

La Geotermia, Fuente de Energía Alternativa para el Departamento de Nariño: Potencialidad, Usos y Beneficios

Franco Andrés Montenegro Coral

Biólogo con Énfasis en Ecología, Especialista en Ecología con Énfasis en Gestión Ambiental, Especialista en Planeación Ambiental y Manejo de Recursos Naturales, Estudios de Maestría en Ciencias Ambientales y Epidemiología. Docente Investigador Grupo Interdisciplinario en Salud – Enfermedad (GIISE), Facultad de Medicina Universidad Cooperativa de Colombia, Pasto.
franco.montenegro@campusucc.edu.co

Angie Ximena Ortiz Chamorro

Estudiante de Medicina VII Semestre. Semillero de Investigación Fordward, Grupo de Investigación GIISE, Programa de Medicina Universidad Cooperativa de Colombia.

1. Introducción

Teniendo en cuenta el agotamiento de las fuentes tradicionales de energía, la mayoría de países en el mundo ha empezado a buscar soluciones mediante la implementación de nuevas tecnologías energéticas que ayuden a minimizar los efectos ambientales que han causado las fuentes tradicionales de energía basadas en los combustibles fósiles. La Agencia Nacional de Hidrocarburos (2013) pronostica que Colombia cuenta con un periodo máximo de siete años para el uso energético, siempre y cuando se dé el encuentro de nuevos yacimientos.

Frente a esta tendencia, en Colombia se ha empezado a realizar estudios de factibilidad que fomenten el uso de fuentes no convencionales de energía, promuevan el crecimiento económico y atiendan las preocupaciones ambientales, basados en el uso de fuentes de energía nueva, renovable y limpia, entre ellas, las basadas en el aprovechamiento de las energías solar, eólica, hidroeléctrica, la derivada de la biomasa, la geotérmica, entre otras.

Estas son las razones por las que el Estado colombiano sea interesado en el estudio y desarrollo de las energías renovables no convencionales, para diversificar la matriz energética y aumentar la fiabilidad asociada a la generación hidroeléctrica. Estableciendo para tal fin un Plan Energético Nacional, con los objetivos de expandir y garantizar el suministro de energía; Promover el desarrollo regional y local; Introducir nuevas fuentes y tecnologías de generación de energía; Contribuir a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y el cambio climático; Promover el uso de renovables fuentes de energía.

Entre las fuentes renovables, además de las de origen hidráulico y de origen eólico, la geotérmica ha demostrado su factibilidad técnica y económica con mayor grado de seguridad. Los recursos geotérmicos constituyen la energía derivada del calor que se extrae a través de los fluidos geotérmicos que surgen de procesos naturales o artificiales de acumulación y calentamiento del subsuelo. En el presente documento se presenta algunas generalidades sobre la clasificación, aplicaciones, usos históricos del recurso, además de algunos aspectos puntuales sobre la potencialidad, usos y beneficios de la energía geotérmica en el departamento de Nariño.

2. Definición y clasificación del recurso

La palabra “geotermia” tiene sus raíces etimológicas en el griego: proviene del sufijo “geo” que significa tierra y “termos” calor; es decir, el calor

proveniente de la tierra. La energía geotérmica es un tipo de energía de tipo termal, formada por un permanente flujo de calor desde el núcleo de la tierra, a través del manto y hacia la superficie terrestre, producto de los procesos naturales o artificiales de acumulación y calentamiento del subsuelo (Farietta, 2014, pp. 150-182 y Coviello, 1998, p. 7). Por otra parte, el término “geotermia” se utiliza indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta, como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano (Llopis y Rodrigo, 2008).

Entre las bondades o características más importantes de la energía geotérmica se encuentra que es la única fuente de energía completamente renovable con disponibilidad ilimitada, independientemente de las variaciones climáticas o hidrológicas, pues su calor es generado las veinticuatro horas del día durante todo el año, además de ser considerado el recurso energético más grande que existe sobre la tierra, de potencial inagotable en términos humanos y comparable con la fuerza emanada de la energía solar, como una forma de energía limpia, debido a que no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, adicionalmente de que las instalaciones para geotermia demandan porciones pequeñas de territorio para su desarrollo (Coviello, 1998, Farietta, 2014, Marzolf, 2014 y Llopis y Rodrigo, 2008).

3. Aplicaciones de la energía geotérmica

Las aplicaciones que se puede dar a un fluido geotermal dependen de su contenido de calor o su entalpía¹ (Llopis y Rodrigo, 2008). Las fuentes geotérmicas, según sus características y magnitud calórica, pueden ser aprovechadas no solamente para generar electricidad (alta entalpía) sino para usos directos del calor (baja entalpía) (Coviello, 1998).

De acuerdo con la guía de la Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid (2012), se establece unos usos de la energía geotérmica en función de la temperatura (Figura 1); de esta manera se considera cuatro categorías para el aprovechamiento de la energía geotérmica:

- Alta temperatura: más de 150°C: una temperatura superior a 150°C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- Media temperatura: entre 90°C y 150°C: permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.

¹ Cantidad de energía térmica que un fluido o un objeto puede intercambiar con su entorno.

- Baja temperatura: entre 30°C y 90°C: su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.
- Muy baja temperatura: menos de 30°C: puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

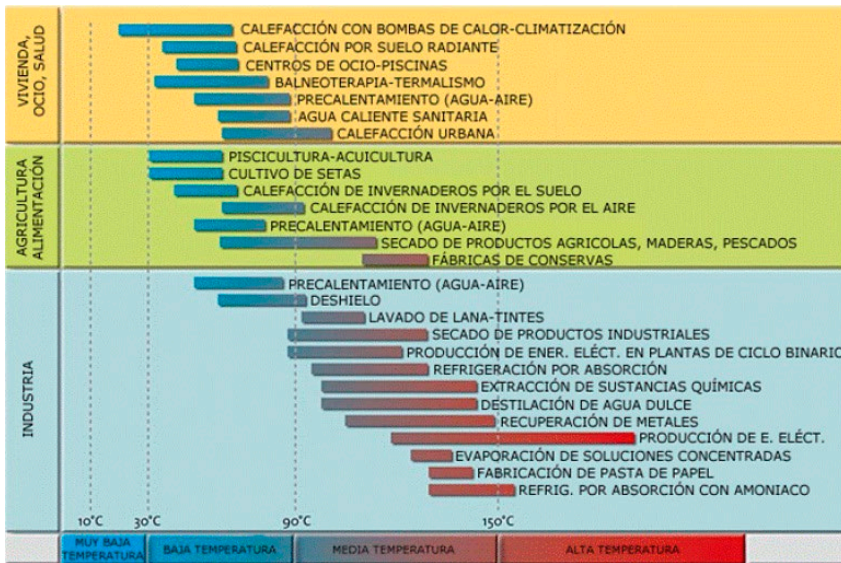


Figura 1. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura.

Fuente: Site Geothermie – Perspectives de l'ADEME et du BRGM.

4. Usos de la energía geotérmica

Los recursos geotérmicos han sido usados desde la antigüedad con fines medicinales, agropecuarios (Marzolf, 2014), para calefacción, y por cerca de 100 años para obtener energía eléctrica de manera continuada en el periodo moderno de la humanidad. Su potencial es inagotable en términos humanos y es comparable con la fuerza emanada de la energía solar (Farietta, 2014).

Fueron los romanos y los griegos quienes aprovecharon este fenómeno natural por primera vez, creando termas medicinales, baños públicos y usándolo para el calentamiento de sus casas. Igualmente, propagaron el uso de esta energía a los continentes de Europa y América, expandiéndola a nivel mundial.

Hay registros de su uso de más de dos mil años en China, y existen ruinas romanas relacionadas con el aprovechamiento termal desde Siria hasta Inglaterra, doscientos años antes de Cristo (Marzolf, 2014).

Pero sólo hasta los siglos XVIII y XIX se descubrió el poder de condensación del vapor geotérmico gracias a los italianos, quienes innovaron en la producción de electricidad en Italia. Fue precisamente un italiano, el señor F.U. Hoefler director de la farmacia del Ducado de Toscana (Italia), quien encontró presencia de ácido bórico en los condensados de vapor geotérmico con una técnica que consistía en extraer el concentrado bórico con la quema de agua termal utilizando leña (Garzón, 2011, p. 199).

La geotermia empezó a ser una industria atractiva en el año 1827, con el señor Francois Larderel, el cual desarrolló un sistema para utilizar el calor de los fluidos en cada uno de los procesos de evaporación, directamente de la corteza terrestre. Así se reemplazó la tradicional quema de madera, que provoca la deforestación de bosques, por la utilización de cada uno de los vapores que emanan directamente de la tierra.

De esta manera en el año 1829, entre 9 fábricas que producían energía geotérmica, se destacaban: Castelnuevo, Sazzo, Serranazo, Lago y Monterrontondo.

Cuatro años después, en el barrio parisino de Grenelle, como sostienen Llopis y Rodrigo (2008, p. 27), se promovió por primera vez un sondeo en un pozo de 548 metros de profundidad, cuya construcción demoró ocho años. Además se constató la presencia de agua potable en el acuífero de arenas albienses de la Cuenca de París.

Japón también tomó la iniciativa en los caminos de la exploración de pozos geotérmicos en la ciudad de Beppu, localizada en la isla de Kyushu, instalando una planta experimental de 1 kilowatio para la generación parcial de energía eléctrica (Llopis y Rodrigo, 2008, p. 28).

La técnica de aprovechamiento del vapor que emana de la tierra fue la que impulsó la creación de la primera empresa geotérmica en el mundo, llamada Darderello (Coviello, 1998) en Italia, que después de un tiempo aprovecharía el vapor geotérmico para producir energía, convirtiéndose en la primera comercializadora de energía geotérmica que monopolizaría el mercado europeo.

Las primeras formas importantes de producción de electricidad son debidas, sin duda, a los italianos, quienes aprovecharon lo aprendido en Dardarelo, poniendo a funcionar en el año de 1913 una central de 250 kilovatios, reutilizando además el vapor de baja presión para climatizar invernaderos, edificios industriales y residenciales.

Desde entonces, los países que han tomado el ejemplo para la instalación de redes usando energía geotérmica han sido Francia, Italia, Hungría, Rumanía, Rusia, Turquía, Georgia, China, Estados Unidos e Islandia.

En la actualidad, Alemania avanza en sus formas de explotación, mientras que Suiza espera explotar una importante cantidad para el 2020. Por su parte Indonesia persigue la ambiciosa meta de convertirse antes del año 2025 en el mayor productor de electricidad geotérmica del mundo, con una capacidad total de 9.500 megavatios por hora. El país que lidera la producción de energía geotérmica es Estados Unidos, quien en la actualidad cuenta con 209 centrales en todo su territorio.

Además de los usos de generación para energía eléctrica, la energía geotérmica se utiliza hoy para calefacción y refrigeración de los edificios, incluyendo oficinas, tiendas, pequeñas casas residenciales, así como fábricas, invernaderos y cultivos de piscicultura (Garzón, 2011, p. 199).

La energía geotérmica es una excelente opción, ya analizada con anterioridad, que nos abre hoy en día un mercado energético limpio con Ecuador, pero que, al igual que las otras fuentes de energía alternativa renovable, necesita del gobierno para su eficacia a través de una visión político-energética descentralizada, que tome en cuenta las zonas que no están conectadas al sistema central de despacho de energía y que por ende necesitan con urgencia recibir un tratamiento diferente.

5. Desarrollo de la geotermia en Colombia

Según Marzolf (2014), Colombia suple sus necesidades de energía eléctrica, principalmente, con generación hidroeléctrica y termoeléctrica (66,92% y 32,75% de la capacidad instalada respectivamente), pero frente al marco coyuntural actual, relacionado con la problemática ambiental global y los efectos del cambio climático, el Estado colombiano ha priorizado en sus políticas, la promoción del uso eficiente de la energía, el desarrollo de fuentes no convencionales de energía, la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEI), mediante la Ley de Uso Racional de Energía (Ley 697 de 2001; el Decreto 3683 de 2003; el Plan de Acción Indicativo 2010–2015 PROURE para desarrollar el Programa de uso racional y eficiente de energía y demás formas de energía no convencionales; el PEN 2010–2030 Plan Energético Nacional; el Plan Energético Nacional, Estrategia Energética Integral, Visión 2003–2020 y la Ley 1450 de 2011 (Plan de Desarrollo, artículo 105).

Colombia presenta una posición geográfica privilegiada y un entorno geológico favorable, ya que se encuentra en el Anillo de Fuego del Pacífico, una zona donde la temperatura natural del terreno, cerca de la superficie es alta debido a la actividad volcánica asociada con las características convenientes para la energía geotérmica explotación (Mejía, Rayo, Méndez & Echeverri, 2014).

Sin embargo, en Colombia no hay ningún desarrollo geotérmico en este momento, que aproveche la energía geotérmica, a pesar de que en el país se han realizado diversos estudios desde la década del 70 sobre el potencial geotérmico y de la existencia de políticas de Estado para promover este tipo de tecnologías. Como lo manifiesta Alfaro (2015), durante los últimos años, varios factores han creado condiciones nuevas y más favorables para el desarrollo de la energía geotérmica en este país. Algunos de estos factores son la creciente preocupación sobre el cambio climático global y la consecuente búsqueda de la búsqueda de fuentes renovables de energía de baja emisión de gases, globales e iniciativas regionales para promover el desarrollo geotérmico en América Latina y los países del Caribe, el reconocimiento del recurso geotérmico como una potencial fuente competitiva de energía en el sector nacional de la generación de energía y el interés del sector turístico local en termalismo y la persistencia del gobierno colombiano en el fortalecimiento del papel de las instituciones encargadas de la planificación energética y la exploración de recursos geotérmicos, para que el utilización de los recursos geotérmicos (Alfaro, 2015).

En Colombia se evidencia este potencial geotérmico en zonas adyacentes a los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima. La historia eruptiva reciente y la presencia de fuentes de aguas termales, fumarolas y zonas de alteración hidrotermal superficial, podrían ser evidencia de la existencia de un recurso geotérmico con características adecuadas para su uso, con fines de generación de energía eléctrica.

En este contexto, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha considerado de la mayor importancia, apoyar el desarrollo de esta

fuerza energética con un gran potencial de desarrollo en países como Colombia, con el objetivo de que el país pueda diversificar su canasta energética y desarrollar fuentes alternas de generación de energía más limpia, que contribuyan a la reducción de las emisiones de GEI, así como su adaptación al cambio climático.

Actualmente, la empresa se encuentra realizando los estudios requeridos para el desarrollo de dos proyectos geotérmicos en áreas con un alto potencial geotérmico, localizadas en el Macizo Volcánico del Ruiz (MVR) y en la zona de influencia de los volcanes Tuffiño, Chiles y Cerro Negro, en la frontera con el Ecuador.

Según el documento técnico *Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia*, en cuanto al desarrollo del recurso en la región, éste es considerado incipiente, a pesar de los diferentes estudios realizados para el reconocimiento del potencial geotérmico entre 1979 y 2014, los cuales suman cerca de catorce, efectuados por consorcios consultores extranjeros, así como por Instituciones públicas y privadas del país, como el Servicio Geológico Colombiano (SGC, antes Ingeominas), la Universidad Nacional de Colombia y Empresas de servicios públicos mixtas como Isagen (Marzolf, 2014).

Distintos estudios de reconocimiento realizados entre 1979 y 1987, apoyados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) concluyeron que Colombia tiene al menos nueve áreas de interés para la generación de electricidad geotérmica o la utilización directa de vapor para procesos industriales o el turismo (Marzolf, 2014; Mejía et al., 2014).

La capacidad geotérmica colombiana es evidente en zonas alrededor de los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz y Nevado del Tolima. Estos volcanes son volcanes cuaternarios, con aguas termales, fumarolas, alteración hidrotermal superficial, y otras características térmicas, que podrían ser evidencia de la existencia de un recurso geotérmico, probablemente con características adecuadas para ser utilizado en la generación de energía. Otras áreas no volcánicas, que podrían tener cierto potencial, se encuentran en la cuenca de Los Llanos (alta anomalía geotérmica) y a lo largo de la cuenca del Caguán-Putumayo y el Valle del Magdalena (Vargas et al. 2009). El Potencial geotérmico de Colombia se ha estimado en 2.210 MW (Battocletti, 1999), y la capacidad actual instalada en uso directo es aproximadamente 14,4 MW, para un total anual de uso 287,0 TJ / año (Alfaro et al., 2005).

6. Usos y beneficios de la energía geotérmica en el departamento de Nariño

Es importante destacar que para el departamento de Nariño los principales estudios de investigación de los sistemas geotermales se han realizado en áreas de los volcanes Azufral y Cumbal a través del Sistema Geológico Colombiano (SGC, antiguo Ingeominas) en los años 1998-1999; 2008-2009 y por la Universidad Nacional de Colombia en el 2006.

De igual manera, la empresa mixta ISAGEN², entre los años 2011-2014, realizó una serie de estudios sobre energías renovables y fuentes no convencionales de energía en el departamento de Nariño, a través de estudios de prefactibilidad para el desarrollo del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro. Este estudio fue efectuado conjuntamente con el apoyo de la Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP, en el cual se realizó la toma de fotografías aéreas, restitución cartográfica, estudios de geología de detalle, geofísica, geoquímica, hidrogeología, perforación de pozos de gradiente geotérmico y estudios ambientales para el desarrollo de la fase de factibilidad, en un área a lo largo de 49.000 ha en las cuales se estimó una capacidad aproximada de generación de energía de 138 MW (Marzolf, 2014; Mejía et al., 2014).

Según el Sistema Geológico Colombiano (SGC, antiguo Ingeominas), en el departamento de Nariño se localiza veintiuna fuentes termales, situadas entre los 2150 a 3820 m. Estas aguas termales presentan importantes características para su explotación turística y medicinal (Tabla 1). Las temperaturas de estos manantiales fluctúan entre 22° C en la fuente Licamancha y 62° en la fuente de Tajumbina (Garzón, 2004). Hay fuentes ácidas como Aguas Agrias Alta con un pH de 1,6; neutras como Aguas Tibias con un pH de 7,3; y moderadamente alcalinas como La Cabaña. Sólo la fuente termal Aguas Hediondas tiene niveles altos de 1400 pCi/l de Radón-222; las demás fuentes termales del departamento de Nariño presentan valores considerados bajos por organismos internacionales de salud.

Así, la fuente Aguas Tibias tiene valores de 196 pCi/L; Pandiaco 211 pCi/L; y Cehani 128 pCi/L. Importantes caudales tienen fuentes termales como Licamancha con 167 litros por segundo; y, Fuente Blanca con 153,4 litros por segundo (Garzón, 1997).

En la actualidad, sólo cinco fuentes termales son visitadas con fines turísticos y medicinales (Garzón, 1997). Entre las principales fuentes geotermales empleadas con fines terapéuticos medicinales en el

² ISAGEN es una empresa de servicios públicos mixta, constituida en forma de Sociedad Anónima, de carácter comercial, de orden nacional y vinculada al Ministerio de Minas y Energía.

departamento de Nariño y en la zona limítrofe con Ecuador se encuentran: Las termales Tufiño, y las termales de Aguas Hediondas en Tulcán (E), las termales de la Calera en el Corregimiento de Chiles, municipio de Cumbal, las termales de Tajumbina en el municipio de La Cruz y las termales de Genoy y de Mapachico en el municipio de Pasto (Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Históricamente las aguas termales de los volcanes Galeras, Doña Juana, Chiles y Cumbal en el departamento de Nariño, han sido utilizadas con fines recreativos y medicinales por las comunidades asentadas en su área de influencia volcánica. El uso terapéutico de las piscinas es una actividad que tiene múltiples usuarios, quienes encuentran en las aguas termales diversos beneficios para su salud, entre ellas la sensación de relajación y su efectividad en el tratamiento de casos de reumatismo, problemas óseos y musculares, asimismo, en tratamientos para la piel y el estrés.

Particularmente, las aguas termales de los volcanes Chiles y Cumbal han sido las que mayor actividad Turística de tipo recreacional y terapéutico han tenido en el departamento de Nariño, siendo aprovechadas por usuarios locales de Tulcán y otras localidades de la Provincia del Carchi (E) y usuarios de más de diez municipios del sur del departamento de Nariño. Las principales propiedades terapéuticas de las aguas son las que derivan de su termalidad, que ayudan sin perjudicar al resto del organismo.

Entre las fuentes termales de mayor atractivo recreativo y medicinal en el departamento de Nariño, se destacan Las termales de Chiles y las termales de Tajumbina, en las cuales semanalmente se dan cita más de 1000 personas por lugar. Las piscinas de los balnearios se caracterizan por tener aguas de alta influencia magmática, la mayoría de las piscinas termales son estructuras artesanales sin ningún tipo de tecnificación, sin gran inversión económica para su adecuación, explotadas turística y comercialmente por personas particulares y asociaciones de Cabildos Indígenas, como en el caso de Chiles-Cumbal, los propietarios o administradores en su totalidad no tienen ningún tipo de capacitación en administración, primeros auxilios, turismo, lo cual se refleja en las condiciones de bioseguridad, higiene, adecuación y dotación en cada uno de los balnearios.

Es necesario mencionar que a nivel de nuestro país no existen estudios sobre los usos terapéuticos de las fuentes hidrotermales, con base en sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, que permita determinar sus verdaderos beneficios y sus posibles contraindicaciones.

Por tanto, resulta importante dar a conocer, que entre las fuentes termales caracterizadas por el Servicio Geológico Colombiano, ocho de ellas, que

representan el 38% del total de las fuentes, se clasifican como aguas salobres sulfatadas, cinco, que equivalen al 24%, se consideran como aguas neutras cloruradas, tres que corresponden al 14% de las fuentes, se catalogan como aguas ácidas sulfatadas, dos que representan el 10%, se clasifican como mezcla de aguas cloruradas y sulfatadas, otras dos, como fuentes de aguas bicarbonatadas y una fuente como mezcla de aguas sulfatadas y bicarbonatadas. Con base en la anterior clasificación las aguas termales pueden ofrecer a los usuarios unos beneficios específicos para el organismo, estos beneficios, no dependen exclusivamente del elemento “agua”, sino de una multiplicidad de estímulos: químicos, físicos y biológicos.

Como lo manifiesta Gibert (s.f.) en sus guías sobre termalismo, los efectos químicos se encuentran relacionados con las sustancias que posee el agua, que al estar en contacto con la piel, pasan por ósmosis al torrente sanguíneo. Los efectos físicos se deben mayormente a la temperatura del agua, dado que ésta produce una vaso dilatación periférica, con la cual se mejora la oxigenación de los tejidos en la zona tratada y liberación de sustancias que producen efecto antiinflamatorio y calmante del dolor, con relajación muscular, provocando una sensación de bienestar y los efectos biológicos se producen por la acción de la “flora” y la “fauna” hidrotermal, denomina genéricamente “biogleas” o planctón hidrotermal y está compuesta por distintas especies pertenecientes al grupo de las sulfobacterias.

Por tanto, en relación a las acciones específicas o mecanismo de acción derivado de su mineralización se pueden encontrar los siguientes beneficios entre los usuarios (Maraver, 2008):

- Las aguas Cloruradas: sirven de estimulantes sobre las funciones orgánicas y metabólicas; mejoradoras del trofismo celular y de los procesos de cicatrización y reparación tisular, así como, favorecen la circulación sanguínea y linfática.
- Las aguas Sulfatadas: son purgantes coleréticas, colagogas, y estimulantes del peristaltismo intestinal.
- Las aguas Bicarbonatadas: son antiácidas; aumentan la actividad pancreática; favorece el poder saponificador de las grasas por la bilis Hepatoprotectoras; favorecen la glucogénesis y favorecen la movilización de ácido úrico en la orina.
- Las aguas Sulfuradas: activan los procesos oxido-reductores; efectos antitóxicos; antialérgicos y mejoradores del trofismo, así como acción reguladora de las secreciones.



Figura 2. Fuente Termal Tufiño, Ecuador.
Fuente: Franco Montenegro.



Figura 3. Fuente Termal Aguas Hediondas, Cumbal.
Fuente: Edison Guerrón - Internet.



Figuras 4. Fuente Termal Baños de Chiles, Corregimiento de la Calera, Cumbal, Nariño.
Fuente: Franco Montenegro.



Figura 5. Fuente Termal Genoy, Corregimiento de Genoy, Municipio de Pasto, Nariño.
Fuente: Asdrulop - Internet.



Figura 6. Fuente termal Mapachico, Pasto.
Fuente: Favio Caicedo, Internet.



Figuras 7. Fuente Termal Tajumbina, Municipio de La Cruz, Nariño.
Fuente: Voces del macizo - Internet.

Tabla 1. Caracterización de las fuentes termales del departamento de Nariño

Nombre de la Fuente Termal	Origen de la Fuente	Altitud (Msnm)	Coordenadas	Clasificación General
El salado de Amapola	Volcán Doña Juana	2530	01° 34'15" 76° 56'25"	Aguas Neutras Cloruradas
Tajumbina	Volcán Doña Juana	2500	01° 34'68" 76° 56'25"	Aguas Neutras Cloruradas
Aguas tibias	Volcán Doña Juana	2450	01° 28'02" 76° 59'48"	Mezcla de Aguas Cloruradas y Sulfatadas
El Saladito de las Mesas	Volcán Doña Juana	2230	01° 28'45" 77° 00'68"	Aguas Neutras Cloruradas
Aguas Agría Alta	Volcán Galeras	2650	01° 15'44" 77° 19'88"	Aguas Acidas Sulfatadas
Licamancha	Volcán Galeras	2750	01° 12'62" 77° 23'98"	Aguas Salobres Sulfatadas
Fuente Blanca	Volcán Galeras	2650	01° 12'50" 77° 24'00"	Aguas Salobres Sulfatadas
Pandiaco	Volcán Galeras	2520	01° 13'71" 77° 17'16"	Aguas Bicarbonatadas
Rio Pasto	Volcán Galeras	2150	01° 13'78" 77° 17'30"	Aguas Salobres Sulfatadas
CEHANI	Volcán Galeras	2510	01° 13'73" 77° 17'24"	Aguas Bicarbonatadas
Laguna Verde	Volcán Azufral	3820	01° 05'48" 77° 43'64"	Aguas Acidas Sulfatadas

San Ramón	Volcán Azufral	3100	00° 59'25"	77° 42'03"	Aguas Neutras Cloruradas
Termal La Cabaña	Volcán Azufral	3030	01° 00'03"	77° 40'50"	Mezcla de Aguas Sulfatadas+Bicarbonatadas
Quebrada Blanca	Volcán Azufral	3200	01° 04'33"	77° 44'80"	Mezcla de Aguas Cloruradas y Sulfatadas
El Salado de Malaver	Volcán Azufral	2740	01° 02'45"	77° 38'57"	Aguas Neutras Cloruradas
El Salado	Volcán Cumbal	3240	00° 53'85"	77° 48'82"	Aguas Salobres Sulfatadas
Cuetial	Volcán Cumbal	3200	00° 54'10"	77° 49'30"	Aguas Salobres Sulfatadas
El Zapatero	Volcán Cumbal	3210	00° 54'20"	77° 49'14"	Aguas Salobres Sulfatadas
Hueco Grande	Volcán Cumbal	3300	00° 55'37"	77° 53'58"	Aguas Salobres Sulfatadas
Aguas Hediondas	Volcán Chiles	3790	00° 48'80"	77° 54'55"	Aguas Acidas Sulfatadas
Baños Chiles	Volcán Chiles	3230	00° 48'77"	77° 52'03"	Aguas Salobres Sulfatadas

Fuente: Catálogo de fuentes termales del suroccidente colombiano. Ingeominas.

Referencias

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2013). Informe de Gestión 2012. Recuperado de <http://www.anh.gov.co/la-anh/Informes%20de%20Gestin/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%202012%20%28PDF%29.pdf>
- Alfaro, C. (2015). *Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update*. Paper presented at the Proceedings World Geothermal Congress 2015.
- Alfaro, C., Velandia, F. & Cepeda, H. (2005). Colombian geothermal resources. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 11 pp. Recuperado de http://www.geothermalenergy.org/pdf/IGA_standard/WGC/2005/0137.pdf
- Battocletti, L. (1999). Geothermal resources in Latin America and the Caribbean. BoB Lawrence & Associates. Recuperado de <http://bl-a.com/ecb/PDFFiles/GeoResLAC.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001 “por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dicta otras disposiciones”. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>
- (2010). Ley 1450 de 2011 “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014”. Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1450_2011.html
- Coviello, M. (1998). Financiamiento y regulación de las fuentes de energía nuevas y renovables: el caso de la geotermia. Serie Medio Ambiente y Desarrollo 13. CEPAL. Santiago de Chile. Recuperado de http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/046/30046922.pdf
- Farietta, K. (2014). Políticas públicas en Colombia de generación distribuida en nuevas fuentes energéticas: el caso de la geotermia y las zonas no interconectadas. *Revista Vía Inveniendi et iudicandi* 8(2).
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). Proyectos emblemáticos en el ámbito de la Energía Geotérmica II. Recuperado de <http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicacion.php?id=177>
- Garzón, G. (1997). Catálogo de fuentes termales del suroccidente colombiano. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, Ingeominas. Colombia. Recuperado de http://www.researchgate.net/profile/Gustavo_Garzon/publication/264974933_Catalogo_de_Fuentes_Termales_del_SW_de_Colombia/links/53f8ed290cf24ddb7db5539.pdf

- Gibert, A. (s.f.). “Termalismo en Argentina”. Guía desarrollada por Termasalud. com con el aval de la Cámara Argentina de Termalismo y Turismo Salud. Recuperado de <http://www.sld.cu>.
- (2004). Mineralogía y fisicoquímica de las fuentes termales del departamento de Nariño. Servicio Geológico Colombiano. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/256845631_MINERALOGIA_Y_FISICOQUIMICA_DE_LAS_FUENTES_TERMALES_DEL_DEPARTAMENTO_DE_NARIO
- (2011). Catálogo de fuentes termales del suroccidente colombiano. Ingeominas. Recuperado de <http://scienti.colciencias.gov.co:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=0000000000068>
- Llopis, G. y Rodrigo, V. (2008). Guía de la energía geotérmica. Recuperado de <http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicacion.php?id=50>
- Maraver, F. (2008). Importancia de la medicina termal. *Annales de Hidrología Médica*, (4).
- Marzolf, N. (2014). Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo Convenio ISAGEN – BID/JC. Recuperado de <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>
- Mejía, E., Rayo, L., Méndez, J. & Echeverri, J. (2014). Geothermal development in Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia y Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2011). Plan de Acción Indicativo 2010–2015 PROURE. Bogotá, Colombia. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Eventos/URE_2011/Olga_Victoria_Gonzalez_%20PROURE.pdf
- Plan Energético Nacional 2010-2030. (2010). PEN 2010-2030, Informe Final. Recuperado de <http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf>
- Presidencia de la República de Colombia. (2003). Decreto 3683. “Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial”. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=11032>
- Site Geothermie – Perspectives de l’ADEME et du BRGM. Recuperado de: <http://www.geothermie-perspectives.fr/>
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2003). Plan Energético Nacional, Estrategia Energética Integral, Visión 2003–2020. Colombia. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Docs/Pen_2003/Pen2003_Total.pdf