de la combustión, aguas termales, etc; en nuestro modelo la fuente de calor es el agua de los campos), en el cual el fluido se transforma en vapor sobrecalentado a una presión similar a la del líquido. Luego este vapor se inyecta a una turbina donde se despresuriza produciendo trabajo de eje, posteriormente este vapor a baja presión se conduce a un condensador donde una vez condensado el fluido se presuriza mediante una bomba y nuevamente comienza el ciclo. [49] [59] [60]

El agua de los pozos, es el fluido extraído de los campos de producción petrolera el cual se busca su utilización para el proceso en el ciclo Rankine, actualmente esta agua es vertida a unas piscinas de tratamiento para iniciar el proceso de enfriamiento y ser entregadas a los cuerpos de agua de las zonas. [59] [60]

FLUJOS Y TEMPERATURAS DEL AGUA DE LOS CAMPOS			
Plantas de producción de	flujo del agua	flujo del agua	Temperatura crudos
	enBls/día	enTon/h	en °C
Flujos de Castilla	220.000	1.454	77
Flujos de Suria	58.000	383	90

FLUJOS Y TEMPERATURAS DEL AGUA DE LOS CAMPOS

Plantas de producción de	flujo del agua en Bls/día	flujo del agua en Ton/h	Temperatura crudos en °C
Flujos de Apiay	57.000	377	99

Tabla 15 Flujos y temperaturas del agua de los campos. [59]

El proyecto se encuentra en proceso de contratación del equipo para validar el estudio de factibilidad, en este proceso se han invitado a las empresas Polaris y SKM; la estructura financiera para la investigación y puesta en marcha esta dada por el patrocinador y financiador ECOPEPETROL en un 100%. Las Construcciones serán realizadas en los terrenos propios del campo de ECOPEPETROL, los cuales cuentan con infraestructura de vías para llevar los equipos, e infraestructura para montaje de maquinaria industrial. Es indispensable establecer las adecuaciones en el terreno, las que serán parte del estudio de factibilidad, las cuales según la tecnología escogida y sus características serán planteadas en las etapas de diseño de ingeniería conceptual y de ingeniería de detalle del proyecto; teniendo en cuenta los resultados se harán ajustes al cronograma y a las etapas. [59] [60]

Es necesario aclarar, que la generación eléctrica esperada de los campos es baja, debido a que se espera implementar una tecnología de ciclo combinado para campos geotérmicos de baja entalpia, la cual tiene menor rendimiento que los campos de alta entalpia. [59]

Cabe la posibilidad técnica y económica de transferir algunos yacimientos petroleros abandonados para convertirlos en yacimientos de energía geotérmica, después de la inyección de aire, y con ello establecer un aprovechamiento geotérmico para generar energía eléctrica o el aprovechamiento del calor para campos cercanos. Cuando un pozo petrolero llega a su límite económico, termina su vida productiva con el abandono. En todo el mundo es casi incalculable la cantidad de pozos abandonados; en costa afuera entre 2000 y 2010 la cantidad de pozos abandonados se calcula en 27000 pozos de 4900 plataformas. [60]

4. Conclusiones y Hallazgos

- En el país en la actualidad la falta de aprovechamiento del recurso geotérmico es evidente y ello significa una preocupación significativa en la transición de energías alternativas que disminuyan la huella de carbono. Con la investigación y desarrollo de proyectos referentes a generación geotérmica, se podrá llegar a las ZNI (Zonas no interconectadas) de la región RAP-E que poseen fuentes geotérmicas, lo cual implica una generación de soluciones a los habitantes que no posean recurso de energía eléctrica, mejorando su calidad de vida; permitiendo la accesibilidad a otros diferentes recursos, como la posibilidad de implementación de maquinaria en la producción agrícola, el confort del hogar o un posible desarrollo autónomo.
- La labor de verificar las condiciones y capacidad de generación geotérmica en el país, se realiza con el fin de establecer una línea de investigación en el cual se pretende establecer una caracterización energética de la región central RAP-E referentes a generación geotérmica, con el fin de realizar una transición a las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER), desarrollar herramientas para ello el cambio energético para la región central y en general para Colombia representa un importante reto, con expectativas de crecimiento, desarrollo económico y social, sustentado en políticas orientadas al abastecimiento, uso eficiente y sostenible de la energía.
- La geotermia es una de las energías renovables que posea un alto nivel de confiabilidad al ser un recurso que no depende por clima, es una alternativa para iniciar una transición a energías renovables que disminuyan la huella de carbono.
- A pesar de ser un recurso aprovechado en el país, la geotermia cuenta con un potencial en diferentes regiones y con el paso del tiempo se conducirá a la instalación de plantas que refuercen el sistema nacional o contribuyan a llegar a zonas no interconectadas debido a las características del recurso.
- No existen cursos de especialización en geotermia en el país. Actualmente en las universidades o centros de aprendizaje no existen programas de capacitación especializados en el recurso. Los proyectos ejecutados se efectúan bajo conocimientos básicos y la búsqueda de aprovechamiento de circunstancias específicas.

5. Recomendaciones

- Se recomienda seguir realizando estudios, implementación o verificación de proyectos como el presupuestado para Meta o Cundinamarca, en donde el capital privado realizara verificación de las condiciones que se encuentran para la aplicación de un sistema geotérmico, ayudando con ello a realizar la amortiguación de los riesgos de mayor nivel como lo son los asociados a los estudios de prefactibilidad, en donde se requiere un largo plazo para la obtención de resultados positivos.
- En la región central RAP-E se abre la posibilidad de suplir el déficit de energía eléctrica de la región de Boyacá con el posible aprovechamiento del recurso geotérmico de Paipa, el cual en la actualidad únicamente tiene un aprovechamiento para el sector turístico, complementando las fuentes actuales además de dar un impulso industrial y comercial a la región.
- Es necesario para la implementación de proyecto geotérmico tener a consideración el tiempo de estudio y verificación del recurso, ya que en este tiempo no se obtendrán réditos del mismo, influyendo sustancialmente en la rentabilidad del proyecto, lo cual implica la necesidad del apoyo conjunto tanto privado como público para sacar adelante la implementación de los mismo y teniendo en cuenta que una vez implementado al poco tiempo se estabilizara y será rentable para la condiciones de generación de energía.
- Es necesario brindar aún mayores esfuerzos para los estudios geotérmicos, con el fin de confirmar las zonas de potencial del recurso en el país, ya que con el paso de los años se ha obtenido como constante la intermitencia en la verificación y estudio de este tipo de recursos.
- Al ser una tecnología poco aprovechada en el país es necesaria la especialización en centros de formación de este recurso, buscando la preparación tanto para ingenieros, administradores, economistas, técnicos, investigadores, entre otros, que permita asimilar y fomentar el crecimiento en la implementación de estas tecnologías fomentando el desarrollo y la explotación energética para un futuro próximo.

6. Bibliografía

- [1] N. C. Marzolf, *Emprendimiento De La Energía Geotérmica En Colombia*, 2014.
- [2] Carbon Trust, «Análisis Económico y Evaluación Costo Beneficio de los Mecanismos, Herramientas y Estrategias para la Promoción de FNCER en Colombia,» The Carbon Trust, Londres, 2015.
- [3] M. F. C. Paolo Bona, *Valoracion y Gobernanza de los Proyectos Geotérmicos en América del Sur*, Santiago: Naciones Unidas, 2016.
- [4] Unidad Planeacion Minero Energetica, «Integración de las Energía Renovable no Convencionales en Colombia,» La Impenta Editores S.A., Bogotá, 2015.
- [5] International Energy Agency, «Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power,» OECD/IEA, Paris, 2011.
- [6] Banco Internacional Para la Reconstrucción y el Desarrollo , «Manual de Geotermia: Cómo Planificar y Financiar la Generación de Electricidad,» Grupo del Banco Mundial, Washington D.C., 2012.
- [7] El periodico de la Energia, «Las 10 mayores plantas geotérmicas del mundo,» PREAM Internet , 2016 Junio 27. [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-geotermicas-del-mundo/>. [Último acceso: 2020 1 3].
- [8] M. C. C. Maria Camila Pabon, «Monografía de Investigación Sobre el Potencial que Tiene Colombia para la Implementación de Energías no Convencionales,» Colegio de Estudios Superiores de Administración, Bogotá D.C., 2016.
- [9] Servicio Geológico Colombiano, «Geotermica en Colombia Proyecciones y Plan de Trabajo del Servicio Geológico Colombiano,» Manizales, 2017.
- [10] G. Arias Marín y A. M. Acevedo Sánchez, «Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia,» Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Pereira, 2017.
- [11] P. M. Ledesma, «El Sector Energético Colombiano y las Energías Renovables,» *Revista Academica e Institucional de la UCPR*, vol. 7, nº 1, p. 150, 2007.
- [12] F. G. P. Herrera, «Viabilidad de la Energía Geotérmica como Fuente Alternativa de Producción de Energía Eléctrica en Colombia,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogota D.C., 2019.
- [13] COSIPLAN - UNASUR, «Ficha de Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño–Chiles– Cerro Negro,» 2016.
- [14] ISAGEN, Escritor, *Goetermia en Colombia*. [Performance]. ISAGEN, 2014.

- [15] J. A. O. González y M. A. M. Betancourt, «Panorama Preliminar para la Construcción de una Planta de Energía Geotérmica en el Macizo Volcánico del Ruiz,» *Revista Colombiana de Física. TECCIENCIA*, vol. 1, p. 45, 2009.
- [16] J. F. O. Daniel F. Gutierrez, «Análisis Tecnológico para la Explotación de Energía Geotérmica en zonas de Alto Potencial en Colombia,» Universidad de la Salle, Bogotá, 2009.
- [17] ISAGEN S.A., «Informe Gestión,» ISAGEN S.A., 2012.
- [18] M. Coviello, «Financiamiento y regulación de las fuentes de energía nuevas y renovables: el caso de la geotermia,» Naciones Unidas, Santiago de Chile , 1998.
- [19] CorpoEma, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), «Formulación de un Plan de Desarrollo Para las Fuentes no Convencionales de Energía en Colombia,» Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Bogotá D.C., 2010.
- [20] L. J. L. Prado, «Viabilidad Técnica y Financiera para la Generación de Energía Geotérmica en Colombia,» Universidad de los Andes, Bogotá D.C., 2011.
- [21] Fundación Gas Natural Fenosa, «La energía geotérmica,» Fundación Gas Natural Fenosa, Barcelona, 2011.
- [22] Banco Interamericano de Desarrollo - BID, «La Energía Geotérmica,» Banco Interamericano de Desarrollo - BID, 2014.
- [23] Servicio Geológico Colombiano, «Geotermia en Colombia,» Imprenta Nacional, Bogotá D.C., 2019.
- [24] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME), «Manual de Geotermia,» Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid, 2008.
- [25] D. I. I. C. C. Camazón, «Energía Eléctrica a Partir de Recursos Geotérmicos,» *Revista Dyna*, vol. 84, nº 1, p. 45, 2008.
- [26] Servicio Geológico Colombiano, «¿Que es Exploración Geotérmica?,» Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2019.
- [27] Perforadora Santa Barbara , «Los Pozos Geotérmicos,» Perforadora Santa Barbara , [En línea]. Available: <http://www.psb.com.sv/?cat=1012&title=Los%20Pozos%20Geot%20E9rmicos&lang=es>. [Último acceso: 2019 Diciembre 27].
- [28] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, «Plan de Expansión de Referencia; Generación - Transmisión; 2015-2029,» 2015.

- [29] Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, «Informe de Registro de Proyectos de Generación,» 2019. [En línea]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNzBhN2Q4YmMtN2IxMy00Mjg2LWJhZTctMjRkNWE2NDdlMzI0liwidCI6Ijg5NTAwZjZkLWJjZTktdNDgzNC1iNDQ2LTc0YjVmYjliZjEwZSIsImMiOjh9.> [Último acceso: 12 7 2019].
- [30] A. M. G. González, «La Energía Geotérmica como fuente alternativa de abastecimiento para la demanda en Colombia,» Universidad Nacional Abierta y a Distancia , Medellín, 2019.
- [31] Servicio Geológico Colombiano, «Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales,» 2019. [En línea]. Available: <http://hidrotermales.sgc.gov.co/invtermales/>. [Último acceso: 13 8 2019].
- [32] Asociación Geotérmica Colombiana, «Estándar Cartográfico para Información Geotérmica del Servicio Geológico,» Asociación Geotérmica Colombiana, Manizales, 2018.
- [33] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «GEOTERMIA,» IDAE, [En línea]. Available: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/geotermia>. [Último acceso: 2019 11 15].
- [34] «La energía geotérmica para reducir emisiones de gases a la atmósfera,» *MORSEBYEXPERTS*, nº 1, p. 3, 2019.
- [35] M. A. G. Zarate, «La energía geotérmica para reducir emisiones de gases a la atmósfera,» *MORSEBYEXPERTS*, vol. 1, nº 1, pp. 3-14, 2019.
- [36] Instituto Colombiano de Geología y Minería, «Recursos Geotérmicos de Colombia,» de *Congreso Internacional en Ciencias y Tecnologías Ambientales IV Sesión: Energía, Produccion y Consumo Sostenible Univalle*, Cali, 2010.
- [37] *Decreto 2811*, 1974.
- [38] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente,» Imprenta Nacional de Colombia, Bogota D.C., 2014.
- [39] *Ley 697*, 2001.
- [40] *Ley No. 1715*, 2014.
- [41] L. V. B. Gómez, «Análisis de los Diferentes Tipo de Energías Alternativas y su Implementación en Colombia,» Universidad Militar Nueva Granada - Facultad de Ciencias Económicas, Bogotá D.C., 2016.
- [42] L. J. V. V. Silvia Juliana Buitrago Sequeda, «Beneficios Tributarios Por el Desarrollo y Utilización de Fuentes no Convencionales de Energía FNCE,» Universidad Cooperativa de Colombia - Facultad de Ciencias Económicas,

Administrativas y Contables, Bucaramanga, 2017.

- [43] *Acuerdo No. 15 del 27 Abril*, 2016.
- [44] Unidad de Planeación Minero Energética UPME, «¡INVIERTA Y GANE CON ENERGÍA! Talleres de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014,» Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Bogotá , 2016.
- [45] Twenergy, «¿Qué es la energía geotérmica?,» Twenergy, 18 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/energia/energia-geotermica/que-es-la-energia-geotermica-que-aplicaciones-tiene-108/>. [Último acceso: 2019 Diciembre 27].
- [46] Asociacion Geotérmica Colombia, «Caso Exitoso en Colombia del aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía para climatización.,» Asociacion Geotérmica Colombia, Manizales, 2017.
- [47] *Resolucion N°01024*, 2017.
- [48] *Resolución N° 00186*, 2018.
- [49] D. M. M. Francisco Javier Cárcel Carrasco, «Captación de la Energía Geotérmica para su Uso en la Edificación,» *3c Tecnología*, vol. 4, nº 2, pp. 54-95, 2015.
- [50] Generalitat de Catalunya, «La energía geotérmica de muy baja temperatura,» Generalitat de Catalunya, 01 Enero 2016. [En línea]. Available: http://territori.gencat.cat/es/detalls/Article/ICGC_geotermia. [Último acceso: 02 Enero 2020].
- [51] Servicio Geológico Colombiano, «Actualización del Modelo Conceptual del Área Geotérmica de Paipa,» Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, 2017.
- [52] J. R.-R. G. A.-V. C. Matiz-León, «Modelos de temperatura del suelo a partir de sondeos superficiales y sensores remotos para el área geotérmica de Paipa, Boyacá-Colombia,» *Boletín de Geología*, vol. 41, nº 2, p. 87, 2019.
- [53] Universidad Industrial de Santander, «Caracterización Geológica del Cuerpo Volcanico de Iza, Boyazá - Colombia,» *Boletin de Geologia*, vol. 33, nº 1, pp. 117-130, 2011.
- [54] H. C. J. M. J. Natalia Pardo, «The Paipa Volcan, Eastern Cordillera of Colombia,» *Earth Sciences Research Journal*, vol. 9, nº 1, p. 18, 2005.
- [55] Ministerio de Minas y Energía- Instituto Colombiano de Geología y Minería, «Modelo Conceptual Preliminar del Sistema Geotérmico de Paipa,» Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 2005.
- [56] Servicio Geologico Colombiano - SGC, «Vamos por la confirmación de la anomalía térmica y la estructura geológica del subsuelo del sistema geotérmico

de Paipa,» Servicio Geologico Colombiano - SGC, 2019 Mayo 10. [En línea]. Available: <https://www2.sgc.gov.co/Noticias/Paginas/sistema-geot%C3%A9rmico-de-Paipa.aspx>. [Último acceso: 2019 Octubre 10].

- [57] Corpoboyacá, «Corpoboyacá,» Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.corpoboyaca.gov.co/>. [Último acceso: 19 Septiembre 2019].
- [58] *Decreto 1076*, 2015.
- [59] C. U. P. Domínguez, «Mecanismo de Desarrollo Limpio Aplicado a la Generación de Energía Eléctrica, con la Utilización de Energía Geotérmica de Baja Entalpía en Campos de Producción Petroleta Apiay, Suria y Campo Castilla,» Universidad de la Sabana - Facultad de Ingeniería, Bogota D.C., 2010.
- [60] L. C. V. L. John David Giraldo Rodriguez, «Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología,» Universidad Industrial de Santander - Facultad de Ingenierías Físicoquímicas , Bucaramanga, 2015.

7. Entidades y actores

Mapa de Actores y Entidades									
Entidad	Siglas	Dependencia/ Contacto	Teléfono	Pág. Web	Correo	Naturaleza	Área de Influencia	Sector	Descripción
Servicio Geológico Colombiano	SGC	Atención al público	1 - 2200200	https://www.sgc.gov.co/	cliente@sgc.gov.co	Pública	Nacional	Energético	El Servicio Geológico Colombiano o SGC (anteriormente INGEOMINAS), es una agencia adscrita al Ministerio de Minas y Energía, encargada de realizar el estudio de los recursos naturales de carácter geológico y los peligros que estos amenazan.
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME	Dr. Carlos García	1 - 2220601	www.upme.gov.co	info@upme.gov.co	Publica	Nacional	Minero - Energético	La Unidad de Planeación Minero Energética UPME es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, con el fin de planear el desarrollo minero - energético, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible.
Banco Interamericano de Desarrollo	BID	Aida Adaine Vanega	1 - 3527000	https://www.iadb.org/es	bidcolombia@iadb.org	Pública	Internacional	Ambiental y social	Trabajamos para mejorar la calidad de vida en América Latina y el Caribe. Ayudamos a mejorar la salud, la educación y la infraestructura a través del apoyo financiero y técnico a los países que trabajan para reducir la pobreza y la desigualdad. Nuestro objetivo es alcanzar el desarrollo de una manera sostenible y respetuosa con el clima.
Corporación Autónoma de Boyacá	Corpoboyacá	Adriana Rios Moyano	8 - 7457192	https://www.corpoboyaca.gov.co/	bidcolombia@iadb.org	Pública	Regional	Ambiental y social	Se encarga de Liderar el desarrollo sostenible a través del ejercicio de autoridad ambiental, la administración y protección de los recursos naturales renovables y el ambiente, y la formación de cultura ambiental, de manera planificada y participativa. Los pilares de nuestro accionar son: el Respeto, la transparencia, el liderazgo, el trabajo en equipo y el mejoramiento continuo.

Mapa de Actores y Entidades

Entidad	Siglas	Dependencia/ Contacto	Teléfono	Pág. Web	Correo	Naturaleza	Área de Influencia	Sector	Descripción
Ministerio de Minas y Energía	MinMinas	Atención al ciudadano	1 - 2200300	https://www.minenergia.gov.co	minenergia@minenergia.gov.co	Pública	Nacional	Energético	El Ministerio de Minas y Energía es una entidad pública de carácter nacional del nivel superior ejecutivo central, cuya responsabilidad es la de administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización; la orientación en el uso y regulación de los mismos, garantizando su abastecimiento y velando por la protección de los recursos naturales del medio ambiente con el fin de garantizar su conservación, restauración y el desarrollo sostenible, de conformidad con los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambiental, señalados por la autoridad ambiental competente
The Carbon Trust	N/A	Atención al ciudadano	+44 (0)20 3944 0479	https://www.carbontrust.com/about-us/	jane.doe@carbontrust.com	Privada	Internacional	Desarrollo Sostenible	The Carbon Trust es un socio experto e independiente de organizaciones líderes en todo el mundo, que les ayuda a contribuir y beneficiarse de un futuro más sostenible a través de la reducción de carbono, las estrategias de eficiencia de recursos y la comercialización de tecnologías bajas en carbono.
ISAGEN S.A	ISAGEN S.A	Atención al ciudadano	(1) 294 92 00	https://www.isagen.com.co	lineaetica@isagen.com.co	Privada	Regional	Energético	ISAGEN es una empresa privada de generación y comercialización de energía, que además avanza en el desarrollo de un portafolio de energías renovables que aprovechan fuentes como el agua, el viento y la luz solar.
Universidad Nacional de Colombia	UNAL	Rectoría	1 - 3165000	http://unal.edu.co/	jfrankyr@unal.edu.co	Pública	Nacional	Académico	La Universidad Nacional de Colombia (UNAL) es una universidad pública colombiana del orden nacional, sujeta a inspección y vigilancia por medio de la Ley 1740 de 2014 y la ley 30 de 1992 del Ministerio de Educación de Colombia.

Mapa de Actores y Entidades

Entidad	Siglas	Dependencia/ Contacto	Teléfono	Pág. Web	Correo	Naturaleza	Área de Influencia	Sector	Descripción
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	MinAmbiente	Atención al ciudadano	(57-1) 3323400	http://www.minambiente.gov.co/	servicioalciudadano@minambiente.gov.co	Pública	Nacional	Ambiental	Es la entidad de índole pública encargada de definir la política Nacional Ambiental y promover la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, a fin de asegurar el desarrollo sostenible y garantizar el derecho de todos los ciudadanos a gozar y heredar un ambiente sano.
Comisión de Regulación de Energía y Gas	CREG	Dirección administrativa	1 - 6032020	http://www.creg.gov.co	contactenos@creg.gov.co	Pública	Nacional	Normatividad	Funciona como entidad regulatoria para los recursos energéticos buscando brindar garantías a los usuarios que hagan uso de los mismos.

Mapa de Actores y Entidades									
Entidad	Siglas	Dependencia/ Contacto	Teléfono	Pág. Web	Correo	Naturaleza	Área de Influencia	Sector	Descripción
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	ANLA	Rodrigo Suárez Castaño	1 - 2540111	http://www.anla.gov.co/	licencias@anla.gov.co	Publica	Nacional	Ambiental	La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del País.
Asociación Geotérmica Colombiana	AGECOL	N/A	N/A	https://www.ageocol.org/	ageocol@ageocol.org	Privada	Nacional	Geológica - Energética	Busca convenios de cooperación con comunidades locales, instituciones gubernamentales, industria y academia nacional e internacional, para la ejecución de proyectos y el intercambio de conocimiento en geotermia; promoviendo los beneficios de este recurso tanto en sus usos directos como en la generación de electricidad

Tabla 16. Entidades y Actores.
Elaboración Propia.

8. Clasificación de referencias

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[51]	Informe	Actualización del Modelo Conceptual del Área Geotérmica de Paipa	Servicio Geológico Colombiano	Consolida los estudios realizado en el departamento de la región de Paipa Boyacá perteneciente a la Región Central RAP-E sobre los recursos geotérmicos.
[55]	Informe	Modelo Conceptual Preliminar del Sistema Geotérmico de Paipa	Ministerio de Minas y Energía- Instituto Colombiano de Geología y Minería	Consolida los estudios realizado en el departamento de la región de Paipa Boyacá perteneciente a la Región Central RAP-E sobre los recursos geotérmicos.
[31]	Aplicación Web	Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales	Servicio Geológico Colombiano	Brinda herramienta e inventario a nivel nacional de los recursos geotérmicos (Con énfasis en manifestaciones hidrotermales)
[4]	Libro Técnico	Integración de las Energía Renovable no Convencionales en Colombia	Unidad Planeación Minero Energética	Este informe tiene como objetivo presentar alternativas para la integración de fuentes FNCER intermitentes, enfocadas a los aspectos de largo y corto plazos.
[2]	Informe	Análisis Económico y Evaluación Costo Beneficio de los Mecanismos, Herramientas y Estrategias para la Promoción de FNCER en Colombia	Carbón Trust	Informe presentada a la UPME por la firma CarbonTrust, cuyo objetivo de este estudio fue el análisis del impacto de nuevos incentivos de política pública sobre la rentabilidad de las FNCER en Colombia.
[5]	Libro Técnico	Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power	International Energy Agency	Este documento fue preparado por la International Energy Agency, brindando una descripción sobre el uso de recursos geotérmicos desde diferentes puntos de vista (Implementación, Costos, Tecnologías, etc.)
[6]	Libro Técnico	Manual de Geotermia: Cómo Planificar y Financiar la Generación de Electricidad	Banco Internacional Para la Reconstrucción y el Desarrollo	Manual para desarrollo de proyectos geotérmicos, procesos o conceptos a tener en cuenta
[3]	Libro Técnico	Valoración y Gobernanza de los Proyectos Geotérmicos en América del Sur	M. F. C. Paolo Bona	Informe sobre el estado de los proyectos geotérmicos en Latinoamérica

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[28]	Libro Técnico	Plan de Expansión de Referencia; Generación - Transmisión	Unidad de Planeación Minero Energética - UPME	Proyección de crecimiento energético para Colombia
[29]	Informe – Aplicación Web	Informe de Registro de Proyectos de Generación	Unidad de Planeación Minero Energética - UPME	Resumen de proyectos y crecimiento energético para Colombia
[40]	Norma Judicial	Ley 1715 de 2014	Gobierno Nacional	La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.
[39]	Norma Judicial	Ley 697 de 2001	Gobierno Nacional	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
[1]	Libro Técnico	Emprendimiento De La Energía Geotérmica En Colombia	N. C. Marzolf	Informe generado por ISAGEN sobre el estado geotérmico en Colombia y enfocado al estudio realizado para el proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico Del Ruiz
[16]	Libro Técnico	Análisis Tecnológico para la Explotación de Energía Geotérmica en zonas de Alto Potencial en Colombia	J. F. O. Daniel F. Gutiérrez	Documento desarrollado para consolidar y realizar un análisis descriptivo de tecnologías, que faciliten la explotación adecuada y eficiente de los recursos geotérmicos en Colombia, desarrollando de igual forma, un análisis financiero y ambiental
[9]	Informe	Geotérmica en Colombia Proyecciones y Plan de Trabajo del Servicio Geológico Colombiano	Servicio Geológico Colombiano	Informe sobre convención Geotérmica donde se relaciona el estado de la tecnología en el país

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[46]	Informe	Caso Exitoso en Colombia del aprovechamiento de la geotermia de baja entalpía para climatización.	Asociación Geotérmica Colombiana - AGECOL	Informe sobre convención Geotérmica donde se muestra un caso aplicado ge geotermia de baja entalpía en la región de Cundinamarca
[36]	Informe	Recursos Geotérmicos de Colombia	Instituto Colombiano de Geología y Minería	Informe consolidado sobre el congreso realizado, evaluando el estado y uso de recurso geotérmico en Colombia
[57]	Sitio Web	Corpoboyacá	Corporación Autónoma Regional de Boyacá	Página Web oficial de la entidad Corpoboyacá cuyo objetivo tiene como fin realizar el control, conservación, administración y protección de los recursos naturales renovables y el ambiente de la región de Boyacá
[37]	Norma Judicial	Decreto 2811 de 1974	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
[38]	Informe	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Esta normativa ambiental, modificó sustancialmente la relación del hombre con la naturaleza al considerar el ambiente como un patrimonio común y un bien sujeto de protección y tutela jurídica.
[58]	Norma Judicial	Decreto 1076 de 2015	Gobierno Nacional	Faculta a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, para realizar control, monitoreo y administración de los componentes ambientales de la región de Boyacá
[47]	Norma Judicial	Resolución N°01024, 2017.	ANLA	Revisa el proyecto piloto parque industrial de la Gran Sabana ubicada en Tocancipá
[48]	Norma Judicial	Resolución N° 00186, 2018	ANLA	Revisa el proyecto piloto parque industrial de la Gran Sabana ubicada en Tocancipá

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[24]	Libro Técnico	Manual de Geotermia	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME)	Manual sobre características de la geotermia, procesos o conceptos a tener en cuenta
[59]	Investigación	Mecanismo de Desarrollo Limpio Aplicado a la Generación de Energía Eléctrica, con la Utilización de Energía Geotérmica de Baja Entalpía en Campos de Producción Petrolera Apiay, Suria y Campo Castilla	Carlos Uriel Porras Domínguez	Investigación para lo verificación de factibilidad para proyecto geotérmico de baja entalpía en campos petroleros del departamento del Meta
[60]	Investigación	Energía Geotérmica y la Explotación de Yacimientos Hidrocarburos: Oportunidades para una Mutua Transferencia de Tecnología	Jhon David Giraldo Rodríguez, Luis Carlos Vesga León	Investigación para lo verificación para el aprovechamiento de los adelantos tecnológicos, financieros, sociales y políticos de la industria geotérmica y petrolera en Colombia con el fin de identificar las oportunidades para una mutua transferencia de tecnología.
[19]	Informe	Formulación de un Plan de Desarrollo Para las Fuentes no Convencionales de Energía en Colombia	Unidad de Planeación Minero Energética - UPME	Análisis indicativo, sobre las posibles vías para la implementación de proyectos con FNCER
[44]	Manual	¡INVIERTA Y GANE CON ENERGÍA! Talleres de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014	Unidad de Planeación Minero Energética - UPME	Resumen y manual sobre los incentivos de la Ley 1715 de 2014
[17]	Informe	Informe Gestión	ISAGEN S.A	Informe complementario para proyecto Geotérmico del Macizo Volcánico Del Ruiz
[26]	Informe	¿Qué es la explotación geotérmica?	Servicio Geológico Colombiano	Informe complementario respecto a tecnología y explotación geotérmica

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[23]	Informe	Geotermia en Colombia	Servicio Geológico Colombiano	Informe complementario respecto a tecnología y explotación geotérmica
[18]	Informe	Financiamiento y regulación de las fuentes de energía nuevas y renovables: el caso de la geotermia	Manlio Coviello	Análisis económico sobre la implementación de fuentes de generación renovable específicamente la geotermia
[10]	Investigación	Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia	Geraldyn Arias Marín, Ana María Acevedo Sánchez	Investigación sobre el estado de los proyectos geotérmicos en el territorio Colombiano
[32]	Informe	Estándar Cartográfico para la Información Geotérmica del Servicio Colombiano - SGC	Asociación Geotérmica Colombiana - AGECOL	Informe complementario con la documentación para el estudio geotérmico.
[13]	Ficha Técnica	Ficha de Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño– Chiles– Cerro Negro	COSIPLAN - UNASUR	Detalle del proyecto Geotérmico Binacional Tufiño– Chiles– Cerro Negro
[52]	Artículo Revista	Modelos de temperatura del suelo a partir de sondeos superficiales y sensores remotos para el área geotérmica de Paipa, Boyacá-Colombia	Matiz León, Alfaro Valero, J.C. Jaramillo	Publicación sobre estudio realizado a la zona con potencial geotérmico de Paipa
[54]	Artículo Revista	The Paipa Volcan, Eastern Cordillera of Colombia	Natalia Pardo, Héctor Cepeda, José María Jaramillo	Publicación sobre estudio realizado a la zona con potencial geotérmico de Paipa
[25]	Investigación	Energía Eléctrica a Partir de Recursos Geotérmicos	D. I. I. C. C. Camazón	Obtención de esquemas referentes a los tipos de tecnologías existentes para proyectos geotérmicos
[42]	Investigación	Beneficios Tributarios Por el Desarrollo y Utilización de Fuentes no Convencionales de Energía FNCE	Silvia Juliana Buitrago Sequeda, Leidy Johana Valero Villarreal	Análisis de las condiciones tributarias en Colombia gracias a los mecanismo legales implementados en el país

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[12]	Investigación	Viabilidad de la Energía Geotérmica como Fuente Alternativa de Producción de Energía Eléctrica en Colombia	Frank Giuseppe Peña Herrera	Análisis técnico y económico sobre la implementación de plantas geotérmicas en Colombia
[20]	Investigación	Viabilidad Técnica y Financiera para la Generación de Energía Geotérmica en Colombia	Lady Jarleth Lozada Prado	Análisis técnico y económico sobre la implementación de plantas geotérmicas en Colombia
[15]	Artículo Revista	Panorama Preliminar para la Construcción de una Planta de Energía Geotérmica en el Macizo Volcánico del Ruiz,	J. A. O. González; M. A. M. Betancourt.	Publicación de estudios y consideraciones realizadas para la construcción de una planta geotérmica en el Macizo Volcánico del Ruiz
[11]	Artículo Revista	El Sector Energético Colombiano y las Energías Renovables	Patricia Morales Ledesma	Publicación de análisis sobre el estado actual del sector energético y las energías renovables.
[30]	Investigación	La Energía Geotérmica como fuente alternativa de abastecimiento para la demanda en Colombia	Adriana María Gil González	Verificación del estado ya posibilidad de uso de energía geotérmica para Colombia.
[49]	Artículo Revista	Captación de la Energía Geotérmica para su Uso en la Edificación	Francisco Javier Cárcel Carrasco, David Martínez Márquez	Contextualización sobre el uso de Geotermia de baja entalpia para climatización de edificios.
[35]	Artículo Revista	La Energía Geotérmica Para Reducir Emisiones De Gases A La Atmósfera	Marco Antonio García Zarate	Descripción de las características ambientales de proyectos geotérmicos.
[41]	Investigación	Análisis de los Diferentes Tipo de Energías Alternativas y su Implementación en Colombia	Lady Viviana Beltrán Gómez	Investigación analítica sobre el estado de las energías alternativas y la posibilidad de su implementación en Colombia.
[53]	Artículo Revista	Caracterización Geológica del Cuerpo Volcánico de Iza, Boyacá - Colombia	Universidad Industrial de Santander	Publicación de estudios y resultados efectuados en el área volcánica de Paipa-Iza
[22]	Informe	La Energía Geotérmica	Banco Interamericano de Desarrollo - BID	Resumen sobre las características de la energía geotérmica.

ID	Tipo	Nombre	Fuente	Descripción de Importancia
[21]	Manual	La energía geotérmica	Fundación de Gas Natural Fenosa	Descripción de la energía geotérmica y los beneficios de su uso
[43]	Acuerdo	Acuerdo No.15 del 27 Abril del 2017	ICETEX	El ICETEX promulga y apoya el uso racional de los recursos utilizados en las actividades que desarrolla, incentivando a los estudiantes que deseen realizar estudios relacionados con el uso racional de la energía.
[8]	Monografía	Monografía De Investigación Sobre El Potencial Que Tiene Colombia Para La Implementación De Energías No Convencionales	María Camila Pabón, María Camila Castillo	La presente monografía de investigación tiene como finalidad dar a conocer el potencial que hay en Colombia para la diversificación de su matriz energética por medio de tipos de energía no convencionales.
[45]	Sitio Web	¿Qué es la Energía Geotérmica?	Twenergy	Descripción de beneficios, ventajas y caracterización de la energía geotérmica.
[27]	Sitio Web	Los Pozos Geotérmicos	Perforadora Santa Bárbara	Breve descripción sobre las características de los pozos geotérmicos.
[33]	Sitio Web	GEOTERMIA	IDEA	Sitio web con breve caracterización del recurso geotérmico.
[56]	Sitio Web	Vamos por la confirmación de la anomalía térmica y la estructura geológica del subsuelo del sistema geotérmico de Paipa.	Servicio Geológico Colombiano	Noticia sobre avances de las perforaciones y estudios realizados en Paipa.
[50]	Sitio Web	La energía geotérmica de muy baja temperatura.	Generalitat de Cataluña	Descripción de un sistema geotérmico de baja temperatura.
[7]	Sitio Web	Las 10 mayores plantas geotérmicas del mundo.	El periódico de la Energía	Actualización de la capacidad geotérmica instalada en el mundo.

Tabla 17 Clasificación de las referencias.
Elaboración Propia.

9. Legislación

Tipo De Documento Jurídico	Numero	Año	Entidad	Objetivo	Sector	Aplicabilidad
Ley	1715	2014	Congreso de Colombia	Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. En ningún caso el valor a deducir podrá ser superior al 50% de la renta líquida antes de restar la deducción. También sobre la certificación de beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Energía Eléctrica	Propias del sector
Ley	697	2001	Congreso de Colombia	Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.	Energético	Propias del sector
Decreto	1076	2015	Presidencia de la República	Por la cual se faculta a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, para realizar control, monitoreo y administración de los componentes ambientales de la región de Boyacá	Energético	Ambiental y Social
Decreto	2811	1974	Presidencia de la República	Por el cual se crea el Código Nacional de Recursos Renovables y de Protección al Medio Ambiente, uso y conservación del suelo	Energético	Ambiental y Social
Resolución	01024	2017.	ANLA	Revisa el proyecto piloto parque industrial de la Gran Sabana ubicada en Tocancipá	Ambiental	Ambiental y Social
Resolución	00186	2018	ANLA	Revisa el proyecto piloto parque industrial de la Gran Sabana ubicada en Tocancipá	Ambiental	Ambiental y Social

*Tabla 18 Legislación usada en el documento por agente.
Elaboración Propia.*