



**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA EL  
APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DEL PAISAJE  
SALINO EN LA VEREDA LA ESPERANZA, PAIPA -BOYACÁ.**

**María Juliana Chaparro Guevara**

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 19/11/2018

**Diagnóstico ambiental de alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico del paisaje salino en la vereda La Esperanza, Paipa -Boyacá.**

María Juliana Chaparro Guevara

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Ambiental

Director (a):  
José Alfonso Avellaneda Cusaria

Línea de Investigación:  
Gestión ambiental – Energías alternativas

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2018

## **Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

## **Agradecimientos**

A Dios, por ser mi guía durante todo el proceso académico, por darme acierto al empezar, dirección al progresar y perfección al acabar.

A mi mamá, a mis tías y a mi papá por el apoyo y sacrificio durante todo el proceso de formación investigativa, moral y académica, que han hecho de mí la persona íntegra que soy ahora.

A los docentes Hommy Copete y Carlos Quintero, por sus aportes, colaboración, acompañamiento, interés y disposición durante la elaboración, redacción y entendimiento de la primera y segunda fase, respectivamente, del presente proyecto de grado.

Al director y orientador, José Alfonso Avellaneda Cusaria, por su interés, apoyo, acompañamiento y dirección durante la elaboración del proyecto de grado.

A mi compañero, Juan Daniel Hoyos Castiblanco por sus aportes, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo del trabajo en los escenarios teóricos y prácticos.

A Diana Pérez, Tito Currea, Wilmer Pulido, Rafael Bayona y a todos los informantes de Paipa, que colaboraron con las entrevistas y el desarrollo de actividades en campo.

## **Dedicatoria**

A mi familia por su amor, esfuerzo y sacrificio. A todas las personas que han apoyado la realización exitosa del proyecto, especialmente a aquellos que compartieron sus conocimientos.

**Contenido**

Resumen .....	1
<i>Palabras clave</i> .....	1
Abstract .....	2
Keywords .....	2
1. Introducción .....	3
2. Justificación .....	5
3. Planteamiento del problema.....	7
4. Pregunta problema .....	9
5. Objetivos .....	9
5.1. <i>General</i> .....	9
6. Marcos de referencia.....	10
6.1. <i>Marco Biogeográfico territorial</i> .....	10
6.2. <i>Marco teórico conceptual</i> .....	26
6.2.1. <i>Generalidades de la energía geotérmica</i> .....	26
6.2.3. <i>Desarrollo de plantas geotérmicas a nivel global y estudios en Colombia</i> .....	35
6.2.4. <i>Algunas alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico</i> .....	36
6.3. <i>Estado del Arte</i> .....	43
<b>6.4. Marco normativo</b> .....	61
6.5. <i>Marco institucional</i> .....	62
6.5.1. <i>Organigrama</i> .....	64
7. Diseño metodológico .....	65
8. Plan de trabajo.....	72
9. Resultados y discusión.....	75
10. Conclusiones .....	119
11. Recomendaciones.....	122
12. <i>Lineamientos técnico-económicos</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
13. <i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	124
<b>Anexos</b> .....	136

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Características fisicoquímicas de las fuentes termales en la vereda La Esperanza.....	17
<b>Tabla 2.</b> Distribución espacial de las actividades .....	24
<b>Tabla 3.</b> Costo de la fase de construcción de una central geotérmica dependiendo de su tipología, en función del tipo de reservorio. ....	37
<b>Tabla 4.</b> Comparación de contaminantes dependiendo del recurso energético de cada planta. ....	44
<b>Tabla 5.</b> Comparación en el espacio ocupado con respecto a otras centrales de generación eléctrica .....	45
<b>Tabla 6.</b> Matriz de probabilidad y gravedad del impacto sobre el ambiente en los proyectos de uso directo de alternativas. ....	47
<b>Tabla 7.</b> Contenido de aceite para algas comerciales con posible uso como materia prima para la producción de biodiesel. ....	51
<b>Tabla 8.</b> Contenido de aceite para algas comerciales con posible uso como materia prima para la producción de etanol. ....	51
<b>Tabla 9.</b> Lineamientos a tener en cuenta para el diseño del hábitat campesino sostenible.....	57
<b>Tabla 10.</b> Comparación de los rangos de entalpías o temperaturas entre autores. ....	60
<b>Tabla 11.</b> Matriz normativa .....	61
<b>Tabla 12.</b> Diseño metodológico.....	73
<b>Tabla 13.</b> Organización del tipo de informante, según su perfil. ....	76
<b>Tabla 14.</b> Matriz de organización de datos de las entrevistas.....	95
<b>Tabla 15.</b> Matriz de criterios para la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa .....	96
<b>Tabla 16.</b> Matriz de descripción de alternativas y componentes.....	102
<b>Tabla 17.</b> Oferta de servicios ecosistémicos potencialmente aprovechables .....	107
<b>Tabla 18.</b> Matriz de Estudio de Impacto Ambiental de alternativas para el aprovechamiento sostenible del potencial geotérmico en la zona salina del municipio de PAIPA. ....	111
<b>Tabla 19.</b> Rangos donde se ubican las alternativas con impactos positivos .....	113
<b>Tabla 20.</b> Rangos donde se ubican las alternativas con impactos negativos.....	113
<b>Tabla 21.</b> Lineamientos técnico-económicos para un aprovechamiento ambientalmente sostenible del potencial geotérmico en Paipa .....	118
<b>Tabla 22.</b> Tabla de fotografías de respaldo de entrevistas .....	230
<b>Tabla 23.</b> Fotografías de campo .....	231
<b>Tabla 24.</b> Fotografías georreferenciadas.....	259
<b>Tabla 25.</b> Identificación mediante el método de semáforo .....	285
<b>Tabla 26.</b> Cronograma 2018 .....	286
<b>Tabla 27.</b> Presupuesto.....	287

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Contextualización del problema, a manera de resumen, desglosado en el general, particular y central.....	8
<b>Figura 2.</b> Altiplanos en Colombia .....	10
<b>Figura 3.</b> Localización del complejo volcánico Paipa-Iza .....	11
<b>Figura 4.</b> Ubicación del Volcán de Paipa .....	11
<b>Figura 5.</b> Mapa geotérmico de Colombia con enfoque en Paipa profundidad 3km.....	12
<b>Figura 6.</b> Ubicación en la Cordillera Oriental Colombiana de los elementos volcánicos. 1.Ruiz, 2. Chiles, 3. Azufral, 4. Paipa, 5. Cumbal, 6. Galeras, 7. Puracé, 8. Sotará, 9. Doña Juana, 10. Huila .....	13
<b>Figura 7.</b> Ubicación de los domos volcánicos de Paipa .....	13
<b>Figura 8.</b> Ubicación del Departamento de Boyacá, en Colombia y del municipio de Paipa. ....	14
<b>Figura 9.</b> Ubicación del Departamento de la vereda La Esperanza en el municipio de Paipa. ....	14
<b>Figura 10.</b> Geología del municipio de Paipa .....	15
<b>Figura 11.</b> Pendientes de Paipa .....	16
<b>Figura 12.</b> Unidades climáticas del municipio de Paipa .....	16
<b>Figura 13.</b> Categorización de las Heladas del municipio de Paipa .....	17
<b>Figura 14.</b> Diagrama Stiff. Fuente Pozo Azul de Paipa .....	19
<b>Figura 15.</b> Diagrama DeFrancesco, SCAN, Fuente Pozo Azul, Paipa .....	19
<b>Figura 16.</b> Clasificación dentro de los ecosistemas colombianos, Orobioma Medio de los Andes. ....	20
<b>Figura 17.</b> Zonificación del uso del suelo, Zona rural .....	20
<b>Figura 18.</b> Mapa de fauna de Paipa.....	21
<b>Figura 19.</b> Imagen satelital que delimita la Zona de Conservación, Paisaje Salino.....	22
<b>Figura 20.</b> Aptitud del Municipio para la producción ganadera semi-intensiva.....	22
<b>Figura 21.</b> Mapa de aptitud de agricultura para el municipio de Paipa.....	23
<b>Figura 22.</b> Mapa de actitud para el turismo cultural en Paipa.....	23
<b>Figura 23.</b> Mapa de Sitios turísticos de Paipa .....	25
<b>Figura 24.</b> Esquema del origen y surgimiento de las fuentes de agua termales.....	27
<b>Figura 25.</b> Esquema general del flujo energético en las capas terrestres. ....	28
<b>Figura 26.</b> Visión global de los diferentes usos de la energía geotérmica. ....	29
<b>Figura 27.</b> Modelo conceptual preliminar del sistema geotérmico de Paipa. ....	30
<b>Figura 28.</b> Fotografía del centro eruptivo de Olitas .....	31
<b>Figura 29.</b> Representación gráfica de la ubicación y altura de los domos en Paipa .....	32
<b>Figura 30.</b> Contextualización de las generalidades de la energía geotérmica.....	33
<b>Figura 31.</b> Línea histórica de las plantas.....	35
<b>Figura 32.</b> Método de aprovechamiento geotérmico en cascada. ....	39
<b>Figura 33.</b> Infografía para contextualizar las diferentes alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico .....	42
<b>Figura 34.</b> Infografía para la contextualización de los temas a tratar durante el desarrollo del estado del arte.....	43

<b>Figura 35.</b> Calefacción en invernaderos.....	48
<b>Figura 36.</b> Esquema ejemplificarte de valoración integral de los servicios ecosistémicos en Colombia.....	53
<b>Figura 37.</b> Esquema general de pagos por servicios ambientales en la Microcuenca de Chaina.....	55
<b>Figura 38.</b> Organigrama de los actores relevantes en el desarrollo del proyecto y sus respectivas relaciones.....	64
<b>Figura 39.</b> Diagrama de flujo diseño metodológico.....	66
<b>Figura 40.</b> Contextualización de la fase I del diseño metodológico.....	67
<b>Figura 41.</b> Contextualización de la fase II, del diseño metodológico.....	68
<b>Figura 42.</b> Contextualización fase III del diseño metodológico.....	70
<b>Figura 43.</b> Diagnóstico ambiental.....	71
<b>Figura 44 .</b> Distribución de tipo de informantes.....	77
<b>Figura 47.</b> Conocimiento sobre el proyecto de generación eléctrica, por medio de una planta geotérmica en Paipa.....	78
<b>Figura 46.</b> Conocimiento de los usos del recurso salino-hidrotermal en el Municipio través del tiempo.....	78
<b>Figura 45.</b> Conocimiento del origen de las fuentes termales en Paipa.....	78
<b>Figura 48.</b> Conocimiento sobre la posible implementación de otras alternativas de aprovechamiento del recurso aparte de la turística.....	79
<b>Figura 49.</b> Conocimiento de costos de nuevas alternativas.....	79
<b>Figura 50.</b> Punto de vista frente a la implementación de nuevas alternativas.....	80
<b>Figura 51.</b> Beneficios de implementar nuevas alternativas.....	81
<b>Figura 52.</b> Punto de vista frente al aprovechamiento turístico.....	82
<b>Figura 53.</b> Suficiencia legislativa.....	82
<b>Figura 54.</b> Identidad frente al recurso.....	82
<b>Figura 55.</b> Gráfica de conocimiento del panorama de zonificación del paisaje salino.....	83
<b>Figura 56.</b> Conocimiento del ordenamiento del recurso geotérmico salino, para eco-turismo.....	83
<b>Figura 57.</b> Conocimiento frente a los costos de las diferentes alternativas.....	84
<b>Figura 58.</b> Impactos ecológicos identificados por cada alternativa.....	88
<b>Figura 59 .</b> Impactos ecológicos categorizados en positivos y negativos, por cada alternativa ...	89
<b>Figura 60.</b> Total de impactos Socioculturales de cada alternativa.....	89
<b>Figura 61.</b> Impactos socioculturales categorizados en positivos y negativos, por cada alternativa.....	89
<b>Figura 62.</b> Total de impactos tecnológicos de cada alternativa.....	91
<b>Figura 63.</b> Impactos tecnológicos categorizados en positivos y negativos, por cada alternativa.....	91
<b>Figura 64.</b> Impactos físicos totales.....	92
<b>Figura 65.</b> Obstáculos identificados en las respuestas dadas por los informantes.....	93
<b>Figura 66.</b> Desarrollo de alternativas que presentan obstáculos.....	94
<b>Figura 67.</b> Diagrama jerárquico según la relevancia de los sistemas evaluados en la matriz de criterios.....	97
<b>Figura 68.</b> Gráfico de cotización radial representando la ponderación de los sub-criterios del sistema hídrico.....	98

<b>Figura 69.</b> Representación de la valoración de los sub-criterios del sistema territorial, por medio de un gráfico de barras. ....	98
<b>Figura 70.</b> Representación de la valoración de los sub-criterios del sistema social, por medio de un gráfico de cotización radial .....	99
<b>Figura 71.</b> Representación del Sub-criterios del sistema suelo, por medio de una gráfica de barras .....	100
<b>Figura 72.</b> Gráfica de distribución porcentual de los valores por sub-criterios del sistema de biodiversidad .....	100
<b>Figura 73.</b> Esquema de triangulación de información .....	101
<b>Figura 74.</b> Infografía que sintetiza la información obtenida de la matriz de descripción de alternativas .....	106
<b>Figura 75.</b> Resultado final de la evaluación ambiental de alternativas de aprovechamiento de recursos geotérmicos en Paipa. ....	112
<b>Figura 76.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Turismo recreativo, Medicinal-terapéutico.....	114
<b>Figura 77.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de generación de energía .....	115
<b>Figura 78.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Pagos por servicios ambientales.....	115
<b>Figura 79.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Usos domésticos .....	116
<b>Figura 80.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Usos industriales .....	116
<b>Figura 82.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de cultivo de peces y mariscos.....	117
<b>Figura 81.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de cultivo de organismos termófilos .....	117
<b>Figura 83.</b> Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de agricultura a campo abierto e invernaderos.....	117

## Resumen

El presente trabajo se desarrolla en torno a la planeación ambiental-territorial de la actividad turística, terapéutico-recreativa, la cual resulta deficiente y no sostenible en términos ambientales para el recurso geotérmico en el paisaje termosalino del municipio de Paipa. Para lo anterior se diagnosticó ambientalmente ocho alternativas, con el fin de conducir al municipio a un escenario de aprovechamiento del potencial geotérmico de menor impacto y mayor beneficio socio-económico, estas son, transformación de energía calórica a eléctrica, cultivo de microorganismos termófilos, cultivo de peces y mariscos, protección del paisaje con Pago por Servicios Ambientales, PSA, agricultura a campo abierto e invernaderos y finalmente el aprovechamiento del termalismo actual, turismo terapéutico-recreativo.

El diagnóstico se llevó a cabo por medio de la evaluación de tres diferentes matrices cualitativas: matriz de valoración de criterios, matriz de descripción de alternativas y una matriz de estudio de impacto ambiental, EIA; esta última es derivada de una adaptación de la de la matriz múltiple de evaluación de impacto ambiental territorial, con ajustes relacionados con la metodología de Leopold. En las matrices se describen, ponderan y jerarquizan los indicadores, físicos, biológicos, sociales, culturales económicos y tecnológicos, y las variables que se derivan de ellos, en relación con las alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico antes mencionadas. La evaluación de estas se realizó por medio de la triangulación de información primaria, secundaria y de observación de campo.

Como alternativas más favorables se identificaron el Pago por Servicios Ambientales, cultivo de organismos termófilos y cultivo de peces y mariscos, sin embargo, estas alternativas requieren estudios de perfectibilidad cuyo limitante sería la disponibilidad de caudales y espacios en la zona salina que pudieran ser aptos sin alterar significativamente dichos recursos. Es importante resaltar que, la alternativa de turismo a pesar que es actualmente implementada, evidencia un balance negativo a nivel ambiental, por lo que requiere unos fuertes ajustes en sus procesos para conducirla hacia un turismo sostenible de alta calidad ambiental, lo cual repercutiría en beneficios económicos para el municipio y ecológicos en términos de la conservación del paisaje y recurso salino. En cuanto a la alternativa de agricultura a campo abierto e invernaderos, se presenta como posible y pudiera repercutir en mejoría de las condiciones sociales y económicas de la condición social siempre y cuando cumpliera con bajas afectaciones del paisaje salino.

El trabajo proporcionó la primera aproximación a un EIA de alternativas para el aprovechamiento de un recurso energético colmado de incertidumbres por carecía de estudios a nivel nacional y permitió establecer lineamientos técnico económicos orientados a los factores sociales, culturales, bióticos, físicos, económicos y tecnológicos.

### *Palabras clave*

Alternativas, aprovechamiento, diagnóstico, geotermia, recurso salino, potencial.

## Abstract

The present work is developed around the deficient environmental-territorial planning of the touristic activities, therapeutic-recreational activity, not sustainable in environmental terms of the geothermal resource in the thermosaline landscape of the municipality of Paipa. Because of the previous statements, eight alternatives were diagnosed environmentally, in order to lead the municipality to a scenario of exploitation of the geothermal potential with less impact and greater socio-economic benefit. These are: transformation of heat to electric energy, cultivation of thermophilic microorganisms, cultivation of fish and shellfish, protection of the landscape with Payment for Environmental Services, PES, open field agriculture and greenhouses and finally the use of the current hydrotherapy, therapeutic-recreational tourism.

The diagnosis was carried out by means of the evaluation of three different qualitative matrices, matrix of criteria evaluation, matrix of description of alternatives and a matrix of environmental impact study, EIS, the last is an adaptation of the multiple matrix of territorial environmental impact assessment, with adjustments related to the Leopold methodology. Matrices describe, weigh and rank indicators, physical, biological, social, cultural, economic and technological indicators, and the variables derived from them, in relation to the alternatives of utilization of the geothermal potential mentioned above. The evaluation was done through the triangulation of primary, secondary and field observation information.

The most favorable alternatives identified were the payment of environmental services, cultivation of thermophilic organisms and culture of fish and shellfish. However, these alternatives require perfectibility studies which would be limited by the lack of availability of suitable flows and spaces in the saline zone that could be used, without being significantly altered. It is important to highlight that, although the tourism alternative is currently implemented, it presents a negative balance at the environmental level. Important adjustments in its processes are required to gear it towards sustainable tourism of high environmental quality to impact the municipality with economic and ecological benefits in terms of the conservation of the landscape and the saline resource. Regarding the alternative of open field agriculture and greenhouses, it is a possible alternative that could have an impact on the improvement of social and economic conditions as long as it doesn't significantly affect the saline landscape.

This work provided the first approach to an EIA of alternatives for the use of an energy resource full of uncertainties due to the lack of studies at a national level. It also allowed to establish technical and economic guidelines oriented to social, cultural, biotic, physical, economic and technological factors.

### *Keywords*

Alternatives, diagnosis, geothermal, saline resource, potential, throughput.

## 1. Introducción

El presente estudio tiene un enfoque cualitativo, con alcance exploratorio, debido a que contribuye a la identificación y diagnóstico, técnico-económico, biofísico y sociocultural, de alternativas para el aprovechamiento del recurso geotérmico e hidrotermal del paisaje salino en la vereda La Esperanza, Paipa – Boyacá. El estudio se llevó a cabo por medio matrices cualitativas, matriz de descripción de alternativas, matriz de criterios para la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino y una matriz de evaluación ambiental de alternativas, que, vale la pena mencionar, no miden parámetros (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014). Por medio de la interpretación de los resultados arrojados, se establecieron los lineamientos técnico-económicos para realizar un uso sostenible y aprovechamiento de la energía geotérmica. Por otro lado, el alcance se debe a que el recurso geotérmico y las alternativas de aprovechamiento propuestas son temas que no se han abordado antes a nivel nacional (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014).

La problemática telón de fondo es que el aprovechamiento actual del recurso geotérmico en el municipio es poco sostenible ambientalmente, debido a su desarrollo turístico limitado que, aunque representa un ingreso económico importante para el desarrollo social, genera impactos ambientales negativos en el municipio (Díaz, 2013), los cuales hasta el momento no han sido estudiados. Aun así, la población ha notado cambios desde la degradación del paisaje termosalino hasta pérdida de las propiedades de las hidrotermales. Para solucionar este problema, se identificaron ocho alternativas de aprovechamiento, incluyendo la actual, que se describieron, evaluaron y valorizaron durante el desarrollo del trabajo.

En los primeros capítulos del trabajo se hace un análisis situacional, contemplado en la justificación, el planteamiento del problema, pregunta problema, y los objetivos, general y específicos. Dando paso a los marcos de referencia, en primer lugar, el *biogeográfico-territorial*, donde se realiza una descripción semidetallada de las características físicas, geográficas y locativas de la zona objeto de estudio. Posteriormente, en *el marco teórico-conceptual*, se solventan términos y argumentos de temas necesarios para comprender el desarrollo del proyecto de investigación, *generalidades de la energía geotérmica, desarrollo de plantas geotérmicas a nivel global y geotérmico y algunas alternativas de aprovechamiento*. Para el estado del arte, se exponen los antecedentes internacionales, regionales, nacionales y municipales, relacionados con *los benéficos e impactos de la implementación de plantas geotérmicas a nivel internacional, estudios de impactos ambientales generados por cultivos de organismos termófilos, sus posibles sub-aprovechamientos, estudios frente a la importancia y casos de éxito de los Pagos por Servicios Ambientales* y, finalmente, se consultaron dos trabajos de grado de la Universidad el Bosque realizados en Paipa, en donde se abarcan temas de *mejora de la calidad de vida para los habitantes de la vereda el salitre, municipio*, y *la degradación de suelos por salinización en el componente socioeconómico*. Dentro del *marco normativo*, se encuentran algunas leyes, políticas y decretos relacionados en la energía geotérmica y su desarrollo nacional. El marco institucional, se compone de la descripción e identificación de las empresas y actores que contribuyeron con la recolección de información o que presentan relación frente al estudio o regulación del recurso geotérmico y, con base en esto, se realizó un esquema de jerarquía y relaciones existentes entre los actores.

A lo largo de los siguientes capítulos, se hace un planteamiento del *diseño metodológico* del trabajo, donde se tipifica el documento, dentro de los enfoques y alcances de una investigación cualitativa; adicionalmente se representa el desarrollo de las tres fases del proyecto, *planeación*,

*análisis y propuesta* por medio de diagramas de flujo, e individualmente se presentan los sub-eslabones necesarios por cada objetivo específico. Posteriormente, en el *plan de trabajo*, se establecen los instrumentos requeridos para el desarrollo de las técnicas y actividades a realizar durante el proceso de cumplimiento de los objetivos y se especifican los resultados esperados.

En los capítulos finales, se realiza el *análisis y discusión de los resultados*, organizados de la siguiente manera; unificación, descripción y *representación gráfica de la información primaria*, análisis de los *resultados de cada matriz* y establecimiento de los lineamientos técnico-económicos. Posteriormente se da paso a las *conclusiones*, donde se identificaron mínimo dos por cada matriz, una a nivel metodológico y una a nivel de formación académica y profesional. Con base en lo anterior, las recomendaciones establecen lineamientos para futuros trabajos de grado sobre el tema. Finalmente, las referencias bibliográficas y los anexos, a los que el lector se remite para profundizar la información existente dentro del cuerpo de la investigación.

## 2. Justificación

El presente trabajo permite la aproximación del ingeniero ambiental colombiano a diferentes alternativas para el aprovechamiento del recurso natural geotérmico, un aspecto no estudiado a nivel nacional como Fuente No Convencional de Energía Renovable (FNCER). En Paipa existe un recurso hidrotermal que se utiliza como base principal del turismo en la localidad. Dentro del análisis de información del municipio de Paipa se estableció el desconocimiento de nuevas alternativas del aprovechamiento geotérmico en el Municipio. El estudio de nuevas alternativas es una propuesta novedosa, ya que articula un aprovechamiento sostenible del recurso geotérmico en Paipa y así se puede fortalecer el Plan de Desarrollo Municipal, PDM (Díaz, 2013). Todo esto en pro del desarrollo de procesos, estrategias y actividades encaminadas al progreso social, económico, territorial e institucional del municipio en el corto, mediano y largo plazo, lo cual lleva al territorio hacia un desarrollo sostenible e incluyente, siendo este el principal propósito de un PDM (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, 2017).

Considerando lo anterior y la definición de gestión ambiental como un proceso que apunta a la solución de problemas ambientales, con el fin de lograr un desarrollo sostenible (Díaz, 2013), se deduce la posibilidad de enriquecer el Plan de Desarrollo Municipal con nuevas opciones de aprovechamiento de los recursos hidrotermales. Esto contribuiría directamente a un desarrollo sostenible de la Gestión ambiental hidrotermal existente en el municipio.

Debido a esto, el desarrollo de un diagnóstico ambiental de alternativas para el aprovechamiento de la energía geotérmica en el municipio de Paipa, introduce una FNCER y traería consigo los siguientes beneficios para la sociedad, el ambiente y la economía del municipio.

A *nivel social*, estos beneficios estarían representados en el conocimiento de nuevas alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico en Paipa, lo que abre paso a la generación de nuevas vías de ingreso económico y laboral. Con lo anterior, se promueve la cohesión y minimización de la tensión entre la comunidad y las entidades privadas.

En *términos ambientales*, los beneficios se ven reflejados en la posibilidad de abrir un espacio para la investigación y posible implementación de un cultivo de algas termófilas, del cual se pueden desglosar múltiples subutilidades tales como el aprovechamiento directo o indirecto para la producción de biocombustibles, implementación en mecanismos de biorremediación, aplicaciones industriales, aprovechamiento del potencial biotecnológico, entre otros (Bhandiwad, Guseva, & Lynd, 2013; Goh, y otros, 2013; McClendon, y otros, 2012; Parmar, y otros, 2011). Adicionalmente, la implementación de una planta geotérmica, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (2008), tiene varios incentivos de preeminencia medioambiental. En primer lugar, los impactos generados por este tipo de plantas son mucho menores que los que se emiten en centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares e, incluso, en comparación con plantas eléctricas de otras fuentes de energías renovables (Dickson & Fanelli, 2004). Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en las plantas de generación eléctrica con base en diferentes fuentes energéticas, se puede decir que las de carbón emiten 12 veces más CO<sub>2</sub> que una planta geotérmica (2249 lb CO<sub>2</sub>/MWh), y una planta eléctrica a base de gas natural genera 6 veces más CO<sub>2</sub> que una planta geotérmica (1135 lb CO<sub>2</sub>/MWh) (Geothermal Energy Association, GEA, 2012)(Véase en anexo 2, gráfica 1).

A *nivel económico*, al implementar nuevas alternativas de aprovechamiento de la energía geotérmica, se pueden generar nuevos ingresos para la economía local y generación de empleo.

### 3. Planteamiento del problema

El desarrollo geotérmico en Colombia aún es prematuro. Se cuenta con conocimiento básico sobre la ocurrencia de vulcanismo activo y las manifestaciones de sistemas hidrotermales, no hay un conocimiento específico sobre la magnitud ni el potencial que este recurso ofrece para el desarrollo socioeconómico nacional (Servicio Geológico Colombiano, SGC, 2000). Por lo anterior, el desarrollo energético colombiano se encuentra en un escenario que carece de prioridad en el cambio de fuentes convencionales a no convencionales.

Como una muestra clara de esta problemática, se encuentra el proyecto geotérmico desarrollado en el volcán Nevado del Ruiz, que lleva más de 20 años en discusión, y su proceso de financiación aún está en curso, con un monto de inversión total de 6 millones en donde se incluyen estudios geotécnicos, geo sísmicos, geofísicos y químicos (Richter, 2017; Layton, 2017). Su fase exploratoria inició con Gensa hacia 1997, en el pozo Nereidas 1, finca Pirineos y lleva más de cinco años en proceso de culminación de estudios (Layton, 2017).

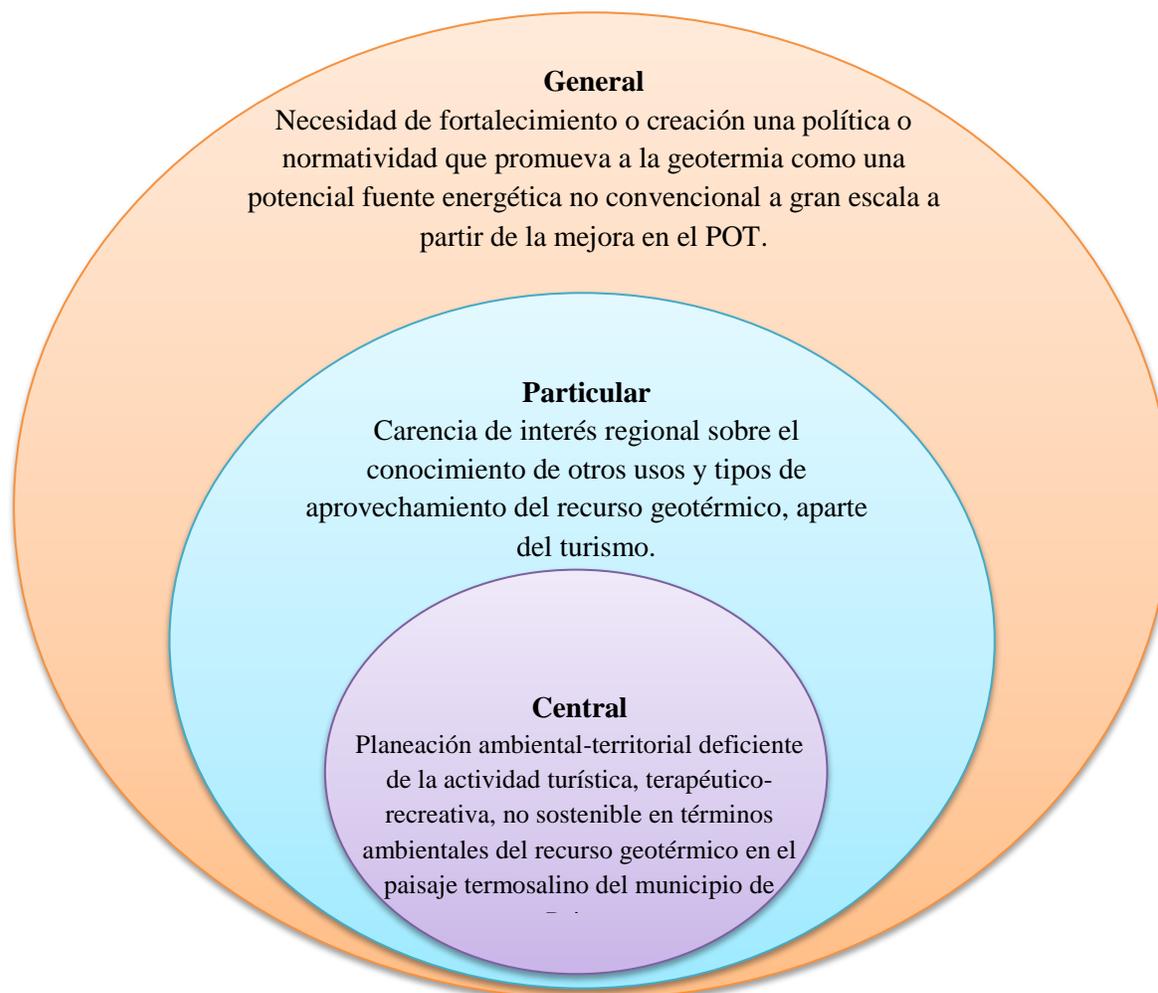
Uno de los principales obstáculos para el desarrollo de este tipo de proyectos es la falta de un marco jurídico nacional explícito y concreto en torno a fuentes de energía no convencionales (Ocampo, 2017). Es decir, que el fortalecimiento o creación de normatividades que promuevan la energía geotérmica como FNCER a gran escala, incrementarían las posibilidades de un desarrollo energético nacional. Según Cadena (2009 citado por Ocampo 2017) “hay una percepción generalizada de que la normatividad vigente para el mercado de energía en Colombia no permite el desarrollo de proyectos de generación con fuentes alternas de energía” (Cadena, 2009; Ocampo, 2017, pág. 93)

De igual manera Motta, Aguilar, & Aguirre (2012), afirman que,

La energía geotérmica, requiere de un marco jurídico que haga posible su desarrollo, papel de las entidades reguladoras, y una política clara de parte del Estado colombiano para incentivar la innovación y desarrollo de estas energías (...) que requieren una coordinación de orden nacional y regional (pág. 65).

En términos municipales existe una carencia significativa de interés sobre el conocimiento de nuevas alternativas de aprovechamiento y usos del recurso geotérmico, según expresa Flor Imelda Castro (2018, agosto 18, comunicación personal), Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal), Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal), Lorena Cuesta (2018, Septiembre15, comunicación personal), Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), Olegario Avella (2018, Septiembre15, comunicación personal) y José (2018, Septiembre15, comunicación personal), a lo largo de los años el aprovechamiento hidrotermal ha sido netamente turístico (Díaz, 2013). Sumado a esto, se ha desatado una profunda desconfianza por parte de la comunidad, frente a las autoridades ambientales y empresas privadas, pues posibles aprovechamientos diferentes al actual amenazarían la naturalidad de algunos ríos y sus escorrentías subterráneas y superficiales, dando como resultado que, gracias al aprovechamiento turístico no sostenible ambientalmente del recurso energético en el sistema geotérmico el objeto de estudio pudiera colapsar por agotamiento del recurso (Díaz, 2013).

Finalmente, y a modo de resumen, se presenta un diagrama en el que se desglosa la problemática descrita anteriormente.



**Figura 1.** Contextualización del problema, a manera de resumen, desglosado en el general, particular y central.

Fuente: Autora

#### **4. Pregunta problema**

¿Qué alternativas podrían contribuir a un uso sostenible del recurso incluida su utilización para generar energía eléctrica?

#### **5. Objetivos**

##### *5.1. General*

Diagnosticar ambientalmente las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en la vereda La Esperanza, Paipa-Boyacá.

- a.** Identificar y caracterizar las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en la vereda La Esperanza de Paipa-Boyacá.
- b.** Analizar los indicadores físicos, biológicos, sociales, culturales económicos y tecnológicos y las variables que se derivan de ellos, para evaluar ambientalmente las alternativas y sus riesgos conexos.
- c.** Establecer los lineamientos técnico-económicos para realizar un uso sostenible y aprovechamiento de la energía geotérmica en Paipa-Boyacá.

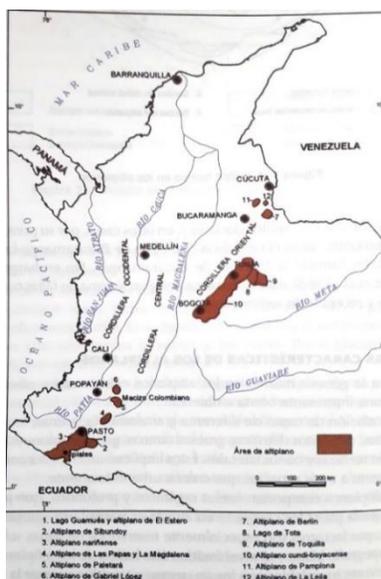
## 6. Marcos de referencia

### 6.1. Marco Biogeográfico territorial

En primer lugar, se nombran las zonas que hacen parte del sistema volcánico colombiano. Posteriormente, se localiza la cordillera Oriental de Colombia. Seguidamente, se ubica el municipio de Paipa dentro de esta, luego se identifica la vereda La Esperanza donde se ubica la zona volcánica de Paipa, y, finalmente, se realiza la descripción de la línea base de la vereda La Esperanza a partir del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), los documentos del Sistema Geológico Colombiano, (SGC) e información primaria por contacto directo con pobladores locales.

Colombia se encuentra ubicada sobre el anillo de fuego del pacífico (Anexo 1, Mapa 1), área con una concentración volcánica considerable (Geo Enciclopedia, 2016), evidenciando así el potencial geotérmico en zonas cercanas a los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Doña Juana, Sotará, Puracé, Nevado del Huila, Nevado del Ruiz, Nevado del Tolima y el volcán de Paipa (Marzolf, 2014), distribuidos dentro de las tres cordilleras colombianas (Alfaro, Velandia, & Pardo, 2010)

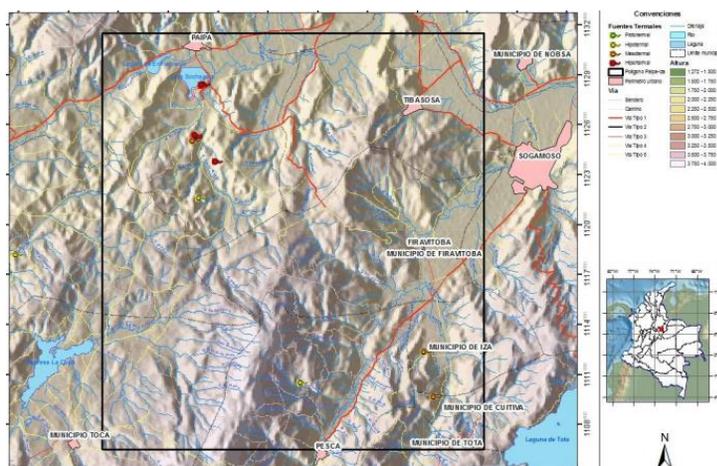
En la cordillera Oriental se evidencian anomalías en los gradientes geotérmicos, situación favorable para el aprovechamiento de esta energía (Alfaro, Velandia, & Pardo, 2010). Esta ramificación se caracteriza por tener la mayor altura dentro de las tres cordilleras colombianas (5493 metros) y 80 km de extensión. Limita con el departamento de Arauca y tiene un único nevado que es la Sierra Nevada del Cocuy, otorgándole el relieve de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander (Gobernación de Boyacá, 2012), tal como se presenta en la Figura 2.



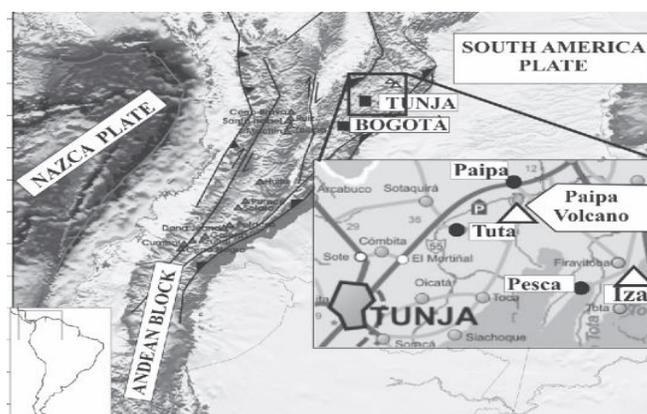
**Figura 2.** Altiplanos en Colombia  
Fuente: Ríos y Flórez, 2000.

En varias zonas de esta cordillera, afloran fuentes magmáticas y fluidos hidrotermales (Alfaro, Velandia, & Pardo, 2010), una de estas es el Altiplano Cundiboyacense, en donde se encuentra el

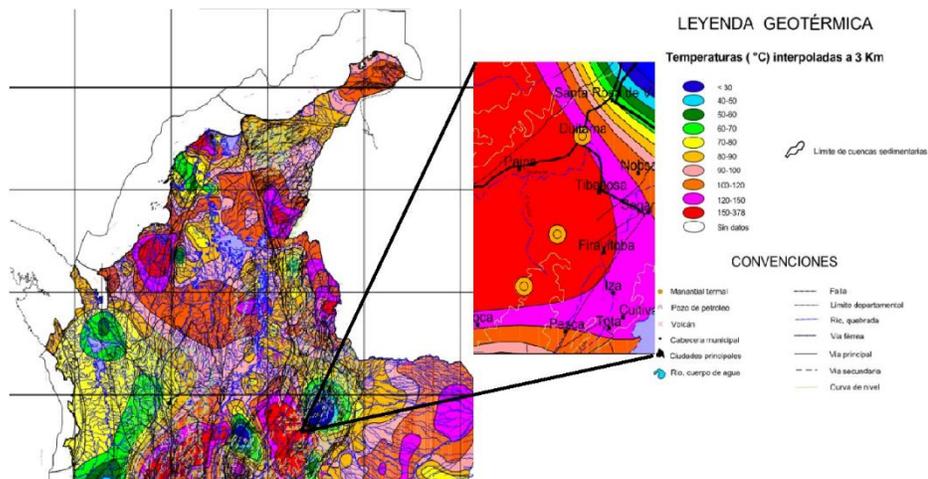
complejo volcánico de Paipa - Iza (Pardo, Cepeda, & Jaramillo, 2005) , ver Figura 3. La altiplanicie está comprendida por alturas de 2300 hasta 3150 msnm y se caracteriza por un clima frío y húmedo al norte y frío y seco al sur (IGAC, 2005). Dentro de esta se encuentra ubicado el sistema geotérmico de Paipa, ver Figura 4, que cuenta con 2871 msnm (Pardo, Cepeda, & Jaramillo, 2005). Esta área según Romero, L, Muñoz, I & Maecha, J (2010), en la “proyección de demanda energética de Colombia” de la Unidad de Planeación Minero Energética, (UPME) presenta temperaturas en el subsuelo desde 150°C-378°C, ver Figura 5.



**Figura 3.** Localización del complejo volcánico Paipa-Iza  
Fuente: INGEOMINAS, 2010.



**Figura 4.** Ubicación del Volcán de Paipa  
Fuente: Pardo, Cepeda y Jaramillo, 2005.

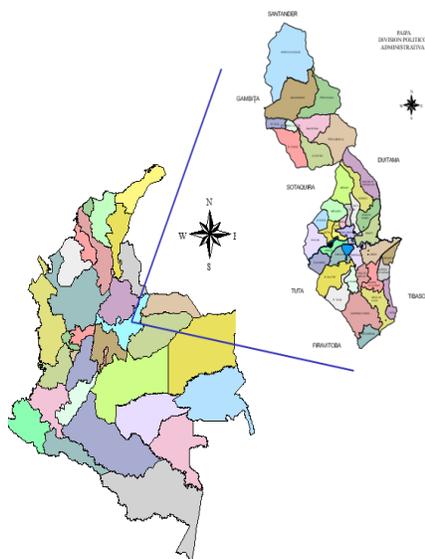


**Figura 5.** Mapa geotérmico de Colombia con enfoque en Paipa profundidad 3km

Fuente: SGC, 2000

El departamento de Boyacá, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (2005 citado por Rincón et al., 2010) se encuentra en el área centro-oriental de Colombia, es decir, en la parte central de la cordillera Oriental, ver Figura 6. Limita al norte con los departamentos de Santander, Norte de Santander y con Venezuela, al sur con Cundinamarca, al Oriente con Arauca, Casanare y Meta y al Occidente limita con Antioquia y Caldas. Tiene una extensión de 23.189 Km<sup>2</sup> que corresponden al 2.03% del país. El Departamento cuenta con 123 municipios, dentro de los que se destacan Tunja, Duitama, Sogamoso, Paipa y Chivor como zonas con buena oferta hotelera, recreativa, de centros turísticos y de aguas termales (IGAC, 2005; Rincón, y otros, 2010).

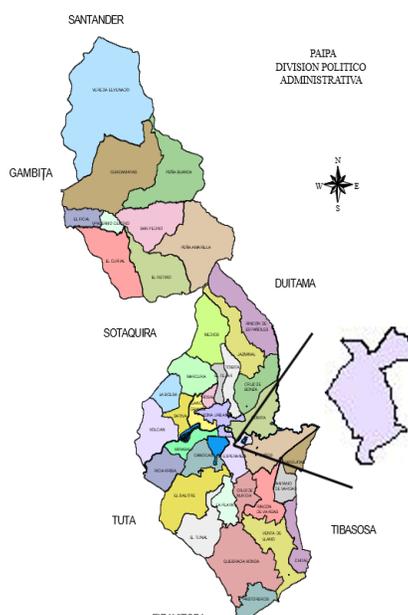




**Figura 8.** Ubicación del Departamento de Boyacá, en Colombia y del municipio de Paipa.

Fuente: Alcaldía municipal de Paipa. Modificado por autora

La vereda objeto de estudio se denomina La Esperanza, escogida por su papel estratégico dentro de sistema geotérmico de Paipa, identificada como la zona de migración de fluidos más cercana al flujo ascendente de vapores, descargados principalmente en fuentes termales de Instituto de Turismo de Paipa, ITP y el Hotel Lanceros (Alfaro, 2002, pág. 15), además se contemplan posibles reservorios superficiales alimentado por un reservorio profundo, ver Figura 24. La Vereda, tiene una extensión de 403,973 Has, ver Figura 9. Adicionalmente, dentro de esta vereda se encuentra la zona del Paisaje Salino en el municipio de Paipa, considerada por el presente trabajo como Zona de conservación del ecosistema, ver Figura 19.



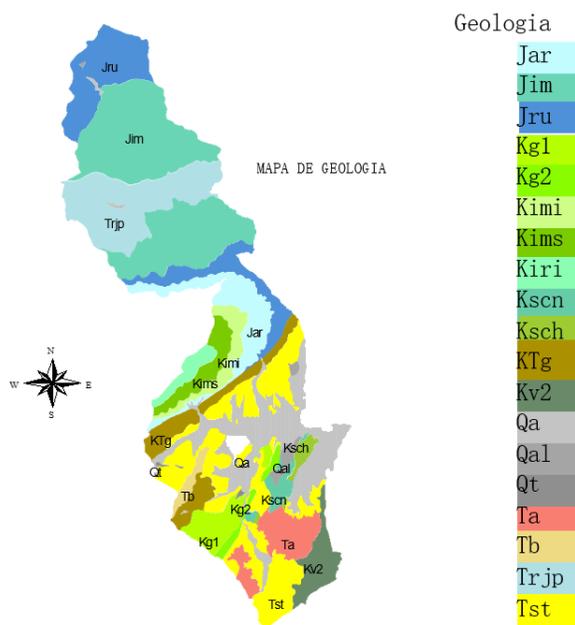
**Figura 9.** Ubicación del Departamento de la vereda La Esperanza en el municipio de Paipa.

Fuente: Alcaldía municipal de Paipa - Boyacá, 2000. Modificado por

En cuanto al aspecto bio-físico, la geología se caracteriza por un suelo que tiende a ser en su mayoría un depósito aluvial, QA. Los depósitos cuaternarios Q, abarcan toda la zona plana del valle de Paipa, están formados por capas alternas de arenas limosas, limos arenosos y arcillosos y depósitos de grava, especialmente del río Chicamocha (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo municipal, 2000). Específicamente, los depósitos aluviales, QA, están compuestos de limos, arcillas y arenas, representativos de las planicies en la vecindad del Río Chicamocha y parte del Casco Urbano de Paipa, ver Figura 10.

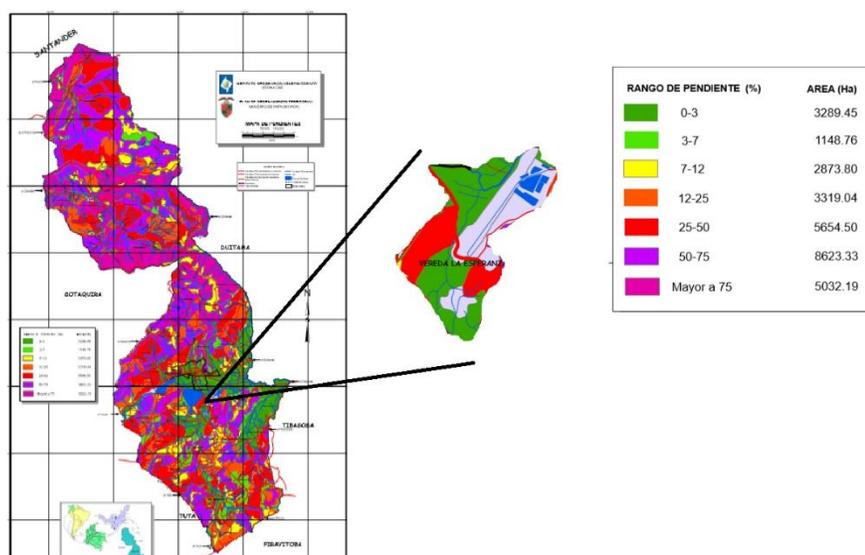
Adicionalmente tiene en su geología la formación Tiltatá, TST, ver Figura 10, compuesta por capas de gravas, arcillas y arenas con algunas capas de lignito (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal, 2000).

También presenta la formación geológica Labor y Tierna, Kg1, en pocas dimensiones, caracterizada por ser areniscas de grado medio a fino y presenta dureza intermedia, ver Figura 10. En términos generales, la formación Kg se encuentra en el área, oriental y suroccidental del municipio de Paipa. En general se caracteriza por su composición rica en arcillolitas con interacción de areniscas cuarzosas. No obstante, específicamente, la formación Labor y Tierra, Kg1 está compuesta por shales (roca sedimentaria compuesta de arcilla) grises-oscuros, y areniscas de grano medio a fino, la arenisca de labor presenta dureza intermedia, mientras la arenisca tierna forma los horizontes friables. El espesor estimado en el área es de 170 m aproximadamente (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal, 2000).



**Figura 10.** Geología del municipio de Paipa  
Fuente: Alcaldía Municipal de Paipa, 2000.

Por otro lado, la pendiente del terreno es de 0 a 3%, con alguna presencia de pendientes de 25 a 50% (IGAC, Instituto Geografico Agustín Codazzi, 1998) , ver Figura 11.

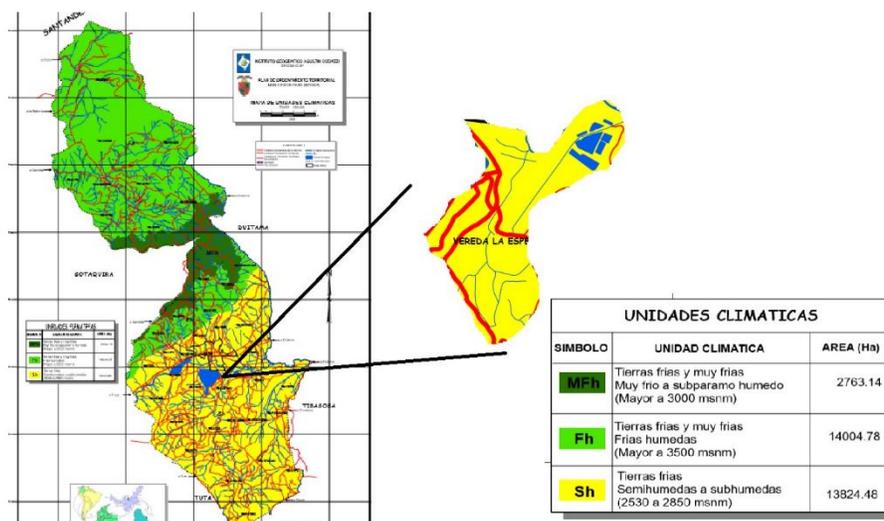


**Figura 11.** Pendientes de Paipa

Fuente: IGAC, 1998.

El factor climatológico se caracteriza por una precipitación de baja pluviosidad, anualmente se registran en promedio 990 mm. Por otro lado, la evapotranspiración de 1159 mm<sup>3</sup>, mientras que la humedad relativa es de 75 % y el brillo solar de 1695 horas-año (Alcaldía Municipal de Paipa, Concejo Municipal, 2000).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Paipa, la vereda La Esperanza pertenece a la unidad climática de SH tierras frías Semihúmedas a subhúmedas, a una altura entre 2530 a 2850 msnm, ver Figura 12, (IGAC, 1998).

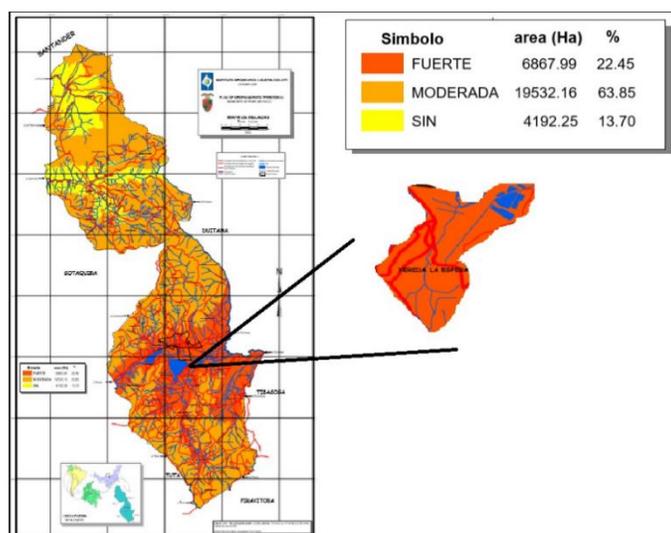


**Figura 12.** Unidades climáticas del municipio de Paipa

Fuente: Alcaldía Municipal de Boyacá, 2000.

Aunque el Municipio se caracteriza por tener un promedio de temperaturas mínimas entre 7 y 8 °C, el 45% del territorio corresponde a áreas con presencia de heladas fuertes, capas estáticas de

aire que cubren las planicies y pueden llegar a tener temperaturas menores a 0 °C. Dentro de esta categoría se encuentra la vereda La Esperanza, como se puede ver en la Figura 13.



**Figura 13.** Categorización de las Heladas del municipio de Paipa  
Fuente: IGAC, 1998.

Entre los aspectos fisicoquímicos de los manantiales termales del Sistema paipano, se resaltan sus características sulfatadas sódicas, con alta salinidad y pH neutro, con depósitos no marinos. Tal atributo se asocia a la composición de los suelos, con presencia de óxido de silicio,  $SiO_2$ , bario,  $Ba$ , circonio,  $Zr$  y estroncio,  $Sr$ , con pequeñas cantidades de óxido de hierro,  $Fe_2O_3$ , óxido de sodio,  $Na_2O$ , óxido de titanio,  $TiO_2$ , vanadio,  $V$  y cinc,  $Zn$  (Rincón, y otros, 2010; Alfaro C. , 2002).

La hidrología de vereda La Esperanza, pertenece a la subcuenca Rejalgar, ubicada dentro de la cuenca del Río Chicamocha. Cuenta con cinco fuentes termales denominadas El Ojo del Diablo, Pozo Azul, Pozo Inundado, Pozo Escondido y Pozo Hotel Lanceros cuyas características fisicoquímicas se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características fisicoquímicas de las fuentes termales en la vereda La Esperanza

Nombre del pozo	Rincón, y otros, 2010, pág. 90		Alfaro & Hurtado, Sistema geotérmico de Paipa, 2018		Sánchez, Fagundo, Romero, Moreno, & González, s.f		Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25	
	pH	T°C	pH	T°C	pH	T°C	pH	T°C
Pozo Inundado	7.1	42.3	-	-	-	-	7.3	43.5
Pozo Escondido	7.1	45.3	-	-	-	-	-	-
Ojo del Diablo	7.9	35.9	-	70	-	-	7.0	68.1
Pozo Azul	6.8	51.8	-	56	7.7	45.1	7.0	53.7
Pozo Hotel Lanceros	-	-	-	-	-	-	7.2	63.4
Salpa	-	-	-	21	-	-	6.5	21
ITP	6.8	53	-	-	-	-	6.0	22.9
Pozo Escuela la Esperanza	-	-	-	-	-	-	5.6	21.5

Fuente: Sánchez et al., s.f.

El Pozo Inundado cuenta con concentraciones de 11750mg/L sodio, *Na*, 1400 mg/L de potasio, *K*, 77 mg/L calcio, *Ca*, 17 mg/L de magnesio, *Mg*, mg/L de litio, *Li*, 44 mg/L de estroncio, *Sr*, 5.30 mg/L de boro, *B*, 0.4 mg/L de hierro, *Fe*, 1.5 mg/L de manganeso, *Mn*, 4890 mg/L de cloro, *Cl*, 19687 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 2475 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 14 mg/L de flúor, *F*, 27 mg/L de silicio, *Si*, 58 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

El Pozo Ojo del Diablo, tiene concentraciones de 12375 mg/L sodio, *Na*, 1562 mg/L de potasio, *K*, 175 mg/L calcio, *Ca*, 21.2 mg/L de magnesio, *Mg*, 18.2 mg/L de litio, *Li*, 5.7 mg/L de estroncio, *Sr*, 5.10 mg/L de boro, *B*, 0.2 mg/L de hierro, *Fe*, 1.6 mg/L de manganeso, *Mn*, 5103 mg/L de cloro, *Cl*, 19250 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 2606 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 15.5 mg/L de flúor, *F*, 31.5 mg/L de silicio, *Si*, 67.5 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

El Pozo Hotel Lanceros cuenta con concentraciones de 12500mg/L sodio, *Na*, 1400 mg/L de potasio, *K*, 87 mg/L calcio, *Ca*, 17.0 mg/L de magnesio, *Mg*, 18 mg/L de litio, *Li*, 4.6 mg/L de estroncio, *Sr*, 4.90 mg/L de boro, *B*, 0.3 mg/L de hierro, *Fe*, 1.7 mg/L de manganeso, *Mn*, 5138 mg/L de cloro, *Cl*, 19375 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 2520 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 14.7 mg/L de flúor, *F*, 30 mg/L de silicio, *Si*, 64 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

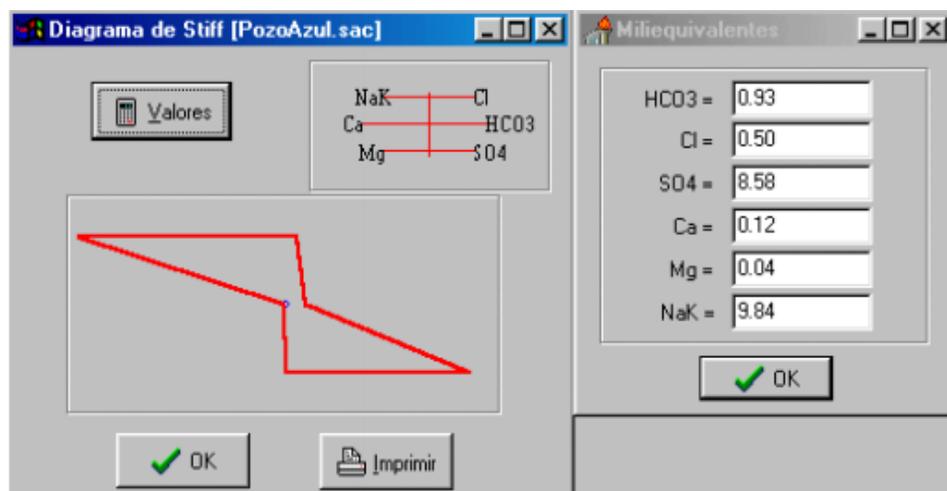
El Pozo de SALPA tiene concentraciones de 13250 mg/L sodio, *Na*, 1637 mg/L de potasio, *K*, 175 mg/L calcio, *Ca*, 22.5 mg/L de magnesio, *Mg*, 18.0 mg/L de litio, *Li*, 4.7 mg/L de estroncio, *Sr*, 5.30 mg/L de boro, *B*, 0.2 mg/L de hierro, *Fe*, 1.7 mg/L de manganeso, *Mn*, 5455 mg/L de cloro, *Cl*, 20812 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 2620 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 6.10 mg/L de flúor, *F*, 19.5 mg/L de silicio, *Si*, 41.8 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

El Pozo de ITP cuenta con concentraciones de 1550mg/L sodio, *Na*, 160 mg/L de potasio, *K*, 40 mg/L calcio, *Ca*, 8.0 mg/L de magnesio, *Mg*, 1.6 mg/L de litio, *Li*, 0.4 mg/L de estroncio, *Sr*, 0.05 mg/L de boro, *B*, <0.2 mg/L de hierro, *Fe*, <0.1 mg/L de manganeso, *Mn*, 728 mg/L de cloro, *Cl*, 2870 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 298 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 0.48 mg/L de flúor, *F*, 7 mg/L de silicio, *Si*, 15 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

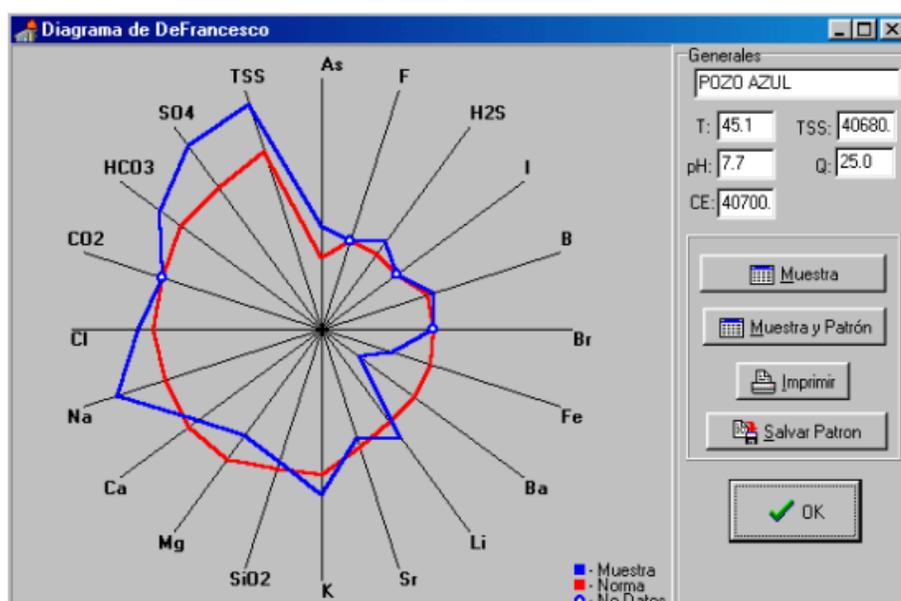
El Pozo de La Escuela La Esperanza, tiene concentraciones de 290mg/L sodio, *Na*, 25.0 mg/L de potasio, *K*, 250 mg/L calcio, *Ca*, 42.5 mg/L de magnesio, *Mg*, <0.1 mg/L de litio, *Li*, <0.2 mg/L de estroncio, *Sr*, <0.05 mg/L de boro, *B*, 0.9 mg/L de hierro, *Fe*, 0.1 mg/L de manganeso, *Mn*, 168 mg/L de cloro, *Cl*, 1150 mg/L de sulfato, *SO<sub>4</sub>*, 22.8 mg/L de hidrogenocarbonato, *HCO<sub>3</sub>*, 0.1 mg/L de flúor, *F*, 5.0 mg/L de silicio, *Si*, 10.7 mg/L de óxido de silicio, *SiO<sub>2</sub>* (Alfaro C. , y otros, 2005 , pág. 25).

Según, Sánchez, L, Fagundo, J, Romero, J, Moreno, A & González, P, Pozo Azul, es la fuente hidrotermal más conocida de Colombia, caracterizada por ser francamente sulfatada, sódica,

hipertermal y de alta mineralización, con concentraciones de 19687 mg/L de sulfato,  $SO_4$ , 2475 mg/L de hidrogenocarbonato,  $HCO_3$ , 4890 mg/L de cloro,  $Cl$ , 0.4 mg/L de hierro,  $Fe$  11750 mg/L de sodio,  $Na$ , 1400 mg/L de potasio,  $K$ , 77 mg/L de calcio,  $Ca$ , 17.0 mg/L de magnesio,  $Mg$ , 18 mg/L litio,  $Li$ , 5.30 mg/L de boro,  $B$ , 4.4 mg/L de estroncio,  $Sr$ , 1.5 mg/L de manganeso,  $Mn$ , 14 mg/L de flúor,  $F$ , 27 mg/L de silicio,  $Si$ , 58 mg/L de óxido de silicio,  $SiO_2$  y presencia de ácido sulfhídrico,  $H_2S$ , arsénico,  $As$ , ácido silícico,  $H_4SiO_4$ , yodo,  $I$ , y mineralización,  $TSS$  (Sánchez et. al, s.f) ,ver las Figuras 14, 15.

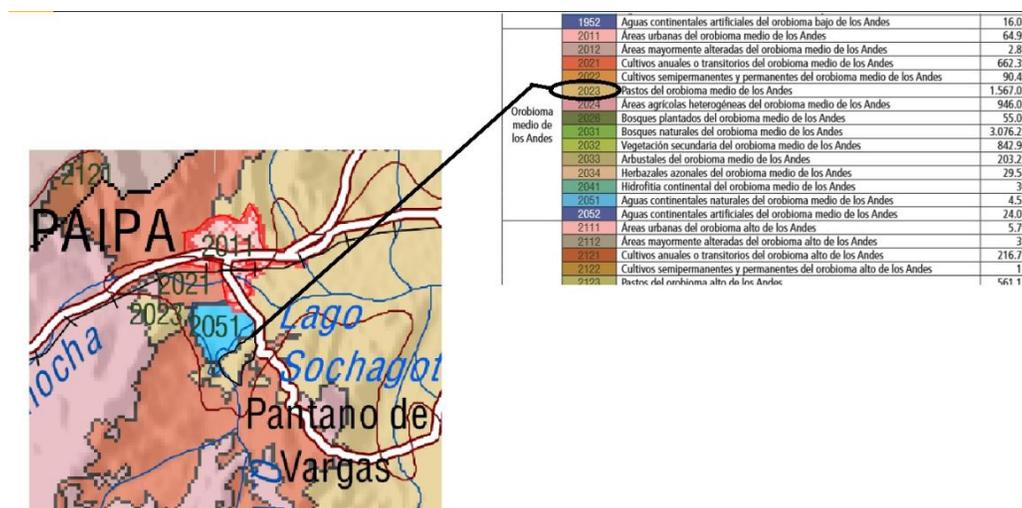


**Figura 14.** Diagrama Stiff. Fuente Pozo Azul de Paipa  
Fuente: Sánchez et. al, s.f.



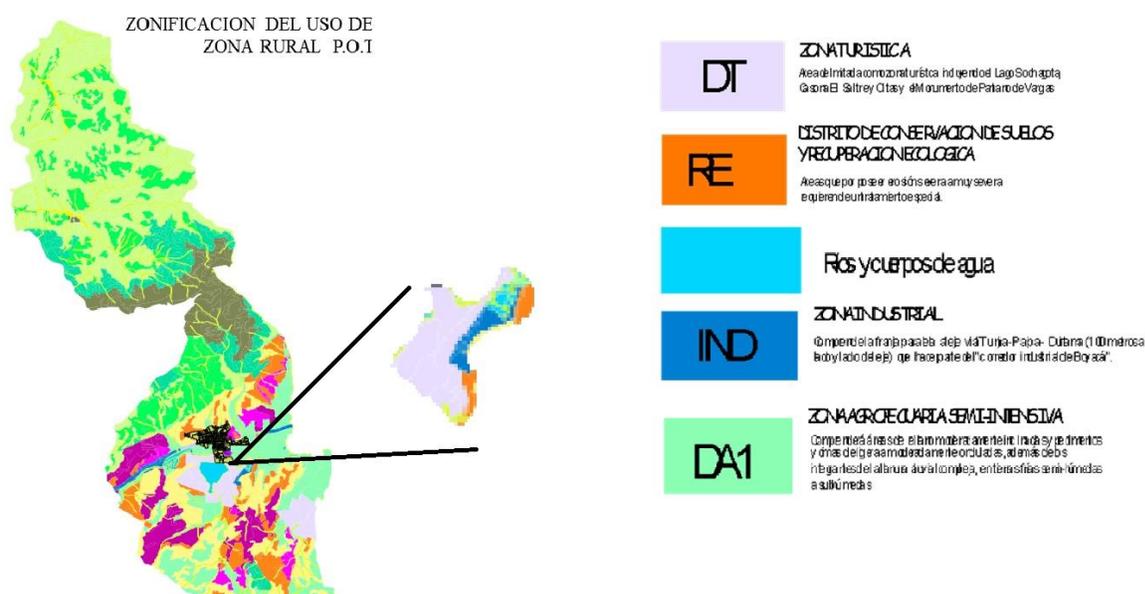
**Figura 15.** Diagrama DeFrancesco, SCAN, Fuente Pozo Azul, Paipa  
Fuente: Sánchez, s.f.

Como ecosistema, según el mapa y el en el informe de “Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia”, la Vereda La Esperanza se encuentra dentro del ecosistema 2023, denominado Pastos de Orbiobioma medio de los Andes, ver figura 16, (IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP , 2007). De acuerdo con el mapa de “zonificación del uso del suelo Zona rural P.O.T.” de Paipa, corresponde en mayor parte a Zona Turística, área que incluye Lago Sochagota, Casona El Salitre y Olitas, además contiene zonas de Distrito de Conservación de Suelos y Recuperación Ecológica (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal, 2000) ver Figuras 17, 19 (Anexo 6, Fotografías de campo).



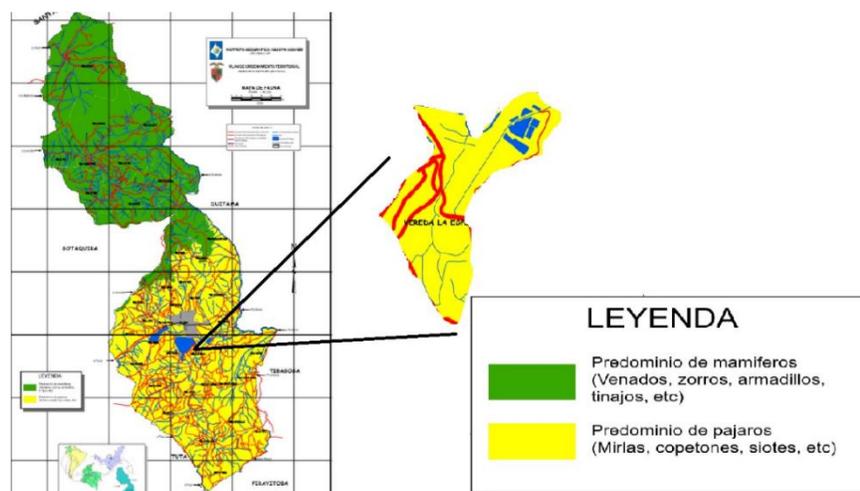
**Figura 16.** Clasificación dentro de los ecosistemas colombianos, Orobioma Medio de los Andes.

Fuente: IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP ( 2007) pág. Hoja 18 de 36



**Figura 17.** Zonificación del uso del suelo, Zona rural  
Fuente: Alcaldía municipal de Paipa - Boyacá ( 2010)

La biodiversidad del Municipio se encuentra dividida en el predominio en la zona norte, de mamíferos como venados, zorros, armadillos, entre otros, y en la zona sur sobresale la presencia de aves como Mirlas, Copetones, Palomas, Jaquecos, Abuelitas o Gorriones, entre otros. La vereda La Esperanza, tiene un aspecto biótico prevalente de aves, como se muestra en la Figura 18, con presencia de Corocoras y Garzas garrapateras.



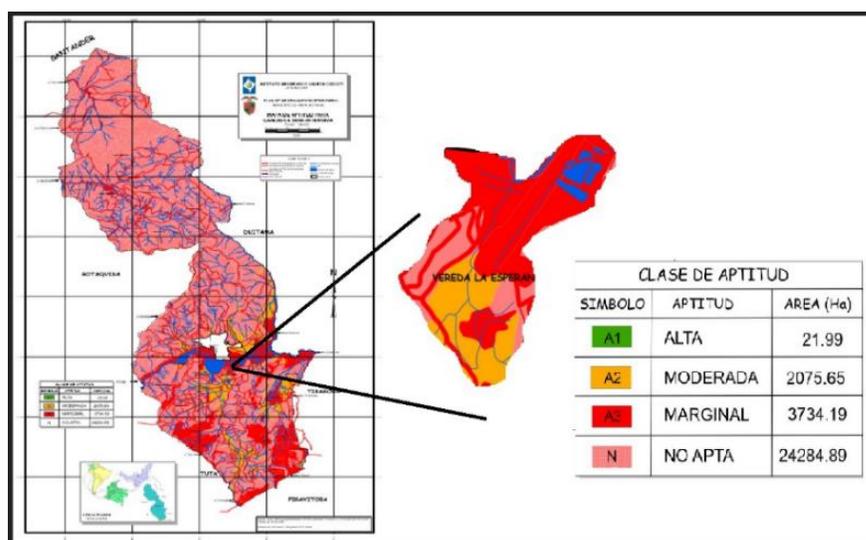
**Figura 18.** Mapa de fauna de Paipa

Fuente: IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1998)

El escenario económico del municipio es caracterizado por su productividad ganadera, agrícola, minera y turística, incluyendo, hotelería, restaurantes, cabañas, aeropuerto, piscinas. En la vereda La Esperanza, antiguamente se utilizaba para la actividad industrial y el aprovechamiento y extracción salina por medio de la evaporación de piscinas en Sales de Paipa, SALPA (Avellaneda, 2010) (2018, agosto 24, comunicación personal). Actualmente predomina el sistema productivo de la ganadería, semi-intensiva, con características inadecuadas para su desarrollo, según la Alcaldía Municipal de Paipa (2000). La aptitud de las tierras en esta zona para ganadería es calificada como A3, es decir, de tipo marginal. Adicionalmente, presenta también zonas de aptitud A2, de tipo moderado en menor cantidad, y con aptitud N, lo que significa que no es apta para esta actividad, como se puede observar en la Figura 20. A pesar de esto, hay presencia de actividad ganadera en pocas cantidades, sectorizada en los lotes de INFIBOY, que se orienta a la “cría, levante y engorde de ganado vacuno, también se da en menor escala la explotación de ganado lechero, además existen explotaciones de ganados lanar y porcino y aves de corral” (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal, 2000, pág. 1). Ahora bien, en las laderas de la planicie salina comprendida entre la Hacienda El Salitre y SALPA existe sistema productivo campesino y en los últimos hacia la zona oriental, cabañas campestres, ver Figura 19 y anexo 6 Fotografías de campo.



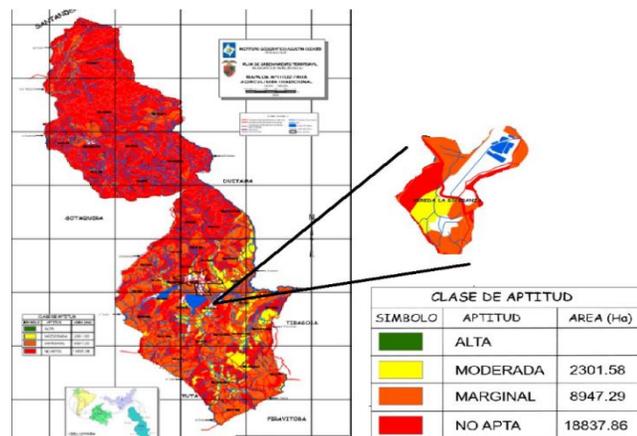
**Figura 19.** Imagen satelital que delimita la Zona de Conservación, Paisaje Salino.  
Fuente: Autora



**Figura 20.** Aptitud del Municipio para la producción ganadera semi-intensiva.  
Fuente: IGAC, 1998.

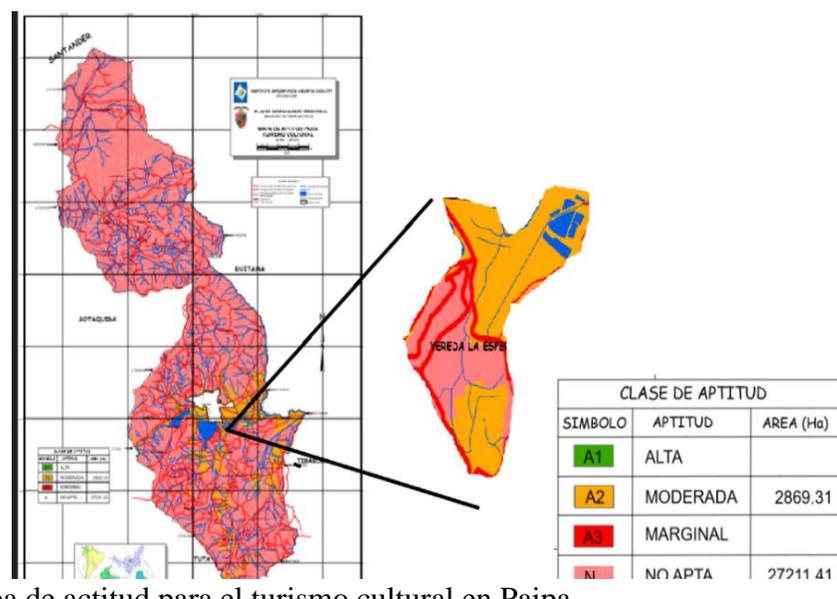
Con respecto a la agricultura campesina tradicional, la vereda La Esperanza está catalogada en su mayoría como tipo *marginal*, con presencia de zonas *no aptas*, pero también hay presencia de áreas de aptitud moderada para el desarrollo de esta actividad (2018, agosto 24, comunicación directa). Dentro de la vereda se encuentran solo dos cultivos, uno de uvas y otro de duraznos, ver Figuras 19 y 21.

Por otro lado, el aprovechamiento salino abandonado centraba su producción en la formación de manantiales termales provenientes del sistema geotérmico, caracterizados por ser aguas sulfatadas, sódicas y potásicas con alta salinidad y pH neutro, sus depósitos se definieron como no marinos, con una temperatura de 21°C, con el mayor contenido salino en la zona. Ahora bien, la entidad encargada de la extracción y comercialización de manera industrial el Sulfato de Sodio,  $Na_2SO_4$  era, SALPA, Sales de Paipa (Rincón, y otros, 2010) (ver figura 19).



**Figura 21.** Mapa de aptitud de agricultura para el municipio de Paipa  
Fuente (IGAC, 1998)

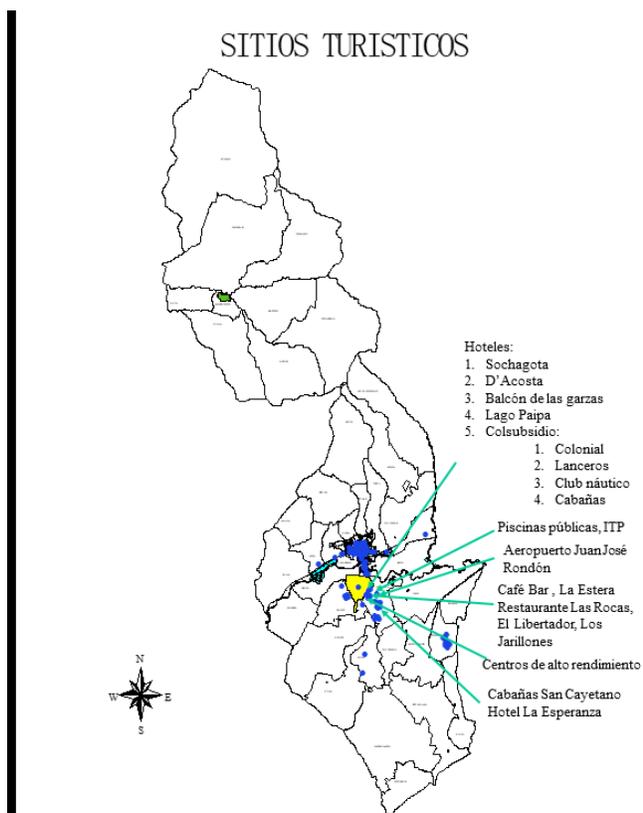
Otra actividad económica en Paipa es el turismo, el principal atractivo son las fuentes y piscinas de aguas termo-minerales, poseen facilidades turísticas representadas en la movilidad masiva de visitantes. La vereda La Esperanza está categorizada en su mayoría con aptitud turística moderada, y en menor magnitud como no apta (IGAC, 1998), ver Figura 19 y 22. Según la tabla de distribución espacial de actividades productivas de Paipa, la Vereda, no tiene vocaciones turísticas, ver Tabla 2.



**Figura 22.** Mapa de aptitud para el turismo cultural en Paipa  
Fuente: (IGAC, 1998)

Sin embargo, por medio de la observación y contacto directo, se determinaron divergencias en la información, la Vereda tiene una gran oferta turística conformada por más de 9





**Figura 23.** Mapa de Sitios turísticos de Paipa  
Fuente: Alcaldía municipal de Paipa - Boyacá (2010)

A nivel sociocultural, se tuvieron en cuenta las entrevistas semiestructuradas realizadas a diferentes actores importantes dentro de la investigación, miembros de la Sociedad Civil (2018, agosto 18 y Septiembre 15, comunicación personal), integrantes importantes del Grupo de Ambientalista de Paipa (2018 agosto 18, comunicación personal), Presidente del Concejo Municipal de Paipa (2018, agosto 24, comunicación personal), Secretario de Agricultura (2018, agosto 24 (2018, agosto 24, comunicación personal) y miembros de la Secretaría de Agricultura del Municipio (2018, septiembre 15, comunicación personal), así como también se entrevistó al Subgerente Operativo del Instituto de Turismo de Paipa, ITP, y al presidente de la Junta de Acción Comunal, la vereda La Esperanza (2018, 24 de agosto, comunicación personal). A partir de estas entrevistas se pudo establecer que, a pesar de tener fuerte identificación y sentimiento de propiedad, existe un gran vacío de información y falta de interés frente al origen, sistema, potencial y posibles usos de la energía geotérmica presente, principal barrera para el desarrollo de diferentes alternativas y proyectos de aprovechamiento del potencial geotérmico.

## 6.2. Marco teórico conceptual

En este capítulo se integran teorías y conceptos de tres subtemas relevantes en la investigación. En primer lugar, se encuentran las generalidades de la energía geotérmica, en donde se habla de las fuentes no convencionales de energías renovables, energía geotérmica, componentes de un sistema geotérmico, gradiente geotérmico, potencial geotérmico, fuentes termales y la surgencia de estas, los domos volcánicos, la explicación simple de la estructura de la tierra y su relación con el origen del recurso geotérmico. Todas estas nociones dan lugar a una explicación sencilla sobre el origen y usos del recurso en Paipa. A continuación, se examinan algunos aprovechamientos geotérmicos a nivel global y en Colombia, en donde se reseña brevemente el desarrollo histórico geotérmico a nivel internacional y se resaltan los proyectos a nivel nacional. Finalmente se describen algunas alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico obtenidos de un barrido bibliográfico internacional, regional, nacional.

### 6.2.1. Generalidades de la energía geotérmica

Las *Fuentes no convencionales de energías renovables*, obtenidas de la propia naturaleza, se caracterizan por ser ambientalmente sostenibles (Asociación Colombiana de Energías Renovables, 2018), es decir, *energías renovables* se generan a partir de energía potencial almacenada en la naturaleza, como la solar, eólica, hidráulica y de la biomasa. Dado lo anterior, con la implementación de estas, se genera una menor concentración de contaminantes, por ende su impacto ambiental es menor (Heras, 2002; Secretaría de Energía de Argentina, 2004).

Dentro de las energías alternativas se resalta la *energía geotérmica*, que, según Heras (2002), hace referencia a la energía obtenida a partir del aprovechamiento del calor almacenado en el interior de la tierra, este fenómeno se produce por la poca conductividad térmica de las rocas, almacenando la energía por largos periodos de tiempo, lo que hace posible el aprovechamiento de las fuentes termales de poca profundidad, por medio de múltiples alternativas.

Para la surgencia de esta energía debe existir, en primer lugar, un sistema geotérmico, el cual se encuentra por lo regular a una profundidad de 1 a 10 km (Heras, 2002), y se compone por una *fuerza de energía*, que por lo regular es un cuerpo caliente “superior a los 600°C, una roca volcánica, una cámara magmática o gases calientes de origen magmático” (Marzolf, 2014); el segundo componente, es *el reservorio o yacimiento geotérmico*, que se encuentran a profundidades cercanas a la superficie, conformado por rocas permeables, en donde se almacena el fluido geotérmico (Arias & Acevedo, 2017); en tercer lugar, se encuentra el *sistema de suministro de agua*, “compuesto por grietas o rocas permeables, que permiten la infiltración de agua superficial en el subsuelo de manera que puedan alcanzar profundidades aptas para el aumento de temperatura, sirviendo como recarga del reservorio geotérmico” (Marzolf, 2014); finalmente, la acción de la capa de sellamiento evita la pérdida de vapor y agua (Arias & Acevedo, 2017), está conformada por materiales impermeables, que usualmente son rocas arcillosas o sales de las fuentes termales (Marzolf, 2014).

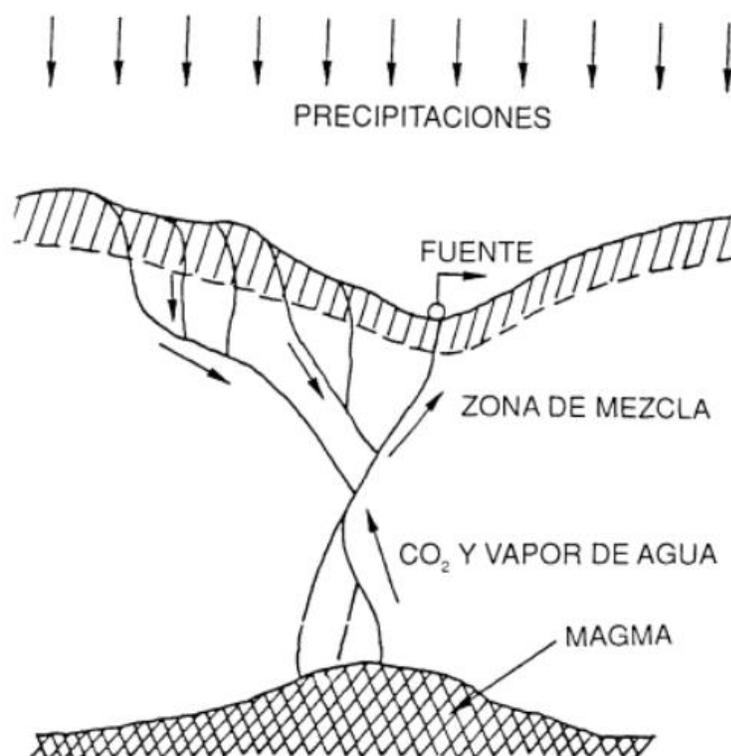
Un factor relevante para identificar un sistema geotérmico es el *gradiente geotérmico*, definido como la diferencia de temperaturas en el interior del subsuelo, resultado de la baja conductividad térmica de los materiales del suelo (Heras, 2002), es decir que existe un aumento gradual de la temperatura de la tierra. “Cada 100 metros de profundidad la temperatura aumenta 3°C en zonas normales, pero en zonas anormalmente calientes los gradientes geotérmicos pueden aumentar de

15 a 30 ° C, cada 100 metros; estas últimas se pueden encontrar en zonas volcánicas” (Gonzales, Llamas, & López, 1992).

Los yacimientos geotermales se clasifican dependiendo de las temperaturas a las que se encuentra el sistema, fenómeno denominado *potencial geotérmico* (Agencia andaluza de Energía, 2009; IGME & IDAE , 2008). “Los de *alta entalpía* son aquellos que superan los 150°C, los de *media entalpía* son aquellos que se encuentran entre 100 y 150°C, y los de *baja entalpía* son lo que alcanzan temperaturas menores a 100°C” (IGME & IDAE , 2008).

Las *fuentes de aguas termales*, son el mayor indicador de zonas geotérmicas, la temperatura promedio de estos cuerpos hídricos oscilan entre 85°C -100°C (Herbas, 2012), provienen de aguas que “se infiltran en el subsuelo descienden por gravedad hacia capas más profundas, elevando su temperatura, y que ascienden posteriormente hasta la superficie, a través de las fisuras y fracturas existentes en las rocas” (Gonzales, Llamas, & López, 1992), ver Figura 24.

Los *mecanismos de surgencia*, pueden ser factores físicos, como la temperatura, e hidrogeológicos, como la expansión de gases, que facilitan el origen de las fuentes termales (Gonzales, Llamas, & López, 1992).



**Figura 24.** Esquema del origen y surgimiento de las fuentes de agua termales.  
Fuente: Gonzales, Llamas, & López, 1992.

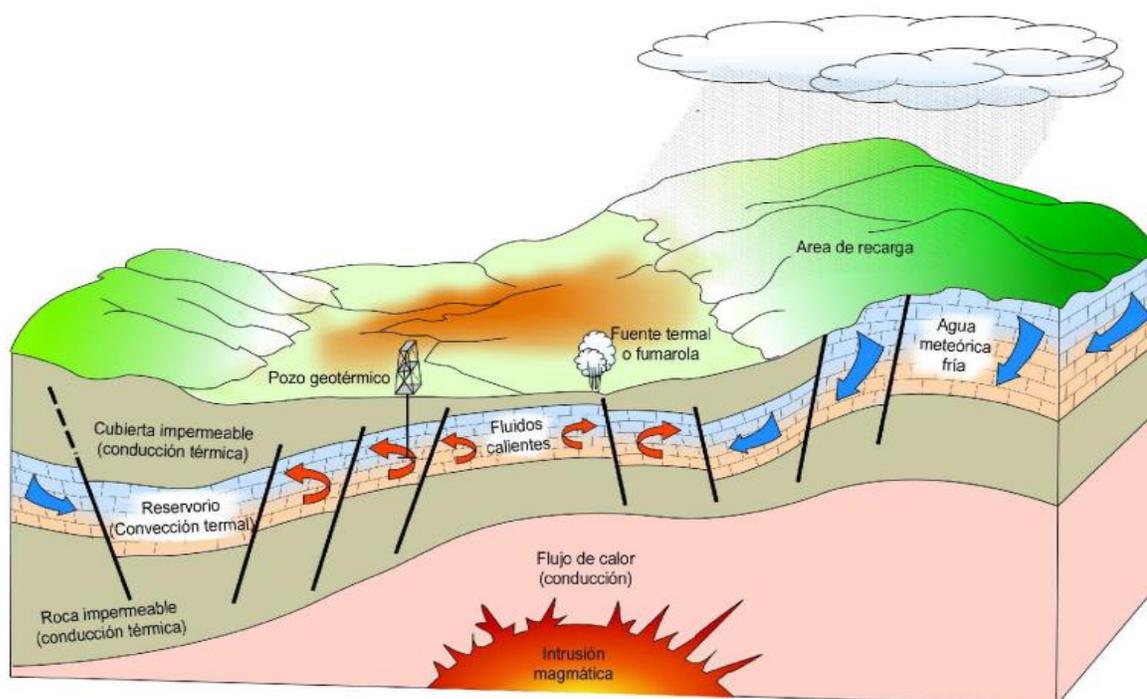
Otra forma de identificar la presencia de un sistema geotérmico es la presencia de *domos volcánicos*, cuerpos o estructuras volcánicas que se encuentran sobre la superficie terrestre, estas formaciones pueden surgir a raíz de una erupción volcánica de lava viscosa, fluido que recorre poca

distancia debido a sus características, a medida que su temperatura disminuye, su velocidad también, acumulando el magma alrededor del centro de emisión (Instituto Geográfico Nacional, España, 2018). Otro mecanismo de formación, se da por medio de una extrusión del magma a través de rocas fracturadas (Cepeda & Villavece, 2004).

El recurso geotérmico se origina en regiones volcánicas, debido a que el gradiente geotérmico es superior al normal, para efectos de mejor entendimiento, se explicará de forma sencilla su funcionamiento, iniciando por la estructura tectónica, que está estructurada por tres capas, cuyo orden descendente desde la superficie hasta el centro es, *corteza terrestre, el manto y el núcleo*, este último se ubica a una profundidad de 6.357,78 km (Secretaría de Energía de Argentina; Servicio Geológico Minero Argentino, 2010).

La primera capa, se forma por rocas compactadas con espesor menor o igual a los 70 km, que en ocasiones podría llegar a ser mayor, esta se puede observar de manera directa, la siguiente capa, está constituida por rocas con características químicas completamente distinta a las rocas superficiales, son ricas en minerales, usualmente tienen un espesor es de 63557,78 km , y por último la tercera capa, que mediante estudios geofísicos, se logra suponer que se encuentra a una profundidad de 2.900 km y se caracterizan por tener una composición mineralógica mayor a los dos mantos anteriores (Secretaría de Energía de Argentina; Servicio Geológico Minero Argentino, 2010).

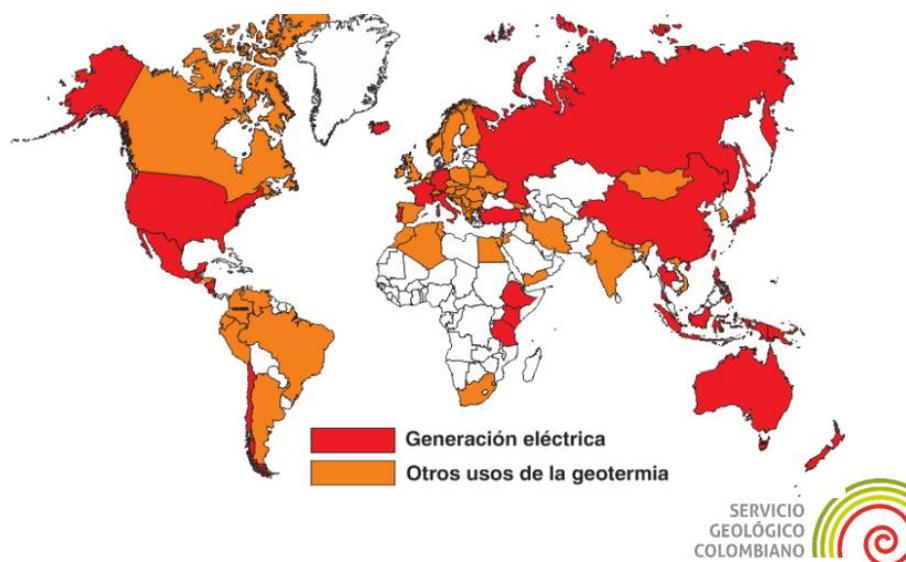
El calor que se genera dentro de las capas terrestres, se transmite hacia la corteza, generando el surgimiento de manifestaciones geotérmicas (Secretaría de Energía de Argentina; Servicio Geológico Minero Argentino, 2010) , ver Figura 25.



**Figura 25.** Esquema general del flujo energético en las capas terrestres.

Fuente: Dickson & Fanelli, 2004.

Esta energía calórica se manifiesta en manantiales de agua y vapor, que puede ser aprovechado en múltiples propósitos, como los directos, balnearios (baños medicinales), turismo y recreación, en la industria, calefacción, secado, fusión de la nieve, agricultura, piscicultura y si el vapor es el adecuado, puede ser usado en producción de energía eléctrica (Alfaro & Hurtado, Generalidades de la geotermia, 2018; Marzolf, 2014), ver Figura 26.



**Figura 26.** Visión global de los diferentes usos de la energía geotérmica.  
Fuente: Rueda, s.f.

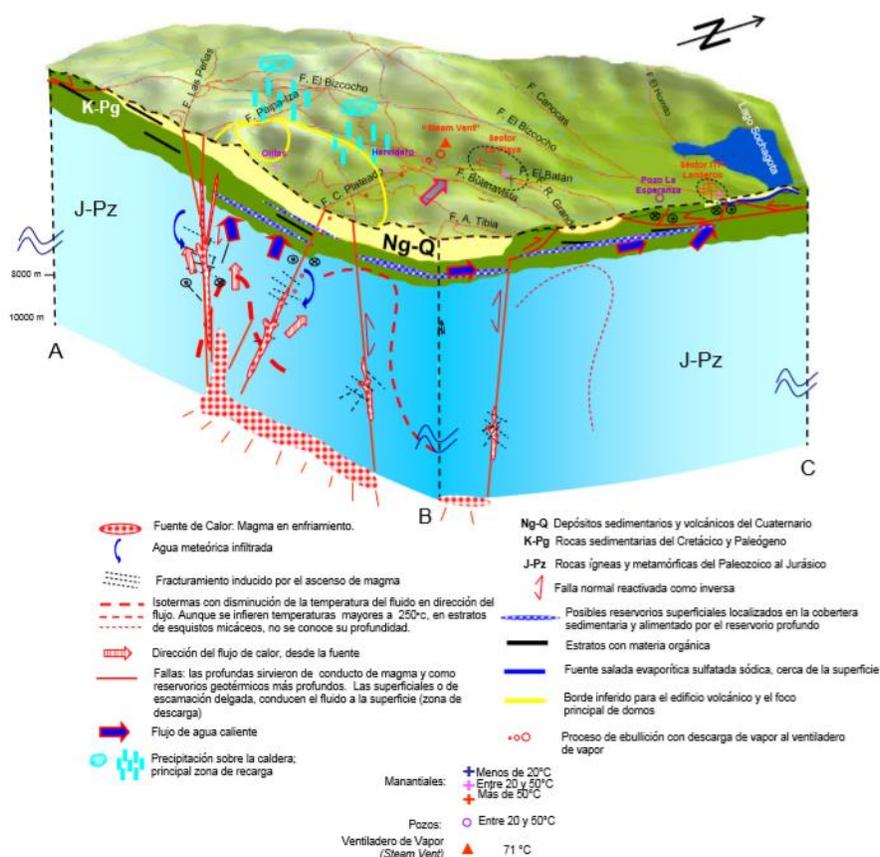
Teniendo en cuenta lo anterior, a nivel municipal, el estudio de anomalías térmicas del subsuelo colombiano realizado por el Servicio Geológico Colombiano, SGC (2000), identifica el volcán de Paipa-Boyacá como área de interés geotérmico de menor extensión, además, según Navia & Barriga (1929 citado por el Servicio Geológico Colombiano, 2000, pág. 6), las manifestaciones hidrotermales del Municipio son sobresalientes a nivel nacional, por sus altas temperaturas y salinidad. Dentro de las 9 áreas identificadas como sistemas potenciales geotérmicos, se caracterizó la zona volcánica de Paipa, con prioridad alta-media, pues aunque no se ha realizado la caracterización de temperatura en el Municipio, se infirieron gradientes termales mayores a  $70^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , que generaron una temperatura de  $322^{\circ}\text{C}$  en municipios cercanos a Paipa (Iza y Sáchica).

Según Ferreira & Hernández (1988 citados por Alfaro et al., 2005), el sistema geotérmico de Paipa se divide en diferentes sectores *la fuente de calor*, que se caracteriza por ser una intrusión magmática, se encuentra dentro de la vereda Quebrada Honda Grande, identificados por la presencia de 3 fuentes termales, *Olitas*, *Pan de Azúcar*, *el azúcar* y *El Durazno* (Anexo 1 Mapa 14). El *reservorio*, está conformado por areniscas blancas de grano medio a grueso en la **formación Une (Ku)**, caracterizada por ser de permeabilidad primaria, la temperatura del fluido es superior a los  $200^{\circ}\text{C}$ , calculado a partir de geotermómetros.

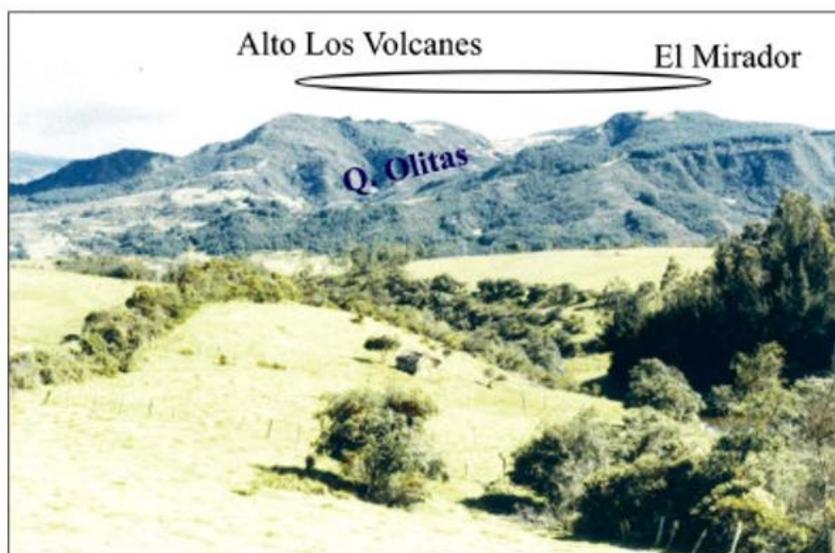
Esta formación, según Velandía (2003), son capas de areniscas cuarzosas de granos subredondeados a redondeados, en ocasiones un conglomerático con presencia de hierro, adicionalmente, a esta formación se le asigna un espesor de 510m (Renzoni, 1981, citado por Velandía, 2003). Una zona donde esta formación se encuentra presente es la zona que bordea el Pantano de Vargas, cerca al monumento de Los Lanceros. La falla continúa hasta el sur donde se encuentra con la falla Cerro Plateado, la cual separa las fuentes termales volcánicas Pan de Azúcar, al norte y Olitas, al sur (Anexo 1 mapa 13).

Los *acuíferos someros* tienen una formación Labor y Tierra, de permeabilidad secundaria por fracturación. La *capa de sellamiento* está conformada por arcillas a partir del grupo Churuvita, es decir en valles de pendientes suaves (Velandía, 2003), la *zona de recarga*, se da por medio de la **formación Une (Ku)**, y la *zona de descarga*, el sistema es alimentado por fluidos profundos conducidos por las fallas (Alfaro C. , y otros, 2005 ).

En Paipa, el sistema geotérmico se expresa superficialmente por medio de fuentes termales y domos volcánicos. En primer lugar las fuentes termales se localizan en los sectores de Olitas, fuente dulce, mineralizada, 23.3°C, El Hervidero, fuente dulce, 21°C, Pozo Azul, 56 °C, El Batán, 76°C, El Delfín, 54°C, Ojo del Diablo, 70°C, SALPA, 21°C, fuente salina (Alfaro & Hurtado, Sistema geotérmico de Paipa, 2018), en segundo lugar los domos volcánicos se encuentran ubicados en el centro eruptivo de Olitas y en Quebrada Honda Grande, véase en las Figuras 7 , 27 y 28.



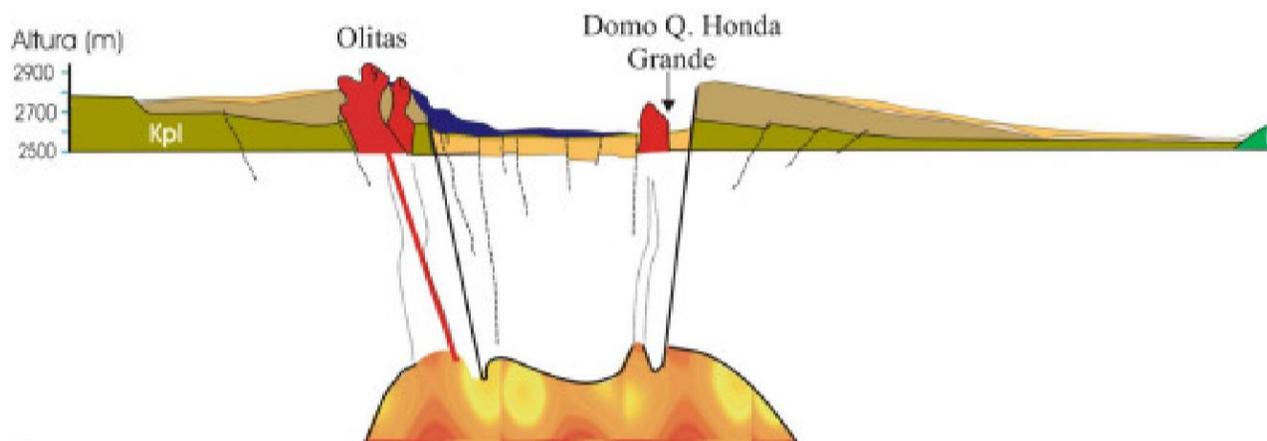
**Figura 27.** Modelo conceptual preliminar del sistema geotérmico de Paipa.  
Fuente: Alfaro et al. (2005)



**Figura 28.** Fotografía del centro eruptivo de Olitas  
Fuente: Cepeda & Villavece (2004)

A continuación, se explica brevemente el origen de los domos, que se observan en la Figura 28. Este origen se dio en dos etapas, la Primera Época Eruptiva, PEE, y la Segunda Época Eruptiva, SEE. Dentro de la PEE, se registraron magmas de flujos piroclásticos, conformando un edificio volcánico de baja pendiente alrededor de la fuente, generando láminas ignimbritas. Después del primer periodo de reposo hubo erosión del relieve volcánico, mientras que en los flancos y en los bajos topográficos periféricos se acumularon depósitos epiclásticos torrenciales (Cepeda & Villavece, 2004).

Luego de otro periodo de reposo, sucedió una erupción violenta, expulsando más de  $6\text{Km}^3$  de magma, que generó un peso litostático mayor, por lo que la presión de la caldera no resistió y colapsó, formando una depresión de 3km de diámetro, dando inicio a la SEE, donde inicia la surgencia de los magmas por medio de fracturas, donde se formaron varios domos al suroeste, asociados con la falla Paipa-Iza, donde surgió el centro de erupción Olitas y un pequeño domo al noreste (Cepeda & Villavece, 2004), ver Figura 29.



**Figura 29.** Representación gráfica de la ubicación y altura de los domos en Paipa  
Fuente: Cepeda & Villavece (2010)

Alrededor de ambas formaciones geotérmicas, domos y fuentes termales, se ha venido desarrollando el Municipio a lo largo del tiempo, según entrevistas realizadas a los diferentes actores, Anexo 4, como consecuencia del desconocimiento de la magnitud del recurso, el progreso municipal no ha sido el mejor.

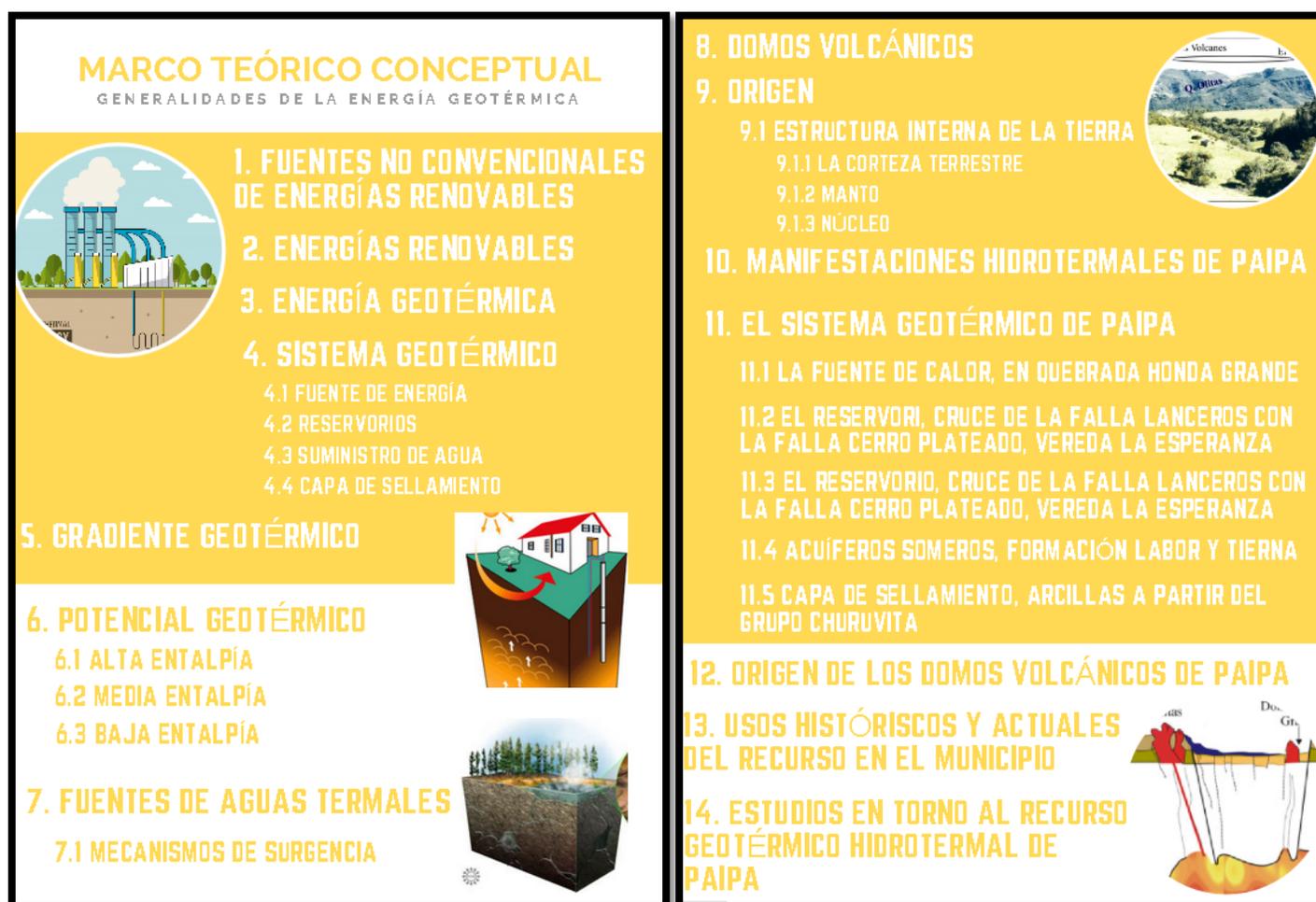
Solo se ha desarrollado un uso industrial del recurso salino hidrotermal paipano, la recuperación de sodio a partir de la evaporación de las piscinas de SALPA (Servicio Geológico Colombiano, SGC, 2000), actividad que dejó de producirse hace varios años atrás (Avellaneda, 2010). El segundo uso que se le ha dado a este recurso es el turístico-recreativo, uso actual (INGEOMINAS, 2010), dentro del cual se genera un aprovechamiento de aguas salinas termo-minerales, lodos y algas, para fines terapéuticos (2018, 24 de agosto, comunicación directa), adicionalmente el abastecimiento del acueducto de agua tibia que cubre la vereda Quebrada Honda (2018, 15 de septiembre, comunicación directa).

También ha producido impactos negativos por el aprovechamiento inadecuado de las aguas hidrotermales, tales como la contaminación visual y auditiva, vertimientos de aguas residuales hoteleras y termales al lago Sochagota, generación de residuos sólidos, tala de árboles para construcción hotelera, entre otros (Díaz, 2013), que han provocado un escenario municipal poco sostenible que aumenta de manera proporcional al turismo, ya que el Municipio no cuenta con las medidas preventivas o correctivas para su mitigación.

En torno al recurso geotérmico hidrotermal de Paipa se han venido desarrollando múltiples estudios, según Bona & Coviello (2016), destaca la investigación pionera en el temas geotérmicos, siendo un estudio de reconocimiento nacional realizado en 1982 (Organización Latino Americana de Energía (OLADE); ICEL, Geotérmica Italiana & Contecol, 1982), que determinó al municipio de Paipa como una zona de prioridad media a alta, resultados pertinentes para abrir espacio al siguiente estudio realizado por la entidad Japonesa JCF en 1983, que evaluó “las perspectivas de desarrollo geotérmico de Paipa” resaltando la necesidad de efectuar investigaciones con mayor profundidad en temas de viabilidad para implementación de un proyecto de generación eléctrica (Bona & Covilleo, 2016).

Sin embargo, por los siguientes 20 años no se realizaron investigaciones sobre el tema, en el 2002, se incluyó al municipio de Paipa dentro de los programas de investigación del recurso geotérmico del Servicio Geológico Colombiano, SGC, e IGEOMINAS, que han venido desarrollando un amplio escenario investigativo enfocado en caracterizar y comprender los sistemas geotérmicos del Municipio, alimentados por estudios de índole geológica, vulcanológica, hidrotermal, geofísica y geoquímica, desarrollados por Claudia Alfaro, en colaboración del SGC (Bona & Covilleo, 2016).

La realización de los estudios mencionados anteriormente, son de vital importancia debido a su requerimiento en el desarrollo de posibles proyectos con base en el aprovechamiento de la energía geotérmica, encaminando al municipio de Paipa a un desarrollo sostenible y a sus habitantes a un incremento de la calidad de vida, que se traduce en términos de existencia o inexistencia del sentimiento de satisfacción o positivismo que depende de factores biológicos, psicológicos, sociales culturales y económicos (Blanco, 1985).



**Figura 30.** Contextualización de las generalidades de la energía geotérmica.

Fuente: autora

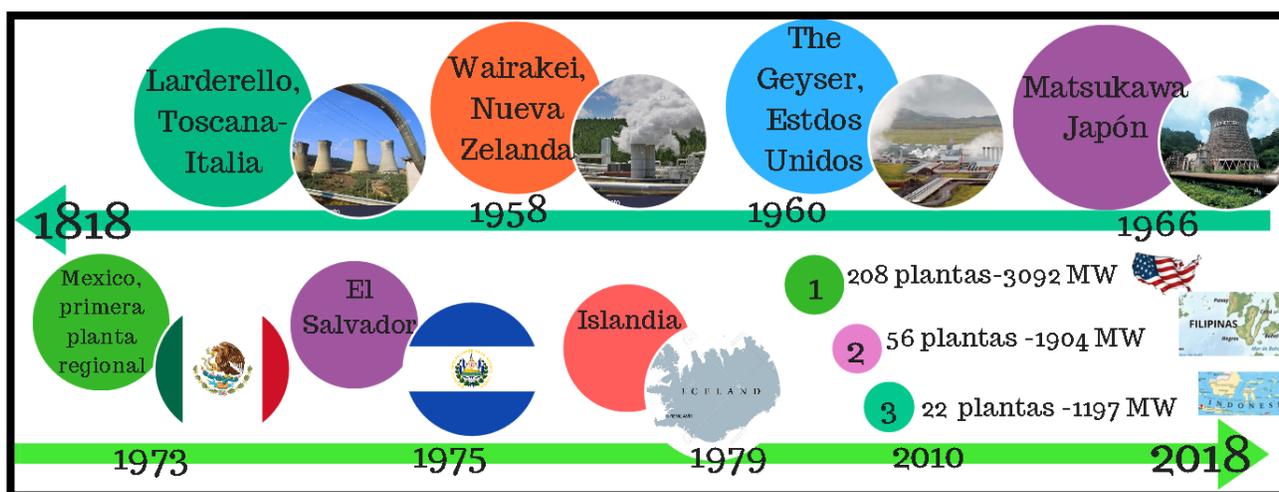


### 6.2.3. Desarrollo de plantas geotérmicas a nivel global y estudios en Colombia

El primer caso de aprovechamiento geotérmico industrial se le atribuye Francesco Giacomo Larderel, quien, según (Bruni, 2014), en el año 1818, decidió implementar el vapor que emanaba naturalmente del subsuelo en la planta geoquímica de Larderello, Toscana-Italia. El uso de este vapor incrementó la producción de ácido bórico (de 50 toneladas/año en 1818 a 125 toneladas/año en 1829), usado para la producción de jabones y cosméticos. Fue allí en donde se inauguró la primera planta geotérmica a escala comercial, en 1913, con una producción inicial de 250 kW, para 1950 la planta producía 2 TWh/año.

Después de la planta de Larderello, se pusieron en marcha las primeras plantas piloto en Nueva Zelanda en 1958 *Planta geotérmica Wairakei*, en Estados Unidos para el año 1960 la *Planta geotérmica The Geyser*, en Japón la *Planta geotérmica Matsukawa* en 1966 y en Rusia, para el año 1976 la *Planta geotérmica Pauzhetsky*, posteriormente apareció la primera planta a nivel regional en 1973 en México, luego en El Salvador, 1975, enseguida Islandia en 1975 y Filipinas en 1979, incorporan a su matriz energética las plantas geotérmicas (Bruni, 2014).

Para el 2010 el país pionero en aprovechamiento y generación de energía geotérmica es Estados Unidos con 208 plantas geotérmicas, con una producción de 3092 MW; seguido por Filipinas con 56 plantas geotérmicas, para un total de 1904 MW; el tercer país es Indonesia con un total de 22 unidades geotérmicas que producían 1197 MW; le sigue México con 37 plantas geotérmicas instaladas y una producción de 959 MW; posteriormente, Italia con 33 plantas, produciendo 843 MW; Nueva Zelanda con 43 plantas que producían un total de 629 MW; Islandia contaba con 25 plantas instaladas, produciendo 574 MW; Japón tiene 20 unidades geotérmicas que producían un total de 535 MW; El Salvador con 7 plantas geotérmicas produciendo 204 MW; Kenia tenía 10 plantas geotérmicas y producían un total de 167 MW; Costa Rica con 6 plantas geotérmicas producía 166MW; Nicaragua con 5 unidades geotérmicas instaladas que producían un total de 88MW; Rusia con 11 plantas producía 82 MW; Turquía con 4 plantas generaba 81 MW; Nueva Guinea con 3 plantas producía 56 MW; Guatemala con 8 unidades geotérmicas producía 52 MW; Portugal contaba con 5 plantas geotérmicas produciendo 29 MW; y finalmente China, con 8 plantas geotérmicas, producía 24 MW (Marzolf, 2014).



**Figura 31.** Línea histórica de las plantas.

Fuente: Marzolf (2014)

Colombia por su parte, no cuenta con plantas de generación eléctrica a partir de energía geotérmica, pero se han realizado estudios en donde se refleja un potencial geotérmico en zonas estratégicas, en los que se destacan *El Nevado del Ruiz*, proyecto Nereidas (Villamaría, Caldas); Tufiño, *Chiles* y *Cerro Negro*, proyecto Binacional (frontera Colombia. Ecuador), *Volcán Azufral* en Pasto (Nariño); el volcán *de Paipa* (Boyacá); el volcán *Nevado de Santa Isabel* (entre los nevados del Tolima y del Ruiz). Las autoras afirman que el proyecto más avanzado es el Proyecto Nereidas en el Nevado del Ruiz, pues sólo está pendiente del permiso ambiental para entrar en la fase de desarrollo. El Tufiño-Chiles-Cerro Negro”, está en la fase de perfectibilidad y de los otros dos es muy poca la información de los proyectos, pero se espera producir energía eléctrica con el proyecto binacional para finales el 2018 (Marín & Sánchez, 2017; Marzolf, 2014).

#### 6.2.4. Algunas alternativas técnicas de aprovechamiento del potencial geotérmico

Los sistemas geotérmicos pueden tener una o más **alternativas** técnicas de aprovechamiento, que según la RAE (Real Academia de la lengua Española) se definen como “Opción entre dos o más cosas” por ende, en este caso hace referencia a la oportunidad de identificar más clases de aprovechamiento del que existe actualmente.

Dentro de las posibles alternativas para el aprovechamiento del potencial térmico en Paipa se encuentran:

- A. El cultivo de *organismos termófilos*, que, según (Urbieto, y otros, 2015), son aquellos capaces de vivir en aguas con temperaturas <55°C. Según (Rastogi, y otros, 2009), estos se pueden aislar tanto en entornos naturales (hidrotermales) o en escenarios creados por el hombre (instalaciones de compost).

El cultivo de estos organismos termófilos ofrece alternativas de generación de: *biocombustibles*, que pueden presentarse de forma líquida, sólida y gaseosa, los biocombustibles líquidos se obtienen de la fermentación de almidón, biomasa o extrayendo fracciones de lípidos de plantas o microorganismos (Urbieto, y otros, 2015), y *biorremediación* es según Tabak, Lens, Hullebusch, & Dejonghe (2005) citado por Urbieto, et, al., (2015) “es una tecnología de tratamiento de contaminación ecológica que explota microorganismos (autóctonos o introducidos artificialmente), generalmente a bajo costo para reducir, eliminar, contener y /o transformar contaminantes orgánicos o inorgánicos ambientales en productos benignos” (p.641).

- B. *Aprovechamiento del potencial geotérmico en producción eléctrica* se requiere de un recurso de alta temperatura, para lo que se recurre a una etapa inicial de *búsqueda*, buscando manifestaciones geotérmicas, que indiquen la presencia de un reservorio (Herbas, 2012). Posteriormente se da paso a la *exploración*, esta fase se divide en dos, la superficial, que puede durar entre 1 o 2 años y la profunda, estimada en un lapso entre 1 o 3 años (Bruni, 2014).

En la exploración superficial, se realizan actividades de exploración geológica, geoquímica y geofísica, que permiten la elaboración de un modelo geotérmico de la zona, identificando las áreas en donde se van a realizar las perforaciones de la segunda etapa, esta primera fase se estima en un rango de costos de US\$ 2,5 a 3 millones (Bruni, 2014). En la exploración profunda, se realiza uno o dos pozos, de diámetro reducido, para comprobar la presencia de un sistema geotérmico, posteriormente se realizan de dos a cuatro pozos, para evaluar el recurso (Bruni, 2014), su costo de

operación es el más elevado después de la energía nuclear (Herbas, 2012), con un promedio de inversión entre US\$23 a 34 millones, corriendo el riesgo de que la zona no cuente con recursos de suficiente calidad y cantidad para que sea viable la realización del proyecto (Bruni, 2014).

La siguiente fase es la *construcción* de la planta, cuya duración depende del tamaño de la central que se dese construir, como se ve en la Tabla 3 (Bruni, 2014). En general, en esta fase se “definen las estrategias de extracción y reinyección del fluido geotérmico al reservorio, se termina la perforación de los pozos para el funcionamiento de la planta, se implementa un sistema de transporte del fluido y se construye la planta” (Bruni, 2014), el costo de esta fase depende tamaño de la central, del tipo de planta que sea más viable y del total de pozos necesarios, puede oscilar entre US\$3,7 y US\$4,5 millones por MW instalado (Bruni, 2014).

En la fase de *Operación*, se genera un proceso de cultivación del recurso, en donde “los fluidos geotérmicos son emitidos por los pozos extractores, se conducen a la planta para realizar el proceso de producción eléctrica y posteriormente se reinyectan en el reservorio, se perforan nuevos pozos de extracción, con el fin de controlar el porcentaje de declino en la producción del fluido, que, según (Bruni, 2014) es la pérdida de presión en el reservorio, equivalente a un 3% por año.

**Tabla 3.** Costo de la fase de construcción de una central geotérmica dependiendo de su tipología, en función del tipo de reservorio.

Tipología	Costos de instalación (US millones por MW instalado)	Tipo de reservorio
Planta de vapor directo	1,8 a 2,2	Vapor como fluido dominante
Planta de ciclo binario	2,5 a 3	Líquido como fluido dominante, menor a 160°C
Planta de vaporización flash	2 a 2,4	Líquido como fluido dominante, mayor a 160°C

**Fuente:** (Bruni, 2014, págs. 6-7)

Las plantas a *vapor seco*, son aquellas que aprovechan el potencial mecánico del fluido gaseoso pasándolo directamente por una turbina, que en unión con un generador produce energía eléctrica, pero este mecanismo, aunque es sencillo y de menor inversión, generalmente es agresivo, ya que contiene concentraciones altas de elementos corrosivos e impurezas que alteran el funcionamiento de la planta y aumentan los costos de mantenimiento (Bruni, 2014; Herbas, 2012).

Por lo anterior, Herbas (2012) afirma que las plantas de *vaporización flash*, tienen un uso más frecuente, pues tiene una fase característica de separación vapor-líquido, ya que es utilizada en fuentes geotermales donde el fluido geotérmico se compone de 20 a 30% de masa de vapor y 70 a 80 % de masa de agua, en esta fase se somete el fluido a ciertas condiciones de presión y temperatura, para efectuar una separación de estados, dirigiendo únicamente el vapor a la turbina e inyectando el líquido de nuevo al reservorio geotérmico (Bruni, 2014).

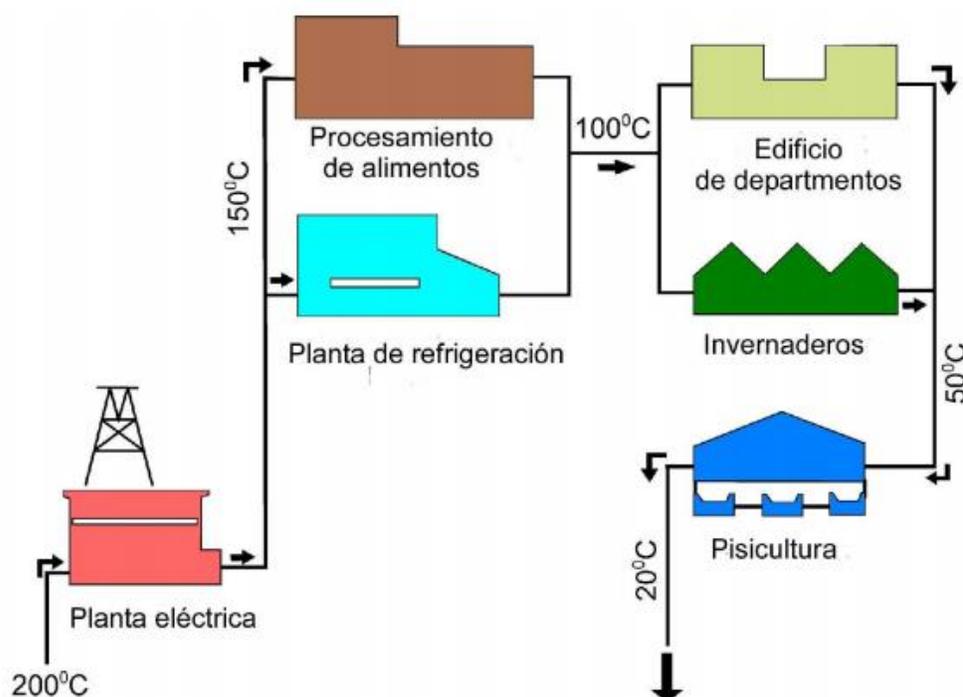
Por otro lado, las plantas de *ciclo binario*, funcionan bajo el principio termodinámico de transferencia de calor, pues el fluido geotérmico es usado únicamente como fuente de energía que entrega calor a un fluido secundario, el cual se caracteriza por tener un punto de ebullición bajo, y alta presión frente a bajas temperaturas, como el isobutano o el isopentano, este intercambio ocurre

dentro de un ciclo cerrado, el cual permite el calentamiento y vaporizado del líquido secundario, para posteriormente realizar el mismo principio de generación eléctrica con vapor (Bruni, 2014; Herbas, 2012).

En el informe “Estudio de factibilidad para la instalación de una central geotérmica en Chile” se compara el espacio físico requerido en comparación con otras plantas de generación eléctrica y evidentemente es mucho menor (Erices, 2017), por lo que el impacto paisajístico generado será menor que el de Termo-Paipa, también se abarcan temas de impactos bióticos, como el promedio de decibeles emitidos por las plantas geotérmicas (Erices, 2017), así mismo, las plantas geotérmicas de condensación, usan el vapor emitido en por los afloramientos termales, en la vereda La Esperanza hay 5, afloramientos, suponiendo que la planta geotérmica se llegase a alimentar de todos estos, se afectaría el paisaje, la biodiversidad, y las características propias del sistema, aumento de temperatura, disminución del nivel freático y del nivel de agua de los afloramientos termales (Olave & Fustes, 2012). Dentro de la una página web antes mencionada, se habla sobre el porcentaje de éxito después de la perforación se estimó de 60 a 90 %, así mismo se determinó a la planta de ciclo binario la más perjudicial, requiere de extracción de agua por medio de perforaciones profundas disminuyendo el nivel freático de los pozos que abastecen las piscinas termo-minerales de Paipa, por otro lado, la correcta implementación de una planta geotérmica, sería aprovechando de solo uno de los afloramientos actuales, de esta manera su impacto paisajístico sería menor (Olave & Fustes, 2012). Otro impacto identificado es el consumo de agua, según el documento “Water Resource Assesment of Geothermal Resources and Water Use in Geopressured Geothermal Systems” (Clark & Harto, 2012, pág. 27)

Para la economía se consultaron dos fuentes bibliográficas, para saber el monto de inversión necesario, se consultó una página web “costos de la energía geotérmica”, en donde se estimó que para una planta geotérmica promedio se estima una inversión entre 1.780 a 2.400 USD/KWh, teniendo en cuenta lo expresado por Flor Imelda Castro (2018, agosto 18, comunicación personal), “...para hacer esos proyectos le metieron un montón de plata, según lo que dijeron cuando estaban haciendo los estudios de la termo, eso costaba mucho más de 2.000 dólares...”, la inversión de una planta geotérmica está por debajo que la inversión realizada para la elaboración de la termoeléctrica (Olave & Fustes, 2012). Con el fin de saber posibilidades de generación de empleo y el ingreso por persona, “Geothermal Electric Power Sector, Good for America’s Energy System and Economy”, se puede generar un promedio de 50 puestos de trabajo para su operación, salario promedio de un operario de planta es aproximadamente de \$70.000 USD/año. Para la construcción se estima un lapso de tiempo de 2-4 años, con un equipo de construcción de 100 puestos de trabajo tiempo completo, que en el caso de Paipa se pagaría un monto establecido bajo lo reglamentado en la norma vigente, lo que genera Justicia social, ambiental y económica en zonas rurales y áreas desaventajadas (Geothermal Energy Association , s.f).

- C. *Calefacción de viviendas*, el recurso geotérmico de alta temperatura también se puede utilizar usando el método *cascada*, el cual, tras la producción eléctrica, el fluido aún caliente puede ser aprovechado para calefacción de viviendas, después este fluido puede ser aprovechado para otros usos con menores requerimientos de temperatura, como ***calefacción de invernaderos, acuicultura, agricultura*** y otros usos similares en el sector rural o urbano, como se puede observar en la figura 32 (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).



**Figura 32.** Método de aprovechamiento geotérmico en cascada.

Fuente: Breckenridge & Lunis, 1991, citado en Dickson & Fanelli, 2004.

- D.** *Usos industriales y usos domésticos*, por otro lado, existen aprovechamientos para recursos geotérmicos de media y baja temperatura, que se pueden clasificar en usos industriales y usos domésticos. Los primeros usan este potencial en diferentes áreas de *producción como de papel y reciclado, procesamiento de celulosa, tratamientos textiles, industria alimenticia, pasteurización de leche, extracción de productos químicos, recuperación de productos petrolíferos, extracción de CO<sub>2</sub>, bebidas carbonatadas*, y otros usos similares, en cuanto al escenario doméstico, se puede usar en varios procesos, *calefacción, evaporación, secado, esterilización, destilación, lavado, descongelamiento y extracción de sales*, entre muchos otros (IGME & IDAE , 2008; Dickson & Fanelli, 2004).
- E.** *Uso directo en la agricultura a campo abierto e invernaderos*, comúnmente el recurso de baja temperatura, es usado de forma directa en la agricultura a campo abierto e invernaderos, la primera se puede aplicar *combinando la el recurso geotérmico con el sistema de riego*, para proporcionar la calefacción al suelo, aunque este método debe ser muy controlado, porque en ocasiones la composición de las aguas es rica en minerales, afectando los cultivos, en cuanto a *los invernaderos* esta energía permite “*alargar el periodo productivo de las plantas a lo largo de todo el año, asegurando que la tierra no se hiele y proporcionando una estación de crecimiento más larga y un desarrollo rápido de los productos*” (IGME & IDAE , 2008; Dickson & Fanelli, 2004).

La calefacción en el invernadero puede ser de varios tipos, dependiendo de las especies de plantas a cultivar y la intensidad de calor requerida por cada una, puede realizarse *conjuntamente con circulación de aire mediante intercambiadores de calor, tuberías de circulación de agua caliente* (bien dentro o sobre el suelo), *radiadores* o una *combinación de todos estos métodos* (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).

La calefacción en el invernadero puede ser de varios tipos, dependiendo de las especies de plantas a cultivar y la intensidad de calor requerida por cada una, puede realizarse *conjuntamente con circulación de aire mediante intercambiadores de calor, tuberías de circulación de agua caliente* (bien dentro o sobre el suelo), *radiadores* o una *combinación de todos estos métodos*, ver Figura 35 (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).

- F.** *La acuicultura*, es otro método de uso directo para fuentes geotermales de baja temperatura, en la cual se puede *cultivar fauna y flora*, usada principalmente en áreas de baja temperatura, el tamaño de las instalaciones puede variar, dependiendo del requerido por las especies. Según el (IGME & IDAE , 2008), las especies que más se cultivan son anguilas, almejas, cangrejos, carpas, mejillones, langostas, salmonetes, salmones, camarones, caimanes y cocodrilos (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).
- G.** *Usos en sectores residenciales*, también son comúnmente usados en zonas donde el recurso es baja temperatura, *para la calefacción*, los cuales se componen de un *circuito primario*, formado por un equipo de bombeo de agua geotérmica situado en el pozo de extracción. En segundo lugar, la *red de distribución*, compuesta por un *sistema cerrado de tuberías*, ida y retorno para distribuir el agua caliente a los usuarios y un *equipo de bombeo*. Otra forma de calefacción residencial es el *circuito de distribución privado*, que se compone de dos subcircuitos, uno abierto para el agua caliente sanitaria (ACS) y otro cerrado para la transferencia de calor (IGME & IDAE , 2008).

Otra aplicación domestica son los distritos de calefacción, los cuales satisfacen la demanda de calor de zonas del tamaño de un barrio, distrito o incluso una ciudad entera. Según el (IGME & IDAE , 2008), el uso de estos inició en Estados Unidos y Europa en los años 30, pero su verdadera expansión tuvo lugar en los años 60. Estos distritos son usados como calefacción de casas, dispersar la neblina de los aeropuertos, para deshacer la nieve de las aceras, entre otros usos.

- H.** *Pago por servicios ambientales*, mediante el cual se establece una valoración económica por la preservación de servicios ecosistémicos culturales, de provisión, de regulación o de soporte (Tamayo, 2014). Para el municipio de Paipa, se contempla un servicio ambiental de *provisión* del recurso hidrotermal de agua caliente y vapor para uno o varios aprovechamientos descritos anteriormente, que aparte de establecer una equivalencia económica justa frente la conservación de las termales, suelo, atmosfera y la biodiversidad que en ellas alberga, generaría empleo rural y se minimizaría la tasa de migración poblacional (FAO, 2013).

Se consultaron dos documentos para los impactos físicos, en primer lugar el informe del “Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y el stock ganadero de Esparza, Costa Rica” identifica al desarrollo del turismo poco planeado a nivel territorial-ambiental como factor relevante frente al deterioro físico de los ecosistemas, por lo que se plantea aplicar los PSA, para realizar una recuperación de la zona termo-salina natural y seminatural, para poco a poco ir mejorando la calidad del paisaje, para su conservación y aprovechamiento (López S. , 2006). Es decir que en este caso, los PSA tendrían como objetivos, la protección de la biodiversidad para el aprovechamiento sostenible, conservación y protección del ecosistema salino, incluyendo belleza escénica natural, turismo y recreación, como se plantea en el informe de “Impacto del Programa de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de la pobreza en los medios rurales” (Malavasi, Mora, & Carvajal, 2003). Adicionalmente, según el informe de “Pago por servicios ambientales: principios básicos

esenciales”, aparte de la generación de empleo, se generan otros beneficios sociales, como la transferencia de tecnologías, educación ambiental, capacitación sobre el paisaje salino, aumento en la sensibilidad ambiental, reducción de la pobreza y su principal beneficio, provisión de servicios ambientales, pero también resalta que los altos costos de los estudios biofísicos, de valoración e implementación del sistema, son los obstáculos más comunes, ya que los ecosistemas alrededor del mundo presentan características diferentes y esto determina los servicios que pueden ofrecer y a quiénes (Wunder, 2006).

El impacto económico, al generarse una valoración y remuneración económica de los servicios y beneficios que ofrece un ecosistema, como lo es el termo-salino, incrementaría el capital de cada paipano y mejoraría su calidad de vida (Montañez & Lozano, 2017), además el paisaje salino del municipio de Paipa, aún se encuentra en un punto de conservación más no de restauración, por lo que representa un ahorro de tiempo y dinero (López S. , 2006).

En el impacto tecnológico, aparte de la delimitación perimetral de la zona protegida, que puede fijarse como un círculo en torno a los humedales termo-salinos, cuyo radio se determinaría empíricamente dependiendo de la extensión, del área de captación y su zona de influencia (López, Matínez, Moreno, Navarrete, & Baeza, 1996). Se requiere de un conocimiento de la zona, en especial con las características de captación, caudal, vulnerabilidad frente a contaminantes y profundidad (Baeza, López, Fernández, Rubio, & Ferré, 2001). Para lo anterior es necesaria la implementación de un sistema integrado de información en tiempo real ( Tognetti, Mendoza, Southgate, Aylward, & Garcia, 2003 , págs. 2-5), es indispensable para el control y monitoreo del ecosistema (Organization of American States, 2005, pág. 2), debe estar compuesto por las estaciones e instrumentos de medición de características mencionadas en la matriz (Estrada & Quintero, 2004, págs. 8-9).

**I. Turismo hidrotermal**, es el aprovechamiento actual predominante en Paipa, que consiste en la generación de actividades terapéutico-recreativas usando el recurso termo mineral y sus derivados.

En el informe “La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos” existe un impacto mayor del turismo frente al sistema biótico, cuando no existe control sobre, como y donde desarrollar la actividad, se incrementa el porcentaje de degradación del paisaje y biodiversidad por la necesidad de construcción y expansión de infraestructuras turísticas (Barrionuevo A. , 2004), Paipa es un ejemplo de esta problemática, la construcción de infraestructura pública y privada ha degradado el paisaje termo-salino, deterioro de la biota termal, que es endémica del municipio por sus características tan particulares. Para la descripción social, se recurrió al capítulo “Presente y futuro del termalismo español y europeo” del libro “Panorama Actual de las Aguas Minerales y Minero-Medicinales en España”, en el que ejemplifica la cantidad de empleos directos generados por 94 hoteles (Menzel, 2000). En la descripción cultural, el libro “Paypa, herencia y contemporaneidad Hispánico-Chipcha” expone que desde la época prehispánica, los nativos paipanos disfrutaban de los pozos termo-minerales para fines terapéuticos (Avellaneda, 2010). En temas económicos, en el mismo libro se establece que los hoteles generan 102 millones de euros (Menzel, 2000). Con respecto a la tecnología, se consultaron varios autores, se consultó el capítulo “Aspectos técnicos y económicos de las aguas minerales” del libro “Las Aguas Minerales En España, visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización” en el cual resaltan las propiedades medicinales de los minerales que se encuentran en las aguas minero-termales, (Baeza, López, Fernández, Rubio, & Ferré, 2001, pág. 41), en el informe “La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos” se habla de los requerimientos

necesarios para ofrecer un buen servicio turístico en cuanto a infraestructura, movilidad, hospitalidad, entre otros (Barrionuevo A. , 2004), en el documento de “Climatización de edificios por medio del intercambio de calor con el subsuelo y agua subterránea” se especifican las temperaturas requeridas para el desarrollo de aprovechamientos directos del potencial geotérmico incluyendo el turístico, balnearios (Sáez, 2012). Finalmente, se consultó la página del MINCIT, en donde expone los beneficios de practicar turismo de bienestar y el potencial colombiano en temas de los pozos termo-minerales (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2013).



**Figura 33.** Infografía para contextualizar las diferentes alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico

Fuente: autora

### 6.3.Estado del Arte

Para el estado del arte se realiza una contextualización por medio de una infografía, en la cual se plasma los temas que son analizados, además de su lugar de desarrollo y sus respectivos autores. De esta manera se establece un inventario bibliográfico sobre el potencial geotérmico, sus beneficios e impactos, además de desarrollo de diagnósticos ambientales y algunas alternativas para el aprovechamiento del recurso, incluyendo trabajos de índole internacional, regional, nacional y municipal, ver Figura 34.



**Figura 34.** Infografía para la contextualización de los temas a tratar durante el desarrollo del estado del arte.

Fuente: autora

Después de realizar un filtro quedaron un total de 12 trabajos, los cuales se reseñan brevemente a continuación. Los primeros cuatro documentos abarcan temas sobre la implementación de plantas geotérmicas en el plano internacional, reconociendo sus beneficios, impactos y clases. Posteriormente se analizan cuatro estudios sobre organismos termófilos, en los que se incluye un estudio de impacto ambiental sobre el cultivo de algas (no termófilas). Seguidamente se habla sobre

Pagos por Servicios Ambientales (PSA), reconociendo la importancia de llevar a cabo proyectos de esta índole, a través de la exposición de un caso un caso de éxito de PSA no geotérmico en Boyacá. Finalmente se incorporaron dos estudios sobre la geotermia en Paipa. Además, se identificaron las convergencias y divergencias entre los autores, para concluir con los aportes de cada autor en la nutrición del trabajo.

Inicialmente, en temas de beneficios provenientes de la implementación de una planta geotérmica, Matek (2013) explora en su publicación titulada: “Promoviendo la energía geotérmica: comparaciones de emisiones atmosféricas y análisis de externalidades”, las externalidades positivas asociadas al uso de esta energía en lugar de combustibles fósiles, mediante la comparación de emisiones atmosféricas. Para ello, el autor realiza una breve narración histórica de la geotermia en Estados Unidos desde 1980, analizando específicamente el periodo de 2005-2012, cuando el tema adquiere una mayor fuerza. Posteriormente, describe los diferentes tipos de tecnologías para el aprovechamiento geotérmico, en las que contempla tecnologías de *sistema geotérmico mejorado*, que se basa en crear un nuevo reservorio geotérmico, introduciendo agua u otro fluido dentro del sistema geotérmico.

Con respecto a las emisiones atmosféricas, según Holm, Jennejohn, & Blodgett (2012, citados por Matek, 2013), la energía geotérmica tiene una baja tasa de emisiones. Las plantas flash y de vapor seco emiten alrededor del 5% de dióxido de carbono, el 1% del dióxido de azufre y menos del 1% del óxido nitroso. Por su parte, las plantas binarias producen emisiones cercanas al 0%. Según el autor, de los tres tipos de plantas geotérmicas, solo las plantas binarias no producen emisiones de gases efecto invernadero. Las otras dos producen en promedio 197 lbs CO<sub>2</sub>/MWh, que, al compararlas con las producidas en las termoeléctricas, (2200 lbs CO<sub>2</sub>/MWh), y plantas alimentadas a gas (861 lbs CO<sub>2</sub>/MWh), son significativamente menores.

Para comparar los niveles de emisiones generados por las plantas geotérmicas, termoeléctricas y de gas, Matek (2013) elaboró una tabla basada en los registros de diferentes estudios, ver tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación de contaminantes dependiendo del recurso energético de cada planta.

<b>Niveles de emisiones de contaminantes por cada recurso energético</b>					
<b>Lbs/MWh</b>	Vapor seco	Flash	Binara	Gas	Carbón
<b>CO<sub>2</sub></b>	59.82	369.3	-	861.1	2200
<b>CH<sub>4</sub></b>	0.0000	0.0000	-	0.0168	0.2523
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	-	-	-	0.1100	0.5900
<b>PM<sub>10</sub></b>	-	-	-	0.1200	0.7200
<b>SO<sub>2</sub></b>	0.0002	0.3500	-	0.0043	18.75
<b>NO<sub>2</sub></b>	0.0000	0.0000	-	0.0017	0.0367

Fuente: (Energy Information Administration, 2013),

Por lo anterior, el autor concluye que comúnmente se toma la decisión de escoger el método de producción energético que represente un menor costo de inversión, y expresa que esta no es la mejor opción, pues no se tienen en cuenta aspectos tecnológicos, ambientales, sociales y de mantenimiento, que más adelante representarán mayores montos de dinero.

Por otro lado, según Cortés (2017), en su publicación “Integración de la energía geotérmica en la cimentación de edificios para su posterior climatización”, tiene el objetivo de: “(...) diseñar nueva tecnología de intercambiadores de calor, capaces de mejorar en algún aspecto las características o parámetros de la tecnología existente” (Cortés, 2017, p. 7). Este diseño se establece a través de la participación en el proyecto GEOTeCH.

El autor expone las ventajas de la implementación de una planta geotérmica, dentro de los aspectos de *energía limpia y energía local*. Asimismo, realiza un balance económico de la implementación de esta energía en España, analizando los beneficios *socioeconómicos*. Reconoce como efectos principales los menores impactos ambientales y el menor espacio ocupado por las plantas geotérmicas en comparación con otras centrales eléctricas, ver tabla 5.

**Tabla 5.** Comparación en el espacio ocupado con respecto a otras centrales de generación eléctrica

Aspecto a comparar	Plantas eléctricas con base en	
	Gas natural	Carbón
Espacio ocupado por los equipos	3 veces más que una planta geotérmica	8 veces más que una planta geotérmica

**Fuente:** Cortés, G (2017)

Como otros beneficios, Cortés (2017) destaca la importancia de no recurrir a la quema de combustibles, catalogando esta fuente de energía como “limpia”, ya que no genera ningún tipo de impacto visual o auditivo durante la fase operativa en los edificios o cimentaciones. Además, señala que los ahorros eléctricos equivalen a un 75%, sumándole el 50% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por tanto, una vivienda con calefacción geotérmica ahorraría 3694.42 US/año al no invertir en combustibles fósiles.

De esta manera, se califica a la geotermia como una energía más eficiente, al no depender del tiempo, como la solar o la eólica. También indica que al ser una energía de distribución de diámetro reducido favorece el desarrollo local, ya que debe ser aprovechado en el propio terreno de extracción, que comúnmente son zonas rurales.

En temas de beneficios socioeconómicos, el autor analiza que la elaboración de una planta geotérmica genera oportunidad laboral en la zona. En la fase de instalación, requiere de 4 empleados/MW, y en la fase de operación de 1,7 empleados/MW. Por ejemplo, para un proyecto geotérmico, con una fase de instalación de 4 años se emplean 323 trabajadores (Geothermal Energy Association, GEA, 2012).

La metodología fue utilizada para realizar la prueba piloto de la instalación de “[...] serpentines en las cimentaciones del edificio para poder hacer circular por su interior agua que intercambie temperatura con el subsuelo y de esta manera permita calentar o enfriar el edificio de una manera más económica que la actual” (Cortés, 2017, p. 36). En primer lugar, se tuvo en cuenta el tipo de cimentación a usar, luego se diseñó el serpentín, se realizaron planos del edificio y se estableció el presupuesto del proyecto. A modo de conclusión, el autor afirma haber diseñado: “Una nueva tecnología que garantiza una mejora significativa respecto a la tecnología existente” (Cortés, 2017, p. 21).

En España, el IGME & IDAE (2008) publicaron un manual de energía geotérmica, que resalta dentro del capítulo quinto los factores económicos y ambientales de la implementación de una planta geotérmica. Inicialmente, exponen que, a diferencia de otras energías renovables, la geotérmica implica una inversión inicial mayor con un riesgo de pérdida elevado (IGME & IDAE, 2008). También resaltan que el costo final de una planta geotérmica depende de diversos factores, como las características del recurso, cantidad y calidad del fluido geotérmico, ya que esto determina la tipología de central geotérmica, los costos de operación y mantenimiento. La necesidad de pozos de abastecimiento y profundidad en la que se encuentra el recurso (por cada km perforado de pozos para la evaluación del recurso están valorados entre US\$ 2,5 A 3,5 millones) (Bruni, 2014; IGME & IDAE, 2008).

El costo de las plantas geotérmicas también depende de la distancia desde el pozo de extracción hasta el punto de uso. Aunque es posible transportar esta energía por medio de tuberías, bombas y válvulas, el uso de estas herramientas incrementa el costo. Además, la pérdida de calor es directamente proporcional a la longitud de las tuberías, aunque sean térmicamente aisladas. Por tanto, recomiendan que, si el yacimiento geotérmico es de media o baja temperatura, la distancia entre la extracción y el punto de aprovechamiento sea el menor posible (máximo 60 km). Por otro lado, los costos también dependen del número de consumidores y del clima, factores asociados a la demanda de calor (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008).

Después contemplan que los impactos ambientales generados en la elaboración de una central geotérmica son menores que los generados por centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovables (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008). Sin embargo, como toda actividad antrópica, genera impactos que es importante considerar. Por ejemplo, durante la etapa de *perforación*, en la instalación de maquinaria, los caminos de acceso y la plataforma de perforación (desde los 300 a 1500m<sup>2</sup> de extensión y de 300 a 2000m de profundidad) modifican el paisaje, cobertura vegetal y la fauna local (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008).

Adicionalmente, los fluidos termales contienen gases contaminantes como el dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, el sulfuro de hidrogeno, H<sub>2</sub>S, amoniac, NH<sub>3</sub>, metano y CH<sub>4</sub>, que se deben eliminar para no alterar el funcionamiento de la planta. Por tanto, si no se tienen las medidas de precaución necesarias es posible generar emisiones de estos gases (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008).

En la fase de *instalación de tuberías*, también se afecta el paisaje, la fauna y la cobertura vegetal. Como ejemplo de este fenómeno se encuentra la región de Larderello, en Italia, pues su paisaje está compuesto en la actualidad por redes de tubería, torres de enfriamiento y plantas eléctricas, que la comunidad ha sabido tornar en una atracción turística. En la fase de *reinyección* del fluido se puede incrementar la frecuencia sísmica de la zona. Sin embargo, son microsismos que solo se detectan con instrumentos específicos de análisis (Dickson & Fanelli, 2004).

En la fase de *operación*, los gases naturales de los fluidos geotérmicos mencionados anteriormente, sumados a compuestos químicos disueltos como cloruro de sodio, NaCl, boro, B, arsénico, As y mercurio, Hg. La diferencia de temperatura del fluido termal, con las aguas a temperatura ambiente, son una fuente potencial de contaminación ambiental (química y térmica). Según Fridleifsson (2001, citado por Dickson & Fanelli, 2004), aunque las emisiones de CO<sub>2</sub> son de 13 a 380 g/kWh, son mucho menores a las producidas en una planta alimentada con

combustibles fósiles (1042 g/kWh). En esta fase, también se da un fenómeno de hundimiento del suelo, debido a la extracción del fluido, lo cual es un impacto irreversible pero no catastrófico. El ruido producido por la operación de centrales geotérmicas se da durante el transporte del vapor, por los ventiladores en las torres de enfriamiento y turbinas (Díaz, 2013).

Dickson & Fanelli (2004) realizaron una matriz de probabilidad y gravedad del impacto sobre el ambiente en los proyectos de uso directo de alternativas, basados en la información de Breckenridge & Lunis (1991), que se muestra a continuación, en la tabla 6.

**Tabla 6.** Matriz de probabilidad y gravedad del impacto sobre el ambiente en los proyectos de uso directo de alternativas.

Impacto	Probabilidad de ocurrencia	Gravedad
<b>Contaminación del aire</b>	L	M
<b>Contaminación de agua superficial</b>	M	M
<b>Contaminación del subsuelo</b>	L	M
<b>Hundimiento del terreno</b>	L	L a M
<b>Altos niveles de ruido</b>	H	L a M
<b>Conflictos con aspectos culturales</b>	L a M	M a L
<b>Problemas socioeconómicos</b>	L	L
<b>Contaminación química o térmica</b>	L	M a H
<b>Emisión de residuos sólidos</b>	M	M a H

**Fuente:** (Breckenridge & Lunis, 1991), citado por (Dickson & Fanelli, 2004).

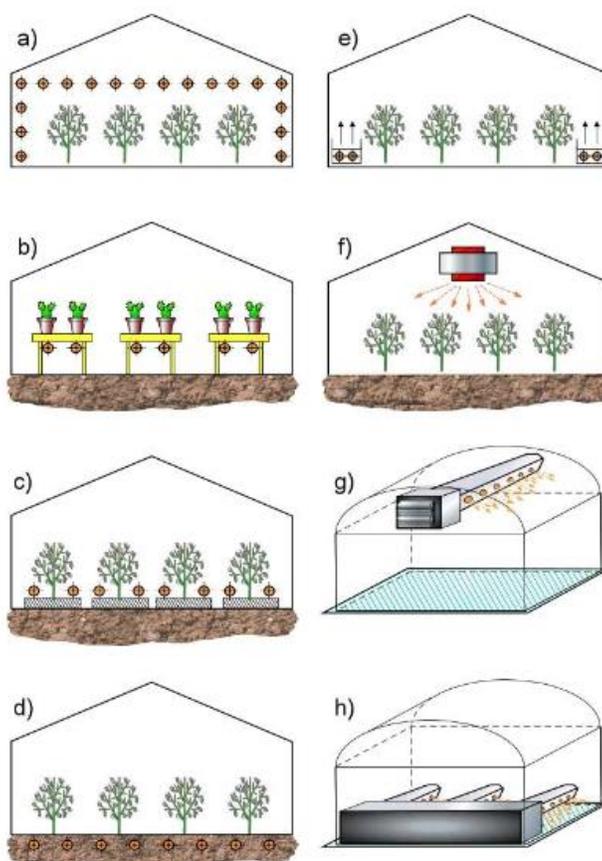
**L:** Bajo.

**M:** medio.

**H:** Alto

Por otro lado, Dickson & Fanelli (2004) y IGME & IDAE (2008), también contemplan otros usos directos aparte de la generación eléctrica, como las aplicaciones agrícolas. Los fluidos geotermales pueden usarse a campo abierto e invernaderos, para regar o calentar el suelo y el ambiente. Se debe tener en cuenta que, para llevar a cabo esta alternativa, es necesario tener grandes cantidades de aguas termales, a temperaturas óptimas para no dañar las plantas del campo a regar. Para esto los autores recomiendan un sistema de riego subsuelo, caracterizado por una red de tuberías enterrada con sistema de regadío. Si se decide realizar únicamente la calefacción, se puede disminuir la humedad del suelo, por ende, su conductividad térmica y eficiencia del sistema no serían los mejores. La mejor opción expuesta, es la combinación del regadío con las tuberías subterráneas, pues se disminuye la contaminación visual por red superficial y además no se realizaría una aislación térmica, pero es de vital importancia realizar un monitoreo sobre la composición físico química de las aguas, para evitar efectos adversos sobre las plantas (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008).

Los autores exponen dos beneficios consecuentes de la implementación de esta alternativa, en primer lugar, prevenir cualquier daño provocado por bajas temperaturas ambientales frente al cultivo, en segundo lugar, se extiende la estación de cosecha y crecimiento de este aumentando su producción. En la agricultura, es comúnmente usada esta energía en la calefacción de invernaderos, los cuales se basan en el cultivo de vegetales, flores y plantas fuera de su estación o en condiciones climáticas inadecuadas para su desarrollo, la complejidad de tecnología a usar depende de la temperatura, cantidad de luz, concentración de CO<sub>2</sub> óptima para el crecimiento de cada planta. Por ejemplo, las paredes del invernadero pueden ser de vidrio, fibra de vidrio, de paneles rígidos de plástico o membranas plásticas, si las plantas a cultivar requieren de mayor luminosidad, se recomiendan los paneles de vidrio debido a su transparencia, pero estos proporcionan una menor aislación térmica, son menos resistentes y son más pesados y costosos que los plásticos. Los invernaderos más simples se hacen con membranas plásticas, según los autores, se han visto casos en los que se usan doble membrana, con una separación de aire entre ellas, disminuyendo así un 30% - 40% de pérdida de calor (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).



**Figura 35.** Calefacción en invernaderos

**Fuente:** Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE (2008)

- a. Ductos aéreos.
- b. Calefacción de bancos.
- c. Ductos a baja altura de calefacción del ambiente.
- d. Ductos de calefacción del suelo.
- e. Ductos laterales de calefacción ambiental.

- f. Ventilador aéreo.
- g. Ductos altos.
- h. Ductos bajos.

La calefacción de los invernaderos se divide en 8 tipos, pueden ser utilizados uno o más tipos al mismo tiempo, con circulación forzada de aire mediante intercambiadores de calor, tuberías de circulación de agua caliente o mediante ductos ubicados dentro o sobre el suelo, radiadores colocados a lo largo de las paredes y bajo los bancos, ver Figura 35. Los beneficios del uso de esta energía en la calefacción de invernaderos, puede reducir considerablemente los costos de operación y producción hasta un 35 % (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).

Los autores también consideran la acuicultura como uso directo de esta energía, cuyos controles deben hacerse con mayor rigurosidad que en los invernaderos, dentro de los estanques se pueden cultivar especies de peces, camarones, cangrejos, langostas de río, entre otras. Dentro de esta, se puede considerar el cultivo de algas *Spirulina*, la cual sirve como nutrientes del sistema, o también para la producción de suplemento alimenticio (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).

A modo de conclusión, la producción agropecuaria, puede realizarse en conjunto de especies vegetales (terrestres y acuáticas), incluyendo organismos termófilos y animales, que se puedan beneficiar entre sí y con el entorno, pues la energía requerida para la calefacción de un estanque es alrededor del 50% (20-30°C) de la requerida por los invernaderos, pudiendo implementarse sin sistema de calefacción lineal como el explicado en la Figura 32. Adicionalmente el tamaño de la instalación dependerá de la temperatura y espacio requeridos por la fauna y flora a cultivar (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE , 2008).

Urbietta, Donati, Chan, Shahar, Sin & Goh (2015), en su publicación “Organismos termófilos en la era genómica: biodiversidad, ciencia y aplicaciones”, señalan que los organismos termófilos se establecen como una posible solución a daños ambientales por la demanda de combustibles, biorremediación, compost, entre otros. El estudio tiene como propósito el análisis de biodiversidad de organismos termófilos y la actualización de sus aplicaciones.

Se identificaron varias aplicaciones biotecnológicas de los organismos termófilos. Para la producción de biocombustibles, los siguientes organismos son aptos: *Caldicellulosiruptor bescii*, *Caldanaerobius polysaccharolyticus*, *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum*, *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*, además de otros termófilos de la mina de carbón (Bhandiwad, Guseva, & Lynd, 2013; Han *et al.* 2012; Lavania, Cheema, Sarma, Ganapathi & Lal, 2014; Su *et al.* 2013; Talluri, Raj, & Christopher, 2013; Urbietta *et al.* 2015).

Por otro lado, en cuanto a la biorremediación, los siguientes organismos son aptos, *Geobacillus* sp., *Anoxybacillus flavithermus*, *Thermus thermophiles*, *Thermococcus zilligii*, *Thermus scotoductus*, *Pyrobaculum islandicum*, *Thermoanaerobacter* sp. *Thermoterrabacterium ferrireducens*, *Aeribacillus* sp., *Geobacillus* sp., *Anoxybacillus* sp (Chatterjee, Bhattacharjee & Chandra, 2010; Chernyh *et al.* 2007; Mnif, Chamkha, Labat & Sayadi, 2011; Ryu, Yoo, Choi, Cho & Cha, 2009; Sar, Kazy, Paul & Sarkar, 2013; Urbietta *et al.* 2015)

Se identificaron más usos como la alimentación animal, compost para la agricultura, producción de cultivos e implementación en industrias farmacéuticas, biomédica, agrícola, del cuero y

cosméticos. Además, se identificaron posibles daños ambientales como la degradación de aceite de palma, entre otros (Urbieto *et al.* 2015).

Sobre el mismo contexto, aunque no abarque temas de organismos termófilos, Diez, (2018), desarrolla en España un “Estudio Preliminar de Impacto Ambiental del parque de cultivo de alga Kombu de azúcar (*Saccharina latissima*) en Lastres”. Para ello, la autora se basó en estudios previos sobre posibles impactos ambientales producidos por la actividad, y consideró pertinente la identificación y valoración de impactos ambientales bidireccionados, en primer lugar, desde el cultivo hacia los recursos naturales empleados por la actividad, liberación de sustancias, energía o ruido en el medio, especies amenazadas de flora y fauna, equilibrios ecológicos y paisaje. En segundo lugar, desde el entorno hacia el cultivo, como las características fisicoquímicas del agua, patrimonio cultural y comportamiento hídrico de la zona (Diez, 2018).

En los impactos provenientes de las características fisicoquímicas del agua frente al cultivo, se resalta la importancia de los nutrientes en el agua, por lo que sugiere emplear un sistema integrado de cultivo de peces y algas, en el cual las secreciones producidas por los peces sean utilizadas por las algas, minimizando de manera natural la contaminación por nitritos y nitratos (Diez, 2018). La autora asegura que no se genera ningún impacto proveniente del cultivo frente a las características fisicoquímicas del agua en cuanto al cambio en el paisaje. Por otro lado, frente al cambio climático, las algas pueden servir de fuente de absorción de CO<sub>2</sub> y de producción de O<sub>2</sub>.

Con respecto a la valoración otorgada frente a los impactos sobre la flora, se puede decir que esta no tiene ningún impacto negativo, por el contrario, se aumenta la biomasa de algas en el parque. En lo que respecta a la fauna, aunque hay presencia estacional de aves marinas y mamíferos, no se considera ninguna repercusión sobre estas, pues ya existían dos cultivos de algas con características similares en la zona, adicionalmente la zona de cultivo no se encuentra sobre espacios protegidos, por tal razón no hay repercusión sobre estos (Diez, 2018). A modo de conclusión la autora establece que el cultivo de algas será positivo a nivel socioeconómico, ya que otorga empleo tanto para las labores relacionadas con el cultivo (siembra, cosecha, mantenimiento, etc.), como en las labores de procesado del producto final.

A nivel nacional, Obando (2011), realiza una evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de microalgas. Principalmente, el autor expone técnicas de cultivo, métodos de recolección y dos caminos para obtener biocombustibles (etanol y biodiesel). El estudio busca evaluar el potencial de las microalgas a nivel industrial, para lo que se tienen en cuenta aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

Con respecto a las generalidades de la producción de biocombustibles a partir de microalgas, Obando (2011) identifica varias especies de microalgas con su respectivo porcentaje de aceite para la producción de biodiesel, como se muestra en la Tabla 7, y especies de algas con su respectivo porcentaje de aceite para la producción de etanol, como se muestra en la Tabla 8. Como principales obstáculos del cultivo de algas y microalgas se encuentran el buen mantenimiento, ya que son especies que se contaminan fácilmente con otras. Además, la presencia excesiva de luz puede provocar inhibición en el crecimiento (Obando, 2011).

**Tabla 7.** Contenido de aceite para algas comerciales con posible uso como materia prima para la producción de biodiesel.

Microalga	Contenido de Aceite (% masa en base seca)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-77
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Dunaliella primolecta</i>	16-37
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricomutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Fuente: (Obando, 2011, pág. 30)

**Tabla 8.** Contenido de aceite para algas comerciales con posible uso como materia prima para la producción de etanol.

Alga	% de almidón del aceite extraído de alga (base seca)
<i>Saccharina latissima</i>	Aprox. 50
<i>Green alga NKG 121701</i>	>50
<i>Chlamydomonas reinhardtii UTEX 90</i>	53.0
<i>C. reinhardtii (UTEX2247)</i>	45
<i>Chlorella Vulgaris</i>	12-37
<i>Chlorococcum sp. TISTR8583</i>	26
<i>Scenedesmus sp. TISTR 8579</i>	20.4
<i>S. acutus TISTR 8447</i>	18.6
<i>S. obliquus TISTR 8522</i>	23.7
<i>Nostoc sp. TISTR 887</i>	30.7
<i>Nostoc sp. TISTR 8873</i>	32.9
<i>N. maculiforme TISTR 8406</i>	30.1
<i>N. muscorum TISTR 8871</i>	33.5
<i>N. paludosum TISTR 8978</i>	32.1
<i>Oscillatoria sp. TISTR 8869</i>	19.3
<i>Phormidium angustissimum TISTR 8979</i>	28.5
<i>Spirulina fusiformis</i>	37.3-56.1

Fuente: (Obando, 2011, pág. 31)

Como resultados, el autor determina la viabilidad técnico-teórica de uso la microalga *Schizochytrium sp.* Para la producción de biodiesel, para la producción de bioetanol, la microalga *Chlorella vulgaris*. Concluye que el escenario de producción de biocombustibles a partir de

microalgas, es una alternativa sostenible a escala industrial. Resalta también que tienen gran rendimiento, productividad y adaptabilidad a ecosistemas con nutrientes y agua suficientes, por lo que es factible que en el marco colombiano se incorporen granjas algales que sustituyan los cultivos agroindustriales de materias primas para biodiesel y bioetanol (Obando, 2011).

A nivel municipal, Gómez (2008), en su trabajo de grado: “Caracterización cinética y enzimática de *Thermoanaerobacter italicus* cepa usba 18 aislada de un manantial termomineral de Paipa-Boyacá”, realiza un experimento con el fin de determinar las condiciones óptimas de crecimiento del organismo. El muestreo tomó lugar en el pozo del Hotel Lanceros, ubicado en la vereda La Esperanza. Dentro del marco de referencia tiene en cuenta aspectos como definición de ambientes extremos, ambientes terrestres no antropogénicos, manantiales termales, geiseres, fumarolas, ambientes marinos subterráneos, microorganismos de ambientes extremos, barófilos, alcaófilos, acidófilos, termófilos. Asimismo, se enfoca en la taxonomía del microorganismo *Thermoanaerobacter italicus*. Para lo anterior, se requirió la cepa del microorganismo y distintos medios de cultivo.

La metodología usada por el autor consistió en evaluar las condiciones óptimas, variando aspectos como el pH, concentración de NaCl y el sustrato del cultivo (almidón, pectina, arabiosa, galactosa, glucosa y xilano). Para la determinación de estas condiciones, la cepa fue cultivada dos veces bajo las mismas condiciones y tres veces en tubos Hungate. Las temperaturas analizadas fueron de 55°C a 80°C, y se evaluaron en intervalos de 5°C. El proceso se realizó por 24 horas haciendo lecturas de densidad óptica cada dos horas.

Las concentraciones de sales se evaluaron entre el 0% y 8%, en intervalos de 1% en relación peso–volumen (p/v). Se realizaron lecturas por triplicado cada dos horas. Adicionalmente, se realizó la determinación de actividades enzimáticas, amilolítica, pectinolítica, xilanolítica, además de la evaluación de crecimiento en diferentes sustratos y seguimiento del consumo de los sustratos.

Como resultado principal se establece que la temperatura óptima de crecimiento es de 65°C a 70°C, el pH es de 7,2 y la concentración de 1% (p/v) NaCl. A modo de conclusión se determinó que la cepa es termófila, debido a que después de los 80°C su crecimiento se ve afectado y que su crecimiento no se ve inhibido por la presencia o la ausencia de NaCl. Adicionalmente el autor establece que estos organismos tienen un metabolismo fermentativo con la capacidad hidrolizar polímeros complejos hasta compuestos más simples de valor comercial y biotecnológico.

Otra alternativa de aprovechamiento del potencial geotérmico es el Pago por Servicios Ambientales (PSA) pues en Latinoamérica se observa un creciente desarrollo de iniciativa de PSA, la cual se caracteriza por su enfoque frente a la reducción de externalidades mediante el reconocimiento social y económico de los servicios ambientales (Borda, Sánchez, & Wunder, 2010).

Según Tamayo (2014), en el artículo “Importancia de la valoración de servicios ecosistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones”, este tipo de servicios ayudan a que la sociedad civil se dé cuenta la pérdida que podría tener al no preservar los recursos. Además, también refleja lo que estarían dispuestos a sacrificar para continuar con el beneficio que les ofrecen. El objetivo del artículo es exponer la importancia de la evaluación de impactos generados por la implementación de PSA en términos biofísicos, cuantificando beneficios y costos, para obtener una equivalencia monetaria de la conservación o uso sostenible del recurso. A modo de ejemplo, se propone la

conservación de los páramos en contraste con el aprovechamiento minero en la zona: los servicios de provisión generados por un páramo, fuentes hídricas y purificación del aire, entre otras, representan mayores beneficios en comparación con un proyecto de explotación.

En el artículo se clasifican los beneficios que las sociedades reciben por parte de los ecosistemas en servicios de: *provisión* (alimento, agua, materias primas, recursos genéticos, medicinales y ornamentales); *regulación* (calidad del aire, climática, corrientes de agua, tratamiento de desechos, prevención de erosión, fertilidad del suelo, polinización y control biológico); *soporte o hábitat* (mantenimiento de los ciclos de vida, especies migratorias, hábitats de crianza, y mantenimiento de la diversidad genética); *cultural* (goce estético, recreación y turismo, inspiración para arte y diseño, experiencia espiritual y desarrollo cognitivo). La autora afirma que, en conjunto el aprovechamiento de estos servicios no es compensado muy a menudo.

Adicionalmente, la evaluación de los trade-offs (renunciar a unos beneficios para obtener otros), es relevante al tomar la decisión de alterar o no un ecosistema, en donde se ven afectados uno o más servicios ecosistémicos. La toma de conciencia frente a la pérdida de beneficios socioculturales, ambientales o económicos, genera en la población voluntad de sacrificar un ingreso económico para disfrutar de los usufructos generados por los ecosistemas (Tamayo, 2014).

Una de las barreras identificadas para la equivalencia monetaria adecuada es el desconocimiento por parte del valorador sobre los servicios generados por un ecosistema. En Colombia, aunque se ha ido incorporando el valor por servicios ecosistémicos dentro del capital nacional, aun no se han analizado en cifras específicas. En la Figura 36 se plasma el esquema de valoración monetaria, cuantitativa y cualitativa de los servicios ecosistémicos en Colombia. Otro obstáculo recurrente es que en ocasiones la población hace uso de estos servicios sin darse cuenta, provocando una dificultad de apreciación de su valor (Tamayo, 2014)



**Figura 36.** Esquema ejemplificarte de valoración integral de los servicios ecosistémicos en Colombia.  
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012

La autora concluye que la valoración de los servicios que presta un ecosistema en específico debe ser un tema de trabajo de un grupo interdisciplinario de ingenieros en su mayoría, en el cual se valoren las dimensiones, físicas, económicas, sociales, ambientales y políticas. Debe ser un análisis transparente, pues a medida que se reconocen y valoran los servicios a un ecosistema, la decisión de intervenir o no ya no es tan unilateral, como cuando se tiene solo el objetivo de ingreso monetario (Tamayo, 2014).

En Boyacá, el Centro para la Investigación Forestal (CIFOR), realiza un recuento del proyecto de pagos por servicios ambientales, llevado a cabo en la Microcuenca de Chaina, con el fin de divulgar y describir la experiencia, incluyendo la fase de diseño e implementación, y ahondar en los factores que llevaron acción colectiva frente a la solución de la discordancia ambiental y social de la zona (Borda, Sánchez, & Wunder, 2010). Este proyecto fue impulsado por los habitantes de Villa de Leyva, en apoyo del Instituto Alexander Von Humboldt, IAvH, y el CIFOR. La iniciativa tuvo como principal objetivo la: “reducción de los sedimentos actuales y futuros y favorecer la regulación estacional del caudal, usuarios de cinco acueductos rurales privados, localizados en la parte baja de la microcuenca de Chaina” (Borda, Sánchez, & Wunder, 2010, p. 16). En el proyecto, las personas interesadas pagan una compensación para la conservación y revegetalización natural de la cuenca.

A modo de resumen, se presentan las problemáticas que motivaron a que el proceso se llevara a cabo. Se identifica que, durante el desarrollo de acciones pecuarias, transformación de coberturas naturales de bosque y paramos para el cultivo de papa, se acelera el proceso de erosión del suelo y transporte de sedimentación que afectan la calidad de la cuenca, lo cual ha provocado un problema social mayor, ya que los cinco acueductos se abastecen de esta cuenca y carecen de sistemas de tratamiento. Por tanto, a continuación, se presentan daños y taponamiento en las instalaciones de distribución (Borda, Sánchez, & Wunder, 2010).

Sumado a lo anterior, en vísperas de las épocas de sequía, la crisis hídrica aumenta debido a que el nivel del agua disminuye con mayor rapidez al existir conexiones ilícitas, afectando la disponibilidad del recurso para otros: acción que muy contadas veces fue sancionada por Corpoboyacá (Borda, Sánchez, & Wunder, 2010).

A continuación, se presenta el diseño del esquema general de PSA, ver Figura 37, en la cuenca. La relación proveedores expone la compensación por la desintegración de potreros para la revegetalización, protección y conservación de los ecosistemas. Las fases del diseño e implementación del PSA, fueron las siguientes,

- i.** Estudio de costo-beneficio
- ii.** Subproceso de negociación entre los compradores y vendedores.
- iii.** Estimación del monto a pagar de parte de los usuarios de los acueductos rurales que incluía actividades de revegetalización.
- iv.** Firma de acuerdos entre compradores y vendedores.
- v.** Llevar a cabo las acciones de conservación, manejo del paisaje, construcción de un vivero comunitario, implementación de bebederos móviles, adopción de sistemas de riego por manguera, reforestación y revegetalización natural de la microcuenca. (Borda, Sánchez & Wunder, 2010, p. 28).



*estructural* para identificar las estructuras que sirvieron de conductos en la salida de materiales volcánicos a la superficie (Cepeda & Villavece, 2004).

Como resultados y conclusiones, se resaltó que la presencia de un domo en Quebrada Honda Grande indica la debilidad de la zona, permitiendo el ascenso del fluido magmático. Lo anterior significa que debe estar conectado directamente con la cámara de magma. Adicionalmente, los autores destacan algunos criterios que demuestran la relación entre el vulcanismo y las anomalías térmicas de Paipa, como la cercanía entre las fuentes termales de Olitas, El hervidero y sitios de escape de CO<sub>2</sub>, en el sector de Olitas. Asimismo, el decrecimiento de la temperatura en las fuentes termales del ITP demuestra que la temperatura hidrotermal depende de la distancia con fuente de calor. En el caso de Paipa, la fuente de calor sería la cámara magmática, ubicada bajo la caldera. Su área de influencia debe extenderse hasta los domos del sector de Olitas y su borde calderico es el domo de Quebrada Honda Grande (Cepeda & Villavece, 2004).

Otro estudio que se destaca a nivel municipal es la “Caracterización fisicoquímica preliminar de fuentes de aguas minerales en Colombia” realizada por Sánchez, Fagundo, Romero, Moreno & González (s.f). En el estudio se presentan los resultados fisicoquímicos de un conjunto de muestras tomadas por especialistas cubanos para su posterior análisis con sistemas informáticos, que permitieron obtener gráficamente valores de calidad del agua. Los autores resaltan que para el año 1929 el Reverendo Padre Alfonso y Antonio Villalba, presentaron un informe sobre las aguas termales en Paipa ante a la gobernación. Posteriormente, para el año 1996 se encontró un estudio de la calidad fisicoquímica de las fuentes termales elaborado por el laboratorio Ivonne Bernier Ltd. el cual los autores denominan como inconcluso, pues determina algunos macro componentes y parámetros fisicoquímicos como el pH, la temperatura, color, turbidez, sin llegar determinar los minerales.

El objetivo del trabajo es obtener resultados usando sistemas informáticos de procesamiento y representación de datos, para compararlos con los patrones de normas nacionales e internacionales. De esta manera es posible clasificar las aguas termales de Colombia en aguas minerales o mineromedicinales. Para llevar a cabo el estudio se tomaron 18 muestras, distribuidas en diferentes fuentes termales de Colombia, dentro de las cuales se destaca el Pozo Azul de Paipa. A las muestras se les realizaron determinaciones de pH, temperatura, conductividad, salinidad y sólidos Totales, H<sub>2</sub>S y HCO<sub>3</sub>, sulfatos, cloruros, ioduros, nitritos, nitratos, amonio, fosfato, ácido silícico, aluminio, arsénico, boro, bario, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, potasio, litio, níquel, plomo, antimonio, selenio, silicio, estaño y estroncio (Sánchez, Fagundo, Romero, Moreno, & González, s.f).

Como resultado, se estableció la clasificación del Pozo Azul de Paipa, ver Figura 14 y 15, como fuente sulfatada, sódica, hipertermal y de alta mineralización, con un pH de 7.7, que supera los niveles minerales para ser clasificada como agua mineral, como sulfato, hidrocarbonato, cloruro, sodio, potasio, litio, boro, ácido sulfhídrico, arsénico y mineralización expresada como sólidos solubles totales (TSS). Por tanto, es posible decir que el estudio geoquímico no muestra presencia de metales pesados en cantidades y concentraciones potencialmente aprovechables en Paipa. Por otro lado, en Iza se evidencia la presencia de Circonio, Zr, Niobio, Nb y Rubidio, Rb (Sánchez, Fagundo, Romero, Moreno, & González, s.f).

En la Universidad El Bosque, se han realizado dos trabajos de grado, en el municipio de Paipa. El primero, realizado por Avila, P & Ballesteros, C (2004) “Formular lineamientos para una propuesta de hábitat campesino ambientalmente sostenible en la comunidad rural, de la vereda el

salitre, municipio de Paipa, Boyacá”, en la que se realiza una primera aproximación de evaluación de la situación actual de las viviendas y del hábitat rural de la comunidad campesina, por medio del POT y la observación y se formulan los lineamientos para una propuesta de hábitat ambientalmente sostenible en el proyecto de reubicación de las mismas, localizadas en zona de riesgo geotécnico debido a la explotación subterránea de carbón (Avila & Ballesteros, 2004).

Para lo anterior, en primer lugar se realiza un inventario del número y el estado de las viviendas de la comunidad campesina de la vereda, después se revisa el POT, para determinar las ofertas y demandas ambientales en el área de estudio, caracterizada como zona minera de carbón en dicho Plan y, finalmente, formular lineamientos de diseño para un hábitat campesino ambientalmente sostenible en dos sectores socioeconómicos diferentes, en la vereda El Salitre (Avila & Ballesteros, 2004), alimentados con los datos arrojados en las entrevistas y observaciones de campo, se identificaron inicialmente cinco aspectos que relacionan el deterioro del ambiente y de la calidad de vida que rodean a los habitantes de la vereda, con el fin de llevar a cabo la reubicación de las viviendas que han sido afectadas por la minería de Carbón (Avila & Ballesteros, 2004).

Los autores concluyeron que las viviendas se pueden clasificar en 3 tipos de riesgos, *el primero*, viviendas que se encuentran altamente afectadas en su infraestructura, muchas de ellas a punto de colapsar. *El segundo*, viviendas que se encuentran en una afectación media en su infraestructura. *El tercero*, viviendas que presentan una afectación baja en su infraestructura (Avila & Ballesteros, 2004).

Para las de tipo uno, 1, se encontró un total de treinta y seis, 36 viviendas, tipo dos, 2, noventa y nueve 99 viviendas y tipo tres, 3, veinticuatro, 24 viviendas. Para las cuales, se establecieron un seriado de lineamientos en los que las autoras destacan trece, 13, ver tabla 9.

**Tabla 9.** Lineamientos a tener en cuenta para el diseño del hábitat campesino sostenible

Lineamientos	
Número	Nombre
1	Fortalecer los valores de la cultura rural entre la población de la vereda El Salitre retomando los siguientes elementos que son armónicos con un hábitat rural
2	Capacitación sobre riesgos geotécnicos asociados a la actividad minera y riesgos ambientales que se derivan de la misma sobre las viviendas y el hábitat veredal en su conjunto.
3	Para mejorar la Calidad de vida de la población rural, y en especial de la comunidad de la vereda El Salitre, es indispensable que exista una mejor prestación de los servicios básicos en especial de acueducto alcantarillado.
4	Teniendo en cuenta que la mayoría de la población (86%) cuenta con ingresos mensuales iguales o menores aun salario mínimo, puede concluirse que los ingresos familiares son deficientes frente a las necesidades básicas de calidad de vida; por lo tanto, es indispensable que se reconozca económicamente los trabajos ejercidos por la comunidad campesina y fomentar el sector agrícola para beneficiar la economía de la comunidad.
5	Al momento de la reubicación de las viviendas es importante tener en cuenta que la entrega de los terrenos debe ser equitativa en cuanto al área con el fin de tener igualdad de condiciones en el manejo de la tierra, y de esta forma dar opciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

6	Fortalecer la cultura de crianza de animales como ovinos, equinos, bovinos, aves de corral, entre otros para proporcionar sustentabilidad y mejorar la economía del conjunto familiar.
7	Para mejorar la calidad de vida de la población y no producir un impacto cultural se debe buscar la manera de mantenerlos principios agrícolas que aún existen en la vereda, y buscar apoyo institucional para fomentar la agricultura como base de la economía.
8	Por razones culturales la opción más apreciada de mejorar la vivienda corresponde al traslado en la misma vereda. Ya que la población se siente más identificada en esta zona, y no quiere abandonar los terrenos, ni las tradiciones que los relacionan directamente con esta región.
9	Antes de hacer el diseño de las viviendas en proyecto, se hace necesario mostrar a la población un pre-diseño en adobe, en donde se demuestren las cualidades y propiedades de este material frente al ladrillo, ya que esta última fue la opción más aprobada por los habitantes de la vereda.
10	Considerando la posibilidad de diseñaren un futuro dos tipos de casas, unas de un nivel y las otras de dos, se hace necesario conocer la opinión de la población sobre la preferencia del material del techo. De la misma forma que con el adobe, demostrarlas ventajas de la teja de barro a nivel climático, sanitario, paisajístico y de duración.
11	Para la construcción de las viviendas se recomienda que se emplee un material sismo resistente, para convencer a la población de la seguridad del material.
12	Por razones culturales la mayoría de la población obtiene su fuente de agua de aljibes y agua lluvia, por lo tanto, en el momento de escoger el lote para la reubicación es importante que cuente con aljibes cercanos para abastecer a la comunidad.
13	Para lograr una sostenibilidad en el nuevo entorno que tendrá la comunidad de la vereda El Salitre, es importante analizar el uso actual que le están dando a los residuos sólidos, por lo cual se debe fomentar el uso de los residuos para compostaje y abono, aun cuando es muy bajo el porcentaje de personas que lo practican actualmente.

**Fuente:** Forero & Orduña (2004).

Como conclusiones las autoras resaltan que por “la sobreexplotación minera de carbón, sobre las 8 fallas geológicas que atraviesan la zona de estudio, y los fenómenos geológicos que se han generado en los últimos años, es de carácter urgente llevar a cabo la reubicación de las viviendas que se encuentran en alto riesgo de colapsar inicialmente las de Tipo 1, posteriormente las viviendas que estén más deterioradas de los tipos 2 y 3” (Avila & Ballesteros, 2004, pág. 85).

El segundo trabajo de investigación, se realizó sobre el departamento de Boyacá, donde abarca la vulnerabilidad del paisaje salino del municipio de Paipa, se titula la “contribución a la validación del protocolo de degradación de suelos y tierras por salinización en el componente socioeconómico a partir de un estudio de caso del distrito de riego del alto Chicamocha en el departamento de Boyacá” (Gómez C. , 2015).

Cuyo objetivo es contribuir con la validación del protocolo de degradación de suelos y tierras por salinización, que a su vez permitirá realizar diagnosticar esta problemática ambiental en

escenarios nacionales, regionales y locales, para su posterior seguimiento y monitoreo. El proyecto de investigación se desarrolló en torno la problemática de degradación de suelos y pérdida de los servicios ecosistémicos por la salinización, permitiendo evaluar información en cuanto a la relación de estos procesos con el componente socioeconómico (Gómez C. , 2015).

Dentro de su marco conceptual, incluyó términos como tierra, degradación de suelos, suelos salinos, salinización, causas de la salinización y explica el modelo de evaluación FPEIR, el cual se lleva a cabo por medio de los indicadores de Fuerzas Motrices, Presiones, Estado, Impactos y Respuestas. Uno de los principales resultados fue la determinación de las zonas con mayor susceptibilidad frente a este escenario de suelos salinos, en primer lugar, las zonas prioritarias para la conservación, en segundo lugar, los suelos con vocaciones agrícolas y en tercer lugar, los suelos con vocaciones ganaderas (Gómez C. , 2015).

A continuación, se identifican los principales aportes de los autores. Matek (2013) contribuye con los comparativos, como tasas de emisiones y demás aspectos positivos de la implementación de las plantas geotérmicas frente a las plantas alimentadas con otros tipos de energías. Además, expone las ventajas del aprovechamiento del potencial geotérmico. En adición., Cortés (2017) aporta datos de beneficios socioeconómicos y empleo durante la elaboración de una planta geotérmica. El IGME & IDAE (2008); y Dickson & Fanelli (2004), aportan al trabajo con la identificación de los impactos generados por la implementación de una central geotérmica, analizando cada fase desde la *perforación* hasta la *operación*.

En temas de cultivo de organismos termófilos para su aprovechamiento en diferentes escenarios. Urbietta *et al.* (2015), realizan un aporte significativo en el proyecto, pues aparte de identificar ciertos organismos termófilos, los clasifican según su potencial biotecnológico. Diez (2018) combina dos temas relevantes que son el estudio de impacto ambiental frente al cultivo de algas, lo cual no solo aporta información para el desarrollo de la metodología, sino que también sirve de guía a la hora de diagnosticar esta alternativa, basándose en los impactos que el autor calificó como relevantes.

Por su parte, Obando (2011) aporta en el trabajo con la identificación de especies de algas y su potencial en la producción de biocombustibles en Colombia. Además, con su análisis técnico-económico respalda la viabilidad de la implementación de esta alternativa de aprovechamiento del potencial geotérmico. Gómez (2008) aparte de aterrizar el tema de organismos termófilos al Municipio, abre camino a nuevos estudios para su cultivo y producción industrial, pues identificó a un microorganismo endémico de este hábitat, el cual crece de manera natural en el pozo hidrotermal del hotel Lanceros. Con el análisis metabólico se determinó su capacidad en lo relacionado a la síntesis de polímeros complejos en compuestos simples de valor comercial y biotecnológico.

En términos de PSA, Tamayo (2014), relaciona este tema con la ingeniería. Promueve un pensamiento de prevención del problema más no de solución. Por otro lado, establece un lazo entre la ecología, economía e ingeniería cuando se hace uso de un recurso, pues la primera estudia los recursos naturales, de los cuales se pueden aprovechar diferentes escenarios en la generación de actividades económicas que producen un impacto ambiental. Adicionalmente, describe superficialmente el modelo de valoración a nivel nacional. Finalmente, Borda, Sánchez, & Wunder (2010) aportan por su parte los aspectos y fases que se deben tener en cuenta a la hora de hacer un diagnóstico ambiental sobre los PSA. Finalmente, representa gráficamente un esquema con sus respectivos actores, costos, flujo de dinero y de servicios ambientales.

Para la contribución de los dos trabajos de investigación de la Universidad El Bosque, se determinó, que el primero sirve de guía para la formulación de los lineamientos técnico-económicos finales y el segundo documentó corroboró en primer lugar, la existencia de un paisaje salino vulnerable, que por carencia de planeación se generan escenarios disyuntivos entre la naturalidad del paisaje salino y las actividades económicas que se desarrollan en el municipio.

Las convergencias asociadas a las ventajas de aprovechamiento del potencial geotérmico establecidas por Matek (2013), Cortés (2017), Dickson & Fanelli (2004) e IGME & IDAE (2008) son: aunque el capital de inversión de una central geotérmica generalmente es alto, en el momento de la operación no generan montos elevados de inversión. Además, trae consigo una serie de beneficios a corto, mediano y largo plazo, como la generación de empleo. El uso en la agricultura genera la posibilidad de producción durante todo el año, y el uso de esta energía es local, lo que beneficiaría el progreso de la zona de extracción. Los autores también coinciden en que las plantas de energía geotérmica requieren de menor capacidad energética que otros tipos de fuentes renovables. Además, los impactos generados por este tipo de centrales eléctricas son mucho menores, destacando a las plantas geotérmicas binarias, que por ser de ciclo cerrado, no generan emisiones de ningún tipo (NOx, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).

Las divergencias entre Matek (2013) Cortés (2017), Dickson & Fanelli (2004) y IGME & IDAE (2008), fueron los rangos de recursos geotérmicos de baja, media y alta temperatura, sintetizados en la Tabla 10. Por otro lado, en el tema de evaluación de impactos ambientales, los autores difieren en el tipo de matrices y análisis llevados a cabo. Asimismo, en la identificación de organismos termófilos, los autores estudian diferentes tipos y clases. En cuanto a temas de PSA, Tamayo (2014); y Borda, Sánchez, & Wunder (2010) difieren en la etapa de realización del proyecto, pues la primera autora establece la importancia de realizar los PSA antes de generar cualquier proyecto ingenieril sobre el recurso. En cambio, Borda, Sánchez & Wunder (2010) indicaron los procesos de PSA en el sector a raíz de un seriado de problemas que recaían sobre la cuenca.

**Tabla 10.** Comparación de los rangos de entalpías o temperaturas entre autores.

Temperatura / entalpía	Dickson, M & Fanelli, M (2004)	IDAE & IGME (2008)
Baja (C°)	90-190	25-100
Media (C°)	105-191	100-150
Alta (C°)	150-190	>150

**Fuentes** (Dickson & Fanelli, 2004) y (IGME & IDAE , 2008).

Finalmente, frente al cultivo de organismos termófilos, los autores convergen identificando al organismo *Thermoanaerobacter sp*, como termófilo de valor comercial y biotecnológico.

#### 6.4. Marco normativo

En este capítulo, se exponen de manera rápida las leyes nacionales pertinentes en el proyecto, se desarrolló una matriz normativa en donde se indica la normatividad, el nombre, el tema por el cual se relaciona con el proyecto y la descripción en general, una descripción detallada se presenta en el Anexo 5.

**Tabla 11.** Matriz normativa

Normatividad	Nombre	Tema de interés	Descripción
<i>Ley 99 de 1993:</i>	<i>Política ambiental de Colombia</i>	<i>Política ambiental de Colombia</i>	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (Congreso Nacional de Colombia, 1993)
<i>Decreto Ley 2811 de 1974</i>	<i>Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente</i>	<i>Recursos naturales y aspectos específicos del aprovechamiento de estos recursos incluyendo el geotérmico.</i>	“Libro segundo de la propiedad, uso e influencia ambiental de los recursos naturales renovables”, comprendido entre los artículos 42° y 340° determina aspectos específicos de acceso al uso y aprovechamiento de los recursos naturales, estableciendo pautas para el manejo de la atmósfera y el espacio aéreo, las aguas en cualquiera de sus estados, la tierra, el suelo y el subsuelo, la flora, la fauna, las fuentes primarias de energía agotables, las pendientes topográficas con potencial energético, los recursos geotérmicos y los recursos biológicos de las aguas del suelo y el subsuelo del mar territorial y de la zona económica de dominio continental e insular y los recursos del paisaje, entre otras disposiciones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1974).
<i>Ley 1715 del 2014</i>	<i>Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.</i>	<i>Energías renovables</i>	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional (Congreso de Colombia, 2014).
<i>Decreto 3683 de 2003</i>	<i>Decreto 3683 de 2004</i>	<i>Fuentes de energías renovables, incluyendo la energía geotérmica.</i>	En el artículo segundo, <i>Definiciones</i> , contempla a la energía geotérmica como una FNCER (Ministerio de Minas y Energía, 2004).
<i>Proyecto de ley 219 de 2013 senado</i>	<i>Proyecto de ley 219 de 2013 senado</i>	<i>Aprovechamiento del recurso hidrotermal, en el turismo.</i>	Por medio de la cual se dictan normas que promueven, regulan, orientan y controlan el aprovechamiento terapéutico y turístico de los balnearios termales y el uso de las aguas termales (Congreso de la república de Colombia, 2013)
<i>Ley 697 de 2001</i>	<i>Ley 697 de 2001</i>	<i>Energías renovables</i>	<i>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.</i> En el artículo tercero, <i>Definiciones</i> , contempla la energía geotérmica, como la energía que puede obtenerse del calor del subsuelo terrestre. (Congreso de Colombia, 2001).
<i>Decreto 870 de 2017</i>	<i>Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación</i>	<i>Pagos por servicios ambientales</i>	Establecer las directrices para el desarrollo de los Pagos por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación que permitan el mantenimiento y generación de servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos, a través de acciones de preservación y restauración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Fuente: Elaboración propia

### 6.5. Marco institucional

En el marco institucional se tuvieron en cuenta los actores importantes dentro del desarrollo del diagnóstico ambiental, y dentro del marco de desarrollo geotérmico a nivel nacional. En primer lugar, se describe el rol de cada institución u actor y su aporte frente al proyecto, en segundo lugar, se establece un organigrama en el que se jerarquizan los actores y se establecen las relaciones a criterio de la autora.

En primer lugar, se destaca el *Servicio Geológico Colombiano*, que tiene como principal objetivo realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo; adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico; administrar la información del subsuelo; garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el País (SGC, s.f).

Esta institución es de gran importancia pues es la única que ha desarrollado estudios en temas de geológica, hidrogeología, geofísicos y geoquímicos, en los que se determinaron los elementos esenciales que conforman el sistema como:

La existencia de una fuente de calor, la presencia de formaciones geológicas que cumplan funciones de reservorio y permitan la circulación de fluidos, la existencia de un área de recarga hídrica y, la presencia de unidades o estructuras geológicas que actúen de cubierta impermeable y cierren parcialmente el sistema para que se produzca la concentración de calor (Rojas, Monsalve, Patiño, Pintor, & Martínez, 2009).

Por otro lado, ISAGEN S.A. la cual tiene la responsabilidad empresarial y el apoyo a las políticas nacionales para el desarrollo de las fuentes no convencionales de energía, promueve y financia la investigación para el desarrollo y el aprovechamiento de la energía geotérmica, cuenta con más de 40 años de experiencia en el desarrollo, construcción y operación de proyectos de generación de energía eléctrica, durante los cuales ha aplicado criterios de desarrollo sostenible (Marzolf, 2014).

A pesar de que ISAGEN S.A. no ha realizado estudios en el municipio de Paipa, otorga información relevante sobre “el modelo geotérmico conceptual conducente a la selección de un área de interés para exploración y uso de la geotermia en la zona de influencia del Macizo Volcánico del Ruiz en Colombia” (Marzolf, 2014), aportando elementos relevantes para el análisis y diagnóstico del presente trabajo.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables y está encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Su aporte al trabajo fueron las normativas demarcadas en el capítulo anterior, *marco normativo*, las cuales abarcan temas relacionados con fuentes de energías renovables y energía geotérmica.

El *Concejo municipal*, “es una corporación administrativa, en su obligación de representar la voluntad popular, orientando la administración para construcción para la construcción para la construcción del

tejido social, desarrollando sistemas y estrategias que permitan un control político efectivo y comprometiéndonos bajo la guía de los valores éticos” (Concejo Municipal de Paipa, 2017). Como aporte, el presidente del Concejo municipal, Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal), aceptó una entrevista en la cual expuso su conocimiento frente al termalismo en Paipa y expuso su interés frente al desarrollo de nuevas alternativas.

Por su parte el Instituto de Turismo en Paipa, (ITP) es un parque termal ubicado en la vereda La Esperanza, que cuenta con diferentes instalaciones, el parque acuático, el centro biomédico, el Spa termal y el centro de hidroterapia (ITP, s.f).El aporte por parte del ITP, al trabajo, fue aceptar una entrevista en donde Javier Díaz Cerón (2018, 24 de agosto, comunicación personal), expuso su conocimiento sobre el termalismo en Paipa, la importancia del recurso frente a la cultura paipana, la relevancia de los ingresos económicos que esta actividad representa para el Municipio y su punto de vista frente a la búsqueda de nuevas alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico.

Por otro lado, La secretaría de agricultura y medio ambiente busca:

Promover y gestionar planes, programas y proyectos que contribuyan al desarrollo del sector agropecuario en el Municipio, buscando mejorar las condiciones de vida de la población que reside en la zona rural de Paipa, mediante la realización de asistencia técnica, transferencia tecnológica, organización cooperativa de los campesinos y gestión para la consecución de recursos financieros, de tal manera que se logre apoyar y fomentar la producción agropecuaria (Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, s.f).

Su aporte al trabajo, fue la declaración por parte de dos miembros importantes de la entidad, el secretario de agricultura, Tito Currea (2018, 24 de agosto, comunicación personal), dio a conocer su punto de vista frente a las aguas termo minerales, algunos usos que se le han dado a estos recursos e inconvenientes frente a la salinidad del suelo y la producción agrícola. Por otro lado, Lorena Cuesta (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), expresó todas las inconformidades generadas por la sociedad civil, comunidad frente a desarrollo de proyectos de exploración para el conocimiento del potencial geotérmico en el Municipio, también dio a conocer su conocimiento sobre el recurso.

Adicionalmente se encuentra la comunidad ambientalista de Paipa, cuyo rol es generar conocimiento y soporte a la sociedad civil del Municipio, dos miembros importantes Wilmer Osvaldo Pulido, representante de los grupos ambientalistas ver Anexo 4, entrevista 2 y Diana Pérez, miembro del grupo ambientalista ver Anexo 4, entrevista 8, aportaron sus conocimientos frente al hidrotermalismo en Paipa, y expusieron su punto de vista frente a la implementación de nuevas alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico.

Y finalmente, los miembros de la sociedad civil, son la base y razón por la cual se toman decisiones en el Municipio, el actor más importante, pues en función de su bienestar se fomenta la mejora continua en Paipa .Aunque tienen un conocimiento limitado sobre el recurso hidrotermal, por su parte, Flor Imelda Castro , expresó su punto de vista frente a la implementación de nuevas alternativas y Antonio Martínez presidente de la Junta de acción comunal de la vereda La Esperanza, aportó al levantamiento de la línea base de la zona (ver Anexo 4, entrevista 1).

### 6.5.1. Organigrama

A continuación, se presentan gráficamente las relaciones y la jerarquía de los actores anteriormente presentados.



**Figura 38.** Organigrama de los actores relevantes en el desarrollo del proyecto y sus respectivas relaciones.

Fuente: autora

## 7. Diseño metodológico

Para el desarrollo metodológico de este trabajo se tuvieron en cuenta dos aspectos. En primer lugar, el diseño metodológico consta de un enfoque cualitativo-etnográfico básico, debido a que el diagnóstico requiere de una fase de recolección de información primaria. Se pretende establecer el conocimiento e identidad de la sociedad civil con el recurso geotérmico y datos municipales para alimentar los aspectos a evaluar por medio de las matrices cualitativas planteadas para la resolución de cada objetivo específico, dentro de las características generales, más no la medida de parámetros, indicadores o cantidades (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014). En segundo lugar, tiene un alcance exploratorio-descriptivo-correlacional, pues aparte de abrir paso a la identificación y diagnóstico, económico, biofísico y sociocultural de alternativas para el aprovechamiento del recurso geotérmico e hidrotermal del municipio de Paipa – Boyacá, también se describen las diferentes alternativas de aprovechamiento del recurso geotérmico, ya que son temas que no se han abordado antes a nivel nacional, finalmente se desarrollan una serie de matrices donde se asocian y valoran relaciones entre variables y alternativas (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014).

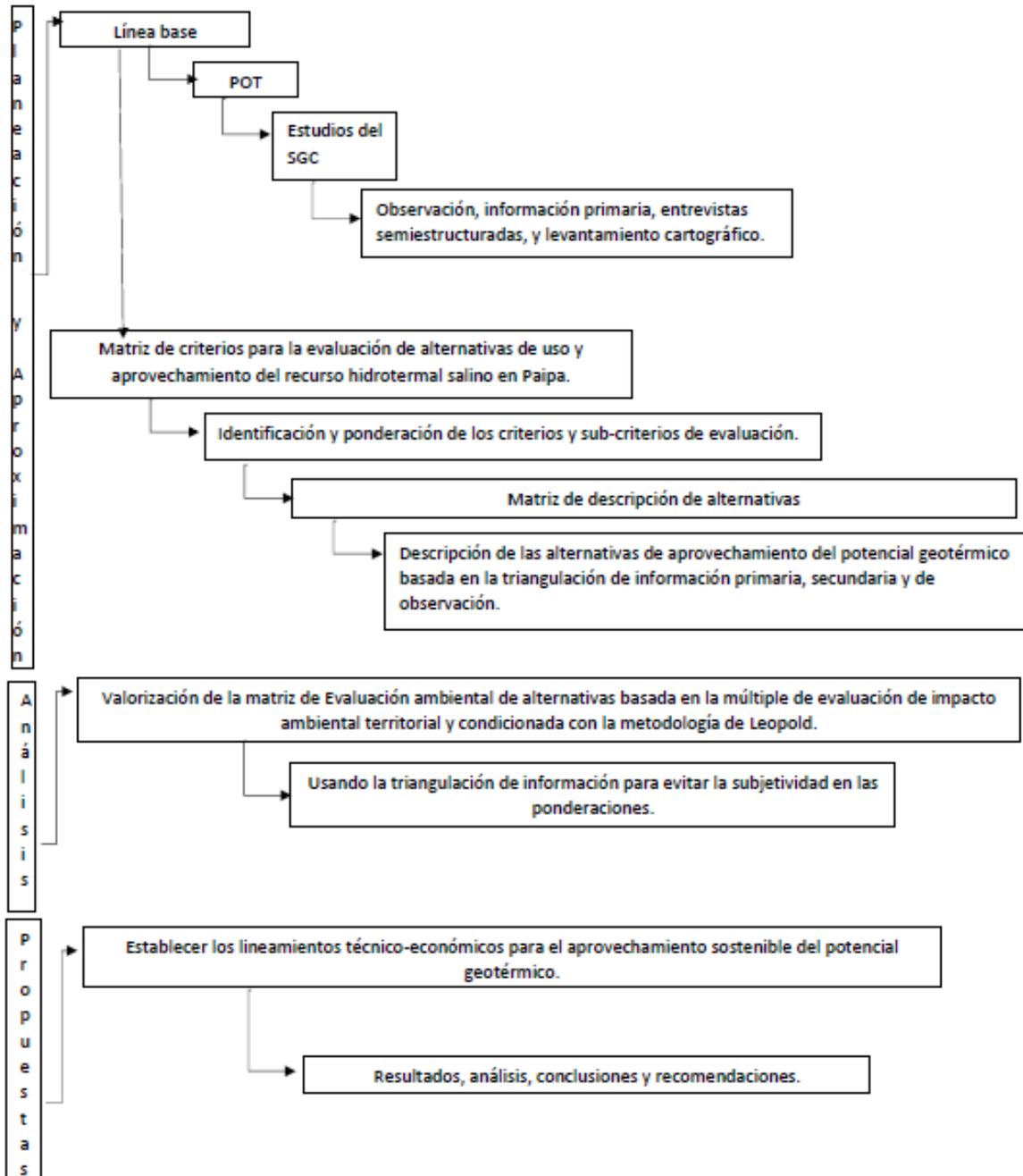
De acuerdo con esto, la Unidad de análisis se delimitó a las posibles alternativas del recurso geotérmico hidrotermal en Paipa. Para este trabajo se utilizó la técnica de reconocimiento de campo en la vereda La Esperanza, haciendo uso de la observación y ubicación cartográfica de las fuentes hidrotermales, zonas de recarga, piscinas públicas, actividades productivas como piscinas terapéutico-recreativas, ganadería, porcicultura y agricultura a pequeña escala, galpones, minería de carbón, restaurantes, hoteles y cabañas, un mirador, una planta de producción de bienestarina y una planta de estabilización de desechos. Sumado a esto, se realizó una serie de entrevistas semiestructuradas a los informantes requeridos para solventar los requerimientos del trabajo, siendo los Instrumentos de identificación las diversas alternativas de aprovechamiento, que han o no considerado los diversos actores o informantes sobre este recurso, para precisar la calidad de la información y evitar la subjetividad de los valores otorgados en el diagnóstico. Se triangula con una tercera fuente de información, información secundaria, sobre las alternativas, sus casos de éxito a nivel internacional, regional, nacional y municipal incluyendo también la historia del uso geotérmico en la zona.

Para la identificación y caracterización de los doce informantes, se tomaron en cuenta los factores sugeridos para determinar el número de casos dentro de un muestreo de una investigación cualitativa por Sampieri, Collao & Baptista (2014), teniendo en cuenta que en el caso particular de un estudio cualitativo, el tamaño de la muestra no es importante desde el punto de vista probabilístico, es decir, no necesariamente debe ser estadísticamente representativa del universo o población que se estudia. Esto porque su objetivo no es generalizar los resultados a una población amplia, es obtener información a profundidad para garantizar la respuesta y cumplimiento de la pregunta y los objetos de investigación (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014).

El proceso de selección se desarrolló en dos fases, primero se estableció una muestra tentativa, sujeta a cambios después de la primera inmersión a campo, realizada el sábado 3 de marzo del 2018; y la segunda fase, en donde se realizaron ajustes para definir la muestra final, tomó lugar durante el proceso de levantamiento de la línea base. Se determinó la cantidad de informantes en función del corto lapso de tiempo y los recursos disponibles para la recolección de esta información, fue indispensable tener en cuenta que los participantes se encontraran en contexto, conocimiento, manejo y entendimiento sobre

los temas a tratar, para cumplir con la saturación suficiente, encaminada a solventar los objetivos (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014).

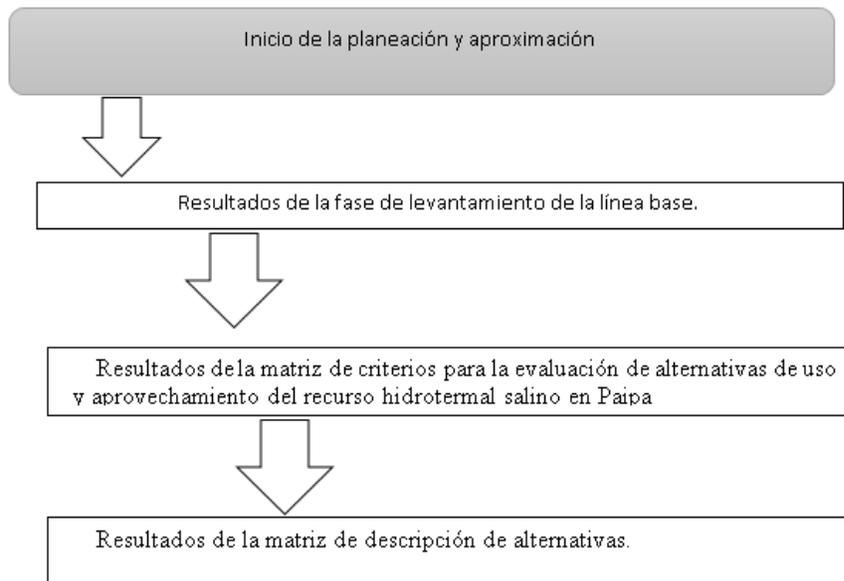
En segundo lugar, la metodología del diagnóstico ambiental de las alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico se desarrolló en tres fases, en primer lugar, la “Planeación y aproximación”, en segundo lugar, el “Análisis”, y, por último, las “Propuestas”, para dar solución a cada uno de los objetivos, Figura 39.



**Figura 39.** Diagrama de flujo diseño metodológico

Fuente: autora

Para solventar la identificación y caracterización de las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en la vereda La Esperanza de Paipa-Boyacá, se realizaron dos matrices, matriz de criterios para la evaluación de alternativas y una de descripción de alternativas, ver Figura 40.



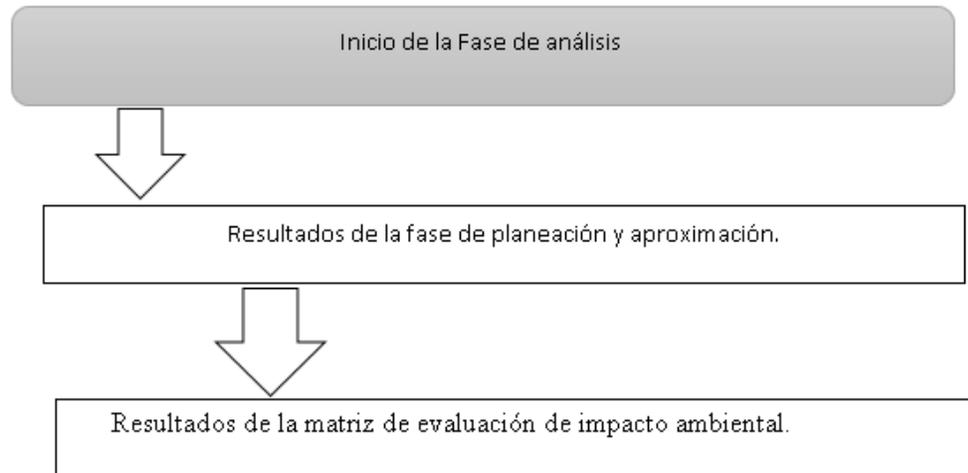
**Figura 40.** Contextualización de la fase I del diseño metodológico  
Fuente: autora

Para llevar a cabo la identificación y caracterización de alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en Paipa, se elaboró en primer lugar, la matriz de descripción y ponderación de criterios iniciales de la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa.

Para la matriz de descripción y ponderación de criterios iniciales de la evaluación de alternativas para el uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa, se establecieron 5 criterios iniciales y sus respectivas subdivisiones. Identificados por medio de la observación e información primaria recolectada, la evaluación de esta matriz consiste en ponderar cada criterio con el fin de destacar el más relevante, otorgando así una valoración a cada sub-criterio y la sumatoria de las ponderaciones de estas debe dar como resultado la valorización total del criterio que las acobija, teniendo en cuenta que la sumatoria de todos los criterios debe ser de 100 como se muestra en la tabla 14.

Se decidió usar esta metodología de evaluación para resaltar la significancia de cada criterio frente a los impactos generados por las alternativas a evaluar, además es una herramienta de fácil entendimiento y evaluación, que optimiza la interpretación de sus resultados, a continuación, se muestra la matriz con sus valoraciones establecidas.

Con respecto a la evaluación ambiental de las alternativas y sus riesgos conexos, se realiza un análisis de los indicadores propuestos y de las variables que se derivan de ellos, por medio del uso de una matriz de evaluación de impactos ambientales, basada en la matriz múltiple de evaluación de impacto ambiental territorial, adaptada con la metodología de Leopold, ver Figura 41.



**Figura 41.** Contextualización de la fase II, del diseño metodológico  
Fuente: autora

La matriz de evaluación ambiental de alternativas, es una derivación y adecuación de la matriz múltiple de evaluación de impacto ambiental territorial elaborada por (Avellaneda- Cusarúa, 2008), que se ajustó con elementos de la metodología de Leopold, para su desarrollo no se cumplieron estrictamente los regímenes debido a que se realizaron los ajustes necesarios para evaluar varias alternativas dentro de la misma matriz, por lo que la calificación no arroja resultados bidimensionales, solo se ponderan las magnitudes e importancias de los impactos generados por cada alternativa sobre los indicadores físicos, bióticos, socio-culturales, económicos y tecnológicos. Esta metodología de evaluación tiene un alto rango de subjetividad debido a la carencia de criterios (Arroyo, 2007), con el fin de reducirlo, se elaboró dos columnas iniciales, en donde cada indicador es valorado de acuerdo a su significancia, bajo la obligación que a suma de los cinco debe ser igual a 1, estos fueron sacados de la matriz de criterios iniciales, ver tabla 13, complementados con nuevos criterios y sus factores, que también fueron ponderados y cuya suma por criterio debe ser igual a 1, cuyo producto da como resultado la ponderación de cada factor, como se ve en la siguiente ecuación.

$$VPF = VSF * VSI$$

Siendo:

- VPF: Valor ponderado del factor
- VSF: Valor de significancia del factor
- VSI: Valor de significancia del indicador

Para la calificación de los impactos, se estableció un rango desde -5 hasta 5, siendo este el límite tanto a la magnitud (alteración), que pueden ser valores negativos y positivos, como a la importancia (relevancia alteración), solo pueden ser valores positivos, de lo contrario entraría en controversia con el

objetivo de la evaluación del impacto (Guía para la elaboración e interpretación de la matriz de leplod, s.f.). Después de establecer un valor individual para la magnitud e importancia de cada impacto generado por las 8 alternativas sobre los factores, se calcula el valor del impacto neto con el producto de la magnitud por el impacto sobre el valor máximo, que para este caso sería 25, véase en la siguiente fórmula.

$$VIN = \frac{M/I}{VM}$$

$$VM = 5 \times 5 = 25$$

Siendo:

- VIN: Valor de impacto neto
- M: Magnitud
- I: Importancia
- VM: Valor máximo

Para determinar el valor ponderado del impacto se realizó el producto del valor del impacto neto, por el valor ponderado del factor, como se ve en la siguiente ecuación.

$$VPI = VPF * VIN$$

Siendo:

- VPI: Valor ponderado del impacto
- VPF: Valor ponderado del factor
- VIN: Valor de impacto neto

El valor ponderado total del impacto se halla realizando la sumatoria de todos los VPI por alternativa, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$VPTI = \sum_i^n VPI$$

Siendo:

- VPTI: Valor ponderado total del impacto
- VPI: Valor ponderado del impacto.
- n: Último valor.
- i: Primer valor.
- $\sum$ : sumatoria.

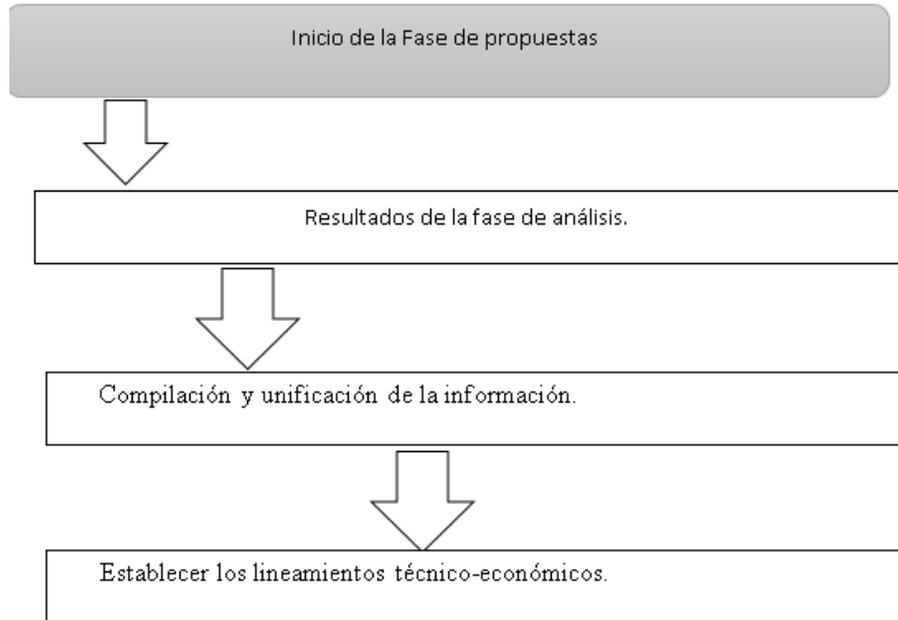
Y finalmente el porcentaje de impacto por factor, se halla con el producto década VPI por 100 sobre el VPF, como se muestra en la siguiente ecuación. (Guía para la elaboración e interpretación de la matriz de leplod, s.f.).

Siendo:

- VPI: Valor ponderado del impacto
- VPF: Valor ponderado del factor

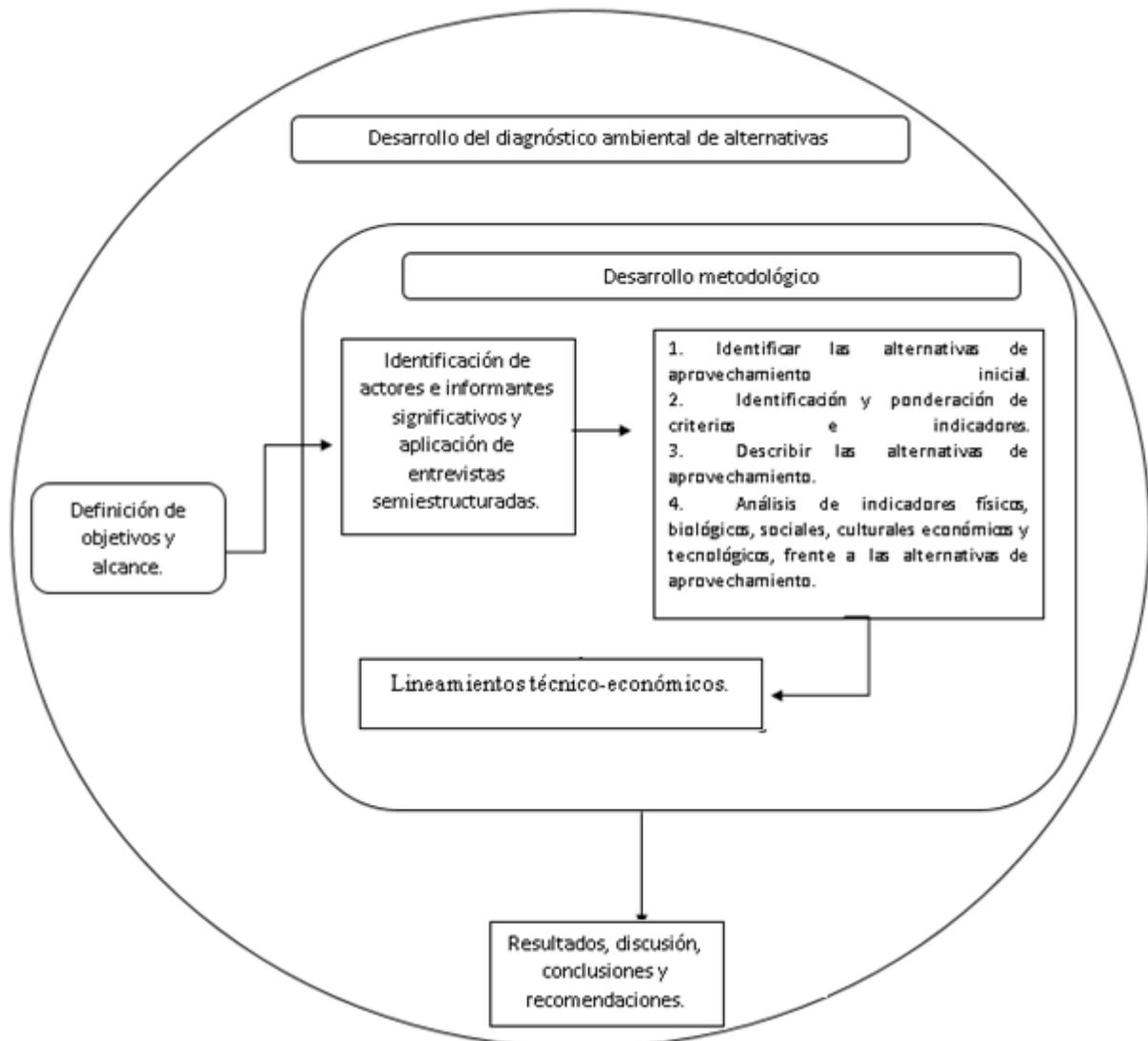
$$\%IF = \frac{VPI \times 100}{VPF}$$

Y finalmente, para establecer los lineamientos técnico-económicos enfocados en el uso sostenible y aprovechamiento de la energía geotérmica en Paipa-Boyacá, requirió de una compilación y unificación de la información colecta, Figura 42.



**Figura 42.** Contextualización fase III del diseño metodológico  
Fuente: autora

El desarrollo de los resultados, análisis y conclusiones, se plasmó en un mismo capítulo con el fin de facilitar la comprensión del lector sobre los mismos, como se muestra en la figura 43, que se encuentra en la página siguiente.



**Figura 43.** Diagnóstico ambiental  
Fuente: autora

## **8. Plan de trabajo**

En primer lugar, se identifica la pertinencia del trabajo dentro del método de investigación deductivo, pues la información recolectada se acopla de lo general a lo particular, para su posterior análisis y síntesis por medio de las matrices de evaluación, con el fin de establecer lineamientos e ideas para un aprovechamiento del potencial geotérmico sostenible en Paipa (Maya, 2014). En la tabla 12 (ver página siguiente), se realiza una descripción de las actividades, técnicas e instrumentos, necesarios para cumplir con cada uno de los objetivos específicos.

**Tabla 12.** Diseño metodológico

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividad	Metodología		Resultados esperados
			Técnicas	Instrumentos	
Diagnosticar ambientalmente las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico de la vereda La Esperanza en Paipa-Boyacá.	Identificar y caracterizar las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en el macizo volcánico de Paipa.	Por medio de la fase de planeación y aproximación frente a los actores primordiales, con base en información primaria, secundaria y observación. Donde se identifican y definen las diferentes variables físicas, sociales, biológicas, culturales, económicas y tecnológicas, para el diagnóstico ambiental de las alternativas. En segundo lugar, describen las alternativas de aprovechamiento identificadas.	Interacción e introspección con la comunidad.	Grabadora de audio, cámara de video, material fotográfico.  Entrevistas semiestructuradas.	Línea base completa para dar inicio a la identificación, comparación y descripción de las alternativas de aprovechamiento.
			Observación	Mapa cartográfico, cámara fotográfica y GPS.	
			Análisis de datos	Matriz de criterios para la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa.  Matriz de descripción de alternativas.	
	Analizar los indicadores físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y tecnológicos y las	Se da inicio a la fase de análisis, donde se realiza una evaluación ambiental basada en las variables y alternativas establecidas por medio de una matriz de impactos.	Síntesis de información.	Computador portátil.  Información primaria y secundaria.	Identificación de impactos ambientales de cada alternativa e identificación de las más viables.

	variables que se derivan de ellos, para evaluar ambientalmente las alternativas y sus riesgos conexos.		Análisis de datos	Matriz de impactos ambientales.	
	Establecer los lineamientos técnico-económicos para realizar un uso sostenible y aprovechamiento de la energía geotérmica en Paipa-Boyacá	Se inicia la fase de propuestas, en donde, en primer lugar, se identifica la o las alternativas ambientalmente más viables. Posteriormente se realiza el análisis de impacto ambiental para formular los lineamientos técnico-económicos.	Síntesis de información.	Información primaria y secundaria.	Establecer los lineamientos técnico-económicos para un uso y aprovechamiento sostenible del recurso geotérmico
			Análisis de datos	Compilación y unificación de la información recolectada.	

Fuente: Aranda, Araújo, & Elda (2009) ; Sampieri, Collao, & Baptista (2014).

## 9. Resultados y discusión

En el desarrollo de este capítulo se describe paso a paso de las actividades realizadas e instrumentos utilizados para solventar cada uno de los objetivos específicos. Seguidamente se exponen las razones por las cuales se usaron estos métodos, finalmente se presentan los resultados con su respectiva discusión. Para lograr diagnosticar ambientalmente las alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en la vereda La Esperanza, se evaluarán tres matrices: en primer lugar, una *matriz de descripción y ponderación de criterios iniciales de la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa*; en segundo lugar, una *matriz de descripción de alternativas*; y, en tercer lugar, una *matriz de evaluación de impacto ambiental*, para finalmente establecer los lineamientos técnico-económicos para realizar un uso sostenible y aprovechamiento de la energía geotérmica .

Para lograr una saturación de información requerida para llevar a cabo la valoración y evaluación de las matrices, en primer lugar, se usaron instrumentos de recolección de información secundaria, llevada a cabo por medio de revisión bibliográfica sobre las diferentes alternativas, sus aplicaciones y casos de éxito a nivel global, regional, nacional y municipal. En segundo lugar, se implementó la observación, a partir del levantamiento cartográfico, registro fotográfico y toma de imágenes georreferenciadas con un GPS GARMIN. Finalmente, y para triangular la información, se realizó una recolección de información primaria, por medio de entrevistas semiestructuradas, la cual se determinó como el método indicado para la recolección de información, debido a que permite, de manera controlada, una mayor profundidad y amplitud en las respuestas otorgadas por cada entrevistado. Este método de recolección de datos se caracteriza por su estructura en guion, que indica los temas a tratar en la entrevista, con libre decisión sobre el orden y los temas a tratar dependiendo del informante (Corbetta, 2010).

El entrevistador puede plantear la conversación de la forma que desee, las preguntas que considere oportunas y hacerlo en los términos que le parezcan convenientes, explicar su significado, pedir al entrevistado que le aclare algo que no entiende o que profundice sobre algún aspecto cuando lo estime necesario, y establecer un estilo propio y personal de conversación (...) El guion del entrevistador puede ser más o menos detallado. Puede ser una lista de temas a tratar, o puede formularse de manera más analítica en forma de preguntas, aunque de carácter más general. (Corbetta, 2010, pág. 353)

Las entrevistas semiestructuradas se diferencian de las no estructuradas, pues en estas el entrevistador no permite que el entrevistado profundice o divague en temas que aparentemente no están relacionados con la investigación, y difiere de las entrevistas estructuradas en que, en cuanto al contenido y al orden, en estas últimas las preguntas se establecen de antemano. En las entrevistas semiestructuradas el entrevistador genera un estímulo diferente en cada pregunta, no realiza las preguntas en un orden estipulado y, si lo ve pertinente, solo realiza algunas preguntas dependiendo del actor entrevistado (Corbetta, 2010).

Después de recolectada la información primaria, se realizó una matriz de *organización y caracterización de datos*, en la que se clasificó a los diferentes actores en las siguientes categorías: miembro de la sociedad civil paipana, miembro de una institución pública o privada de Paipa, o miembro de una institución internacional (ver la Figura 44). Posteriormente se categoriza el nivel de conocimiento sobre los distintos temas abarcados en las entrevistas: Origen de las fuentes termales en Paipa, usos en el tiempo, generación eléctrica (proyecto en Paipa u otros), otros posibles usos, costos de nuevas alternativas, obstáculos para llevar a cabo estas nuevas alternativas, factibilidad en la implementación de nuevas alternativas, punto de vista frente a la implementación de estas, beneficios frente a su aplicación, suficiencia legislativa, punto de vista frente al aprovechamiento turístico, identidad con el recurso, panorama de zonificación del paisaje salino, ordenamiento del recurso geotérmico salino, para el ecoturismo, temas específicos como costo, opciones de aprovechamiento. Para la interpretación de estos resultados, se unificó las respuestas comunes en graficas de diferente índole, de torta y de barras, dependiendo de cuál facilite su interpretación visual.

En primer lugar, de un total de 14 informantes, 13 son habitantes actuales de Paipa, de los cuales 7 trabajan en una institución paipana, uno es el Presidente de la Junta de Acción Comunal de la vereda La Esperanza, y los 5 restantes son gente del común de Paipa, que tienen conocimiento sobre el tema. También hay un informante de ámbito internacional, Ingeniero Químico especializado en Ingeniería ambiental, como se puede observar en la Figura 44.

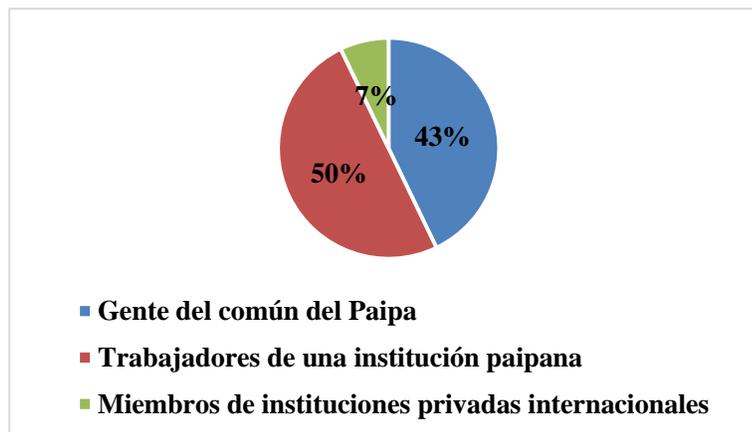
En el Anexo 5 se encuentra el formato de entrevista semiestructurada y en el Anexo 6 la transcripción de las 14 entrevistas realizadas. Para cada una de las entrevistas se especifica el nombre de la persona entrevistada y la fecha; es importante resaltar que en algunas ocasiones participaron dos personas por entrevista. A continuación se presenta una lista con el nombre de la persona que participó por cada entrevista y el día en que esta tuvo lugar.

**Tabla 13.** Organización del tipo de informante, según su perfil.

	Entrevistado	Perfil	Fecha
1	Flor Imelda Castro	Miembro de la sociedad civil	18 de agosto del 2018
2	Wilmer Osvaldo	Propietario de la finca agroecológica Bosque Nativo Andino y representante de los grupos ambientales ante el comité Interinstitucional de Educación Ambiental	15 de septiembre del 2018
3	Rafael Bayona	Presidente del Concejo Municipal de Paipa	24 de agosto del 2018
4	Tito Currea	Secretario de Agricultura	24 de agosto del 2018
5	Lorena Cuesta	Miembro de la Secretaría de agricultura en el área de medio ambiente y minería	24 de septiembre del 2018, vía telefónica
6	Antonio Martínez	Presidente de la junta de acción comunal de la vereda La Esperanza y miembro de la sociedad civil	24 de agosto del 2018
7	Javier Díaz Cerón	subgerente operativo del ITP	24 de agosto del 2018
8	Diana Pérez	miembro del grupo ambientalista	15 de septiembre del 2018
9	Olegario Avella	miembro de la sociedad civil	15 de septiembre del 2018
10	Luis Franco	Ingeniero químico especializado en ambiental del área de gestión ambiental en las plantas geotérmicas LaGeo, en el Salvador	25 de septiembre del 2018, vía Skype

11	José	Pescador, miembro de la sociedad civil	16 de septiembre del 2018
12	Víctor Julio Díaz	Miembro de la sociedad civil de la vereda la esperanza, dueño de una tienda	15 de septiembre del 2018
13	José Mario Daza	Miembro del gremio hotelero, con estudios basados en termalismo medicinal	24 de agosto del 2018
14	Fernando Solano	Miembro del gremio turístico	15 de septiembre del 2018

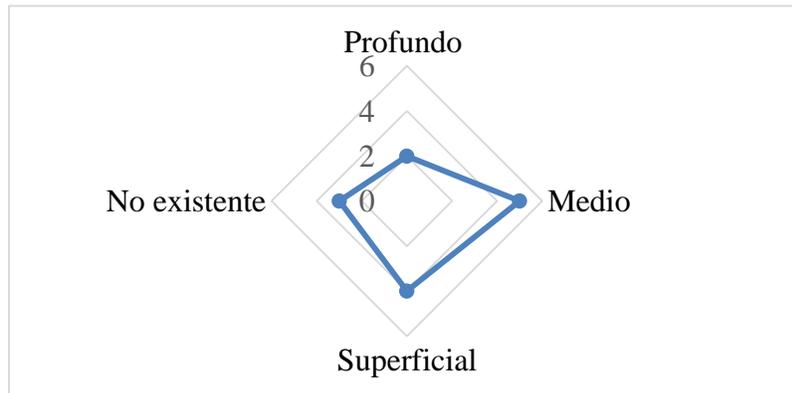
Fuente: Autora



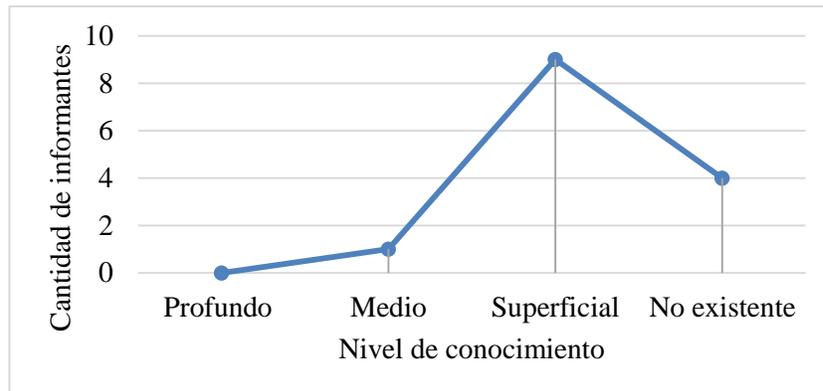
**Figura 44 .** Distribución de tipo de informantes

Fuente: autora

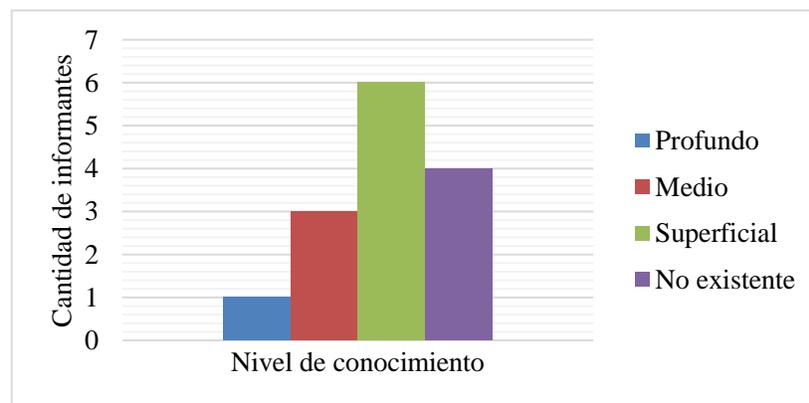
Respecto al conocimiento sobre el *origen* del recurso termal en Paipa, 11 de los 13 informantes habitantes de Paipa expresaron conocimiento sobre el tema en diferentes alcances: *conocimiento profundo*, 2; *conocimiento medio*, 5; *conocimiento superficial*, 4 (ver Figura 45). En temas de *usos a través del tiempo*, 10 de los 13 informantes habitantes de Paipa, evidentemente saben sobre la existencia de SALPA; ninguno sabe cuándo inició esta producción, ni por qué se abandonó. Los alcances se dividieron en: *profundo* 0, *medio* 1 y *superficial* 9 (ver Figura 46). En cuanto al *conocimiento del proyecto de generación eléctrica en Paipa*, 9 de los 13 habitantes de Paipa, se dividieron en *profundo* 1, *medio* 3, y *superficial* 6, y un experto internacional que aportó conocimientos profundos sobre la generación eléctrica (ver Figura 47).



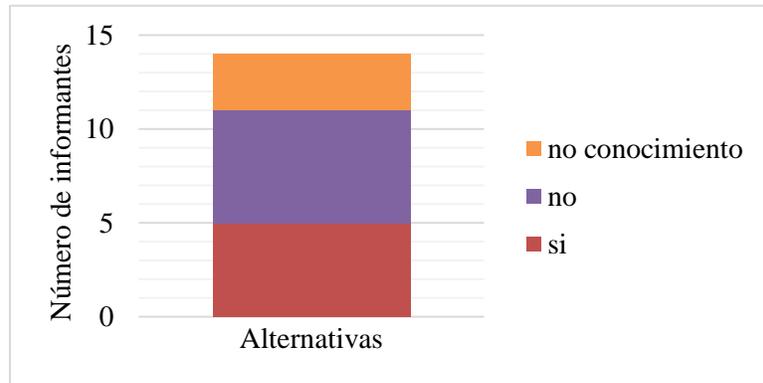
**Figura 45.** Conocimiento del origen de las fuentes termales en Paipa  
Fuente: autora



**Figura 46.** Conocimiento de los usos del recurso salino-hidrotermal en el Municipio través del tiempo  
Fuente: autora



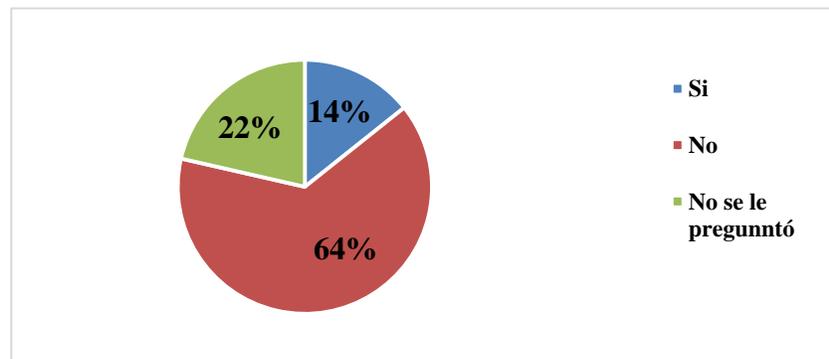
**Figura 47.** Conocimiento sobre el proyecto de generación eléctrica, por medio de una planta geotérmica en Paipa  
Fuente: autora



**Figura 48.** Conocimiento sobre la posible implementación de otras alternativas de aprovechamiento del recurso aparte de la turística.

Fuente: autora

Por otro lado, frente al conocimiento de *otros usos posibles* que se le pueda dar al recurso hidrotermal salino en Paipa, aparte del actual, 5 informantes expusieron su conocimiento de nuevas alternativas, 6 entrevistados no sabían del tema y a 3 informantes no se les preguntó porque se consideró que no era un tema para tratar con ellos (ver Figura 49).

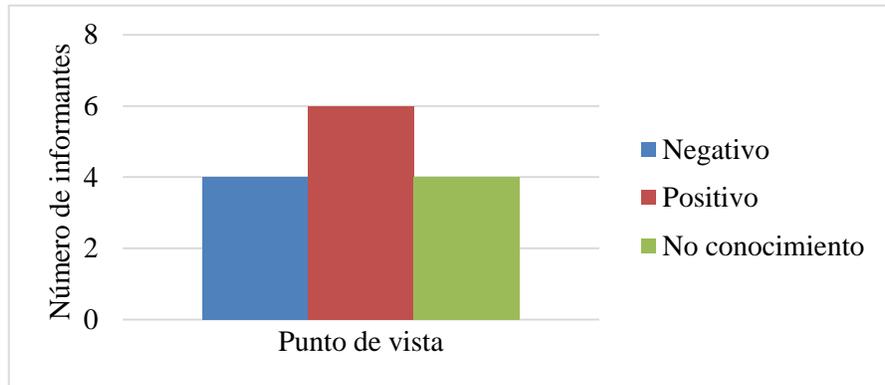


**Figura 49.** Conocimiento de costos de nuevas alternativas

Fuente: autora

Frente al punto de vista de *implementación de nuevas alternativas*, 4 se inclinan negativamente, 6 positivamente y a 4 informantes no se le preguntó sobre el tema, porque no era el tema central de la entrevista (ver Figura 50). La opinión de la sociedad civil se resume en que, toda actividad o proyecto tiene repercusiones negativas sobre el municipio y sobre sí mismos, como le expresa Flor Imelda Castro “Si se desarrollan nuevas cosas... pasaría lo que está pasando con las entidad térmica, de la termoeléctrica y la minería, porque de alguna u otra manera todo es dañino para la comunidad...”. Adicionalmente, la sociedad civil expone su inconformidad frente al turismo, “eso quita la tranquilidad, de hecho que deja aparte de plata para pocos?... eso deja enfermedades, delincuencia, dejan contaminación, para mucha gente la plata es todo pero la plata no es todo, además que hacen y hacen hoteles, restaurantes y cosas que no tienen identidad real de la cultura paipana, y eso no es lo peor, uno que ha visto donde estaban antes los humedales y eso, construyen hoteles y vainas sobre las aguas calientes y se pierden los animales, el paisaje y todo lo que uno ve únicamente en este tipo de ambientes, y la gente se olvida de todo esto...”. El ITP, considera oportunidades reducidas de desarrollo de otras actividades aparte de las del turismo

debido a que en Paipa “...Lo principal que se mueve es el turismo...termal, si tú vas a La Casona, allá tienen ese aprovechamiento de piscinas termales, en todos los hoteles de esa zona, entonces ya estamos muy desarrollados en la parte turística, digamos los ingresos de acá el 65% van para la alcaldía y el 45% va para nosotros”.



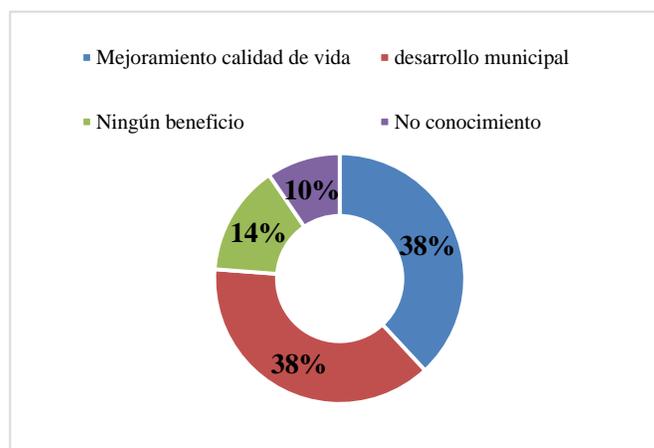
**Figura 50.** Punto de vista frente a la implementación de nuevas alternativas  
Fuente: autora

Los informantes con puntos de vista positivos, expresan que apoyan “...cualquier cosa que se pueda hacer para que aumente un poco la calidad de vida de los habitantes de Paipa...”, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal) afirma que está de acuerdo con la implementación de nuevas alternativas, siempre y cuando sea “...un proyecto práctico, de beneficio comunitario que sea significativo para ellos (...) por ejemplo, es una zona de gran importancia pecuaria, de producción de leche y de ganado doble propósito, de terneraje y todo eso, por ejemplo la generación de algún tipo de proceso que los involucre (...) está la otra parte de aprovechamiento del recurso como tal energético, pero pues como ellos mismos se niegan, entonces es como un círculo vicioso, una discusión bizantina tenaz porque nunca se llega a un acuerdo, pero pienso que una cosa que podría abrir el escenario sería que el aprovechamiento de este recurso involucre también las necesidades concretas que ellos tienen en el momento y su actividad productiva más importante es el tema pecuario, las sales podrían ser una buena opción”. Por otro lado, Lorena Cuesta (2018, septiembre15, comunicación personal), expresa que está de acuerdo con la generación de energía eléctrica estoy “...porque sería aplicable a otros sectores económicos, y al desarrollo sostenible de los sectores, como te he dicho, de las zonas de influencia directa, para estas comunidades y demás(...), me parece de hecho que es sobrevalorado el aprovechamiento actual, no se hace de la mejor manera y siempre es beneficio para ciertas personas, para los del gremio hotelero, ¿Y el resto qué?”. No solo la población paipana está de acuerdo con el desarrollo de proyectos geotérmicos, Luis Franco (2018, septiembre25, comunicación personal vía Skype), desde su experiencia en la implementación de plantas geotérmicas u otros aprovechamientos directos dice que “... se requiere de empleados de la zona rural (...) siendo este un beneficio económico y de desarrollo de la calidad de vida de los habitantes, y se ha visto mejoría, pues por la generación de empleo y por el abastecimiento de energía eléctrica, y pues los usos directos que se le da al recurso aparte del sector eléctrico, como para que la gente lo aproveche a su beneficio...”

Con respecto a los beneficios que se consideran al implementar nuevas alternativas, 8 informantes consideraron el *mejoramiento de la calidad de vida*, debido a que el hecho de “...tener agua tibia, en la casa de cada uno, eso ya es una ventaja para un campesino para mejorar su calidad de vida...”. Sumado a esto, según Luis Franco (2018, septiembre25, comunicación personal vía Skype), la implementación de plantas eléctricas en El Salvador ha “... generado empleo y abastecimiento de energía eléctrica, que mejoran la calidad de vida, también el desarrollo de otros usos directos que se le da al recurso aparte del sector eléctrico... como el secado del café, pasteurización de la leche, fabricación de velas, deshidratación de frutas...”. En este sentido, otros informantes soportan este beneficio en sus entrevistas: Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal), Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal), Lorena Cuesta (2018, septiembre15, comunicación personal), Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), Fernando Solano (2018, 15 de septiembre, comunicación personal) y José Mario Daza (2018, agosto 24, comunicación personal), ver Figura 51.

De igual manera, 8 de los informantes totales establecieron que el beneficio del aprovechamiento de esta energía es el *desarrollo municipal*, como lo afirman Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal), Lorena Cuesta (2018, septiembre15, comunicación personal), Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), Luis Franco (2018, septiembre25, comunicación personal vía Skype), Fernando Solano (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), José Mario Daza (2018, agosto 24, comunicación personal) y José (2018, Septiembre16, comunicación personal), ver Figura 51.

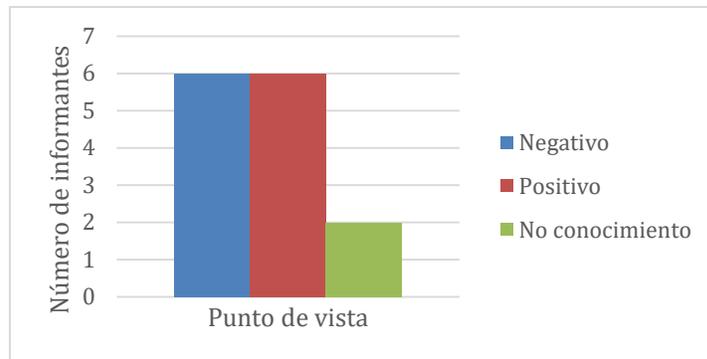
Por otro lado, 3 de los informantes expusieron que no *ven ningún aporte* por parte de la implementación de nuevas alternativas: “nosotros siempre hemos sido víctimas del estado, el estado de la región lo ha hecho todo mal...”; además afirman que el Estado les quitó “...el derecho de elegir sobre la vocación económica del municipio” Flor Imelda Castro (2018, agosto 18, comunicación personal), Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal) y Olegario Avella (2018, Septiembre15, comunicación personal), la vulnerabilidad que expresan los habitantes frente al estado, genera ver Figura 51.



**Figura 51.** Beneficios de implementar nuevas alternativas

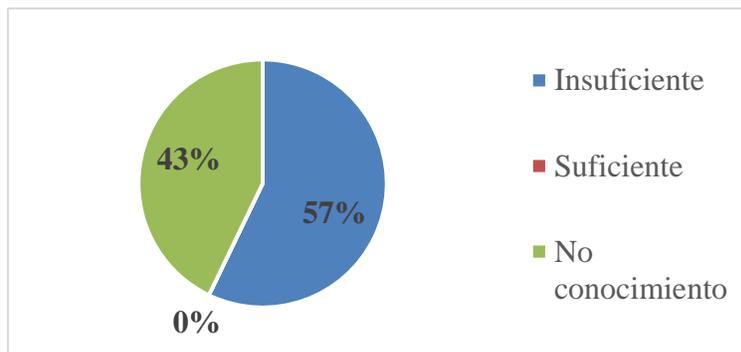
Fuente: autora

En lo que respecta al punto de vista frente al *aprovechamiento turístico*, 6 informantes tienen un criterio *negativo* y 6 un pensamiento *positivo*, como se hace evidente en las entrevistas, ver Figura 52. Sobre la *legislación con suficientes fundamentos* para el desarrollo de la energía geotérmica, todos los actores con los que se tocó el tema (8), optaron por la legislación *insuficiente*, ver Figura 53. Por otro lado, en el ítem sobre la *identidad* del pueblo frente al recurso, se determinó por la profundidad de sus respuestas que, en su mayoría, los informantes mostraron una cierta identidad; el conocimiento fue intermedio con predominio a bajo, con una suma de 11 informantes, ver Figura 54.



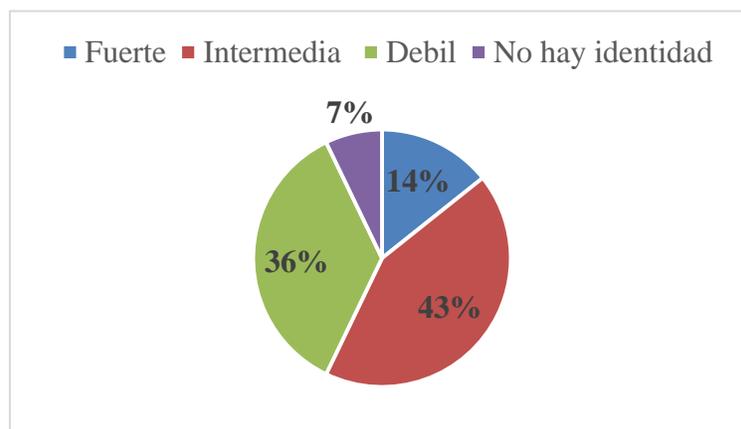
**Figura 52.** Punto de vista frente al aprovechamiento turístico

Fuente: autora



**Figura 53.** Suficiencia legislativa

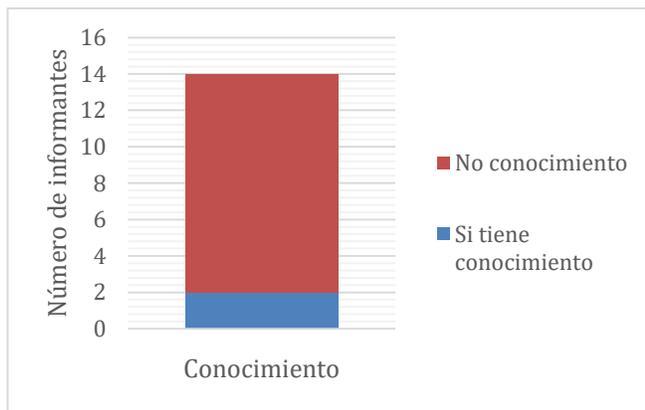
Fuente: autora



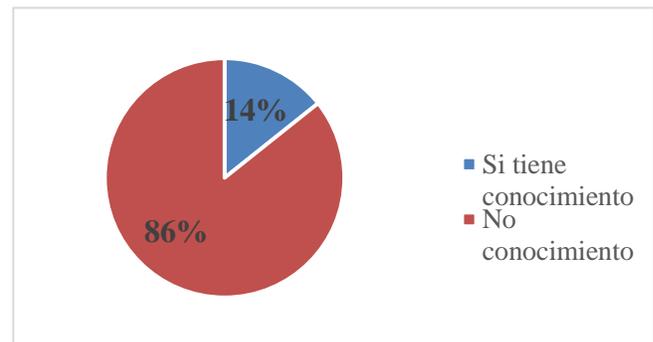
**Figura 54.** Identidad frente al recurso

Fuente: autora

Frente al conocimiento o aporte de la zonificación del paisaje salino y frente a un escenario de ordenamiento del recurso geotérmico salino para eco-turismo, se tocó el tema con solo 3 informantes de los 13 habitantes de Paipa debido a su manejo y conocimiento sobre el tema. En temas de ecoturismo, según Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal) “...toca darle un uso especial desde el punto de vista de conservación, aislar totalmente el recurso, esa es la mejor manera de hacer protección y no permitir las licencias de construcción, definir las áreas y limitar bien los humedales para generar el manejo adecuado del recurso, para aprovecharlo en ecoturismo como en unos senderos sobre el humedal, me parecería que es como la mejor alternativa es un potencial que por el momento no se aprovecha aportes de Platón alternativas...”.Adicionalmente, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal) afirma que “... lo que se debe hacer con el ecosistema, es cuidarlo y al cuidarlo ver cómo se puede sacar ganancias que es lo que nosotros hemos propuesto por ejemplo con el ecoturismo, que es llevar a las personas, que nos paguen por ponerlos a conocer, pero a la vez concientizarlos de que se debe cuidar el recurso para que ellos transmitan el mensaje y la publicidad de cuidar las cosas...”. Según Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal), el panorama de zonificación del paisaje salino es “...la solución para corregir el problema de sobre explotación de las fuentes hidrotermales y de las zonas de recarga hídrica...” pero existe un problema que “...radica en la hotelería, al ser varios los actores y beneficiarios de la fuente hidrotermal la responsabilidad en aspectos ambientales de preservación de las zonas de recarga hídrica no se evidencia, aunque se les dice, pero no se genera contraprestación por proteger o cuidar esas zonas de recarga hídrica... entonces aparecen unas herramientas que son de carácter institucional que son la para que esas zonas de recarga hídrica o zonas de influencia directa e indirecta en las mismas aguas termo minerales tengan la posibilidad de ser declaradas áreas protegidas y tengan un manejo especial”, ver Figuras 55 y 56.



**Figura 56.** Gráfica de conocimiento del panorama de zonificación del paisaje salino  
Fuente: autora

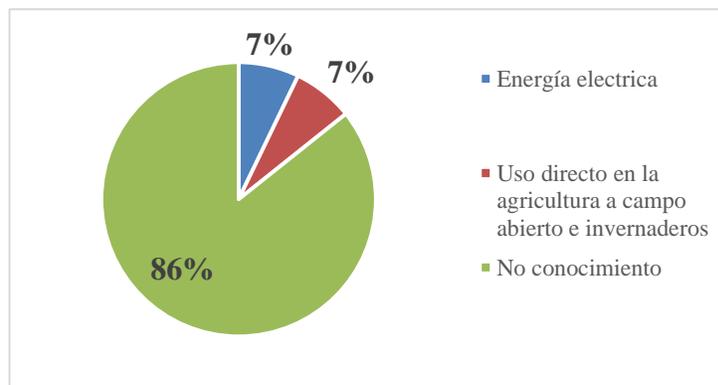


**Figura 55.** Conocimiento del ordenamiento del recurso geotérmico salino, para eco-turismo  
Fuente: autora

Adicionalmente, en temas detallados de costos, impactos, proyectos y opciones factibles de aprovechamiento hidrotermal (industriales a pequeña escala), es evidente que son pocos informantes que tienen conocimiento sobre el tema. En primer lugar, sobre costos solo 2, de los 13 informantes saben

sobre las alternativas de turismo y agricultura e invernaderos. Sobre el costo de la generación eléctrica por medio de una planta geotérmica, según Luis Franco (2018, septiembre 25, comunicación personal vía Skype), el costo aproximado de una planta “...si todo sale con los precios mínimos sale por 142 millones de dólares aproximadamente, pero... eso casi nunca sale por lo mínimo... algunas veces de va de 196 a 275 millones de dólares, más o menos”. En temas de costos aproximados de un invernadero con sistema de calentadores solares, en las entrevistas se habló de un costo estimado del invernadero con el material básico: “...el calentador que vale 1’700.000, aunque yo ya he hecho tres se ven muy, o sea, de pronto no para cosas industriales si no personales, artesanales” Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), ver Figura 57.

Los impactos identificados en la recolección de información primaria se clasificaron en diferentes categorías, la ecológica, sociocultural, tecnológica y física, evaluando las siguientes alternativas: aprovechamiento turístico, generación eléctrica, pagos por servicios ecosistémicos, usos industriales, usos domésticos, cultivo de organismos termófilos, cultivo de peces y mariscos o en agricultura a campo abierto e invernaderos.



**Figura 57.** Conocimiento frente a los costos de las diferentes alternativas

Fuente: autora

En primer lugar, en el aprovechamiento turístico se determinaron 7 informantes que expresaron impactos *ecológicos* negativos, y 1 positivo. Dentro de los impactos negativos, se resalta la intervención de Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal): “...el turismo así como todas las actividades humanas y antrópicas terminaran generando un efecto nocivo... hoy en día también ya sabemos, pues sin necesidad de un estudio más avanzado que si llegan muchas personas y hacen un uso indiscriminado del recurso, van a terminar generándose unos vertimientos que terminarán afectando pues las cuencas, en este caso, la cuenca del Chicamocha, que es el río que pues prácticamente recorre a todo Boyacá”. Aparte de este impacto, según Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal) “el lago Sochagota ha venido sufriendo una especie de sedimentación, porque pues el resto de las aguas lluvias que trae lodos que trae todo lo que digamos conlleva las aguas residuales o las aguas de escorrentía, entonces viene sufriendo una sedimentación por lo tanto hace que el lago cada día a día vaya siendo menos profundo”. Otra observación negativa frente a la alternativa es que “... el recurso termal

según lo documentado por el Servicio Geológico desde cuando era en INGEOMINAS hasta la fecha, ha venido cambiando, desde las ubicaciones de los afloramientos hasta su composición físicoquímica, digamos, y es urgente conocer qué es lo que está pasando...”, lo anterior expresado por Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), ver Figuras 58, 59 y 60.

El único informante con perspectivas positivas frente a esta alternativa fue Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), quien dice que sus aguas servidas salen con menor concentración de minerales, sales, tensoactivos y químicos, debido a la absorción corporal de estos elementos por parte de los usuarios. Además, afirma que el Instituto de Turismo de Paipa, ITP, economiza un porcentaje importante a nivel energético, al tener un sistema de intercambio de temperatura entre las aguas termominerales a más de 75° y corrientes de agua dulce, para no usar calentadores eléctricos en las duchas del lugar, ver Figuras 58, 59 y 60.

Frente a los impactos *socioculturales*, se identificaron 3 informantes con opinión positiva y 2 con punto de vista negativo. Según Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal) el turismo es un tema de importancia e identificación arraigada del pueblo Paipano, debido a que “... el municipio adecuó unos pozos a través de los cuales captan estas aguas y construyen piscinas de baño hidrotermal, con la connotación de salud y recuperación en temas de enfermedades en articulaciones y demás... sin embargo se ha desarrollado una costumbre y tradición de paseo familiar en donde se “recocha” en las piscinas ...”. Adicionalmente Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), afirma que la gente de Paipa, está completamente conforme con la alternativa turística, porque a través del tiempo ha demostrado ser un aporte significativo en el desarrollo municipal. Respaldando lo anterior Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal) expone que para la comunidad paipana “es más que agua, se habla de una vocación de protección de toda la zona, habla de las tradiciones culturales alrededor del termalismo y de las estrategias de conservación que bien o mal han permitido que el recurso exista hasta la fecha, se puede entender también como una fuente, digamos, de ingreso y de movilidad de la economía local”, ver Figuras 61, 62 y 63.

Respecto a los puntos de vista negativos, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal) afirma que como toda actividad antrópica el turismo “terminaran generando un efecto nocivo” que incrementa a medida que el flujo turístico y el “uso indiscriminado del recurso” aumentan. Por otro lado, Olegario Avella (2018, septiembre 15, comunicación personal) expresó que él no estaba de acuerdo con el turismo, debido a que esta actividad genera “enfermedades, delincuencia, contaminación”, quitándole la seguridad y tranquilidad al pueblo, además también resalta que el desarrollo y la “plata a unos pocos”. En concordancia con lo anterior, Lorena Cuesta (2018, septiembre 15, comunicación personal), expresa que desde su punto de vista, el turismo es sobrevalorado por la población “...que no ha sido aprovechado de la mejor manera, siempre es para ciertas personas, para los del gremio hotelero, ¿Y el resto qué?...”, ver Figuras 61, 62 y 63.

Frente a los impactos tecnológicos, solo 1 informante expone con punto de vista positivo, Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), que dice “...toda la infraestructura está construida hace mucho tiempo, por eso no se requiere de mayor remodelación, pero si se decidiera cambiar algo, no se generaría mayor impacto pues toda la zona se ha venido modificando con fines turísticos, así que el paisaje se seguiría viendo igual, no tendríamos que talar árboles ni mucho menos eliminar especies, como pasaría si se aplicara una nueva alternativa de uso del agua termal”, ver Figuras 64 y 65.

Frente a los impactos físicos solo se identificó 1 informante, que expresa el impacto negativo sobre el paisaje, a raíz de la renovación y creación de infraestructura turística a través del tiempo, y Olegario Avella (2018, septiembre15, comunicación personal) dice que él ha podido ver la degradación del ecosistema termo-salino, por su permanente presencia en el municipio, “uno que ha visto donde estaban antes los humedales y eso... construyen hoteles y vainas sobre las aguas calientes y se pierden los animales, el paisaje y todo lo que uno estaba acostumbrado a ver únicamente en este tipo de ambientes, y la gente se olvida de todo esto, yo ya me cansé de pelear”, ver Figura 66.

En segundo lugar, para la *generación de energía eléctrica*, se identificó 4 informantes que expusieron impactos ecológicos positivos y 2 negativos. Como primer testimonio, Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal) dijo que debido a que “...es una de las fuentes de energía naturales que ofrece la tierra y que es una fuente de energía alternativa, no impacta el medio ambiente ni la salud de la población tanto como otras plantas eléctricas si lo hacen”. Por otro lado Lorena Cuesta (2018, Septiembre15, comunicación personal) expone la posibilidad de “...generar electricidad a futuro, aprovechando la energía geotérmica reduciría las cantidades de gases efecto invernadero producidos por la quema de carbón para la producción eléctrica...es decir sería algo genial hacer una planta geotérmica porque es una fuente de energía renovable, que es muy amigable con el medio ambiente, pero pues a la vez costosa y segundo que no ha sido implementada”. Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal) también da a conocer su punto de vista frente a los beneficios de esta alternativa “digamos se puede implementar una planta de generación de energía y pues con el agua a menor temperatura se puede utilizar en las actividades que mencioné antes, además que si se implementa una planta renovable, se estaría disminuyendo impactos atmosféricos, al suelo, al agua, y pues los vertimientos no existirían pues el recurso se reinyectaría”. Según Luis Franco (2018, Septiembre25, comunicación personal vía Skype), las plantas geotérmicas de El Salvador, al comparar “sus emisiones, vertimientos, ruidos y otros impactos... son muchísimo menor que si se habla de una planta de generación de eléctrica de fuentes fósiles o inclusive de las mismas centrales de generación de plantas con base en energías renovables”, ver Figuras 58, 59 y 60.

Por otro lado, los impactos negativos, según Flor Imelda Castro (2018, agosto 18, comunicación personal) al realizar las perforaciones en la fase de exploración o de operación “...se corre el riesgo que piquen un pozo de agua dulce que está a menos de 100 metros, aunque ellos dicen que lo tapan, pero eso es mentira, eso después que toquen una vena de agua es difícil que la puedan tapan, eso es absurdo”. Respaldo lo anterior, Olegario Avella (2018, Septiembre15, comunicación personal) asegura que “las perforaciones nunca serán buenas, pues como nosotros no tenemos los recursos, entonces nosotros, como le digo... de manera empírica creemos que nos pueden estar dañando las corrientes de agua de nuestras poblaciones, porque eso ya ha ocurrido, en Tibasosa, ellos tuvieron consecuencias hídricas”, ver Figuras 58, 59 y 60.

Frente a los impactos socioculturales, 3 informantes dieron testimonios positivos y 2, negativos. En cuanto a los positivos Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal), Luis Franco (2018, Septiembre 25, comunicación personal vía Skype) y Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), convergen en que la implementación de una planta geotérmica incrementa la posibilidad que la gente le pierda miedo al recurso y tenga nuevas y mejores oportunidades de ingreso económico, como

la deshidratación de frutos, tintura de lanas, fabricación de velas, calefacción, cocción de alimentos, entre muchos otros, por lo que se “aumenta su identidad con el recurso”. Los impactos negativos provienen de los habitantes de Paipa que están en una posición reacia frente a esta alternativa de aprovechamiento, ver Figuras 61, 62 y 63.

Dentro de los impactos físicos, se identificaron 2 informantes habitantes de Paipa, Olegario Avella y Flor Imelda Castro, cuyo punto de vista es negativo debido a que se encuentran en una posición de inconformidad frente a la implementación de esta alternativa, ver Figura 66.

En tercer lugar, frente a los *cultivos de organismos termófilos* se identificaron 2 impactos ecológicos negativos y 1 positivo. Según la opinión de Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), la implementación de esta alternativa es poco factible, porque los organismos termófilos se contaminan con especies similares fácilmente, por lo que el cultivo requiere de monitoreos continuos, “entonces, a pesar que es un tema interesante, requiere de gran inversión de tiempo, y aun no se ha hecho un estudio verídico que diga cómo usar las algas y que transformación hay que hacerles para que sirvan en industrias diferentes a la salud”, corroborando lo anterior el Secretario de Agricultura Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal), asegura que pensar en un cultivo de organismos termófilos como algas es difícil “...porque como estas ya se dan de forma natural y pues no se tienen conocimiento de las especies que tienen usos energéticos o de otra índole, porque solo se sabe de las que la gente usa para el cuerpo y cosas de salud...”. Por otro lado, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), afirma que, si es viable la implementación de esta alternativa, y se remite a un documento reciente que advierte de la existencia de un “...organismo que se produce naturalmente en un pozo de la vereda de La Esperanza, que posiblemente tenga valor tecnológico, en síntesis, de sustancias, o temas similares de interés científico e industrial”, ver Figuras 58, 59 y 60.

Frente a los impactos socioculturales, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal) asegura que “...la producción, cultivo y venta de estos organismos y sus propiedades puede traer ingresos más rentables a la gente del pueblo...” siendo este un impacto positivo, además que “... no sería tan dañino como el turismo, minería, agricultura o ganadería, que es lo que mueve la economía ahora”, ver Figuras 61, 62 y 63.

Frente a los impactos tecnológicos 1 positivo y 1 negativo, con respecto al impacto positivo, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), expone que, para realizar un cultivo de algas, no se requiere de tecnologías o instrumentos avanzados, “estos cultivos no necesitan de mayor infraestructura, se pueden introducir en pozos naturales ya existentes o simplemente conducir las aguas termales a pozos no muy grandes sin alterar el paisaje fuertemente”, ver Figuras 64 y 65.

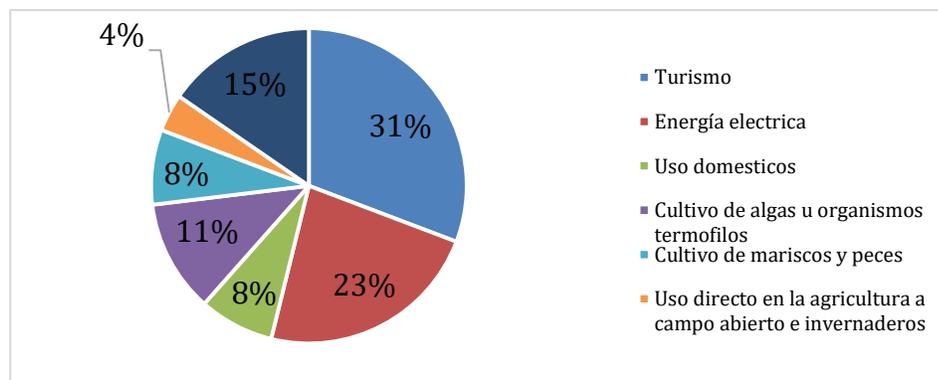
En cuarto lugar, en el *cultivo de mariscos y peces* se identificó un impacto ecológico negativo y otro positivo, Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), afirma que al ser cultivos que no quieren de infraestructuras a gran escala, generan un impacto ecológico casi nulo, debido a la existencia endémica de especies similares, sin embargo el uso hídrico termo-mineral para el intercambio térmico, impacta en cierta magnitud al recurso, afirma que él ya ha realizado cultivos de peces, pero con sistemas de calefacción solar, pero que ha sido cuestión de ensayo y error, por falta de estudios de factibilidad de

las especies, temperatura, cantidad a cultivar y otros factores influyentes para su pleno desarrollo en el cultivo. Por otro lado, Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal) afirma que actualmente hay especies de langostas de río introducidas en el Río Chicamocha, pero no es viable su cultivo, debido a la inestabilidad de las características físicas de esta parte del cuerpo hídrico, su temperatura depende del funcionamiento y enfriamiento de las torres pertenecientes a la termoeléctrica, además si se piensa en consumo de estas, no es factible pues no hay un estudio que asegure que los animales estén en condiciones sanitarias aptas, ver Figuras 58, 59 y 60.

Los impactos socioculturales y tecnológicos, se identificó 1 impacto positivo, debido a los temas anteriormente especificados por Wilmer Pulido, adicionalmente la posibilidad y facilidad de desarrollo de este tipo de aprovechamiento genera nuevas vías de ingreso económico a la sociedad civil paipana, ver Figuras 61, 62 y 63.

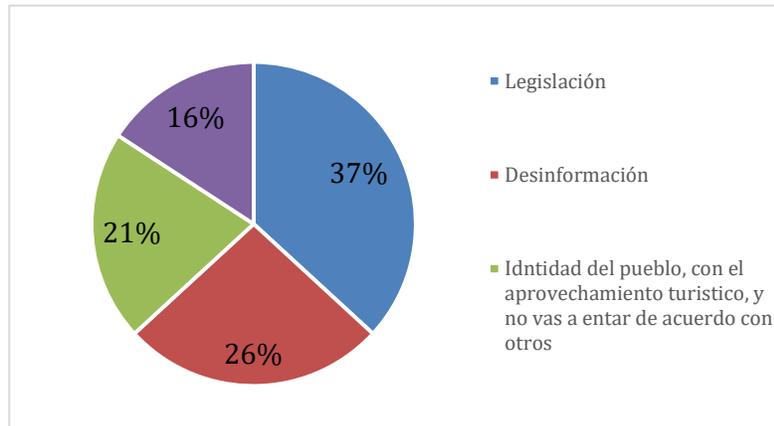
Finalmente, para la aplicación en agricultura e invernaderos el único impacto ecológico identificado fue positivo (ver Figuras 58 y 59), Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), expone que, debido a la sencillez de implementación y producción, produce un impacto imperceptible. Por otro lado, asegura que los impactos socioculturales, por el hecho de usar energía geotérmica, los procesos se agilizan, generando mayor productividad en menor tiempo, facto que conduciría a que la población del municipio arraigue su identidad con el recurso, ver Figuras 61, 62 y 63.

Frente a los impactos tecnológicos, se encontró 1 positivo, según Wilmer Pulido (2018, agosto 18, comunicación personal), la implementación de un invernadero es una alternativa "...muy sencilla...saldría por un total aproximado de 3'000.000 de pesos, por un invernadero de un invernadero de 40 m2 por 10m2 por 4m, y que quede con un sistema de riego, con agua termal o solar-geotérmica. Dentro del monto total se habla de un rango de 500.000 a un1'000.000 de pesos, contemplando costos de materia prima y mano de obra, como plástico cobertor, ramas de eucalipto y fuerza humana, y el calentador solar si los que comercialmente venden son desde 1'500.000 hasta 2'800.000", ver Figuras 64 y 65.

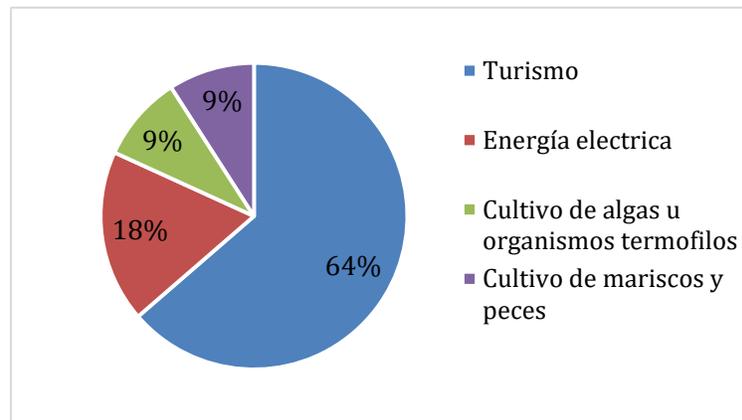


**Figura 58.** Impactos ecológicos identificados por cada alternativa

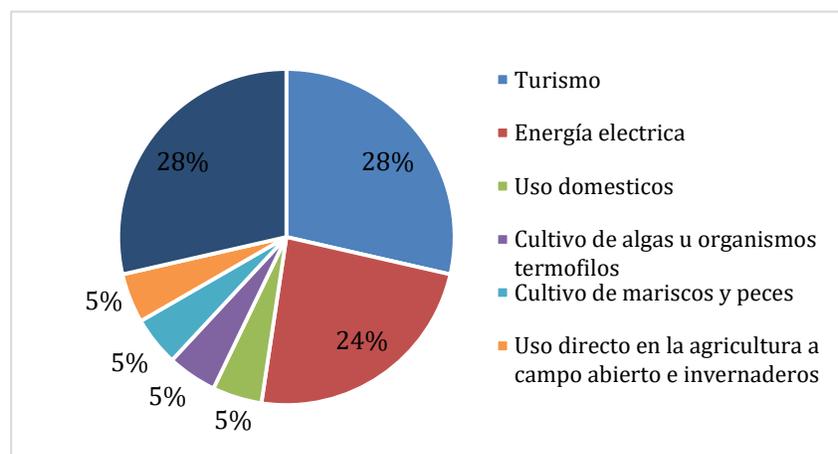
Fuente: autora



**Figura 59 .** Impactos ecológicos en positivos por cada alternativa  
Fuente: autora



**Figura 60.** Impactos ecológicos en negativos por cada alternativa  
Fuente: autora

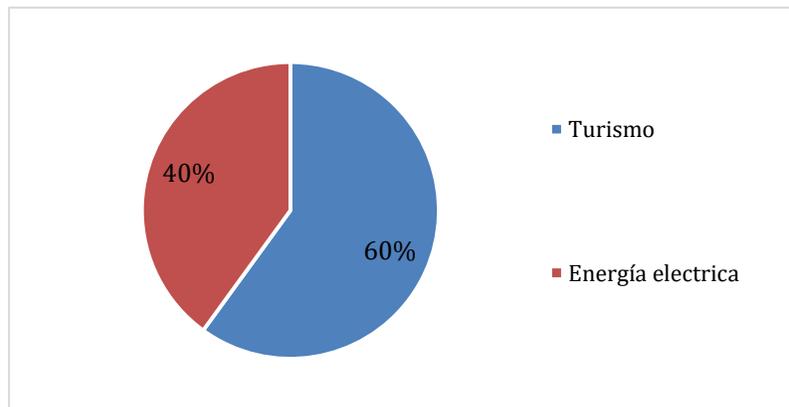


**Figura 61.** Impactos socioculturales de cada alternativa.  
Fuente: autora



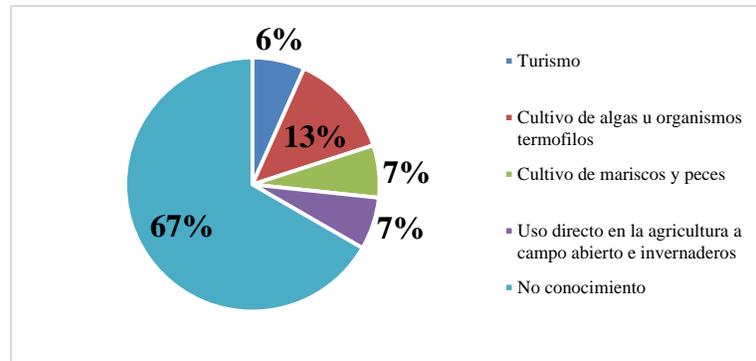
**Figura 62.** Impactos positivos socioculturales de cada alternativa.

Fuente: Autora.



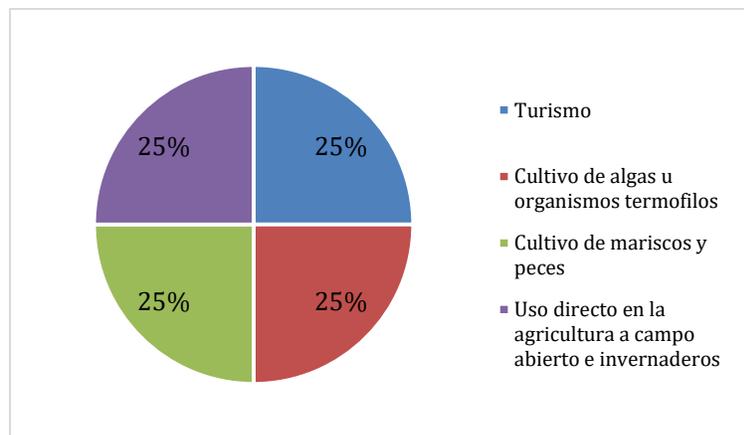
**Figura 63.** Impactos negativos socioculturales de cada alternativa.

Fuente: Autora



**Figura 64.** Total de impactos tecnológicos de cada alternativa.

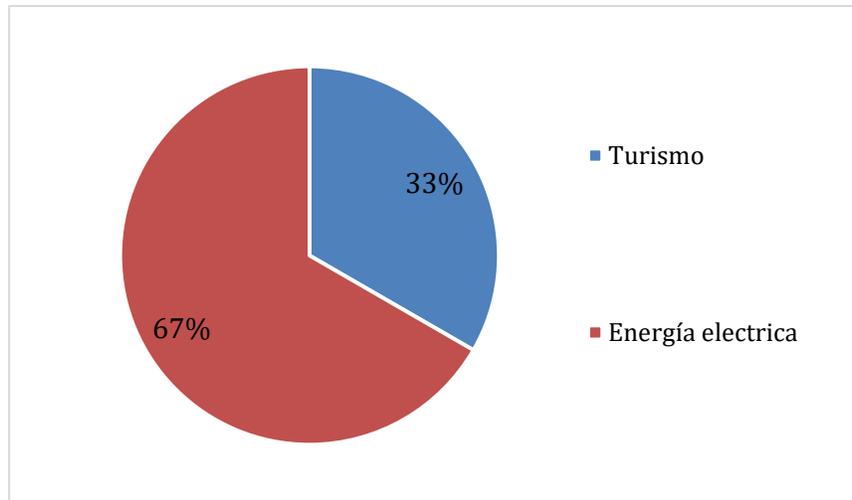
Fuente: autora



**Figura 65.** Impactos tecnológicos positivos de cada alternativa.

Fuente: autora

La mayoría de los informantes identificaron el turismo como uno de los proyectos más factibles, debido a que como ya está implantándose su continuidad es más viable que iniciar nuevas alternativas. Frente a la alternativa de generación de energía eléctrica, solo 4 informantes la catalogaron como viable. En temas de Pagos por Servicios Ambientales, solo un informante la catalogó como viable. Respecto a los usos industriales, se aportaron nuevas alternativas como la producción de agua mineral embotellada, (con una frecuencia de 2 informantes), tintura de lana (1 informante), fabricación de velas (1 informante), cava de queso Paipa (1 informante), pasterización de leche (1 informante) y deshidratado de frutas (cuya frecuencia de informantes fue de 4). Frente a los usos domésticos y cultivos de organismos termófilos se determinó una opinión de viabilidad para cada uno. Finalmente, para el cultivo de mariscos y peces, al igual que para la implementación en la agricultura a campo abierto e invernaderos, se determinaron 3 informantes que las describen como alternativas viables (ver Figura 64).



**Figura 66.** Impactos físicos totales

Fuente: autora

La alternativa que presenta una mayor frecuencia de obstáculos es la generación de energía eléctrica, con un total de 8 informantes; le sigue el uso directo en agricultura e invernaderos, el cultivo de mariscos y peces y los usos domésticos, cada uno con una frecuencia de 7 informantes; el siguiente es el turismo con un total de 6; y por último, con una frecuencia de 4, cada uno se encuentran los Pagos por Servicios Ambientales, los usos industriales y el cultivo de organismos termófilos, ver Figura 65. Los obstáculos identificados se resalta el desinterés por parte del pueblo y del estado, con una frecuencia de informantes de 8; seguido de la legislación insuficiente con 7 informantes; en tercer lugar se encuentra la desinformación con 5 informantes; luego se posiciona la identidad del pueblo con el recurso, con 4; y por último, se encuentra la poca inversión de recursos económicos para el desarrollo de actividades económicas alrededor de la energía geotérmica, con un total de 3 informantes (ver Figura 66).

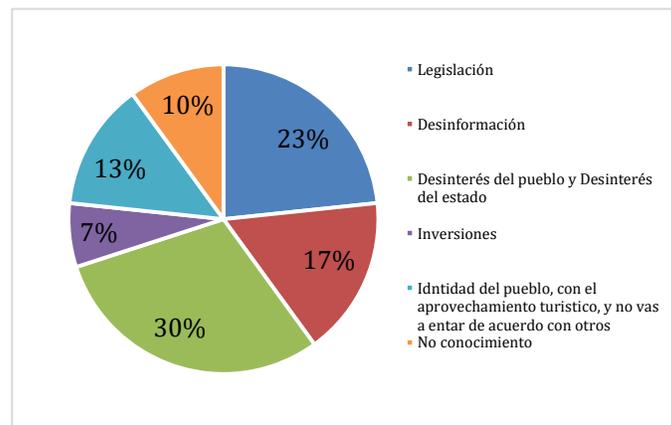
A continuación, se destacan los principales testimonios de los obstáculos identificados por los informantes. Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal) afirma que en tema de inversiones es donde hay mayores impedimentos: "...creo que la inversión el estado como tal, no tiene el direccionamiento entonces ahí ya tocaría como inversionistas privados qué quieren hacer como ese tipo de proyectos...". Por otro lado, la desinformación, es un tema de relevancia, como lo expresa Lorena Cuesta (2018, Septiembre15, comunicación personal) "...sería muy bueno implementarla energía geotérmica aquí en Paipa, ¿No?, aunque pues tengamos muchísimas condiciones y pues precariedad como tal a nivel de conocimiento técnico y científico".

En temas de cultivos de organismos termófilos, Javier Díaz Cerón (2018, agosto 24, comunicación personal), afirma que "...aún no se ha hecho un estudio verídico que diga cómo usar los organismos termófilos ni que transformación hay que hacerle a las algas para comercializar su potencial tecnológico".

Por otro lado frente a la alternativa industrial del comercialización de agua mineral embotellada, Diana Pérez (2018, 15 de septiembre, comunicación personal) afirma que "...se necesita mucho conocimiento de base de orden técnico-científico, que solo puede desarrollar específicamente entidades dedicadas a eso, como el Servicio Geológico Colombiano..."; pero la comunidad tienen una posición "...renuente al desarrollo de este tipo de investigaciones y hasta que eso no se conozca y se determine el potencial en

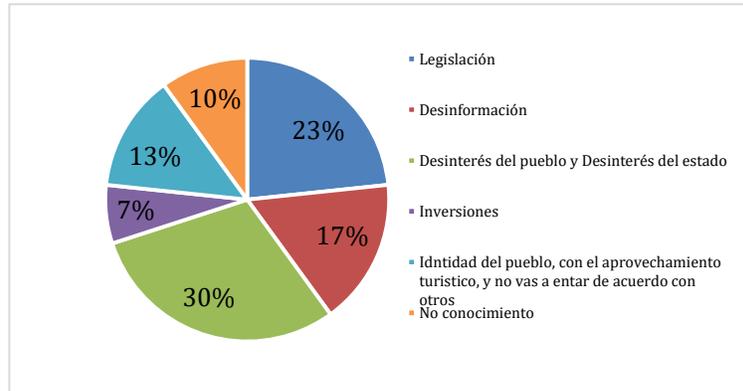
usos, no se va a poder hacer un aprovechamiento efectivo...” Diana también afirma que este desconocimiento posiblemente provoca que la población no se dé cuenta que el “...proceso de colmatación, que se hace sobre los afloramientos termales en el turismo, con los balnearios puede estar generando un deterioro de los mismos...” y ellos por la misma desinformación estén apoyando actividades nocivas para el recurso, este es un problema “...muy difícil de llenar, no es que nosotros seamos sabios, ¡no!, ¡para nada! Estamos aprendiendo, pero pensamos que la generación de conocimiento es importante, en términos de comprender los temas del ordenamiento, de la territorialidad, de sostenibilidad, de cómo se cruzan esos diferentes campos de la cultura, del medio ambiente, la sostenibilidad, como para hacer territorios más coherentes con las dinámicas de cambio de la vida contemporánea caracterizada por la crisis, el riesgo, todo ese tipo de cosas... Porque lo mejor para atender un escenario de riesgo es tener conocimientos suficientes para saber qué es lo que pasa y cómo abordarlo, generar insumos para la toma de decisiones, ese ha sido como nuestro papel, que hemos decidido tener...”.

Con respecto a los temas de oposición de la sociedad civil, el ITP expone que es un obstáculo, porque “...para generación de otra energía alternativa, tiene que tener claro que se pierden también parte de lo cultural porque estás piscinas vienen funcionando desde 1934 el municipio es conocido por su tratamiento con las aguas termo minerales entonces se perderían estas propiedades y el beneficio como tal a la comunidad hay unidad de la alcaldía que trata niños especiales que vienen a hacerse fisioterapia entonces mucha gente se ve beneficiada...”, lo anterior lo afirma Tito Currea (2018, agosto 24, comunicación personal), ver Figuras 65 y 66.



**Figura 67.** Obstáculos identificados en las respuestas dadas por los informantes

Fuente: autora



**Figura 68.** Desarrollo de alternativas que presentan obstáculos.  
Fuente: autora

A modo de síntesis, se tabularon los resultados de las entrevistas en la matriz de organización de la información primaria, que se observa en la siguiente página.



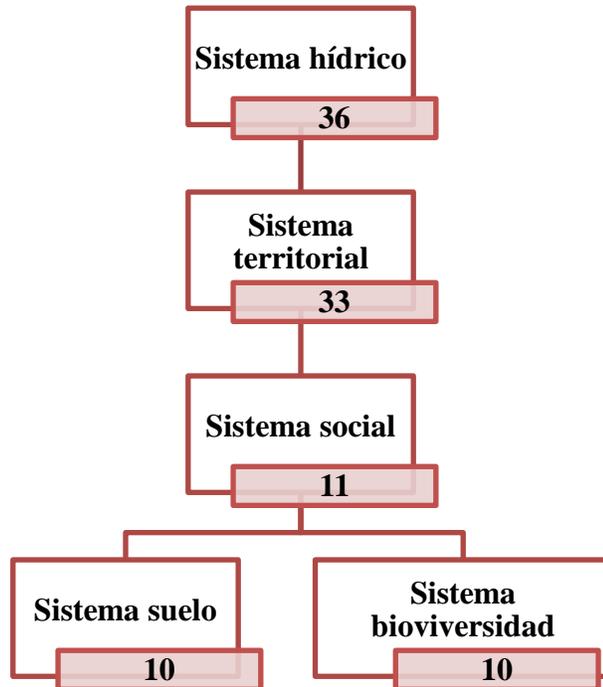
Para llevar a cabo la identificación y caracterización de alternativas para el aprovechamiento del potencial geotérmico en Paipa, se elaboraron dos matices: en primer lugar, la matriz de descripción y ponderación de criterios iniciales de la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa; y en segundo lugar, una matriz de descripción de alternativas.

**Tabla 15.** Matriz de criterios para la evaluación de alternativas de uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa

Matriz de descripción y ponderación de criterios iniciales de la evaluación de alternativas para el uso y aprovechamiento del recurso hidrotermal salino en Paipa	
Criterios	Ponderación
<b>Territoriales</b>	<b>33</b>
Singularidad del paisaje	13
Importancia del paisaje para la localidad y la región	9
Vulnerabilidad del paisaje	11
Sistema suelo	10
Paisaje salino	4
Suelos salinos	4
Suelos de vertientes con laderas inestables	2
<b>Sistema hídrico</b>	<b>36</b>
Humedales termo-salinos	12
Fuentes hidrotermales	10
Dársenas salinas	9
Canales naturales de drenaje	5
Sistema biodiversidad	10
Ecosistemas hidrotermales	6
Ecosistemas dulce acuícolas	2
Ecosistemas terrestres	2
<b>Sistema social</b>	<b>11</b>
Bosques plantados	2
Agro-ecosistemas	2
Sistemas construidos	4
Importancia socioeconómica	2
Importancia cultural e histórica	1
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: Autora

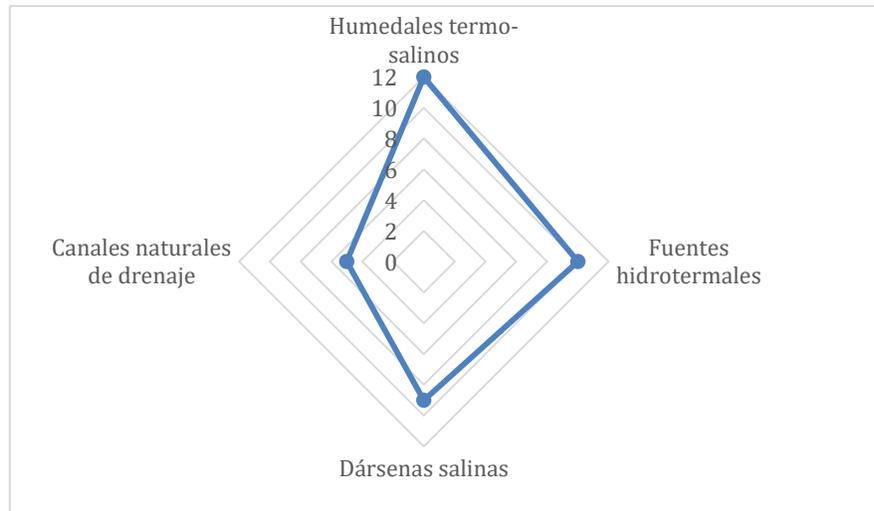
A continuación, a modo de síntesis se esquematizan los resultados de la matriz de criterios para la evaluación de las alternativas, por medio de un diagrama de jerarquía, basado en la valoración de relevancia de los criterios y sus respectivos subcriterios inicialmente identificados, ver Figura 67.



**Figura 69.** Diagrama jerárquico según la relevancia de los sistemas evaluados en la matriz de criterios

Fuente: autora

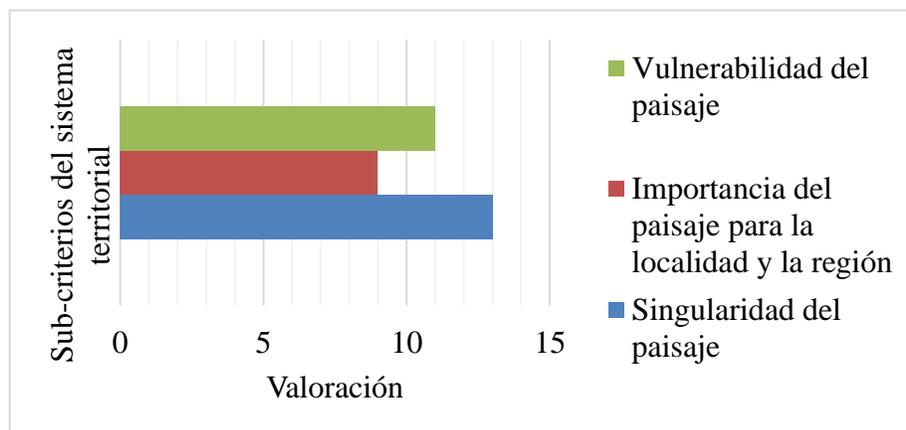
Las ponderaciones se determinaron por medio de la triangulación de información primaria, secundaria y de observación, como se muestra en la figura 73. Se calificó como el criterio más relevante, por la importancia que representa *componente hídrico* dentro del sistema geotérmico. Uno de los subcriterios más importantes de este componente son los *humedales termo-salinos*, los cuales cumplen el papel de recarga hídrica, por eso se les valoró con 12 puntos. A pesar de su valor, a lo largo del tiempo se han visto afectados negativamente por la mala planeación turística, razón por la cual no son muy numerosos en la actualidad dentro de la zona de conservación del paisaje salino. El siguiente subcriterio son las *fuentes hidrotermales*, que en el municipio se totalizan 5; se le calificó con 10, porque son el hábitat para muchas especies endémicas y son los comúnmente llamados respiraderos, que contribuyen en la regulación térmica del sistema. La *zona de dársenas* cubre una extensión de 452,68 m<sup>2</sup>, a pesar de ser un área seminatural es de gran importancia dentro del paisaje salino, por lo que se le valoró con 9 puntos, un factor que lo distingue es su abandono hace décadas atrás. A la igual que los otros subcriterios, se ha venido degradando por la construcción de infraestructuras como las Cabañas de San Cayetano, el Aeropuerto y las piscinas de SALPA, también se identificaron dos canales naturales de desagüe, que alimentan las dársenas, a estos se les calificó con 5 puntos, ver Figura 68.



**Figura 70.** Gráfico de cotización radial representando la ponderación de los subcriterios del sistema hídrico

Fuente: autora

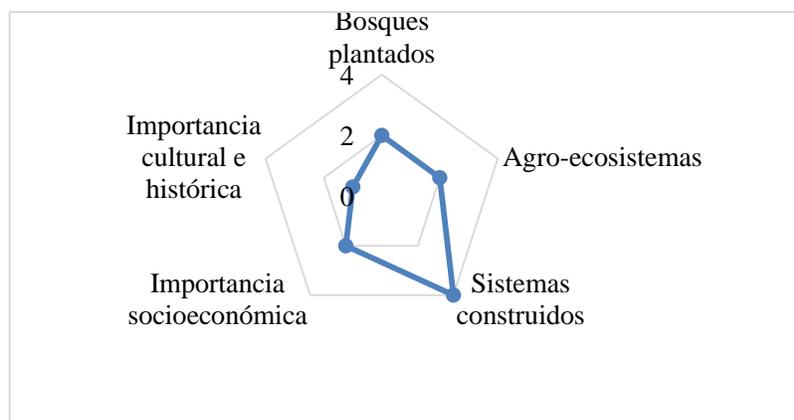
El segundo criterio relevante es el *territorial*: debido a la *singularidad del paisaje*, Paipa, es el único municipio en Colombia que tiene un paisaje cuya connotación mezcla recursos hídricos salinos-termomineralizados con aguas dulces, por lo que se le valoró con 13 puntos. En el Municipio los afloramientos tienen características diferentes, según Rafael Bayona (2018, agosto 24, comunicación personal) “...existen aguas frías pero salinas, aguas tibias, pero dulces, azufro-salinas frías y azufro-salinas calientes...”. Estas peculiaridades son la razón por la que debería ser tratado como un paisaje de conservación, pero, por lo contrario, ha sido y continua siendo el centro del desarrollo turístico de Paipa, lo que lo aumenta su *vulnerabilidad* por falta de planificación ambiental-territorial; por estas razones se le valoró a este subcriterio con 11 puntos. Lo anterior pone en clara evidencia que la *importancia del paisaje*, para la comunidad, es mínima, pero es de urgencia el cambio de percepción frente al recurso, por lo que se le valoró con 9 puntos, ver Figura 69.



**Figura 71.** Representación de la valoración de los sub-criterios del sistema territorial, por medio de un gráfico de barras.

Fuente: autora

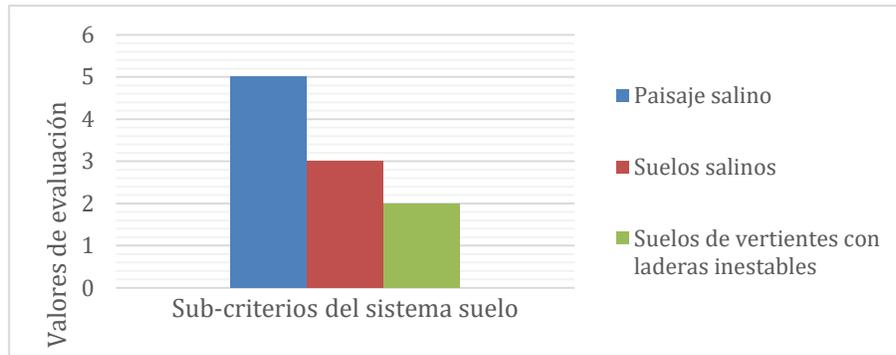
El *sistema social*, se catalogó como el tercer criterio en términos de significancia en la investigación, el sub-criterio con mayor ponderación fueron los *sistemas construidos*, debido a su gran influencia en la degradación, segmentación y desaparición del paisaje termo-salino, por eso se le valoró con 4 puntos. Por otro lado, la población paipana cumple un papel crucial frente al desarrollo de proyectos, si estos modifican elementos *culturales, históricos o recursos indispensables para la sociedad*, se torna en un obstáculo, pero el recurso termosalino actualmente se afecta por las actividades productivas del municipio, la minería y el turismo, y debido al desconocimiento y la carencia de estudios relacionados nadie se opone a estas, por lo que se le valoró con 1 punto, pero al implementar nuevas alternativas de aprovechamiento del recurso termo-salino, se podrían optimizar los procesos en los sistemas agrícolas y el turismo, beneficiando el sistema *socioeconómico* de la región, a este subcriterio se le valoró con 2 puntos. Por otro lado, el paisaje salino está enmarcado por *plantaciones forestales* de eucalipto que han alterado las zonas de recarga hídrica, actividad que fue favorecida por proyectos de reforestación de la Secretaría de Agricultura de Boyacá, durante las época de 1940 -1970, esto afectó gravemente al recurso termosalino, por lo que se le calificó con 2 puntos, finalmente a los *agro-ecosistemas*, se le calificó con 2 puntos, entendiéndolos como las actividades agrícolas desarrolladas en la actualidad, agricultura a pequeña escala, ganadería semi-intensiva, porcicultura, crianza de aves de corral, entre otras, debido a su importancia para la economía de la región y la posible optimización productiva al realizar un uso directo de la energía geotérmica, ver Figura 70.



**Figura 72.** Representación de la valoración de los subcriterios del sistema social, por medio de un gráfico de cotización radial

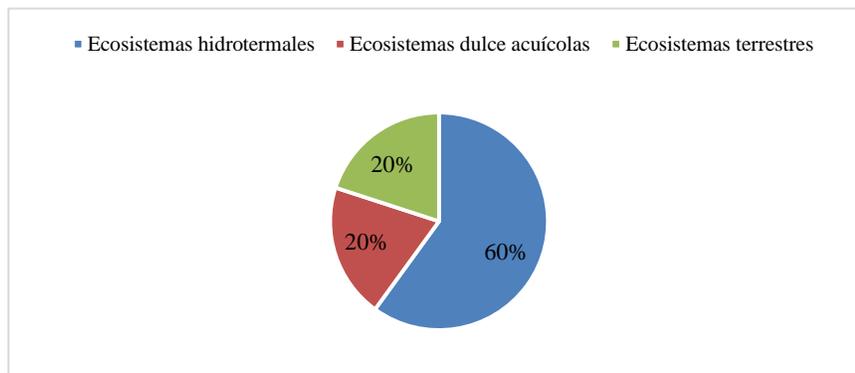
Fuente: autora

El *sistema del suelo*, aunque hace parte del paisaje salino, se le otorga una valoración menor a la otorgada al sistema hídrico, debido a que el recuso objeto de estudio es el hídrico, sin embargo, estos suelos salinos y de vertientes con laderas inestables son afectados por las actividades económicas actuales y posiblemente al implementar nuevas alternativas, se minimicen los impactos, dando oportunidad a la recuperación y conservación del paisaje salino. El subcriterio con mayor valor es el *paisaje salino*, 5 puntos, por sus características particulares, el siguiente son los *suelos salinos*, con un valor de 3 puntos, por ser un componente complementario con el recurso hídrico termosalino, y finalmente las vertientes con laderas inestables, que son los suelos no salinos ubicados en la altiplanicie de las montañas, a los que se les valoró con 2 puntos, ver Figura 71.

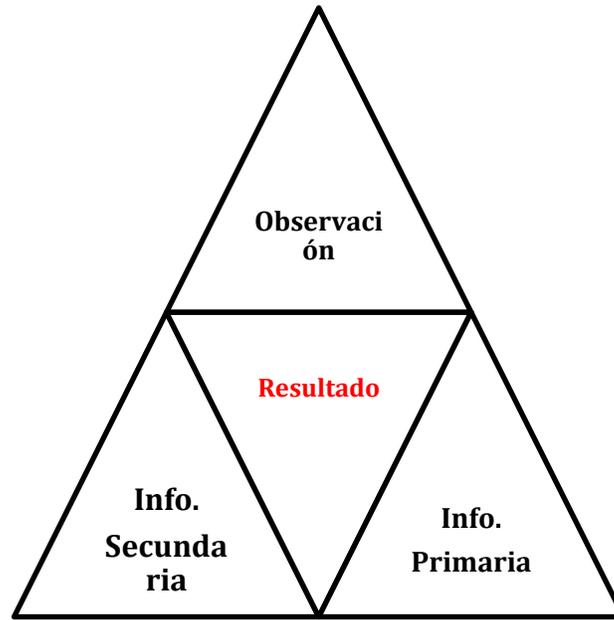


**Figura 73.** Representación del Subcriterios del sistema suelo, por medio de una gráfica de barras  
Fuente: autora.

Finalmente, se encuentra el *sistema de biodiversidad*, que está ponderado con el mismo valor que el sistema del suelo. La biodiversidad de la zona se encuentra dividida en 3 zonas: los *ecosistemas hidrotermales*, que son lo que se ven más afectados frente al desarrollo de cualquier actividad, están compuestos por algas y de más organismos termófilos, que aún no han sido caracterizados por expertos, por esto se les valora con 6 puntos. Los *ecosistemas dulceacuícolas*, están compuestos por cultivo de uvas y durazno, que podrían verse beneficiados por la implementación de la energía geotérmica, para regular el clima de los cultivos, por ende se diversificaría el ecosistema, por eso se les valora con 2 puntos. Y los *ecosistemas terrestres* se encuentran conformados por zonas de cría porcinos, ganado, aves de corral y aves silvestres, aunque no ha sido estudiada la diversidad de estos ecosistemas, es posible predecir ciertos beneficios de reproducción y crecimiento, por eso se les valora con 2 puntos, ver Figura 72.



**Figura 74.** Gráfica de distribución porcentual de los valores por subcriterios del sistema de biodiversidad  
Fuente: autora



**Figura 75.** Esquema de triangulación de información  
Fuente: autora

La segunda matriz evaluada fue la de descripción de alternativas, en la que se describieron los impactos en escenarios físicos, bióticos, sociales, culturales, económicos y tecnológicos, con el fin de explicar y de estandarizar de los términos necesarios para llevar a cabo la Evacuación de Impacto Ambiental. Dentro de esta matriz se identificaron ciertas subalternativas que conforman las 8 grandes categorías.

Se determinó que una matriz descriptiva era necesaria para la contextualización de los términos y alcances de cada indicador, frente a cada alternativa. La descripción se llevó a cabo bajo el esquema de triangulación de información plasmado en la Figura 74. A continuación se sintetiza la información de la matriz de descripción de las alternativas, en una infografía.



# ALTERNATIVA <sup>A1</sup>

## 1. TURISMO

Terapéutico  
- medicinal

Recreativo

### Físico



Se han venido construyendo infraestructuras que generan impactos sobre el paisaje termo-salino y los espacios naturales que arraigan la cultura Paipana.

### Biótico



Debido a que es una actividad no controlada en cuanto a la planificación ambiental-territorial, la expansión invade zona del paisaje termo-salino, como los humedales, deteriorando la biota endémica hidrotermal.

### Social



Genera una importante cantidad de empleo no especializado a pobladores locales, especialmente a mujeres.

### Cultural



Desde la época pre-hispánica los indígenas disfrutaban de los pozos naturales para baños terapéuticos, este elemento local se ha perdido por el desarrollo hotelero sobre las zonas de nacimientos y la ocupación ganadera de paisaje salino, que amerita ser protegido como paisaje singular.

### Económico



Aunque constituye una fuente económica importante para el desarrollo municipal, genera problemas de seguridad, congestión vehicular, emisiones de gases de efecto invernadero, enfermedades, generación de residuos, entre otros.

### Tecnológico



Son tecnologías primarias, que consiste en la mezcla del agua hidrotermal caliente, con aguas dulces, que regulan la temperatura, para el disfrute del consumo y contacto del recurso. Requiere de temperaturas 32°C y 80°C

# ALTERNATIVA <sup>A2</sup>

## 2. GENERACIÓN ELÉCTRICA

### Físico



Suele ser un impacto alto cuando se instalan en lugares que tienen gran valor natural y turístico, como fuentes termales, los impactos visuales varían dependiendo de la distancia desde el pozo hasta la central de transformación eléctrica, pues se requiere transportar el vapor por medio de una red de tuberías, y el fluido para reinyectarlo dentro del sistema geotérmico.

### Biótico



Los impactos suelen ser en bajas magnitudes frente al sistema biótico, ya que no requiere de grandes extensiones de tierra, en comparación con otros tipos de tecnologías de producción eléctrica, los únicos impactos se generan en la liberación del vapor de agua, por el ruido, la deforestación, el cambio en el paisaje, emisión de GEI en mínimas cantidades, hundimiento progresivo del terreno y aumento en el movimiento sísmico.

### Social



Genera cantidades significativas de empleos no especializado a pobladores locales, generando desarrollo en la zona rural, adicionalmente se abastece de electricidad a la población en su totalidad.

### Cultural



Permite el desarrollo de diferentes actividades económicas frente a este potencial.

### Económico



Incrementa los beneficios económicos de las zonas de extracción, para una planta geotérmica promedio se estima una inversión de 1.780 USD/KWh.

### Tecnológico



Gran complejidad estructural, genera emisiones mínimas, así mismo los vertimientos son casi nulos, requiere de mano de obra no especializada en todas sus fases, desde la construcción hasta la operación.

## ALTERNATIVA 3. PAGOS POR SERVICIOS ECONÓMICOS PSA A3

### Físico



Paisaje único que debería ser conservado, para generar un atractivo que solo podría ofrecer el municipio de Paipa a nivel nacional, no requiere de infraestructura adicional.

### Biótico



Conservación del ecosistema termosalino y sus servicios ecosistémicos, de los que la población se beneficia sin saberlo.

### Social



Se considera como generación de empleo, ya que los sectores de conservación, manejo y control del recurso, son compensados económicamente.

### Cultural



Promueven el uso sostenible de los recursos naturales, haciendo equivalente la necesidad antropológica, con el buen uso y manejo de los recursos, además genera conciencia frente a la pérdida de beneficios socioculturales, ambientales o económicos, en la población.

### Económico



El sector turístico-recreativo y hotelero, deberán remunerarle al pueblo el uso desmesurado que están ejerciendo sobre el recurso hídrico termo-salino, es decir que implementar un programa de PSA, se traduce como un aumento de capital.

### Tecnológico



Delimitación de las zonas protegidas, instalación de un sistema de monitoreo integrado de información en tiempo real, estimación económica de los servicios ecosistémicos, diseño del sistema de pagos.

## ALTERNATIVA 4. INDUSTRIALES A4



### Físico



Este tipo de alternativa requiere de ciudadelas industriales de captación de agua, construcción de infraestructura a mediana escala y otras instalaciones, pero se recomiendan estudios con mayor especificidad.

### Biótico



Para la construcción de infraestructura posiblemente se reuniera de deforestación, sin embargo son actividades que no generan gran impacto.

### Social



Se recomienda hacer estudios específicos sobre las alternativas de aprovechamiento doméstico y su estimado de generación de empleo por cada uno en el Municipio.

### Cultural



El desarrollo de proyectos productivos con usos directos del recurso, como el secado del café, pasteurización de la leche, fabricación de velas, deshidratación de frutas, estas pequeñas actividades productivas hacen que los habitantes formen lazos de pertenencia con el recurso energético en forma de calor que sale del sistema geotérmico.

### Económico



Se recomienda hacer estudios específicos sobre las alternativas de aprovechamiento doméstico y su estimado de generación de empleo por cada uno en el Municipio.

### Tecnológico



Para llevar a cabo la producción y reciclado del papel son necesarias temperaturas entre 40 hasta los 100°C, extracción de químicos son necesarias temperaturas entre 97 hasta los 143°C, teñido y lavado de lanas es necesario el uso de aguas desde los 40 hasta los 100°C.

## ALTERNATIVA 5. USOS DOMÉSTICOS A5



### Físico



Aunque no requiere de infraestructura significativa, se necesitan áreas de producción pequeñas que generan impactos sobre el paisaje termo-salino y los espacios naturales que arraigan la cultura Paipana.

### Biótico



Se disminuye la salinidad de los suelos en el distrito de riego del alto de Chicamocha, por lo que se caracterizaría como un aspecto positivo, frente a la agricultura. Se recomiendan estudios detallados.

### Social



Se recomienda hacer estudios específicos sobre las alternativas de aprovechamiento doméstico y su estimado de generación de empleo por cada uno en el Municipio.

### Cultural



Se recomienda hacer estudios específicos sobre las alternativas de aprovechamiento doméstico y sus índices de pérdida o incremento de identidad frente al recurso, en el transcurso del tiempo.

### Económico



Para establecer el aporte económico de estas alternativas es necesario hacer un estudio previo sobre las fuentes de ingreso para el municipio.

### Tecnológico



Para llevar a cabo la extracción de químicos son necesarias temperaturas entre 20 hasta los 65°C, para la evaporación son necesarias temperaturas entre 97 hasta los 115°C, para el secado productos son necesarias temperaturas entre 90 hasta los 130°C, para la destilación de agua dulce son necesarias temperaturas entre 97 hasta los 143°C, para la calefacción urbana son necesarias temperaturas entre 61 hasta los 105°C, para la extracción de químicos son necesarias temperaturas entre 97 hasta los 115°C.

## ALTERNATIVA 6. CULTIVO DE ALGAS U ORGANISMOS TERMÓFILOS A6



### Físico



Dependen del tamaño de la instalación, que a su vez dependerá de la temperatura del recurso geotermal, de la temperatura requerida en por las especies y de la pérdida de calor desde el punto de extracción hasta la zona de aprovechamiento.

### Biótico



No representa ningún tipo de impacto negativo sobre la flora, de hecho, se aumentaría la biomasa de algas en la Vereda. Ni en la fauna, porque existen especies de algas en los pozos de manera natural y la presencia de nuevas especies no se considera ninguna repercusión los ecosistemas ni sobre las aves migratorias.

### Social



será positivo a nivel socio-económico, ya que otorga empleo tanto para las labores relacionadas con el cultivo (siembra, cosecha, mantenimiento, etc.) como en las labores de procesamiento del producto final.

### Cultural



Se recomiendan hacer estudios específicos sobre las alternativas y sus índices de pérdida de identidad frente al recurso, en el transcurso del tiempo y desarrollo productivo.

### Económico



La viabilidad técnico-teórica de uso la microalga *Schizochytrium sp.*, se clasificó para la producción de biodiesel, por otro lado, para la producción de bioetanol, la microalga *Chlorella vulgaris*

### Tecnológico



No se genera ningún impacto proveniente del cultivo frente a las características fisicoquímicas del agua, en cuanto al cambio en el paisaje, no se genera ningún impacto, no requieren de tecnologías de punta, por lo que solo se necesita un sistema de transferencia de calor.

# ALTERNATIVA <sup>A7</sup> 7. CULTIVO DE MARISCOS Y PECES

## Físico



Dependen del tamaño de la instalación, que a su vez dependerá de la temperatura del recurso geotermal, de la temperatura requerida en por las especies y de la pérdida de calor desde el punto de extracción hasta la zona de aprovechamiento.

## Biótico



Impactos paisajísticos generados por el requerimiento de infraestructura de producción

## Social



Este aprovechamiento puede hacerse a pequeña escala y contribuye al desarrollo y generación de empleo, mejora de la seguridad alimentaria y nutricional en el municipio.

## Cultural



Se recomiendan hacer estudios específicos sobre las alternativas y sus índices de pérdida de identidad frente al recurso, en el transcurso del tiempo y desarrollo productivo.

## Económico



Para establecer el aporte económico de estas alternativas es necesario hacer un estudio previo sobre las fuentes de ingreso para el municipio.

## Tecnológico



Para establecer el aporte o impacto tecnológico de estas alternativas es necesario hacer un estudio previo sobre las fuentes de ingreso para el municipio.

# ALTERNATIVA <sup>A8</sup> 8.A GRICULTURA A CAMPO ABIERTO E INVERNADEROS

## Físico



Depende del tipo de calefacción que se desee usar, (subterránea, sistema de riego, canales sobre el suelo).

## Biotico



Impactos paisajísticos generados por el requerimiento de infraestructura de producción

## Social



Este aprovechamiento, contribuye al desarrollo y generación de empleo, mejora de la seguridad alimentaria y nutricional en el municipio.

## Cultural



Se recomiendan hacer estudios específicos sobre las alternativas y sus índices de pérdida de identidad frente al recurso, en el transcurso del tiempo y desarrollo productivo.

## Económico



Costos oscilan en €10 millones, logrando control absoluto del clima, reducción de costos energéticos, fertilización con CO<sub>2</sub>, circuitos cerrados del reciclaje del agua, son entre muchas otras las ventajas de aplicar este tipo de invernaderos.

## Tecnológico



Calefacción por el suelo de invernaderos es necesario tener temperaturas entre 40 hasta los 68°C y calefacción por el aire es necesario tener temperaturas entre 60 hasta los 92°C aproximadamente.

**Figura 76.** Infografía que sintetiza la información obtenida de la matriz de descripción de alternativas  
Fuente: Autora

Para la evaluación de esta alternativa se realizó una sub matriz, denominada oferta de servicios ecosistémicos potencialmente aprovechables, basada en los diferentes elementos que se derivan de las funciones ambientales y que conducen al bienestar humano y permiten un pleno desarrollo económico, social y cultural, establecidos en el informe para el “diseño de una metodología para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos” (Castañeda, 2003, pág. 8). A continuación de plasma la matriz, con la descripción de las funciones y servicios ambientales, de cada ecosistema salino identificado por medio de la observación, documentación y cartografía, a cada servicio se le estableció un indicador y una unidad de medida, ver tabla 17.

**Tabla 17.** Oferta de servicios ecosistémicos potencialmente aprovechables

<b>Oferta de servicios ecosistémicos potencialmente aprovechables</b>				
<b>Ecosistemas salinos de Paipa</b>	<b>Función ambiental</b>	<b>Servicios ambientales</b>	<b>Indicadores para valoración</b>	<b>Unidad</b>
Humedales termo-salinos	Sustento básico	Abastecimiento de agua	Caudales	L/s*d
			Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
			Temperatura	°C
			Concentración de sales	g/L
	Proveedor de recursos naturales	Extractos naturales de usos medicinales (Lodos, algas y sales)	Cantidades potencialmente producidas	Kg/d
			Cantidades potencialmente consumidas	
		Biodiversidad de algas Fito térmicas	Número de especies	U
	Prevención de riesgos	Control de inundaciones	Área inundable	Ha
	Beneficios recreativos y estéticos	Belleza escénica	Áreas	Ha
		Recreación y turismo	Áreas	Ha
Identidad, legado cultural y sentido de pertenencia de la localidad y la región	Diversidad de paisajes	Número de paisajes	U	
Ecosistemas salinos seminaturales	Prevención de riesgos	Control de inundaciones	Área inundable	Ha

	Prevención de riesgos	Control de inundaciones	Área inundable	Ha
	Receptores de desechos	Receptores de aguas salinas servidas en el Sector Hotelero y recreacional	Caudal recibido	L/s*d
	Equilibrio ecológico	Mantenimiento de la Biodiversidad	Número de especies	U
		Oferta de materias primas salinas	Disponibilidad de materias primas salinas	Kg
	Beneficios recreativos y estéticos	Belleza escénica	Áreas	Ha
		Recreación y turismo	Áreas	Ha
	Los afloramientos Termo salinos	Identidad, legado cultural y sentido de pertenencia de la localidad y la región	Diversidad de paisajes	Número de paisajes
Sustento básico		Abastecimiento de agua	Caudales	L/s*d
			Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
			Temperatura	°C
			Concentración de sales	g/L
Productividad		Materias primas para baños termales	Caudales captados	L/s*d
			Estimación en valor por	m <sup>2</sup> /d
Proveedor de recursos naturales		Extractos naturales de usos medicinales (Lodos, algas y sales)	Cantidades potencialmente producidas	g
			Cantidades potencialmente consumidas	g
		Biodiversidad de algas Fito térmicas	Número de especies	U
	Belleza escénica	Áreas	Ha	

	Beneficios recreativos y estéticos	Recreación y turismo	Áreas	Ha
	Identidad, legado cultural y sentido de pertenencia de la localidad y la región	Diversidad de paisajes	Número de paisajes	U

Fuente: Autora

Los usos industriales, el informe de los “aspectos técnico económicos de las aguas minerales” identifica que su aplicabilidad depende de la composición fisicoquímica de las aguas, como se establece en la matriz (Baeza, López, Fernández, Rubio, & Ferré, 2001, pág. 41). Para la producción de lana, a nivel social, se consultó el informe de “evaluación de impacto ambiental y social proyecto desarrollo integral ganadero”, en donde se promedió el requerimiento de 1.236 trabajadores/ Unidad Productiva, según los datos existentes para la producción de lana en Río Negro, Argentina; sin embargo, a nivel ambiental se identificó la pérdida y degradación del paisaje termo-salino por el requerimiento de zonas de pastoreo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2010). En términos económicos, permite un mayor ingreso económico, como se establece en la matriz, frente al indicador tecnológico, se consultó la página web “Lavandería, textiles, moda y tecnología”, en donde se identificaron las herramientas y la metodología para el teñido de lana (Hidalgo, 2016). Para la deshidratación de frutas, se determinó que uno de los impactos físicos es la necesidad de construcción de infraestructuras, pero al consultar el informe de “Energía Geotérmica”, se pudo identificar que no se requiere de mucha área, en Michoacán México, para cubrir una producción de 448 kg, las dimensiones requeridas son de 3m x 1m x 2m (Instituto Nacional de Electrificación ; División de Desarrollo Geotérmico, 2007).

La agricultura a campo abierto, para la determinación de los impactos económicos se consultaron dos autores. En primer lugar, para la identificación de costos de inversión y cantidad de toneladas producidas, se consultó la página web La 2, en tu publicación “Geotermia para invernaderos en Holanda” (Agricultureros, 2013). Se consultó el informe de “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Nuevas oportunidades en la energía geotérmica para los países en desarrollo”, con el fin de identificar los beneficios de la implementación de los invernaderos (FAO, 2015) y, como complemento de estos beneficios, se consultó el informe de “energía geotérmica” (Instituto Nacional de Electrificación ; División de Desarrollo Geotérmico, 2007), como se muestra en la matriz.

En el informe de “Climatización de edificios por medio del intercambio de calor con el subsuelo y agua subterránea” se abarcan varios temas en torno a los usos directos, dentro de los cuales se establecen los rangos de temperatura requeridos para llevar a cabo cada una de las alternativas, incluyendo la producción de papel y reciclado, teñido de lana, pasteurización de leche, bebidas carbonatadas, producción de agua mineral en botella, deshidratado de frutas, extracción de productos químicos,

calefacción, evaporación, secado, descongelamiento, distritos de calefacción, invernaderos, agricultura a campo abierto, entre otros.

A continuación, se encuentra la matriz de estudio de impacto ambiental, en donde se evaluaron ambientalmente las diferentes alternativas de aprovechamiento del potencial geotérmico presente en el paisaje termosalino de la Vereda La Esperanza del municipio de Paipa, Boyacá. Ver la página siguiente.

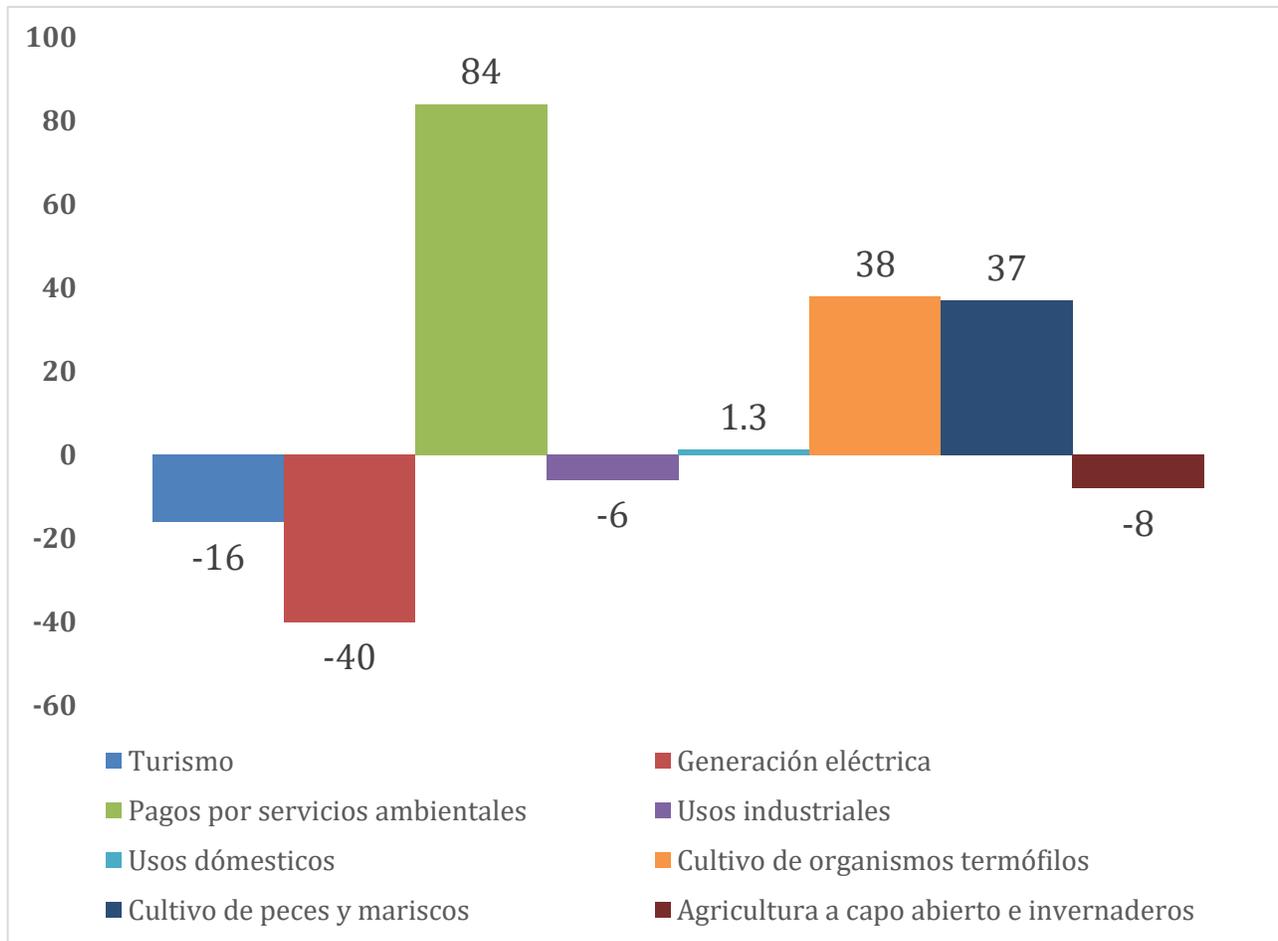
**Tabla 18.** Matriz de Estudio de Impacto Ambiental de alternativas para el aprovechamiento sostenible del potencial geotérmico en la zona salina del municipio de PAIPA.

Indicadores		Ponderación		Matriz 3 de evaluación de impacto ambiental de alternativas																																			
		Valor de significancia de los indicadores	Valor de significancia de los Factores	Turismo recreativo, Medicina terapéutica				Generación eléctrica				PSA				Usos industriales				Usos domésticos				Cultivo de organismos termófilos				Cultivo de mariscos y peces				Uso directo en la agricultura a campo abierto e invernaderos							
Factores		Valor ponderado del factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor	Magnitud/Importancia	Valor del impacto neto	Valor ponderado del impacto	% de impacto por factor					
físicas	0,25	Singularidad del paisaje	0,40	0,100	-0,36	-0,0360	-36	-1	-0,1000	-100	-100	1	0,1000	100	-0,16	-0,1600	-16	-1	-0,0400	-4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4			
		Identidad del paisaje para la localidad y la región	0,40	0,100	-0,12	-0,0120	-12	-1	-0,1000	-100	-100	1	0,1000	100	-0,16	-0,1600	-16	-1	-0,0400	-4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4	0,40	0,0400	40	4			
		Vulnerabilidad del paisaje	0,20	0,050	-0,24	-0,0120	-24	-1	-0,0450	-45	-90	1	0,0500	100	-0,08	-0,0040	-8	-1	-0,0200	-2	0,20	0,01200	24	3	0,20	0,01200	24	3	0,20	0,01200	24	3	0,20	0,01200	24	3			
bióticas	0,3	Paisaje salino	0,04	0,018	-0,12	-0,0022	-12	-1	-0,0126	-70	-70	1	0,0180	100	-0,24	-0,0043	-24	-3	-0,12	-0,0022	-12	0,40	0,00864	48	3	0,40	0,00864	48	3	0,40	0,00864	48	3	0,40	0,00864	48	3		
		Suelos salinos	0,02	0,006	-0,24	-0,0014	-24	-1	-0,0022	-36	-36	1	0,0060	100	-0,24	-0,0014	-24	-1	-0,0007	-12	0,20	0,00144	24	2	0,20	0,00144	24	2	0,20	0,00144	24	2	0,20	0,00144	24	2			
		Suelos de vertientes con laderas inestables.	0,02	0,006	0	0,0000	0	0	-0,04	-0,0002	-4	0,0200	100	-0,04	-0,0002	-4	0,0200	100	-0,04	-0,0002	-4	0,0200	100	4	0,0200	100	4	0,0200	100	4	0,0200	100	4	0,0200	100	4	0,0200	100	4
		Humedales salinos	0,20	0,060	-0,24	-0,0144	-24	-1	-0,0600	-100	-100	1	0,0600	100	-0,24	-0,0144	-24	-1	-0,0600	-100	-100	1	0,0600	100	24	3	0,20	0,01440	24	3	0,20	0,01440	24	3	0,20	0,01440	24	3	
		Fuentes hidrotermales	0,20	0,030	-0,36	-0,0108	-36	-1	-0,0300	-100	-100	1	0,0300	100	-0,24	-0,0072	-24	-1	-0,08	-0,0024	-8	0,8	0,02400	80	4	0,8	0,02400	80	4	0,8	0,02400	80	4	0,8	0,02400	80	4		
		Dársenas salinas	0,10	0,030	-0,24	-0,0072	-24	-1	-0,0240	-80	-80	0,8	0,0240	80	-0,08	-0,0024	-8	0,8	-0,0012	-4	0,08	0,00240	8	2	0,08	0,00240	8	2	0,08	0,00240	8	2	0,08	0,00240	8	2			
		Canales naturales de drenaje	0,10	0,030	-0,240	-0,0072	-24	-1	-0,480	-0,0144	-48	0,8	0,0240	80	-0,080	-0,0024	-8	0,8	-0,040	-0,0012	-4	0,240	0,00720	24	3	0,240	0,00720	24	3	0,240	0,00720	24	3	0,240	0,00720	24	3		
		Ecosistemas hidrotermales	0,20	0,060	-0,36	-0,0216	-36	-1	-0,64	-0,0384	-64	1	0,0600	100	-0,24	-0,0144	-24	-1	-0,08	-0,0048	-8	0,8	0,04800	80	4	0,8	0,04800	80	4	0,8	0,04800	80	4	0,8	0,04800	80	4		
		Ecosistemas dulce acuosos	0,04	0,020	-0,04	-0,0012	-4	-1	-0,64	-0,0192	-64	1	0,0300	100	-0,12	-0,0036	-12	0,060	0,00006	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	
		Ecosistemas terrestres	0,10	0,030	-0,04	-0,0012	-4	-1	-0,48	-0,0144	-48	1	0,0300	100	-0,08	-0,0024	-8	0,060	0,00006	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	0,002	0,00001	0	
socio-culturales	0,2	Bosques plantados	0,05	0,010	-0,36	-0,0036	-36	0	0,0000	0	0	0,0100	100	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0	0,0000	0	0				
		Agroecosistemas	0,10	0,020	0,04	0,0008	4	0	0,0000	0	0	0,0200	100	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08	0,0016	8	0,08				
		Sistemas construidos (infraestructura)	0,40	0,080	-0,24	-0,0192	-24	-1	-0,0800	-100	-100	1	0,0800	100	-0,24	-0,0192	-24	-1	-0,0800	-100	-100	1	0,0800	100	4	0,0800	100	4	0,0800	100	4	0,0800	100	4	0,0800	100	4		
		factor socioeconómico	0,25	0,050	0,16	0,0080	16	2	0,16	0,0080	16	0,8	0,0400	80	0,24	0,0120	24	3	0,24	0,0120	24	3	0,36	0,01800	36	3	0,36	0,01800	36	3	0,36	0,01800	36	3	0,36	0,01800	36	3	
Económica	0,2	factor cultural e histórico	0,20	0,040	0,08	0,0032	8	3	-0,36	-0,0144	-36	0,8	0,0320	80	-0,02	-0,0008	-2	0,8	0,03200	80	0,8	0,03200	80	0,8	0,03200	80	0,8	0,03200	80	0,8	0,03200	80	0,8	0,03200	80	0,8			
		Costos de inversión	0,30	0,110	-0,18	-0,0198	-18	-1	-0,1100	-100	-100	0,6	0,0660	60	-0,02	-0,0022	-2	0,2	0,02200	20	0,2	0,02200	20	0,2	0,02200	20	0,2	0,02200	20	0,2	0,02200	20	0,2	0,02200	20	0,2			
		Generación de actividades económicas, proyectos productivos según escala	0,40	0,090	0,2400	0,0216	24	4	0,0036	0,0003	0	0,40	0,0432	48	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000	0,0540	60	0,6000			
tecnológicas	0,05	Complejidad	0,30	0,015	-0,24	-0,0036	-24	-1	-0,0150	-100	-100	0,8	0,0090	90	-0,08	-0,0012	-8	0,08	-0,0012	-8	0,08	0,00120	8	0,08	0,00120	8	0,08	0,00120	8	0,08	0,00120	8	0,08	0,00120	8	0,08			
		Consumo de recursos naturales	0,15	0,008	-0,48	-0,0036	-48	-1	-0,0075	-100	-100	0	0,0000	0	-0,24	-0,0018	-24	-1	-0,12	-0,0009	-12	0,2	0,00240	24	0,2	0,00240	24	0,2	0,00240	24	0,2	0,00240	24	0,2					
		emisiones, vertimientos, etc...	0,25	0,013	-0,36	-0,0045	-36	-1	-0,0100	-80	-80	0	0,0000	0	-0,08	-0,0010	-8	0,08	-0,0005	-4	0,08	-0,00100	8	0,08	-0,00100	8	0,08	-0,00100	8	0,08	-0,00100	8	0,08	-0,00100	8	0,08			
		Generación de empleo especializado	0,05	0,003	0,16	0,0004	16	3	0,24	0,0008	24	0,6	0,0015	60	0,08	0,0002	8	0,08	0,0001	4	0,32	0,00080	32	3	0,32	0,00080	32	3	0,32	0,00080	32	3	0,32	0,00080	32	3			
Subtotal	alteración/posible alteración	1,00	0,1415	-14	-0,3759	-39	0,8262	83	-0,0427	-4	0,0170	1,7	0,36588	37	0,3636	36	0,0075	0,75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75	0,0075	75					

Fuente: Autora

Sostenibilidad ambiental	Rango
<b>Alta</b>	0.41 a 0.8
<b>Media</b>	(-0.09 a 0.4)
<b>Baja</b>	(-0.5 a -0.1)

Con base en la matriz anterior, se realizó la siguiente grafica de barras que representa los resultados finales de la evaluación ambiental de alternativas que sintetiza el estudio realizado sobre las diversas formas y procesos de aprovechamiento de los recursos geotérmicos en Paipa



**Figura 77.** Resultado final de la evaluación ambiental de alternativas de aprovechamiento de recursos geotérmicos en Paipa.

Fuente: autora

Se puede destacar lo siguiente:

**a.** Se analizaron ocho alternativas probables, cuya selección se hizo teniendo en cuenta el contexto territorial del municipio; la importancia del recurso a nivel local, regional, nacional e internacional; los diferentes avances tecnológicos para el aprovechamiento del recurso; y las consideraciones económicas y culturales que aportaron diversos actores económicos, sociales e institucionales del municipio en relación con posibles aprovechamientos de este recurso de gran importancia económica, social y cultural para el desarrollo territorial de Paipa.

**b.** Durante el análisis de las alternativas se tuvieron en cuenta variables relacionadas con el sistema territorial, sistema suelo, sistema hídrico, sistema de biodiversidad y sistema social. Para cada una de

estas variables se seleccionaron indicadores que permiten evidenciar la complejidad de los sistemas analizados y sus relaciones.

c. Cada una de las alternativas fue descrita en relación con los componentes ambientales, físicos, bióticos, sociales, culturales, económicos y tecnológicos.

De esta forma la matriz de EIAA, dio como resultado lo siguiente:

a. De las ocho alternativas analizadas y evaluadas, tres son positivas: Pagos por Servicios Ambientales, PSA, cultivo de organismos termófilos y cultivo de peces y mariscos; y cinco alternativas son negativas: turismo, generación eléctrica, usos industriales, usos domésticos y agricultura a campo abierto e invernaderos.

b. Los rangos donde estuvieron ubicadas las alternativas positivas son los siguientes:

**Tabla 19.** Rangos donde se ubican las alternativas con impactos positivos

<b>Alternativas</b>	<b>Rango</b>
<i>Pagos por servicios ambientales</i>	0.41 a 0.8
<i>cultivo de organismos termófilos</i>	-0.09 a 0.4
<i>cultivo de peces y mariscos</i>	-0.09 a 0.4
<i>Usos domésticos</i>	-0.09 a 0.4

Fuente: Autora

La alternativa de pagos por servicios ambientales, resulta ser netamente positiva debido a que no se requiere intervención que conlleve afectación del recurso y por el contrario, cualquier intervención tendería a mejorar la oferta y calidad de este. Las alterativas de cultivos de organismos termófilos y cultivos de peces y mariscos, tendrían componentes negativos en su implementación relacionados con intervención en el espacio y posible generación de desechos contaminantes que deberían ser manejados adecuadamente para controlar sus impactos negativos.

c. Los rangos donde estuvieron ubicadas las alternativas negativas son:

**Tabla 20.** Rangos donde se ubican las alternativas con impactos negativos

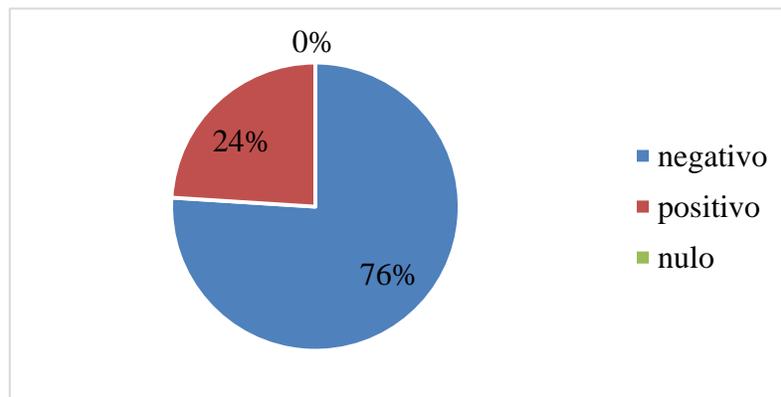
<b>Alternativas</b>	<b>Rango</b>
<i>Turismo</i>	-0.5 a -0.1
<i>Generación eléctrica</i>	-0.5 a -0.1
<i>Usos industriales</i>	-0.09 a 0.4
<i>Agricultura a campo abierto e invernaderos</i>	-0.09 a 0.4

Fuente: Autora

Las alternativas de mayor impacto negativo son el turismo, en las condiciones que actualmente se realiza, y la posible generación eléctrica. El turismo, si bien tiene impactos positivos importantes del orden económico y social, viene afectando significativamente el paisaje salino, los nacimientos hidrotermales y generando contaminación no controlada sobre el recurso, abonado a esto la expansión de las infraestructuras hoteleras que desdibujan el paisaje singular de gran importancia ecológica y cultural, lo cual amenaza su propia existencia dada la intensidad y falta de manejo ambiental de sus intervenciones. En cuanto a la alternativa de aprovechamiento energético, esta implicaría, de acuerdo a las tecnologías conocidas para su implementación, la inutilización de los aprovechamientos turísticos y recreativos debido a las tuberías y formas de captación del vapor caliente y el ruido generado por los procesos de reinyección y liberación de gases.

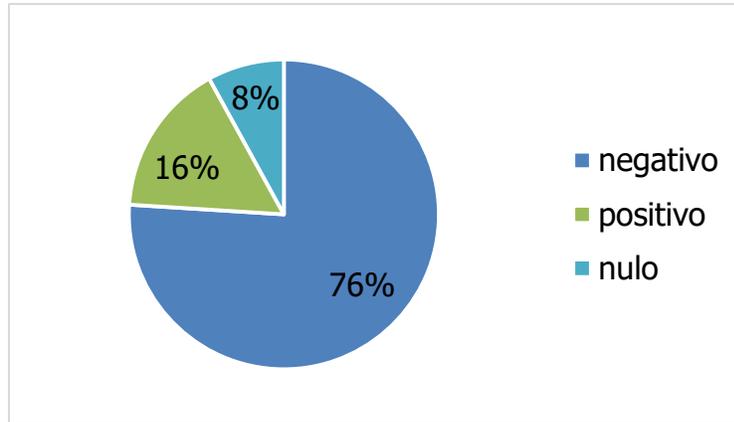
Las alternativas con un impacto negativo menor, son los usos industriales y el aprovechamiento a campo abierto e invernaderos, debido a la ocupación de espacios, el uso de tecnologías especializadas y la posible emisión de aguas residuales y residuos sólidos.

Para el turismo los valores del valor ponderado del impacto son predominantemente negativos, ver Figura 77. Para la generación de energía eléctrica también es notoria la dominancia de los valores negativos, ver figura 78, pese que el porcentaje negativo para los usos industriales, agricultura e invernaderos, es menor que las anteriores alternativas, sigue siendo predominante, ver figura 79.



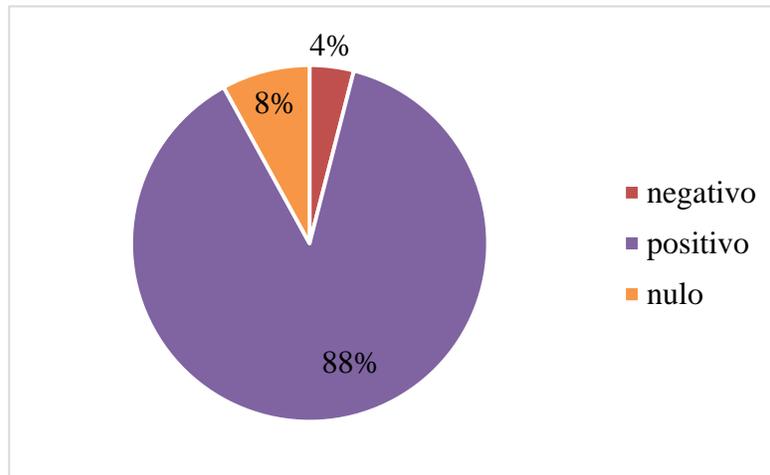
**Figura 78.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Turismo recreativo, Medicinal-terapéutico

Fuente: autora

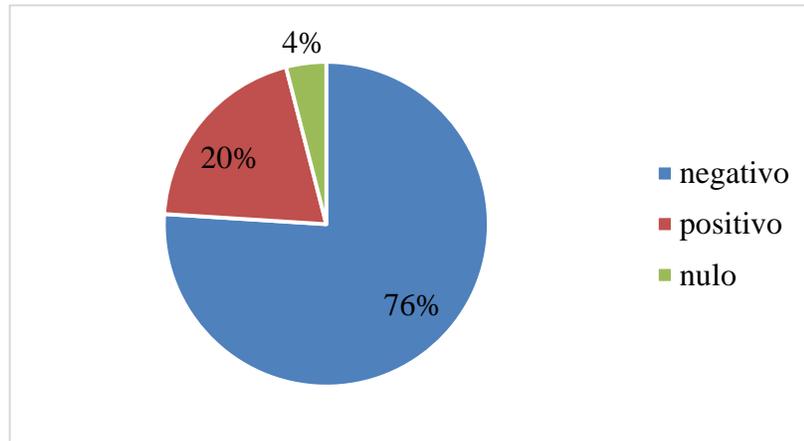


**Figura 79.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de generación de energía  
Fuente: autora

La alternativa que presenta mayor predominancia en los valores positivos de la ponderación de impactos, son los pagos por servicios ambientales, ver Figura 78.

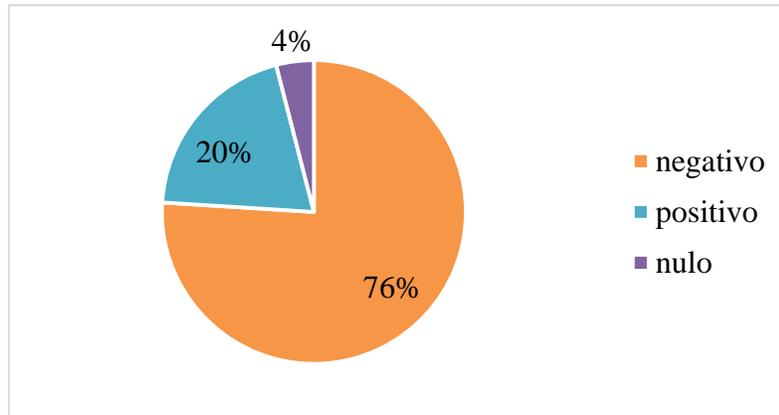


**Figura 80.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Pagos por servicios ambientales  
Fuente: autora



**Figura 81.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Usos domésticos

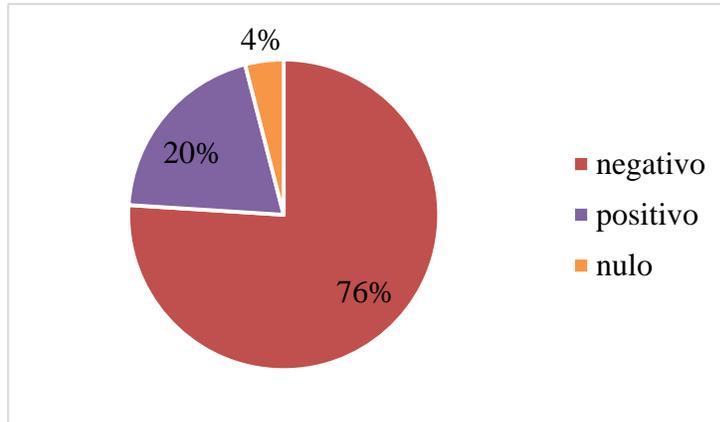
Fuente: autora



**Figura 82.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de Usos industriales

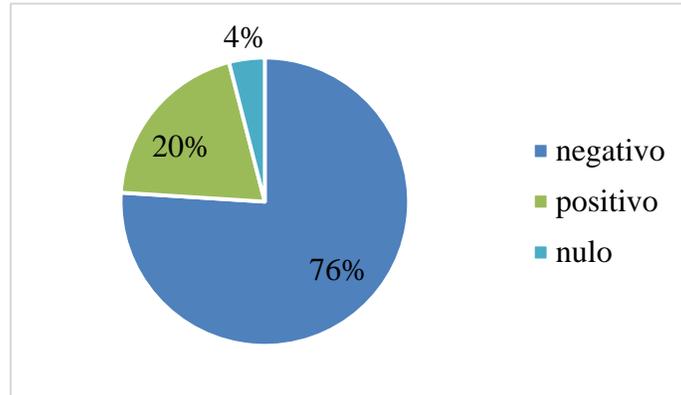
Fuente: autora

A pesar de la gran similitud en los porcentajes de los VPI en las alternativas, de usos industriales y usos domésticos, los usos industriales tienen un menor impacto, la magnitud e importancia son menores, debido a su menor requerimiento de infraestructura, área de producción, vertimientos y emisiones, además genera mayor empleo no especializado que los usos industriales.



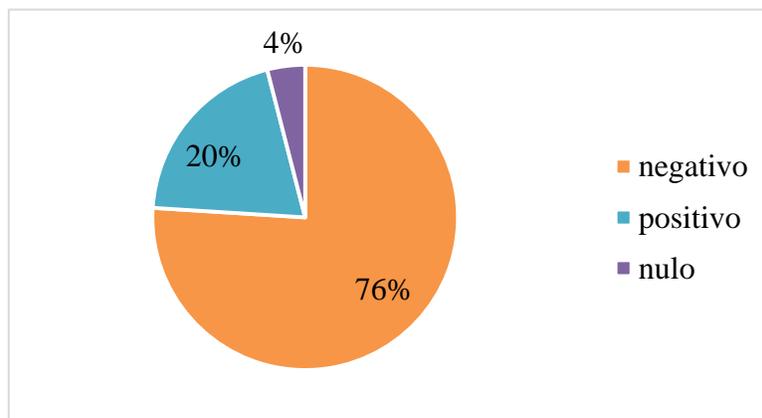
**Figura 85.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de cultivo de organismos termófilos

Fuente: autora



**Figura 84.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de cultivo de peces y mariscos

Fuente: autora



**Figura 83.** Porcentaje de VPI negativos, positivos y nulos para la alternativa de agricultura a campo abierto e invernaderos

Fuente: autora

Finalmente se establecieron los lineamientos teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos en todas las fases metodológicas anteriores, caracterizados a corto, medio y largo plazo.

**Tabla 21.** Lineamientos técnico-económicos para un aprovechamiento ambientalmente sostenible del potencial geotérmico en Paipa

Lineamientos técnico-económicos	Plazo
1. Realizar difusión de los beneficios, impactos y posible generación de nuevas actividades productivas que mejoren su calidad de vida.	Corto
2. Generar una campaña permanente re resignificación cultural del territorio termosalino y de educación ambiental para su conservación dirigida a la población local y a la población flotante.	Corto
3. Ordenamiento de las áreas salinas dentro del POT de Paipa como paisaje termo salino singular como área protegida, con el objetivo de fortalecer el sentido de pertenencia en la población de Paipa sobre este recurso de la vereda la Esperanza.	Medio
4. Zonificación del paisaje definido como área protegida en cuanto a usos del suelo para turismo, recreación, turismo de bienestar, conservación, restauración ecosistémica y áreas intangibles.	Medio
5. Establecer un programa de pago por servicios ecosistémicos para conservación de la cuenca aportante, el paisaje salino y los humedales naturales y seminaturales.	Medio
6. Establecer normas específicas sobre el uso y manejo del recurso y conservación de su entorno, que contemple normas urbanísticas, capacidad de carga y movilidad humana, animal y automotora.	Largo
7. Realizar estudios de factibilidad de las alternativas más favorables ambientalmente identificadas en este estudio.	Largo
8. Construir e implementar un plan de manejo ambiental para el turismo termal y otros asentamientos turísticos en la zona del paisaje termosalino protegido y su área de amortiguación, la cual debe ser definida y amojonada.	Largo
9. Establecer límites de caudales utilizables de los manantiales salinos en las diferentes épocas del año.	Largo
10. Protección del paisaje frente a intervenciones arquitectónicas nocivas.	Largo

Fuente: Autora

## 10. Conclusiones

El presente trabajo de investigación se considera como una primera aproximación al estudio de alternativas para el uso y manejo sostenible de los recursos termosalinos, que posiblemente se desarrollen en el municipio de Paipa; se considera viable llevar a cabo una mayor profundización sobre el conocimiento del recurso analizado.

El desarrollo de este trabajo de grado permite ver al territorio municipal paipano de manera integral y en perspectivas diversas, teniendo en cuenta que las alternativas y el recurso son temas complejos y colmados de incertidumbres por el poco conocimiento y desarrollo de esta temática a nivel investigativo.

Durante el proceso investigativo se conocieron nuevas metodologías para abordar la evaluación ambiental de alternativas para el uso, manejo o aprovechamiento de un recurso natural poco conocido, pero con buenas perspectivas de desarrollo a un futuro medio.

La metodología usada para la solución de cada objetivo específico fue la apropiada, dado que permitió combinar una valoración del ambiente y del territorio que se intervino con la diversidad de acciones o componentes que podrían ser afectados por varias alternativas de manera simultánea o parcial.

Los informantes paipanos evidencian un nivel de conocimiento medio a superficial frente al origen y los usos que se le ha dado a las fuentes termales en el tiempo. La identidad frente al recurso arrojó ser de intermedio a débil, por lo que se espera que, al aumentar el conocimiento, usos y beneficios del recurso hidrotermal-salino, se incremente la identidad y la necesidad de promover la conservación de este.

Aunque los habitantes del municipio de Paipa saben del desarrollo de proyecto para la generación eléctrica y son conscientes que este se va a llevar a cabo en un lapso de corto a mediano plazo, no están de acuerdo con el desarrollo debido al desconocimiento en temas de beneficios y verdaderos impactos que una planta geotérmica trae consigo.

La mayoría de los informantes demostraron no tener conocimiento sobre proyectos industriales o domésticos posibles para desarrollar alrededor del paisaje salino y los recursos térmicos que ofrece, es decir que, por el desconocimiento, no presentan propuestas de desarrollo económico en relación con el recurso. La misma ignorancia frente al tema se traduce en obstáculos para proyectos que posiblemente beneficiarían al municipio y mejorarían la calidad de vida y el desarrollo municipal. Adicionalmente, los informantes que tienen conocimiento sobre otras alternativas, aportaron nuevos aprovechamientos como la producción de agua mineral embotellada, queso Paipa, teñido y lavado de lana, producción de velas, deshidratación de frutas, pasteurización de leche, entre otros, que son viables siempre y cuando generen ganancias económicas y mejoramiento de calidad de vida.

Frente al aprovechamiento turístico del recurso geotermal, hay un controversial equilibrio entre los informantes que están en pro y en contra; sin embargo, ambas partes manifiestan que una de las principales razones por la que no se ha desarrollado completamente el potencial geotérmico es por la insuficiencia legislativa que promueva la implementación de energías alternativas como la geotérmica.

El panorama de zonificación del paisaje salino es un tema que en el municipio no se ha visualizado, pero que es esencial para realizar una correcta planeación de desarrollo basada en el ordenamiento del recurso geotérmico salino, ya sea para el turismo de bienestar o para otros aprovechamientos que el recurso ofrece.

La alternativa que presenta un mayor índice de impactos negativos identificados fue la generación eléctrica que, a pesar de que no ha sido implementada, la población tiene perspectivas negativas principalmente ecológicas sobre ella. En segundo lugar se encuentra la alternativa turística: los informantes hicieron evidente que el actual aprovechamiento del paisaje salino representa impactos ecológicos significativos y socio-culturales pero requiere unos fuertes ajustes en sus procesos para conducirla hacia un turismo sostenible de alta calidad ambiental, lo cual repercutiría en beneficios económicos para el municipio y ecológicos en términos de la conservación del paisaje y recurso salino.

Las alternativas que se enfrentan a una mayor cantidad de obstáculos para su desarrollo son la generación de energía eléctrica, con un total de 8 barreras identificadas. Seguida de los cultivos de mariscos y peces, usos directos en la agricultura a campo abierto e invernaderos y usos domésticos con 7 obstáculos. La tercera alternativa con obstáculos de desarrollo, adecuación y progreso es la actual, el turismo.

Para la evaluación de las alternativas, se identificaron inicialmente los indicadores que se requieren para hacer un primer análisis de las alternativas con el fin de aprovechar el potencial geotérmico. Se valoró al sistema hídrico como el criterio con mayor importancia en dicha evaluación, seguida del sistema territorial, el sistema social y los sistemas de suelo y biodiversidad que, en conjunto, permiten una aproximación de la alteración que se genera al implementar.

El aprovechamiento directo de la energía calórica en alternativas agropecuarias en el municipio de Paipa, se identificó un nivel de viabilidad alto, en la deshidratación de frutos como el durazno, las uvas, entre otros frutos, debido a que en el municipio se producen este tipo de frutos, por otro lado en el calentamiento de galpones, zonas porcícolas, áreas de cultivos a campo abierto y adecuación de viveros hidropónicos para la producción de tomates y hortalizas son otras de las alternativas viables de aprovechamiento.

Los impactos físicos que generan las alternativas de cultivos de algas, peces, mariscos y creación de invernadero dependen del tamaño de la instalación que, a su vez, dependerá de la temperatura del recurso geotermal, de la temperatura requerida por las especies y de la pérdida de calor desde el punto de extracción hasta la zona de aprovechamiento (Dickson & Fanelli, 2004; IGME & IDAE, 2008).

Las alternativas más favorables son, pagos por servicios ambientales, cultivo de organismos termófilos y cultivo de peces y mariscos. Sin embargo, estas alternativas requieren estudios de perfectibilidad cuyo limitante sería la disponibilidad de caudales y espacios en la zona salina que pudieran ser aptos sin alterar significativamente dichos recursos. Los costos tecnológicos para cultivos de algas, peces y mariscos, pudiera ser una limitante teniendo en cuenta su inversión inicial.

La alternativa de generación eléctrica presentaría fuertes limitaciones ambientales por su intervención en el paisaje, la posibilidad de sustraer el recurso a otros usos como los actuales y otros posibles, presentados en alternativas ya mencionadas.

La alternativa de agricultura a campo abierto e invernaderos se presenta como posible y pudiera repercutir en mejoría de las condiciones sociales y económicas de la condición social siempre y cuando cumpliera con bajas afectaciones del paisaje salino.

## 11. Recomendaciones

Se recomienda hacer seguimiento y continuar con los estudios del recurso a mayor profundidad, con el fin de enfatizar próximos trabajos de grado con una metodología perfeccionada en términos de colmatación de la información necesaria sobre las alternativas contempladas y otras surgentes, con sus respectivas variables.

Sería importante evaluar la viabilidad (economizar tiempo, dinero en combustibles y en mordientes) de implementar energía geotérmica en el proceso de lanas y evaluar tintes naturales provenientes de plantas endémicas de la región.

También se recomienda realizar estudios enfocados en la identificación de impactos *físicos, sociales, culturales, económicos y tecnológicos* de las sub-alternativas definidas dentro de la aplicación industrial, como las *alimenticias*, pasteurización de leche, envasado de bebidas carbonatadas, embotellamiento de agua mineral y deshidratado de frutas. Otras alternativas de producción industrial son la *extracción de productos químicos, producción de velas, tratamientos textiles y producción de lanas*, inicialmente. Dentro de los impactos *físicos* se identifica la construcción de mecanismos de captación de agua, de infraestructuras industriales a mediana escala, entre otras instalaciones, por lo que se recomiendan estudios con mayor profundidad.

Así mismo, se recomiendan estudios de mayor profundidad en las alternativas de aprovechamiento doméstico, como *calefacción y distritos de calefacción, evaporación, secado, esterilización, destilación, lavado y extracción de sales*. Estos procesos, a diferencia de los usos industriales, no requieren de mucha infraestructura, por lo que sus impactos físicos serán menores. Sin embargo, se recomienda realizar un estudio enfocado en este tipo de alternativas y su repercusión sobre la salinidad del agua y de los suelos del distrito de riego del alto del Chicamocha, así como en su agricultura. También resulta importante un estudio sobre los impactos de estas alternativas sobre los humedales, las dársenas y las corrientes lenticas y loticas de la zona de humedales, así como sus impactos sociales, culturales, económicos y tecnológicos.

Por otro lado, respecto al aprovechamiento en la *agricultura a campo abierto e invernaderos*, cultivos *acuícolas* y de *organismos termófilos*, aparte de los impactos paisajísticos generados por la infraestructura necesaria para su producción, no se han identificado mayores impactos. Por este motivo, se recomiendan estudios sobre sus impactos sobre los humedales, las dársenas y las corrientes lenticas y loticas de la zona de humedales, así como sus impactos sociales, culturales, económicos y tecnológicos.

Se sugiere realizar estudios sobre los impactos ambientales generados por las características fisicoquímicas de las aguas servidas provenientes del aprovechamiento turístico terapéutico-recreativo, frente al ecosistema del río Chicamocha y al Lago Sochagota.

En cuanto a generación eléctrica, es recomendable profundizar en temas de sistemas de reinyección en frío y la posibilidad de extracción de agua dulce para incrementar la alimentación del reservorio con el fin de aumentar el flujo del sistema geotérmico.

## **12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **Bibliografía**

- Agencia andaluza de Energía. (2009). *Recursos y potencial de energías renovables*. Obtenido de Potencial geotérmico: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/la-energia-en-andalucia/cartografia-energetica/recursos-y-potencial-de-energias-renovables/potencial-geotermico>
- Agriculturers, L. 2. (Dirección). (2013). *Geotermia para invernaderos en Holanda* [Película]. Obtenido de <http://agriculturers.com/geotermia-para-invernaderos-en-holanda/>
- Alcaldía de Municipal de Paipa; Concejo Municipal. (2000). *Mapa de aptitud de ganadería semi-intensiva*.
- Alcaldía de Paipa- Boyacá. (s.f). *Mi municipio, Galería de mapas*. Obtenido de Ubicación de Paipa en el departamento : <http://www.paipa-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>
- Alcaldía de Paipa, Concejo Municipal de Paipa. (2000). *Plan de Ordenamiento territorial, POT, Mapa de zonificación del uso del suelo zona rural P.O.T*. Paipa.
- Alcaldía Municipal de Boyacá, Concejo municipal. (2000). POT, Plan de Ordenamiento Territorial. *Sección de mapas y figuras. Mapa de Unidades Climáticas*. Boyacá, Paipa, Colombia.
- Alcaldía municipal de Boyacá; concejo municipal de Paipa. (2000). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT, Figuras de funcionamiento*.
- Alcaldía municipal de Paipa, Concejo Municipal. (2000). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT, Mapa turístico de Paipa*.
- Alcaldía municipal de Paipa, Concejo Municipal. (2000). Plan de Ordenamiento territorial, Sección de mapas y figuras. Mapa veredal 2003. *mapa veredal*. Boyacá, Paipa, Colombia.
- Alcaldía Municipal de Paipa, Concejo Municipal. (2000). POT , Plan de Ordenamiento Territorial. *Sección de mapas y figuras. Mapa Geología*. Boyacá, Paipa, Colombia.
- Alcaldía Municipal de Paipa, Concejo Municipal. (2000). POT, Plan de Ordenamiento Territorial. *Sección de mapas y figuras. Mapa de pendiente*. Boyacá, Paipa, Colombia.
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá. (2017). *Departamento administrativo de planeación, desarrollo territorial y desempeño institucional*. Obtenido de <http://www.paipa-boyaca.gov.co/NuestraAlcaldia/Dependencias/Paginas/Departamento-Administrativo-Planeacion.aspx>
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá. (s.f). *Secretaría de agricultura y desarrollo rural*. Obtenido de <http://www.paipa-boyaca.gov.co/NuestraAlcaldia/Dependencias/Paginas/Secretaria-de-Agricultura-y-Desarrollo-Rural.aspx>

- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal. (2000). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT. Reseña de Paipa*. Boyacá: Paipa.
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo municipal. (2000). Plan de Ordenamiento Territorial. Acogido con el acuerdo (29 de marzo de 2010) [09 del 2010]. *Parte I. Sub sistema Administrativo*.
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal. (2000). POT, Plan de Ordenamiento Territorial. *Acogido con el acuerdo (29 de marzo de 2010) [09 del 2010], Sub sistema biofísico (Los recuerdos Naturales y el medio ambiente)*, 38-42.
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo Municipal. (2000). *POT, Plan de Ordenamiento Territorial de Paipa, Mapa de ZONIFICACION DEL USO DEL SUELO ZONA RURAL POT*. Paipa.
- Alcaldía municipal de Paipa-Boyacá, Concejo municipal. (2000). POT, Plan de Ordenamiento Territorial. Diagnostico Plan Parcial Municipio de Paipa, 2006. Acogido con el acuerdo (29 de marzo de 2010) [09 del 2010]. *Geomorfología, estratigrafía regional*, 16-17.
- Alfaro. (2002). *Estudio isotópico de aguas del área geotérmica de Paipa*. INGEOMINAS.
- Alfaro, C. (2002). *Proceso de Exploración y evaluación de los recursos geotérmicos. Geoquímica del sistema geotérmico de Paipa*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Alfaro, C. (17 al 19 de Noviembre de 2010). Congreso Internacional en Ciencias y Tecnologías Ambientales IV Sesión: Energía, producción y consumo sostenible . *RECURSOS GEOTÉRMICOS DE COLOMBIA* . Manizales: Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS.
- Alfaro, C., & Hurtado, R. (mayo a de 2018). Generalidades de la geotermia. *Presentación del proyecto Perforaciones de Gradiente térmico en Paipa*. Boyacá, Paipa, Colombia: Alcaldía municipal de Paipa, recinto del Concejo.
- Alfaro, C., & Hurtado, R. (mayo b de 2018). Sistema geotérmico de Paipa. *Presentación del proyecto Perforaciones de Gradiente térmico en Paipa*. Boyacá, Paipa, Colombia: Alcaldía municipal de Paipa, recinto del Concejo.
- Alfaro, C., Velandia, F. C., & Pardo, N. (2010). Preliminary Conceptual Model of the Paipa Geothermal System, Colombia. *Procceedings World Geothermal Congress*, 25-29.
- Alfaro, C., Velandia, F., Cepeda, H., Pardo, N., Vásquez, L., & Espinosa, O. (2005 ). *MODELO CONCEPTUAL PRELIMINAR DEL SISTEMA GEOTÉRMICO DE PAIPA* . Bogotá: INGEOMINAS.
- Aranda, T., Araújo, & Elda. (2009). Técnicas e instrumentos cualitativos de recogida de datos. En T. Aranda, Araújo, & Elda, *Manual básico para la realización de tesinas, tesis y trabajos de investigación* (pág. 273). Editorial EOS.
- Arias, G., & Acevedo, M. (2017). *Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia*. Manizales: Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD.
- Arroyo, S. (2007). *Valoración de impactos ambientales*. Sevilla : INERCO.
- Asociación Colombiana de Energías Renovables. (2018). *¿Qué son las FNCER?* Obtenido de <https://www.asorenovables.com/que-son-las-fncer/>

- Avellaneda- Cusara, A. (2008). *Evaluación de impacto ambiental, conceptos, metodologías y estudios de casos*. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Avellaneda, A. (2010). *Paypa, herencia y contemporaneidad Hispánico-Chipcha*. Tunja: Academia Boyacense de Historia .
- Avila, P., & Ballesteros, C. (2004). *Formular lineamientos para una propuesta de hábitat campesino ambientalmente sostenible en la comunidad rural, dela vereda el salitre, municipio de Paipa, Boyacá*. Bogotá: UNIVERSIDAD EL BOSQUE FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL.
- Baeza, J., López, J. A., Fernández, J. A., Rubio, J., & Ferré, J. (2001). Aspectos técnicos y económicos de las aguas minerales. En J. Baeza Rodríguez-Caro, M. D. Cerezuela Gutiérrez, J. A. Cuchı Oterino, J. J. Curan Valsero, J. A. Fernández Sánchez, J. A. López Geta, . . . J. Rubios Navas, *Las Aguas Minerales En España, visión histórica, contexto hidrogelogico y perspectiva de utilización* (págs. 41-89). España: IGME, Instituto Geologico y Minero de Espaana.
- Barrionuevo, A. (2004). *La explotación de las aguas minero termales con fines turísticos*. Lima-Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Barrionuevo, M. (2003). *Catálogo de Tecnologías para Pequeños Productores Agropecuarios* . Obtenido de Teñido natural de lana y pelo:  
<https://www.buscagro.com/biblioteca/tecnologias/catalogo/tecno/111.htm>
- Bhandiwad, A., Guseva, A., & Lynd, L. (2013). Metabolic Engineering of thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum for increased n-Butanol Production. *Adv. Microbiol*, 3(1). 46-51.
- Bona, P., & Covilleo, M. (2016). *Valorización y gobernanza de los proyectos geotérmicos en América del Sur*. Comisión Economica para América Latina y el Caribe, CEPAL. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40079/1/S1600390\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40079/1/S1600390_es.pdf)
- Borda, C., Sánchez, R., & Wunder, S. (2010). *Pagos por Servicios Ambientales en Marcha: La Experiencia en la Microcuenca de Chaina, Departamento de Boyacá, Colombia*. Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Breckenridge, R., & Lunis, B. (1991). Environmental consideration. En P. Lienau, & B. Lunis, *Geothermal Direct Use, Engineering and Design Guidebook, GeoHeat Center, Klamath Falls* (págs. 37—445). Oregon.
- Bruni, S. (2014). *Una nueva serie sobre la innovación de energía*. Obtenido de La energía geotérmica. Banco Interamericano de Desarrollo:  
<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6601/El%20calor%20de%20la%20Tierra%3a%20fuente%20inagotable%20de%20energ%C3%ADa%20sostenible.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cadena, A. (2009). Regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida en Colombia. *Revista de ingeniería*, 28. 90-98 .
- Castañeda, A. C. (2003). *diseño de una metodología para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos*. Bogotá: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES.

- Castillo, A. (2014). *Evaluación de impacto ambiental de la energía solar y eólica en la abiota de Colombia*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Cepeda, H., & Villavece, N. (2004). *Vulcanismo de Paipa, Vulcanitas, mapa anexo 2*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Chatterjee, S., Bhattacharjee, L., & Chandra, G. (2010). Biosorption of heavy metals from industrial waste water by *Geobacillus thermodenitrificans*. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3). 117-125.
- Chernyh, N., Garvilov, S., Sorokin, V., German, K., Sergeant, C., Monique, S., . . . Slobodkin, A. (2007). Characterization of technetium(vII) reduction by cell suspensions of thermophilic bacteria and archaea. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76(2). 467-472.
- Clark, C., & Harto, B. &. (2012). Water Resource Assesment of Geothermal Resources and Water Use in Geopressed Geothermal Systems. *Argonne National Laboratory - Environmental Science Division*, ANL/EVS/R-11/10. Rev.1 .
- Colombia.net. (2018). *Salario Mínimo, Colombia.net*. Obtenido de Diario - Día: <http://www.salariominimocolombia.net/>
- Concejo Municipal de Paipa. (2017). *Misión y Visión*. Obtenido de VISIÓN DEL CONCEJO MUNICIPAL: <http://www.concejo-paipa-boyaca.gov.co/concejo/mision-y-vision>
- Congreso de Colombia. (3 de octubre de 2001). Ley 697 DE 2001. [*Ley 697 DE 2001*]. Obtenido de [http://www2.igac.gov.co/igac\\_web/normograma\\_files/LEY6972001.pdf](http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/LEY6972001.pdf)
- Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). Ley de integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético Nacional. [*Ley 1715 de 2014*]. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf)
- Congreso de la república de Colombia. (21 de marzo de 2013). [Proyecto ley 219 de 2013]. *Proyecto de ley 219 de 2013 senado*. Obtenido de <https://vlex.com.co/vid/proyecto-ley-2013-senado-451038490>
- Congreso Nacional de Colombia. (22 de diciembre de 1993). Ley General Ambiental de Colombia. [*Ley 99 de 1993*]. Obtenido de [http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia\\_99-93.pdf](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf)
- Corbetta, P. (2010). Capítulo 10: La entrevista cualitativa. En P. Corbetta, *Metología y técnicas de investigación social* (págs. 434-363). Obtenido de <https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/metodologc3ada-y-tc3a9cnicas-de-investigacic3b3n-social-piergiorgio-corbetta.pdf>
- Cortés, G. (2017). *Integración de la energía geotérmica en la cimentación de edificios para su posterior climatización*. Barcelona: Escuela técnica superior de ingeniería industrial de Barcelona.
- Díaz, A. (2013). *Determinación de los impactos ambientales del turismo en la ciudad de Paipa (Boyacá)*. Universidad de Manizales, Boyacá.
- Dickson, H., & Fanelli, M. (2004). *¿Qué es la energía geotérmica?* Obtenido de [http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1\\_d505\\_4825\\_9db3\\_8438d78a406c.PDF](http://www.lis.edu.es/uploads/812fe7d1_d505_4825_9db3_8438d78a406c.PDF)

- Diez, C. (2018). *Estudio preliminar de impacto ambiental (EPIA), del parque de cultivo del alga KOMBU DE AZÚCAR, (Saccharina latissima) en Lastres*. Obtenido de [ftp://ftp.asturias.es/asturias/pesca/EPIAS/2018\\_03\\_06\\_EPIA\\_KOMBU\\_LAGRIEGA.pdf](ftp://ftp.asturias.es/asturias/pesca/EPIAS/2018_03_06_EPIA_KOMBU_LAGRIEGA.pdf)
- Energy Information Administration, E. (2013). *Annual energy outlook 2013*. Obtenido de <https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo13/>
- Environmental Protection Agency, EPA. (2009). *Mandatory Green House Gas Reporting* . Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P10054DH.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EP A&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- Environmental Protection Agency, EPA. (2011). *Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program Fuel Emission Coefficient*. Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/emission-factors\\_2011.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/emission-factors_2011.pdf)
- Erices, S. (2017). *Estudio de factibilidad para la instalación de una central geotérmica en Chile. CONCEPCIÓN - CHILE : ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE VILANOVA I LA GELTRÚ (EPSEVG)* .
- Estrada, R., & Quintero, M. (2004). *PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL ANÁLISIS DE CUENCA: UNA ALTERNATIVA PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS DETECTADAS EN LA IMPLEMENTACION DEL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES*. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT: Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina CONDESAN.
- FAO. (2002). *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. ISSN 1020-8127: Roma.
- FAO. (7 de Abril de 2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Nuevas oportunidades en la energía geotérmica para los países en desarrollo: <http://www.fao.org/news/story/es/item/282648/icode/>
- FAO (2013). *Vías de la sostenibilidad*. Obtenido de Los pagos por servicios ecosistémicos: <http://www.fao.org/3/a-ar584s.pdf>
- Ferreira, P., & Hernández, R. (1988). *Evaluación Geotérmica en el Areade Paipa, Basada en técnicas Isotópicas, Geoquímicas y Apectos Estructurales*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. p125.
- Flórez, A. (2003). *Colombia: en evolución de sus relieves y modelados*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos.
- Fridleifsson, I. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5. 299-312.
- GeoEnciclopedia. (2016). *Cinturón de Fuego del Pacífico*. Obtenido de <http://www.geoenciclopedia.com/cinturon-de-fuego-del-pacifico/>
- Geothermal Energy Association . (s.f). *Geothermal Electric power sector: Good for America's energy system and economy*. Washington, D.C: Pennsylvania Ave SE.
- Geothermal Energy Association. (s.f). *U.S. Geothermal Electric Power Sector: Good for America's Energy System and Economy*. Obtenido de The economic benefits of a typical 30 MW

- geothermal plant during its 30-year lifecycle: <http://www.ge-energy.org/reports/2017/GEOTHERMAL%20IS%20GOOD%20FOR%20AMERICA.pdf>
- Geothermal Energy Association, GEA. (2012). *Geothermal Basics: Q&A*. Obtenido de [http://geo-energy.org/reports/Gea-GeothermalBasicsQandA-Sept2012\\_final.pdf](http://geo-energy.org/reports/Gea-GeothermalBasicsQandA-Sept2012_final.pdf)
- Gobernación de Boyacá. (2012). *Aspectos geográficos*. Obtenido de <http://www.boyaca.gov.co/prensa-publicaciones/mi-boyac%C3%A1/aspectos-geograficos>
- Goh, K., Kahar, U., Chai, Y., Chong, C., Chai, k., Ranjani, V., . . . Chan, K. (2013). Recent discoveries and applications of *Anoxybacillus*. *Applied Microbiological and Biotechnology*, 97(4). 1475–1488.
- Gómez, C. (2015). *Contribución a la validación del protocolo de degradación de suelos y tierras por salinización en el componente socioeconómico a partir de un estudio de caso del distrito de riego del alto Chicamocha en el departamento de Boyacá*. Bogotá: Universidad El Bosque.
- Gómez, J. (2008). *Caracterización cinética y enzimática de *Thermoanaerobacter italicus*, cepa usba 18 aislada de un manantial termomineral en Paipa-Boyacá*. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana.
- Gonzales, A., Llamas, R., & López, G. (1992). Capítulo 1. Hidrogeología, conceptos básicos, caracterización hidrogeológica de las aguas minerales y mineromedicinales, infraestructura hidrotermal. En S. e. Bacaicoa, *Jornadas de aguas minerales y minero medicinales en España* (págs. 1-30).
- Han, Y., Agarwal, V., Dood, D., Kim, J., Bae, B., Mackie, R., . . . Cann, I. (2012). Biochemical and structural insights into xylan utilization by the thermophilic bacterium *Caldanaerobius polysaccharolyticus*. *Journal of Biological Chemistry*, 287(42). 34946-34960.
- Heras, S. (2002). *Desarrollo e implementación de energías renovables: situación actual y tendencias. Diagnóstico de la situación energética en España y Cataluña*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3428>
- Herbas, D. (2012). *Evaluación técnico económica de la implementación y operación de una central de energía eléctrica a partir de fuentes geotérmicas en el sistema eléctrico chileno*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113859/cf-diaz\\_dh.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113859/cf-diaz_dh.pdf?sequence=1)
- Hidalgo, O. (16 de 10 de 2016). *Lavandería, textiles, moda y tecnología*. Obtenido de teñido de lana conceptos y aplicaciones : <https://conocimiento-textil.blogspot.com/2016/10/tintoreria-textil-tenido-de-lana-conceptos-y-aplicaciones.html>
- Holm, A., Jennejohn, D., & Blodgett, L. (2012). *Geothermal Energy and Greenhouse Gas Emissions*. Obtenido de [http://geo-energy.org/reports/GeothermalGreenhouseEmissionsNov2012GEA\\_web.pdf](http://geo-energy.org/reports/GeothermalGreenhouseEmissionsNov2012GEA_web.pdf)
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP . (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C, 276 p. + 37 hojas cartográficas. : Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann,

- IGAC. (1998). *Plan de Ordenamiento territorial, MAPA DE UNIDADES CLIMATICAS, Escala 1:45.000*. Sistema de Informacion Geografica "SIG" Paipa.
- IGAC. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT (2000), Mapa de aptitud para el turismo cultural en Paipa*.
- IGAC. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial (2000), Mapa de aptitud de agricultura traccional*.
- IGAC. (2005). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá*. Bogotá D. C. Obtenido de [ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00\\_shape\\_suelos/PROYECTO\\_DNP/MEMORIAS\\_SUELOS\\_OFICIALES/BOYACA/94864-Suelos%20Tomo%20I.pdf](ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/BOYACA/94864-Suelos%20Tomo%20I.pdf)
- IGAC, Instituto Geografico Agustín Codazzi. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT (2000), MAPA DE APTITUD PARA GANDERIA SEMI-INTENSIVA*.
- IGAC, Instituto Geografico Agustín Codazzi. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT (2000), MAPA DE PENDIENTES, Escala 1:45.000*. Sistema de Informacion Geografica "SIG" Paipa.
- IGAC, Instituto Geografico Agustín Codazzi. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT (2000), Concejo Municipal*.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1998). *Plan de Ordenamiento Territorial, POT (2000), Mapa de Fauna municipal, sistema biotico*.
- IGME & IDAE . (2008). *Manual de geotermia. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Instituto Geológico y Minero de España*.
- INGEOMINAS. (2010). *Evaluación Geoquímica para geología médica en las zonas asociadas a las fuentes termales del departamento de Boyacá. Versión 1.0*. Obtenido de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B11/22006040024538/DOCUMENTO/PDF/2105245381101000.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional, España. (2018). *Vulcanología*. Madrid – España: Centro Nacional de información Geográfica. Obtenido de <http://www.ign.es/web/ca/vlc-area-volcanologia>
- Instituto Nacional de Electrificación ; División de Desarrollo Geotérmico. (2007). *Energía Geotérmica*. Guatemala: División geotérmica.
- ITP. (s.f). *Parque termal de Paipa*. Obtenido de <http://parquetermalpaipa.com/>
- Lavania, M., Cheema, S., Sarma, P., Ganapathi, R., & Lal, B. (2014). Methanogenic potential of a thermophilic consortium enriched from coal mine. *Revista International Biodeterioration and Biodegradation*, 93. 177-185.
- Layton, J. (2017). *Chec pone la geotermia en alto*. Obtenido de <http://www.lapatria.com/economia/chec-pone-la-geotermia-en-alto-356348>
- López, J. A., Matínez, C., Moreno, L., Navarrete, P., & Baeza, J. (1996). Áreas de protección. En J. A. López Geta, C. Matínez Navarrete, L. Moreno Merino, P. Navarrete Martínez, & J. Baeza Rodríguez-Caro, *Guía para la elaboración de perímetros de protección de las aguas minerales y termales* (págs. 38-46). España: IGME, Instituto Geológico y Minero de España.
- López, S. (2006). *Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y el stock ganadero de Esparza, Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE.

- Malavasi, E., Mora, L., & Carvajal, C. (2003). *Impacto del Programa de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica como medio de reducción de la pobreza en los medios rurales*. Costa Rica: UNIDAD REGIONAL DE ASISTENCIA TECNICA, RUTA.
- Marín, G., & Sánchez, A. (2017). *Estado Actual de la producción de energía geotérmica en Colombia*. Manizales: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD. Obtenido de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13221/1/1087995573.pdf>
- Marzolf, N. (2014). *Emprendimiento de la Energía Geotérmica en Colombia*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%207-1-14finalweb.pdf?sequence=1>
- Matek, B. (2013). *Promoting Geothermal Energy: Air Emissions Comparison and Externality Analysis*. Obtenido de [http://geo-energy.org/events/Air%20Emissions%20Comparison%20and%20Externality%20Analysis\\_Publication.pdf](http://geo-energy.org/events/Air%20Emissions%20Comparison%20and%20Externality%20Analysis_Publication.pdf)
- Maya, E. (2014). *Métodos y técnicas de investigación. Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. México, distrito federal, México.
- McClendon, S., Bath, T., Christopher, J., Adams, P., Simmons, B., & Singer, S. (2012). *Thermoascus aurantiacus is a promising source of enzymes for biomass deconstruction under thermophilic conditions*. *Biotechnology for biofuels*, 5(54). 2-9. doi:10.1186/1754-6834-5-54
- Menzel, N. (2000). *Presente y futuro del termalismo español y europeo*. En J. Vázquez, T. Grande, N. Menzel, B. Calpés, J. Sánchez, J. Bacaicoa, . . . J. Albares, *Panorama Actual de las Aguas Minerales y Minero-Medicinales en España* (págs. 69-74). España: Instituto Geológico y Minero de España, IGME.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2010). *EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL PROYECTO DESARROLLO INTEGRAL GANADERO*. Provincia de Río Negro.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de Diciembre de 1974). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. [Decreto Ley 2811 de 1974]*. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (25 de mayo de 2017). *Decreto 870 de 2017. [Decreto 870 de 2017]*. Obtenido de de: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2017/06/decreto-870-del-25-de-mayo-de-2017>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Objetivos y Funciones*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2013). *Programa de Transformación Productiva, PTP, Plan de negocios para el subsector de Turismo de Bienestar en Colombia*. Colombia.

- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (GIBSE)*. Colombia. Obtenido de Extraído de: [http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE\\_esp%C3%B1ol\\_web.pdf](http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_esp%C3%B1ol_web.pdf)
- Ministerio de Minas y Energía. (19 de diciembre de 2004). Decreto 3683 de 2004. [*Decreto 3683 de 2004*]. Obtenido de [https://normativa.colpensiones.gov.co/colpens/docs/pdf/decreto\\_3683\\_2003.pdf](https://normativa.colpensiones.gov.co/colpens/docs/pdf/decreto_3683_2003.pdf)
- Mnif, S., Chamkha, M., Labat, M., & Sayadi, S. (2011). Simultaneous hydrocarbon biodegradation and biosurfactant production by oilfield-selected bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 111(3). 525-536.
- Montañez, L., & Lozano, T. (2017). *ESQUEMA COMPLEMENTARIO DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES ORIENTADO A LA RECUPERACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS*. Bogotá: UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
- Motta, D., Aguilar, J., & Aguirre., E. (2012). Una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia. *rev.fac.cienc.econ*, 55-67.
- National Reseach Council, NRC. (2010). *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use*. Washington, *The National Academies Press*.
- Navia, A., & Barriga, A. ( 1929). *Informe sobre las aguas termomedicinales de Paipa (Colombia)*. Gobernación de Boyacá: Imprenta Nacional. 76 pp. .
- Obando, J. (2011). *Evaluación tecno-economica de la producción de biocombustibles a partir de microalgas*. Manizales- Colombia: Universidad nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/6751/1/8110005.2012.pdf>
- Ocampo, D. (2017). *El marco normativo de las energías alternativas en Colombia nogarantiza su pleno desarrollo*. Bogota, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/16221/1/DanielFelpeGiraldoOcampo2017.pdf>
- Olave, V., & Funes, I. (Junio de 2012). *Evolución de Costos ERNC*. Obtenido de Costos energía Geotermica: [http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C.\\_Geo.html](http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C._Geo.html)
- Organización Latino Americana de Energía (OLADE); ICEL, Geotérmica Italiana & Contecol. (1982). *Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Colombia*. 455 pp.
- Organization of American States. (2005). *PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES*. San José, Costa Rica: Departamento de desarrollo sostenible de la organización de los estados americanos- taller de expertos sobre el apoyo al desarrollo sostenible a través de la agricultura, la silvicultura y el turismo.
- Pardo, N., Cepeda, H., & Jaramillo, J. (2005). The Paipa Volcano, Eastern cordillera of colombia, south america: volcanic stratigraphy. *Earth Sciences Research*, 9(1). 3-18.
- Parmar, A., Niraj, S., Pandey, A., Gnansounou, E., Madamwar, & Datta. (2011). Cyanobacteria and microalgae: A positive prospect for biofuils. *Bioresource Technology*, 102 (22). 10163-10172.
- Pérez Díaz, J. S. (2000). ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS DEL SECTOR DE AGUAS ENVASADAS, Y SU EVOLUCIÓN. En J. Vázquez, T. Grande, N. Menzel, B. Calpés, J. Sánchez, J. Bacaicoa, . . . J. Albares, *Panorama Actual de las Aguas Minerales y Minero-*

- Medicinales en España* (págs. 159- 168). España: IGME, Instituto Geológico y Minero de España.
- RAE, Real Academia de la lengua Española. (s.f). *Definición de* . Obtenido de Alternativo: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=alternativo>
- Rastogi, G., Muppidi, G., Gurram, R., Adhikari, A., Bischoff, K., Hughes, S., . . . Sani, R. (2009). Isolation and characterization of cellulose-degrading bacteria from the deep subsurface of the Homestake gold mine, Lead, South Dakota, USA. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36(4). 585-598.
- Renzoni, G. (1981). *Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja*. Bogotá: Boletín Geológico V 24, 2, pp. 31-48.
- Richter, A. (2017). *Think geoenergy*. Obtenido de Work on a geothermal project at the Nevado del Ruiz Volcano in Colombia, could start as early as next year with exploration work: <http://www.thinkgeoenergy.com/geothermal-project-could-restart-at-nevado-del-ruiz-volcano-in-colombia/>
- Rincón, G., León, G., Ocampo, L., Bernal, A., Chinchilla, D., Ortiz, I., & Caballero, C. (2010). *EVALUACIÓN GEOQUÍMICA PARA GEOLOGÍA MÉDICA EN LAS ZONAS ASOCIADAS A LAS FUENTES TERMALES DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ. SECTORES PAIPA-IZA Y SOATA-GÜICÁN*. Bogotá D.C: INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, INGEOMINAS.
- Ríos, A., & Flórez, A. (2000). *Los altiplanos colombianos: génesis y evolución hacia la desertificación*. Cali: En Prensa.
- Rojas, N., Monsalve, M., Patiño, F., Pintor, I., & Martínez, L. (2009). *Geología del domo volcánico de Iza y sus alrededores*. Bogotá: INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, INGEOMINAS. Obtenido de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008002524434/DOCUMENTO/pdf/2105244341101000.pdf>
- Romero, L., Muñoz, I., & Maecha, J. (2010). *Proyección de la Demanda de Energía en Colombia, Revisión octubre de 2010*. Bogotá D.C. Colombia: UPME-Unidad de Planeación Minero Energética. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/docs/energia/proyecc\\_demanda\\_energia\\_octubre\\_2010.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/energia/proyecc_demanda_energia_octubre_2010.pdf)
- Rueda, J. (s.f). *Panorama de la geotermia en Colombia*. Colombia: Servicio Geológico Colombiano – Asociación Geotérmica Colombiana.
- Ryu, H., Yoo, S., Choi, J., Cho, K., & Cha, D. (2009). Thermophilic biofiltration of H<sub>2</sub>S and isolation of a thermophilic and heterotrophic H<sub>2</sub>S-degrading bacterium, *Bacillus* sp. TSO3. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1). 501-506.
- Sáez, M. (2012). *Climatización de edificios por medio del intercambio de calor con el subsuelo y agua subterránea*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación, Sexta edición*. México: McGrawHill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

- Sánchez, L., Fagundo, J., Romero, J., Moreno, A., & González, P. (s.f). *Caracterización fisico-química preliminar de fuentes de aguas minerales de Colombia*.  
[http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/congreso\\_de\\_colombia.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/congreso_de_colombia.pdf).
- Sar, P., Kazy, S., Paul, D., & Sarkar, A. (2013). Metal bioremediation by thermophilic microorganisms. *Thermophilic Microbes in Environmental and Industrial Biotechnology: Biotechnology of Thermophiles*, 171-201.
- Secretaría de Energía de Argentina. (2004). *Descripción, desarrollo y perspectivas de las energías renovables en la argentina y en el mundo*. Obtenido de  
<https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/renovables/DescripcionDesarrolloPerspectivas.pdf>
- Secretaría de Energía de Argentina; Servicio Geológico Minero Argentino. (2010). *Energías renovables. EG, Energía Geotérmica*. Obtenido de  
[https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_geotermica.pdf](https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_geotermica.pdf)
- Servicio Geológico Colombiano, SGC. (2000). *Exploración y evaluación de recursos geotérmicos, mapa y memoria del potencial Geotérmico de Colombia versión 1.0 Escala 1:1'500.000, Mapa 0101200671300003*. Bogotá D.C: INGEOMINAS, subdirección de recursos del suelo.
- Servicio Geológico Colombiano, SGC. (2000). *Exploración y evaluación de recursos geotérmicos, mapa Geotérmico de Colombia versión 1.0 Escala 1:1'500.000, Mapa 0101200671300003*. Bogotá D.C.
- Servicio Geológico Colombiano, SGC. (s.f). *Funciones y Deberes del SGC, Conforme al Decreto 4131 de 2011*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Nosotros/AcercaDelSgc/Paginas/funciones-y-deberes.aspx>
- Su, X., Han, Y., Dodd, D., Yoshida, S., Mackie, R., & Cann, I. (2013). Reconstitution of a thermostable xylan-degrading enzyme mixture from the bacterium *Caldicellulosiruptor bescii*. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(5). 1481-1490 .
- Tabak, H., Lens, P., Hullebusch, E., & Dejonghe, W. (2005). Developments in bioremediation of soils and sediments polluted with metals and radionuclides - 1. Microbial processes and mechanisms affecting bioremediation of metal contamination and influencing metal toxicity and transport. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4(3). 115-156.
- Talluri, S., Raj, S., & Christopher, L. (2013). Consolidated bioprocessing of untreated switchgrass to hydrogen by the extreme thermophile *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* DSM 8903. *Bioresource Technology*, 139. 272-279.
- Tamayo, E. (2014). Importancia de la valoración de servicios eco sistémicos y biodiversidad para la toma de decisiones. *Ciencias Ambientales y Sostenibles CAS*, 1. 16-28 .
- Tognetti, S., Mendoza, G., Southgate, D., Aylward, B., & Garcia, L. (2003 ). Evaluación de la efectividad de pagos para servicios ambientales en las cuencas hidrológicas. *Para presentación al Tercer Congreso Latinoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales* , (págs. 2-5). Arequipa, Perú, 09-12 Junio 2003 .
- Urbietta, S., Donati, E., Chan, K., Shahar, S., Sin, L., & Goh, K. (2015). Thermophiles in the genomic era: Biodiversity, science, and applications. *Biotechnology Advances*, 33(6). 633-647.

- Velandía, F. (2003). *INFORME TÉCNICO CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y ESTRUCTURAL SECTOR SUR DEL MUNICIPIO DE PAIPA*. Bogotá: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA, MINEROAMBIENTAL Y NUCLEAR.
- Wunder, S. ( 2006). *Pago por servicios ambientales: principios básicos esenciales*. Yakarta, Indonesia.: Centro para la investigación forestal internacional. CIFOR.