

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y
SANITARIAS DEL LAGO SOCHAGOTA Y DE FUENTES DE AGUA
TERMOMINERAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ**

**LUIS MANUEL BARCO RINCÓN
MARITZA MÉNDEZ ANGARITA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y
SANITARIAS DEL LAGO SOCHAGOTA Y DE FUENTES DE AGUA
TERMOMINERAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ**

**LUIS MANUEL BARCO RINCÓN
MARITZA MÉNDEZ ANGARITA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
Ingeniero Químico**

**Director
CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA
Ingeniero Químico M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por apoyarnos en todo momento, en todas las decisiones tomadas, por brindarnos amor y consejo en situaciones de alegría y dificultad.

A Dios por habernos dado la vida, la salud, por cada una de las capacidades que nos brindó con las cuales pudimos cumplir muchas de nuestras metas propuestas, además de las grandes personas con que nos rodeó y que han aportado mucho en nuestro proceso de formación.

A la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles (CTAS), su gran equipo de trabajo y en especial a Juan Agustín Gualdrón por brindarnos la oportunidad de hacer la práctica empresarial aportándonos conocimientos y experiencia en el área laboral.

A nuestros maestros y educadores que nos aportaron e instruyeron en la academia para poder superarnos y lograr nuestras metas y objetivos.

Al Doctor Crisóstomo Barajas Ferreira por su disponibilidad, apoyo e instrucción durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestros amigos y compañeros que nos brindaron apoyo durante el proceso de formación y fuera de él.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	17
2. CONCEPTOS TEÓRICOS	18
2.1. LAGO	18
2.1.1. Clasificación de los Lagos según su Creación	18
2.2. AGUAS TERMOMINERALES	19
2.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	19
2.4. MUNICIPIO DE PAIPA	20
2.4.1. Generalidades	20
2.4.2. Lago Sochagota	20
2.4.3. Río Salitre	21
2.4.4. Aguas termominerales	22
2.5. PROBLEMÁTICA PRESENTE	23

2.5.1. Lago Sochagota	23
2.5.2. Termominerales	24
3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	26
3.1. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA TOMA DE MUESTRAS	26
3.2. TOMA DE MUESTRAS	26
3.2.1. Lugares de los muestreos	27
3.2.1.1. <u>Lago Sochagota</u>	27
3.2.1.2. <u>Aguas Termominerales</u>	28
3.2.2. Metodología Muestreo In Situ	29
3.2.3. Metodología caracterización del laboratorio	29
3.3. FACTORES DE RIESGO	29
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
4.1. LAGO SOCHAGOTA	30

4.2. AGUAS TERMOMINERALES	33
4.3. DESCARGA FUENTES HIDRICAS EN CUESTION (SOGAMOSO)	36
5. CONCLUSIONES	38
6. RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos pruebas In Situ realizadas en el Lago Sochagota.	30
Tabla 2. Datos pruebas laboratorio realizadas al Lago Sochagota.	31
Tabla 3. Datos pruebas In Situ realizadas en las fuentes de Agua Termomineral.	33
Tabla 4. Datos pruebas de laboratorio realizadas en las fuentes de Aguas Termominerales.	34
Tabla 5. Datos pruebas In Situ realizadas en la descarga de las fuentes hídricas en cuestión.	36
Tabla 6. Datos pruebas de Laboratorio realizadas en la descarga de las fuentes hídricas en cuestión.	36
Tabla A1. Clasificación y características de aguas Termominerales.	42
Tabla A2. Patrones de Drenaje que predominan en el Valle del Chicamocha.	43
Tabla A3. Acciones realizadas en el lago Sochagota cronológicamente.	43

Tabla A4. Valores teóricos de oxígeno disuelto.	46
Tabla A5. Clasificación de las aguas según su dureza total.	47
Tabla A6. Productividad de lagos respecto niveles de alcalinidad presentes.	48
Tabla B1. Valor del Factor de corrección para el cálculo de oxígeno teórico disuelto a diferentes alturas.	49
Tabla B2. Valores teóricos de oxígeno disuelto para la altura a la que se encuentra el lago Sochagota.	50
Tabla C1. Parámetros y puntaje de Riesgo para aguas de uso recreativo.	52
Tabla C2. Parámetros y puntaje de riesgo para aguas de riego.	52
Tabla C3. Parámetros y puntaje de riesgo para agua potable.	53
Tabla C4. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de aguas para recreación.	54
Tabla C5. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de aguas para riego.	54
Tabla C6. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de agua potable.	55
Tabla C7. Comparación de algunas propiedades importantes del lago Sochagota en las últimas 3 décadas.	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquematización de la metodología utilizada por medio de un diagrama de Bloques.	26
Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el mapa del Lago Sochagota.	27
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo de las aguas termominerales en el mapa del municipio de Paipa.	28
Figura A1. Localización Municipio de Paipa (Boyacá).	44
Figura A2. Mapa del Municipio de Paipa (Boyacá), con puntos de muestreo.	45
Figura B1. Porcentaje de Saturación de Oxígeno en el Lago Sochagota.	50
Figura B2. Porcentaje de saturación de oxígeno en el río Chicamocha, unión de las vertientes utilizadas por el municipio de Paipa.	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Complementos Teóricos	42
Anexo B: Cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno para el lago Sochagota y el punto de unión de las vertientes en estudio en el río Chicamocha.	49
Anexo C: Nivel de riesgo para el lago Sochagota y el punto de unión de las vertientes en estudio en el río Chicamocha teniendo en cuenta el tipo de aplicación (recreativo, riego, potable).	51

RESUMEN

TÍTULO

IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS Y SANITARIAS DEL LAGO SOCHAGOTA Y DE FUENTES DE AGUA TERMOMINERAL EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ*

AUTORES

LUIS MANUEL BARCO RINCÓN, MARITZA MÉNDEZ ANGARITA**

PALABRAS CLAVE

LAGO SOCHAGOTA, AGUAS TERMOMINERALES, PAIPA-BOYACÁ, CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

DESCRIPCIÓN

Dentro de la formulación del Ajuste del Plan de Acción e Inversión Generación Térmica del Municipio de Paipa - Boyacá, que realizan en conjunto CORPOBOYACA* y CTAS*, se planteó estudiar el grado de contaminación en el que se encuentran las aguas Termominerales y el Lago Sochagota, que desembocan en el Río Chicamocha; con el fin de incluir proyectos para su correcta recuperación, preservación y manejo.

Para lograr este objetivo, como primera instancia se evaluó información secundaria, en la cual se encontraron valores preocupantes acerca de la contaminación de años anteriores de dichos recursos hídricos y en segundo lugar se tomaron muestras puntuales con el fin de realizar algunos análisis fisicoquímicos in Situ mediante Kits de campo Merck y otros en el laboratorio PSL PROANALISIS LTDA a través de técnicas especializadas.

Basados en la normatividad colombiana, se diseñaron factores de riesgo para las aguas en estudio, mediante los cuales se plantea clasificar dichos fluidos según su calidad para diferentes usos; como resultado se encontró que las aguas termominerales estudiadas son nocivas para uso doméstico y riego, y su vertimiento en el río Chicamocha da lugar a la contaminación química y térmica de dicho afluente; sin embargo, debido a su grado de mineralización son excelentes para la aplicación en tratamientos balneológicos con criterio terapéutico. Por otra parte, se pudo observar que las aguas del Lago Sochagota pueden ser utilizadas de manera recreativa y como agua de riego, aunque son poco recomendables y no deben ser usadas como agua potable sin previo tratamiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Crisóstomo Barajas Ferreira.

♦ Corporación Autónoma Regional de Boyacá.

♦ Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles.

SUMMARY

TITLE

IDENTIFICATION OF THE HYDROLOGIC AND SANITARY CHARACTERISTICS OF SOCHAGOTA LAKE AND THE SOURCES OF TERMOMINERAL WATER IN THE MUNICIPALITY OF PAIPA, BOYACA*

AUTHORS

LUIS MANUEL BARCO RINCÓN, MARITZA MÉNDEZ ANGARITA**

KEY WORDS

SOCHAGOTA LAKE, TERMOMINERAL WATERS, PAIPA-BOYACA, PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS

DESCRIPTION

In the formulation of “Ajuste del Plan de Acción e Inversión Generación Térmica del Municipio de Paipa - Boyacá”, that is develop by CORPOBOYACA* with CTAS*, is propose the study of the contamination degree in which the Termomineral waters and the Sochagota Lake are, this to include projects for recuperation, preservation and management.

To achieve this objective, secondary information was evaluate, and concern values about the contamination of past years were discover, after this, punctual samples were taken to perform some physicochemical analysis, there was two kinds of analysis, In Situ through Merck Field Kits and other were perform into the laboratory PSL PROANALISIS LTDA through specialized techniques.

Based in Colombian normative, risk factors for the waters on study were design, through this factors the fluids arises to classification according to quality for different uses; such a result were found that Termomineral waters study are very harmful to domestic use and watering, and its dumping on the Chicamocha river is a hazard for that river; however the high degree of mineralization that this water has, make the resource excellent to beauty and therapeutic treatments. Moreover the waters of the Sochagota Lake can be use for a recreational way and as a watering, although this is inadvisable; and shouldn't be use like potable water without previous treatment.

* Work Degree

** Faculty of Physicochemical. School of Chemical Engineering. Director: Crisóstomo Barajas Ferreira.

♦ Corporación Autónoma Regional de Boyacá.

♦ Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles.

1. INTRODUCCIÓN

La ley 99 de 1993 indica que las Corporaciones Autónomas Regionales deberán administrar el 2,5% de las ventas brutas transferidas por las generadoras térmicas, con el fin de invertir en proyectos para la protección del medio ambiente y la defensa de la cuenca hidrográfica del Municipio ó municipios donde está ubicada la planta; para esto debe formular un plan de inversiones de dichos recursos con su respectivo cronograma. De esta forma, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), teniendo en cuenta las nuevas problemáticas ambientales presentes en el municipio de Paipa, realiza en conjunto con la Corporación de Tecnologías Ambientales Sostenibles (CTAS) el Ajuste del Plan de Acción e Inversión Generación Térmica (PAIGT) del Municipio de Paipa.

Ciertas actividades productivas del municipio generan un impacto ambiental de gran magnitud en los departamentos de Boyacá y Santander. La minería y la agroindustria, generan residuos que se vierten en las aguas que surten el Lago Sochagota, el turismo por su parte utiliza los afloramientos de agua termomineral que se presentan en el municipio, luego estas aguas son vertidas sin ningún tratamiento en el Río Chicamocha en donde también desembocan las aguas que salen del lago. Ante este panorama y teniendo en cuenta la importancia turística, económica, social y ambiental del Lago Sochagota y de las Aguas Termominerales tanto para el municipio de Paipa como para el departamento de Boyacá, se hace prioritario incluir estudios y proyectos dentro del ajuste del PAIGT que lleven a su adecuado manejo, recuperación y preservación.

La información que se presenta a continuación es el resultado de la evaluación de información secundaria, investigación de antecedentes y visitas realizadas al área mencionada anteriormente con el fin de identificar plenamente los efectos ambientales causados por la actividad humana sobre las aguas termominerales y el Lago Sochagota, y establecer algunos puntos que ayuden a la prevención, control o mitigación de tales efectos.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

En este capítulo se pueden encontrar breves definiciones de lago, aguas termominerales y las principales propiedades fisicoquímicas utilizadas en el desarrollo del estudio, generalidades del municipio de Paipa, descripciones del Lago Sochagota y aguas termominerales del municipio y una reseña de la problemática presente.

2.1. LAGO

Puede definirse como una gran masa de agua dulce o salada depositada en depresiones de un terreno, se encuentra alejado del mar y se caracteriza por su escaso o nulo movimiento de la materia; por este motivo, el cambio de nivel de un lago está determinado por factores externos, el aumento puede darse a través de las precipitaciones, por posibles afluentes, generalmente ríos y afloramiento de aguas freáticas¹; el descenso puede darse a partir de la evaporación, por los afluentes subterráneos o por la propia acción del ser humano que utiliza el agua como recurso natural.

2.1.1. Clasificación de los Lagos según su Creación

- Natural: producido por derrumbe de laderas, congelamiento con formación de placas de hielo o pequeños embalses construidos por castores.
- Artificial: también llamado represa, presa, reservorio, embalse y si es una laguna menor se denomina estanque. Construido para diversos fines como reservorio agrícola, fuente de agua potable, presa hidroeléctrica, prevención de crecidas, para facilitar la navegación, esparcimiento, deportes acuáticos.

¹ También conocidas como aguas subterráneas, son aquellas que se acumulan bajo la tierra, almacenadas en los poros que existen en sedimentos como la arena y la grava, y en las fisuras que se encuentran en rocas.

2.2. AGUAS TERMOMINERALES

Se denominan aguas termales a las aguas minerales que se encuentran en el seno de la tierra y emanan del suelo a una temperatura 5 °C más alta que la temperatura media anual del lugar donde emana. Proceden de capas subterráneas de la Tierra, generalmente a lo largo de líneas de falla debido a que pueden introducirse aguas subterráneamente, que se calientan al llegar a cierta profundidad aprovechando el calor del núcleo del planeta y luego ascienden en forma de vapor (que puede condensarse al llegar a la superficie, formando un géiser) o de agua caliente. Poseen factores energéticos como la potente ionización, mineralización, radiactividad, gases y variaciones de pH.

Existe una amplia gama de usos de los fluidos termominerales como son, balneología, cultivo de peces, calefacción, agricultura, procesos industriales, aplicaciones medicinales, cocción de alimentos y generación de energía eléctrica, debido a que comprenden 4 recursos de gran importancia económica que son: recurso energético, mineral, biológico e hídrico.

Pueden clasificarse según su temperatura, origen geológico, composición química, y composición en minerales. (Tabla A1).

2.3. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Las propiedades fisicoquímicas de una fuente hídrica pueden indicar diversos factores tales como los componentes, la calidad del recurso y el grado de contaminación que alcanza. En este estudio se analizaron propiedades como alcalinidad, dureza, acidez, saturación de oxígeno, temperatura y pH. En el anexo A se definen estas propiedades y su importancia en la caracterización del agua.

2.4. MUNICIPIO DE PAIPA

2.4.1. Generalidades

El municipio de Paipa está localizado en el valle de Sogamoso, uno de los valles internos más importantes de la región andina, en la parte centro oriental del país y noroccidental del departamento de Boyacá a 2525 m sobre el nivel del mar, dista aproximadamente 184 km de Santafé de Bogotá y 40 km de Tunja, capital del departamento. Su cabecera municipal se encuentra a los 5° 47' de latitud norte y 73° 06' de longitud oeste. Presenta una temperatura anual promedio de 14,5°C, con una precipitación media anual de 944 mm*. Abarca una extensión de 30592,41 hectáreas aproximadamente (ver Figura A1).

El área ocupada por el municipio, forma parte de la cuenca alta del río Chicamocha. Morfológicamente su territorio de norte a sur, presenta tres regiones a saber: media falda con colinas y páramos al norte; un plano inclinado con aguas freáticas superficiales (utilizadas antes en aljibes²) y un área pantanosa, asiento de un antiguo lago, el cual hace parte del pantano de Vargas, donde brotan aguas termominerales en inusitada abundancia. La red hidrográfica está conformada por el río Chicamocha, las Quebradas Valencí y El Rosal y el Lago Sochagota, alimentado este último por la Quebrada El Salitre o Quebrada Honda Grande. [8]

2.4.2. Lago Sochagota

Es un cuerpo de agua artificial construido en 1956 por el gobierno municipal como medio promotor del turismo y fomentador del deporte náutico en la región. Posee un área de 163 Ha, un volumen de 4557000 m³, una profundidad media de 2,80 m, y máxima de 3,20m (batimetrías³ efectuadas PMA), conteniendo en su primer metro de profundidad, aproximadamente 1623000 m³, lo cual significa que por

* IDEAM

² Es un depósito destinado a guardar agua, habitualmente, que se conduce mediante canalizaciones y es subterráneo, total o parcialmente.

³ Es el estudio de la profundidad marina.

cada centímetro que baje el nivel del agua en este primer metro, el embalse pierde 16230 m³.

El lago se encuentra ubicado en la zona turística, al sur del municipio de Paipa, a 2496 metros de altura sobre el nivel del mar, es alimentado por un influente natural, La quebrada El Salitre, y sus aguas desembocan en el río Chicamocha por medio de una compuerta que es manejada manualmente según se necesite drenar. En la zona se presenta un clima frío subhúmedo⁴, con régimen de lluvias bimodal⁵ y precipitación media anual de 944 mm.

El lago tiene una condición léntica lo que implica aguas en reposo o acumuladas, esto facilita la precipitación de sólidos, la mayor penetración de luz y, en ocasiones, su calentamiento, lo cual propicia una mayor actividad algal y biológica, en general.

El fondo del Lago es relativamente plano, el espesor de los lodos presentes en el Lago no supera los 30 cm, y su poca densidad hace que se puedan mover junto con el agua. Debido a que el agua del Embalse se renueva cada año (Balance hídrico realizado en el PMA), el período de reposo de los lodos es muy corto y, dada su poca densidad, se ha impedido la formación de verdaderos sedimentos. Sin embargo, existen algunos sedimentos arenosos hacia la zona sur del Lago y en las partes más profundas, hacia el suroriente, debidos presumiblemente a aportes de la quebrada El Salitre y a las zonas de erosión en el sector oriental circunvecino al Lago. [8]

2.4.3. Río Salitre

El río Salitre también conocido como quebrada Honda Grande o quebrada Salitre, cuya cuenca abarca unas 8150 hectáreas ubicadas sobre la cordillera Oriental, entre los 2496 y los 3400 m.s.n.m., con una longitud aproximada de 16 km, entrega sus aguas al Lago Sochagota. En lo que respecta a la calidad físico-química y biológica de la quebrada El Salitre se puede decir que es condicionada

⁴ Hace referencia que la temperatura media anual es inferior a 18°C y que contiene una humedad relativa mayor a 60%.

⁵ Dos períodos de lluvia y dos de verano durante el año.

principalmente por los afloramientos de aguas termales localizadas en el sitio denominado La Playa y otros, aguas abajo. Los patrones de drenaje que predominan en esta zona son el dendrítico, subdendrítico (poco densos) y algo meándrico (Tabla A2) en el Valle del Chicamocha. [8]

El IDEAM tiene una estación que funciona en la quebrada El Salitre para medir el caudal que entrega al lago Sochagota, sin embargo se han encontrado problemas en los valores que registra esta estación dado que los balances de masa para la entrada y salidas de agua muestran que el agua del embalse se renueva anualmente.

2.4.4. Aguas termominerales

El municipio de Paipa cuenta con este recurso natural no renovable sobre el cual se ha explotado y generado un consumo para el sector turístico. Los nacimientos de aguas termominerales se encuentran localizados sobre la Falla Geológica de Boyacá, en la subcuenca El Salitre, se mezclan con las aguas superficiales de la quebrada Honda Grande y desembocan en el Lago Sochagota, en donde también hay brotes de este tipo de agua, finalmente se unen al cauce del río Chicamocha el cual cuenta con un yacimiento de éste tipo de fluido.

De acuerdo a las propiedades químicas, la temperatura y la acción fisiológica, las aguas termominerales del municipio se clasifican como termales-medicinales y pertenecen al grupo de las alcalinas, sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas. Tienen alto contenido de sulfato de sodio y calcio, pero también poseen carbonato de magnesio, cloruro de litio, arsénico y estroncio, ácido fosfórico, sílico, sulfhídrico y carbónico, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, helio y emanación radioactiva. La conductividad depende de la profundidad en la que se encuentren: al incrementar la profundidad existe una mayor saturación de sales y distribución de agua termal hacia abajo. Son consideradas como aguas de alta termalidad con pH más o menos neutro y gran contenido de sales disueltas. [6]

El origen de las fuentes termales en el municipio se da de dos formas:

- La infiltración del agua de lluvia a través de las rocas permeables, particularmente los niveles de areniscas de las diferentes formaciones geológicas en la región. El agua que desciende en inmediaciones del cuerpo intrusivo andesítico⁶ (Ta), se calienta y fluye a lo largo de la falla de Sochagota que atraviesa la región en dirección norte sur y al entrar en contacto con los niveles permeables de los depósitos cuaternarios, aflora en la superficie a través de ellos en forma de fuentes termales.
- Por aguas juveniles⁷ que nacen a expensas de las rocas que se hallan en contacto con el magma ígneo formado por una falla geológica.

2.5. PROBLEMÁTICA PRESENTE

2.5.1. Lago Sochagota

La cuenca del río Salitre ha manifestado problemas desde hace algunos años debido a las actividades antrópicas que se realizan en la región, este tipo de problemas se traduce en deficiencia de agua, minería mal desarrollada, pobreza de sus moradores, agroquímicos tóxicos introducidos al cauce, cambio de la vegetación nativa por pino y eucaliptus, y aparición de focos de erosión.

La calidad del agua del Lago Sochagota depende en gran parte de los caudales de la quebrada El Salitre y de las características de sus aguas, del colapso del alcantarillado perimetral que causa el desborde de aguas servidas por el sector turístico del municipio las cuales eutrofican⁸ el embalse, y de los yacimientos de agua termomineral en el lago, los cuales aportan una cantidad considerable de sales que pueden ser nocivas para la biota. Todo lo anterior lleva al enriquecimiento con nutrientes del medio acuático, favoreciendo la proliferación de

⁶ La andesita es una roca volcánica compuesta de cristales de andesina, que se encuentra principalmente en los Andes.

⁷ Aguas magmáticas o depósitos de aguas subterráneas que tienen relación con regiones volcánicas.

⁸ Masa de agua enriquecida natural o artificialmente con nutrientes como fosfatos y nitratos.

organismos productores, como las algas, que constituyen el fitoplancton y que, al estar presente de manera abundante, con su actividad fotosintética, consumen el oxígeno del agua en las horas de la noche, pudiendo agotarlo y presentarse entonces los estados de anoxia⁹, por lo cual, se produce la asfixia y muerte de animales (como peces), y reacciones químicas de reducción que liberan sustancias con malos olores, como el ácido sulfhídrico lo cual indica que se ha sobrepasado la capacidad ambiental del ecosistema acuático, por la presencia excesiva de nutrientes y de fitoplancton, propiciada por la presión antrópica y sus acciones repetitivas, que producen impactos acumulativos sobre el ecosistema. Es por este motivo que el lago Sochagota ha sido tema de muchas propuestas, estudios y planes, para su manejo, recuperación y protección (Tabla A3). Recurridamente estas propuestas no han tenido la fuerza o la colaboración suficiente para realizarse y siempre han finalizado con el mismo resultado, estudios o proyectos para soluciones a corto plazo que sólo mitigan un poco la situación dejando de fondo el gran problema. [8]

2.5.2. Termominerales

Existe una carencia en la planificación del uso de aguas termominerales y no se cumple la ley en materia de vertimientos a los cauces de agua, por lo que hoy en día las aguas termominerales servidas por el turismo de Paipa y las que brotan naturalmente a través de la falla geológica, están contaminando con sales las aguas del Río Chicamocha, incidiendo negativamente en su calidad como agua para riego y en su biota.

El Distrito de riego Uso-Chicamocha lleva esta agua contaminada a los cultivos y pastizales, generando:

- Desagregación de las partículas del suelo ocasionada por los sulfatos de Sodio.
- Contaminación iónica por Cloro y Sodio.

⁹ Condición caracterizada por la ausencia de oxígeno.

- Contaminación de los cultivos y pastizales.

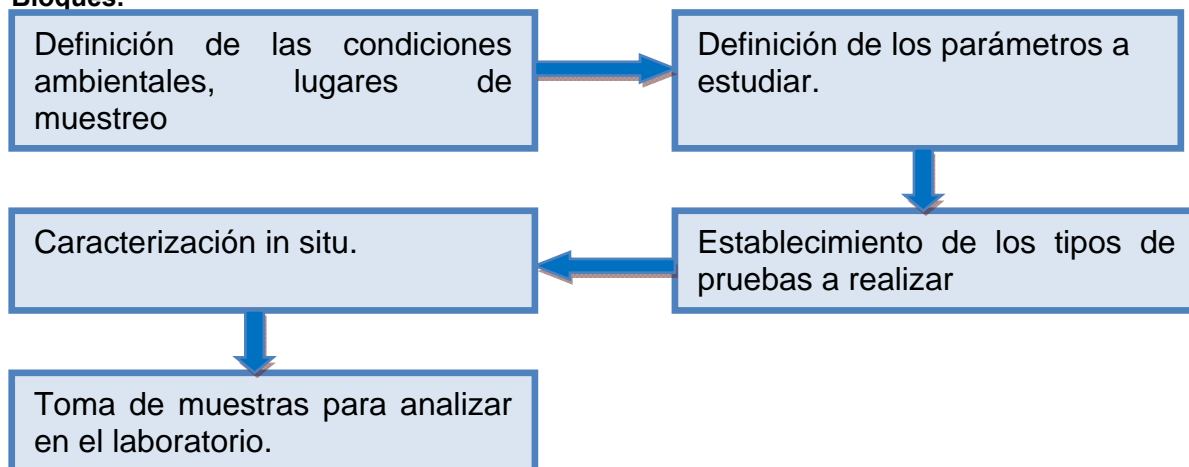
Aparte de lo anterior crea una afectación negativa sobre la biodiversidad del cuerpo de agua, retrasando los procesos de descontaminación natural. [6]

Además de la afectación ambiental generada en el río Chicamocha, en cultivos y pastizales, cierta cantidad de aguas termales servidas por un sector del turismo drenan hasta el humedal situado detrás del aeropuerto municipal, generando malos olores y afectando la fauna y flora que allí reside.

En este apartado se pudo conocer en cierto grado las principales fuentes hídricas afectadas ambientalmente por el uso inadecuado por parte del sector turístico, minero y agropecuario y la importancia que tiene la implementación de proyectos de conservación y descontaminación de la zona en el municipio de Paipa.

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Figura 1. Esquematización de la metodología utilizada por medio de un diagrama de Bloques.



Fuente: Los Autores.

3.1. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA TOMA DE MUESTRAS

La aplicación del muestreo se realizó en el primer período de lluvias del año que comienza a mitad del mes de marzo y termina a finales del mes de junio, favoreciendo el análisis de muestras de las aguas del lago Sochagota, puesto que las precipitaciones hacen que el alcantarillado perimetral de dicho embalse colapse, causando desbordamiento de aguas negras que desembocan allí; además, en las épocas de sequía la quebrada salitre pierde su caudal y desaparece haciendo que el alimento al lago por este medio se vuelva prácticamente nulo.

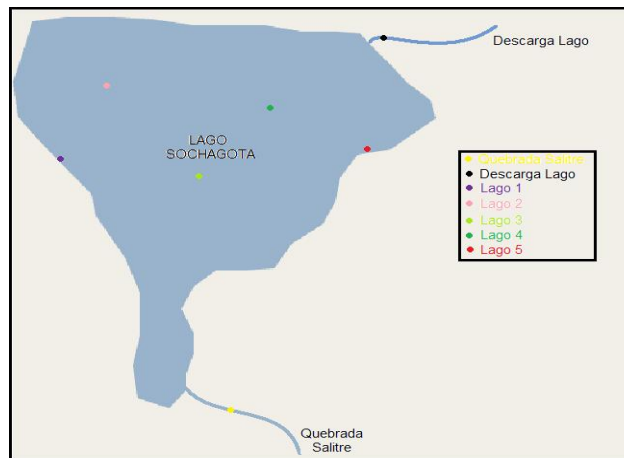
3.2. TOMA DE MUESTRAS

El agua de las dos fuentes hídricas a estudiar fue sometida a una serie de muestreos y mediciones para hallar las características físico-químicas y biológicas, y poder comparar con valores estándar de normatividad colombiana y con valores de estudios pasados con el fin de evaluar el estado actual de dichas fuentes.

3.2.1. Lugares de los muestreos

3.2.1.1. **Lago Sochagota:** como lugares de muestreo se tomaron 3 puntos dentro del lago Sochagota los cuales fueron seleccionados aleatoriamente tratando de abarcar el área total del embalse con una buena distribución de los puntos y se midieron las coordenadas planas con un GPS. Se tomaron 2 puntos más en las orillas más frecuentadas del lago, uno cerca al sendero ecoturístico y el otro en la orilla donde se percibe en mayor grado la presencia de pescadores locales. Se realizó 1 punto a la entrada de la quebrada El Salitre unos 40 metros antes de entrar al embalse para saber las condiciones adquiridas por la quebrada a través de su curso, otro punto se tomó aproximadamente 10 metros después de la descarga de aguas del lago. A continuación se muestra la figura con los respectivos lugares de muestreo y el nombre con el que se referirán en el desarrollo del trabajo.

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el mapa del Lago Sochagota.

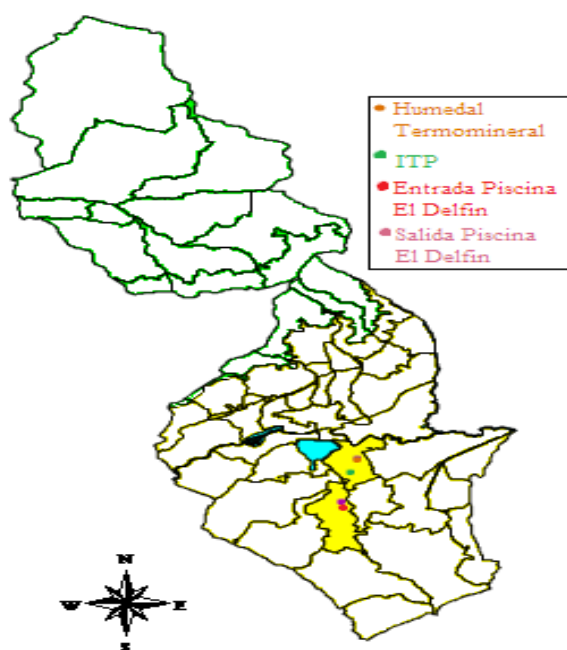


Fuente: Los Autores.

3.2.1.2. **Aguas Termominerales:** con el fin de dimensionar el tipo de alteraciones que produce el vertido de los efluentes termales sobre la

cuenca del río Chicamocha, se tomaron dos puntos en los afloramientos de la zona de las piscinas (ITP, Humedal Termomineral), un punto en los afloramientos del sector La Playa (El Delfín) y otro en su descarga, un punto más se captó en el lugar donde desembocan las aguas termominerales después de servidas (Casa Bomba Recolección Termomineral), se escogió el caño que lleva las aguas termominerales como otro punto y se tomó la muestra 6 km después del vertimiento; por último, se tomó un punto en el río Chicamocha donde se encuentran los caños de aguas termominerales, aguas servidas, y las aguas del río.

Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo de las aguas termominerales en el mapa del municipio de Paipa.



Fuente: Los Autores.

3.2.2. Metodología Muestreo In Situ

Se realizaron 8 pruebas con el fin de medir diferentes parámetros de las fuentes hídricas en cuestión (Temperatura, dureza, alcalinidad, acidez, pH, caudal, oxígeno disuelto, olor).

Las pruebas de temperatura, pH y caudal fueron medidas directamente con instrumentos especializados para cada tipo de prueba (Termómetro, pH – metro y un molinete para medir la velocidad de flujo), y fueron tomadas aproximadamente a 40 cm de profundidad. Las pruebas de alcalinidad, acidez, dureza, y oxígeno disuelto se realizaron con kits de campo Merck. Las pruebas Organolépticas fueron realizadas de manera subjetiva e indican de cierto modo el grado de contaminación del agua, definiendo características físicas como la turbidez (vista), compuestos presentes (olfato), entre otras.

En la figura A2 se muestra el mapa del municipio de Paipa con los puntos de muestreo resaltados.

3.2.3. Metodología caracterización del laboratorio

Se tomaron muestras en envases plásticos de 500mL previamente esterilizados y posteriormente enviados al laboratorio PSL PROANALISIS LTDA, laboratorio certificado y acreditado por el IDEAM, autorizado por el Instituto Nacional de Salud Ministerio de la Protección Social.

3.3. FACTORES DE RIESGO

Se basó en el IRCA (índice de riesgo de consumo de agua) de la resolución 2115 de 2007 que trata sobre consumo de agua potable y en el decreto 1594 de 1984 que trata sobre usos del agua, para elaborar tres factores de riesgo, uno de recreación, otro de riego y uno para agua potable. La elaboración de dichos factores puede verse en el Anexo C.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se dan a conocer los resultados de los muestreos puntuales in situ y del laboratorio de las diferentes pruebas realizadas y se hace un análisis y comparación con la normatividad colombiana.

4.1. LAGO SOCHAGOTA

Tabla 1. Datos pruebas In Situ realizadas en el Lago Sochagota.

Lugar de muestreo	Lago 1	Lago 2	Lago 3	Lago 4	Lago 5	Promedio Lago	Quebrada Salitre	Descarga del lago
Coordenadas Planas	E 1106583 N 1128863	E 1106159 N 1128874	E 1105888 N 1129011	E 1106104 N 1128712	E 1106996 N 1129241	E 1106996 N 1129241	E 1106221 N 1128014	E 1106741 N 1129788
T (°C)	22	21	20,5	22	20	21,1	19	20
pH	8,2	8,2	8,2	8,2	7,8	8,1	6,8	7,8
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	55	57,5	63,5	60,5	84	64,1	55	74,5
Alcalinidad (mmol CaCO ₃ /L)	50	30	30	40	40	38	NM	70
Acidez (mmol Ácidos/L)	NM	NM	NM	NM	NM	NM	0,9	NM
Oxígeno (mgO ₂ /L)	4	8	7,7	9,4	NM	6	6,2	5
Caudal (revoluciones /min)	NM	NM	NM	NM	NM	NM	810	417
Olor (aceptable o no aceptable)	A	A	A	A	NA	A	A	A

Fuente: Los Autores.

NM: No medido.

Tabla 2. Datos pruebas laboratorio realizadas al Lago Sochagota.

Lugar de muestreo	Lago 1	Lago 2	Lago 3	Lago 4	Lago 5	Promedio Lago	Quebrada Salitre	Descarga del lago
Sólidos Suspendidos (mg/L)	400	320	360	410	510	400	6000	6000
Sólidos Totales (mg/L)	3500	2800	3300	3610	3810	3404	13500	12800
Sólidos Disueltos (mg/L)	3100	2480	2940	3200	3300	3004	7500	6800
DQO (mgO ₂ /L)	19	13	14	15	16	15,4	56	56
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	11	8,2	9,1	10	11	9,9	31	89
Grasas y Aceites (mgG&A/L)	1,5	1,1	1,3	1,3	1,4	1,3	3,2	3,6
Color (mgPt/Co)	41	34	36	46	48	41	98	152
Turbiedad (NTU)	56	46	52	51	53	51,6	126	144
Conductividad (µS/cm)	6100	5600	6100	6300	7100	6240	15600	12300
Coliformes Totales (NMP/100mL)	68	54	62	63	71	63,6	210	256
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	42	31	44	44	56	43,4	96	185

Fuente: Laboratorio PSL PROANÁLISIS LTDA.

Según las pruebas de caracterización puntuales realizadas en el embalse se confirma la presencia de yacimientos de agua termomineral en el mismo, representada en valores de temperatura significativamente mayores a la temperatura anual promedio del municipio, concentración de sólidos disueltos, conductividad y cambio de pH del agua antes y después de la entrada al lago; antes de la entrada es levemente ácida debido a basuras arrojadas por actividades productivas desarrolladas en la región tales como la minería, la

agroindustria y la ganadería, al entrar al embalse su pH aumenta debido a las sales presentes en los brotes de agua termomineral que neutralizan los iones H^+ . Según el Anexo B el lago cuenta en promedio con un 65% de saturación de oxígeno, señalando un déficit debido a que se encuentra cerca al límite inferior de la cantidad necesaria para que no se produzca impacto sobre la vida acuática; sin embargo, al analizar el sector central del lago se observa que el porcentaje de oxígeno disuelto es óptimo, demostrando que la ausencia de oxígeno se encuentra en las orillas del embalse, donde se evidencia eutroficación y muerte de especies nativas. En la entrada y salida del lago las condiciones son muy similares, los valores de oxígeno disuelto se encuentran alrededor de un 50 – 65% de saturación, no siendo óptimo para aguas que van a ser vertidas en el río Chicamocha.

Las aguas del lago Sochagota como su alimento y desembocadura se clasifican como moderadamente blandas (Ver Tabla A5) debido a la mezcla de aguas de alimentación, aguas termominerales y aguas lluvias, que disminuyen la concentración de iones alcalinotérreos presentes en el embalse. Esta clasificación establece que el agua puede ser transportada por tuberías sin que cause ningún tipo de problema ni obstrucción.

Dentro de la normatividad nacional la clasificación de las aguas del lago como salobres y sus diversas propiedades químicas y físicas como el valor promedio de pH, cantidad de coliformes fecales, coliformes totales y sólidos disueltos presentes no implican problemas para la salud mediante contacto primario¹⁰ o secundario¹¹ en relación con los usos recreativos para los que fue dispuesto (ver Tabla C1), ni riesgo para la integridad de especies nativas y puede ser utilizada como agua de riego (Ver Tabla C2) aunque es poco recomendable pues sus valores de conductividad y sólidos disueltos sobrepasan los valores óptimos. Es importante

¹⁰ Actividades como la natación, buceo, etc.

¹¹ Deportes acuáticos.

resaltar que en cuanto a los valores dispuestos por la legislación colombiana para aguas potables (Ver tabla C3), las aguas del embalse no se encuentran dentro del rango, es decir no deben ser utilizadas para uso doméstico sin previo tratamiento. El Lago Sochagota presenta una mejoría con respecto a los estudios efectuados 20 años atrás a nivel ambiental (Ver Tabla C7), resultado de acciones dispuestas por cada una de las administraciones municipales durante el transcurso de tiempo y la autoridad ambiental de la región CORPOBOYACA; sin embargo hay que seguir implementando proyectos de mejoramiento y calidad de este recurso hídrico, puesto que sus valores se encuentran dentro de las normas que rigen este recurso a nivel nacional, pero aún no son óptimos.

4.2. AGUAS TERMOMINERALES

Tabla 3. Datos pruebas In Situ realizadas en las fuentes de Agua Termomineral.

Lugar de muestreo	ITP	Entrada Piscina El Delfín	Salida Piscina El Delfín	Recolección aguas Termominerales	Humedal Termomineral
Coordenadas Planas	E 1107260 N 1128476	E 1106754 N 1125402	E 1106737 N 1125298	E 1107050 N 1129411	E 1107353 N 1128599
T (°C)	50	38	36	24	25
pH	7,2	7,8	7,6	8,2	7,2
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	515	178,5	129	211	352,5
Alcalinidad (mmol CaCO ₃ /L)	48	16	56	96	80
Acidez (mmol Ácidos/L)	NM	NM	NM	NM	NM
Oxígeno (mgO ₂ /L)	1,9	3,1	3,6	2,5	1,3
Caudal (revoluciones/min)	NM	NM	217	NM	NM
Olor (aceptable o no aceptable)	A	A	A	NA	NA

Fuente: Los Autores.

NM: No medido.

Tabla 4. Datos pruebas de laboratorio realizadas en las fuentes de Aguas Termominerales.

Lugar de muestreo	ITP	Entrada Piscina El Delfín	Salida Piscina El Delfín	Recolección aguas Termominerales	Humedal Termomineral
Sólidos Suspendidos (mg/L)	5600	3200	7400	62100	56200
Sólidos Totales (mg/L)	13400	8800	16300	92200	82000
Sólidos Disueltos (mg/L)	7800	5600	8900	30100	25800
DQO (mgO ₂ /L)	15	19	15	416	365
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	8,6	11	8,6	301	278
Grasas y Aceites (mgG&A/L)	0,89	0,96	0,78	62	56
Color (mgPt/Co)	21	32	26	623	562
Turbiedad (NTU)	18	19	31	1814	1420
Conductividad (µS/cm)	10200	8700	10300	51200	43600
Coliformes Totales (NMP/100mL)	54	24	44	10140	17210
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	23	16	21	8146	10150

Fuente: Laboratorio PSL PROANÁLISIS LTDA.

Al analizar las propiedades físicas y químicas de las muestras tomadas de agua termomineral y compararlos con las normas vigentes del recurso hídrico en Colombia (ver Anexo C), se puede observar que ninguno de los puntos es apto como fuente de agua potable y de riego, debido a que no cumplen con los intervalos establecidos para algunas propiedades. Sin embargo, las fuentes termales del ITP y las de la piscina El Delfín, pueden ser utilizadas como fuentes de agua para uso recreacional (ver Tabla C1) teniendo en cuenta que para esta

aplicación, no existen restricciones con respecto a la dureza, conductividad, turbiedad y sólidos disueltos; y que en la entrada de la piscina el Delfín el color no se ajusta al rango dispuesto por la norma colombiana (ver Tabla C1).

La temperatura difiere en un alto grado en los diferentes puntos analizados de aguas termominerales, las aguas del humedal termomineral se clasifican como hipotermas, las de la piscina El Delfín como mesotermas y las del Instituto de Turismo de Paipa (ITP) como Hipertermas (ver Tabla A1). Las aguas del punto de recolección conservan cierta cantidad de calor interno adquirido en sus fuentes termales.

Los altos valores de dureza y alcalinidad indican que el agua contiene una buena cantidad de iones alcalinotérreos como suelen ser calcio y magnesio, lo que confirma la clasificación de estas aguas como bicarbonatadas, cálcicas, cloruradas y sulfatadas (ver Tabla A1).

La cantidad de oxígeno disuelto de las aguas termales se encuentra dentro del rango en el que se esperaba debido a sus altas temperaturas y a la concentración de sales presentes; por lo tanto, bajo estas condiciones, las especies nativas de la región no pueden desarrollarse.

Se pudo observar en el punto de recolección de las aguas Termominerales y en el humedal termomineral un alto grado contaminación (Tabla 3 y 4) debido al vertimiento de aguas negras por parte de algunos hoteles, situación conocida por algunos habitantes de la región, y el uso incorrecto del humedal como sitio de pastoreo.

4.3. DESCARGA FUENTES HIDRICAS EN CUESTION (SOGAMOSO)

Tabla 5. Datos pruebas In Situ realizadas en la descarga de las fuentes hídricas en cuestión.

Lugar de muestreo	Puente Balsa, Caño Aguas Termominerales	Rio Chicamocha (Sogamoso)
Coordenadas Planas	E 1113610 N1130517	E 1129150 N 1128562
T (°C)	18	17
Ph	6,6	6,8
Dureza (mgCaCO ₃ /L)	NM	NM
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	40	80
Acidez (mmol Ácidos/L)	p 2	p 0,9
Oxígeno (mgO ₂ /L)	NM	4,5
Caudal (revoluciones/min)	532	441
Olor (aceptable o no aceptable)	NA	NA

Fuente: Los Autores.

NM: No medido.

Tabla 6. Datos pruebas de Laboratorio realizadas en la descarga de las fuentes hídricas en cuestión.

Lugar de muestreo	Puente Balsa, Caño Aguas Termominerales	Rio Chicamocha (Sogamoso)
Sólidos Suspendidos (mg/L)	17400	15200
Sólidos Totales (mg/L)	23000	26800
Sólidos Disueltos (mg/L)	5600	11600
DQO (mgO ₂ /L)	33	48
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	17	36
Grasas y Aceites (mg G&A/L)	2,3	2,3
Color (mg Pt/Co)	89	96
Turbiedad (NTU)	114	129
Conductividad (µS/cm)	17400	15200
Coliformes Totales (NMP/100mL)	238	226
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	126	87

Fuente: Laboratorio PSL PROANÁLISIS LTDA.

Estas aguas son utilizadas para riego y en algunos casos para consumo por los campesinos que viven a las orillas de dichos efluentes, por esto es de vital importancia que tengan la menor contaminación posible; sin embargo, de acuerdo a los análisis de las muestras tomadas no deberían ser utilizadas como fuentes de agua de uso recreacional, de riego y menos para el consumo humano. Al observar los valores de coliformes totales y fecales, pH y alcalinidad, dichas aguas podrían ser utilizadas para riego (ver Anexo C), pero por los valores de conductividad y cantidad de sólidos disueltos, características principales de aguas ácidas no debería ser así.

La temperatura de estas fuentes hídricas es cercana a la temperatura promedio de la zona.

De acuerdo al análisis de pH y acidez, se evidencia la presencia de una ligera cantidad de ácidos.

La saturación de oxígeno teórico disuelto para el rango de temperaturas a las que se encuentran las vertientes es alarmante debido a que se encuentra muy por debajo del límite óptimo.

Es importante resaltar dentro de éste análisis que el valor de dureza no pudo ser calculado, debido probablemente a la presencia de iones hierro causados por la mezcla con aguas residuales.

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas, el Lago Sochagota puede ser utilizado de manera recreativa aunque no se encuentra en estado óptimo, siendo necesaria la continuidad de acciones de recuperación en la cuenca de la quebrada El Salitre y el lago Sochagota.
- El agua termomineral estudiada en el municipio de Paipa resulta ser nociva para aplicaciones, como riego y uso doméstico, pero por su grado de mineralización es excelente para la aplicación en tratamientos balneológicos con criterio terapéutico.
- Las aguas del río Chicamocha muestran un alto grado de contaminación en su punto de unión con las corrientes residuales de Paipa, representado principalmente en los bajos valores de saturación de oxígeno, a su alta conductividad y sólidos disueltos; motivo por el cual no deberían ser utilizadas.

6. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar estudios de este tipo a lo largo de un año para tener información acerca del comportamiento de estas fuentes hídricas y de su impacto ambiental sobre la zona en dicho período.
- Evaluar la implementación de un sistema que ayude en el proceso de descontaminación de la quebrada El Salitre y verificar el estado del alcantarillado perimetral y sus posibles efectos sobre las aguas del embalse.
- Proponer estudios para la utilización de las aguas termominerales como fuente de energía limpia, agua mineral envasada y/o agua para el cultivo de especies (como camarones).
- Generar proyectos de descontaminación de las aguas termominerales y del lago Sochagota antes de ser vertidas al río Chicamocha.

BIBLIOGRAFÍA

[1] CORPOBOYACA, Hidrogeología y Geotecnia Ambiental LTDA. Plan de Acción e Inversión Generación Térmica 2002 – 2009: Foro Ambiental Lago Sochagota: Acciones de Recuperación en la Cuenca del Río Salitre y Lago Sochagota; Manejo, Tratamiento y Disposición de Aguas Termominerales. Paipa. 2002.

[2] COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1594 (26 junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título 1 de la Ley 09 de 1979 así como el capítulo II del título Vi – Parte III - Libro II y el título III de la parte III – Libro I – del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Presidencia de La Republica. 1984. p. 1-42.

[3] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (22 junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. p. 1-12.

[4] Salazar Botero Rodrigo, Jennings Joseph, Fernández Carlos. Remediación de la Contaminación Biológica del Lago Sochagota y Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Negras Para la Ciudad de Paipa. Waste Microbes INC. Paipa. 1993. 7p.

[5] Rivera Claudia Yaneth, López Carol Andrea. Estudio y Diagnostico Físico-Biótico General de los Alrededores del Lago Sochagota Paipa-Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias. Paipa. 2001. 15p.

[6] Alfaro Claudia Valero. Exploración y Evaluación de los recursos Geotérmicos: Control de Calidad de los Análisis Químicos de Manantiales Termales de Paipa. INGEOMINAS [Subdirección de Recursos del Subsuelo]. Paipa. 2001.

[7] CORPOBOYACA, CTAS. Sistema de Gestión Ambiental Municipal de Paipa. Convenio 051 - 07. Paipa. 2007.

[8] CORPOBOYACA. Plan de Manejo del Lago Sochagota y su Área Circundante. Paipa. 1995. 150p.

[9] CORPOBOYACA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad Nacional de Colombia. Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Alta del Río Chicamocha.

[10] Pesce, Abel H., Miranda, Fernando J. y Gárea, Enrique G. Contaminación por Aguas Termales: Un Caso de estudio en la Localidad Villa Elisa Provincia de Entre Ríos. Departamento de Geotermia, Instituto de Geología y Recursos Mineros SEGEMAR. Argentina, 1997. [consultado 10 de Junio de 2010]. Disponible en: <<http://www.ambiente-ecologico.com/revist57/apesce57.htm>>

[11] Sánchez R., Luis, Fagundo C., Juan R., Romero S., Juan, Moreno C., Ana M. y Cervantes González Pablo. Caracterización Físico-Química preliminar de fuentes de aguas minerales de Colombia. Centro Nacional de Termalismo. Colombia, Diciembre, 1999. [consultado 10 de Junio de 2010]. Disponible en: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-al/congreso_de_colombia.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Complementos Teóricos

Tabla A1. Clasificación y características de aguas Termominerales.

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN
TEMPERATURA	<i>Frías:</i> Menor a 20°C
	<i>Hipotermales:</i> De 20° a 35°C
	<i>Hipertermales:</i> De 45°C a 100°C
	<i>Supertermales:</i> De 100°C a 150°C
ORIGEN GEOLÓGICO	<i>Magmáticas:</i> Aguas cuyo origen es de carácter eruptivo y el caudal constante en composición y temperatura.
	<i>Telúricas:</i> Su caudal varía dependiendo de la época del año ya que proviene de la infiltración de las lluvias.
pH	<i>Ácidas:</i> pH menor de 7
	<i>Neutras:</i> pH igual a 7
	<i>Alcalinas:</i> pH mayor de 7
COMPOSICIÓN MINERAL	<i>Aguas Bicarbonatadas:</i> Aguas de baja mineralización, alcalinas y frías donde predomina el anión bicarbonato y su mineralización global es superior a 1g/L. Este tipo de aguas pueden compartir su composición con otro tipo de minerales que van a variar sus acciones y formar aguas bicarbonatadas sódicas, cálcicas, mixtas, sulfatadas y cloruradas.
	<i>Aguas Cloruradas:</i> Aguas en cuya composición predomina el anión cloruro y los cationes predominantes suelen ser el sodio, el calcio o el magnesio. La mineralización total debe superar un g/L. Pueden ser de baja mineralización, dando lugar a aguas termales o de alta mineralización (más de 50 g/L), que serán aguas frías.
	<i>Aguas Ferruginosas:</i> Agua en cuya composición se encuentra principalmente hierro bivalente, aunque suelen acompañarse de bicarbonatos o sulfatos. La bio-disponibilidad del hierro en estas aguas es muy alta por la presencia, generalmente, de otros oligoelementos.
	<i>Aguas Sulfurosas:</i> Agua hipertermal, cuyo PH es de 6,5 y mineralización media sulfatada-sulfurosa. Se encuentra en suelos fangosos.
	<i>Aguas Sulfatadas:</i> Predominan los aniones sulfato con diferentes cationes. La mineralización total debe superar un g/L. Este tipo de aguas se caracteriza por que su temperatura y mineralización varían. Se pueden subclasificar en sódicas y magnésicas, sulfatadas cálcicas y sulfatadas cloruradas.
	<i>Aguas Radioactivas:</i> Aguas en cuyo contenido se encuentra radón-gas radioactivo de origen natural, en concentraciones superiores a 67,3 Bq/L.
	<i>Aguas Sulfuradas:</i> Contienen más de un mg/L de azufre bivalente, de ordinario bajo las formas de ácido sulfhídrico y ácidos polisulfhídricos. Su olor es característico a huevos podridos. Suelen tener materia orgánica que supone una fuente adicional de azufre elemento: Algas (baregina), y bacterias (sulfobacterias o sulfuraría).
	<i>Aguas Oligometálicas o de débil mineralización:</i> Son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L.
	<i>Aguas Carbogaseosas:</i> Contienen una concentración mayor de 250 mg/L de carbónico libre.

Fuente: “TERMASWORLD” Sociedad Española de Hidrología Médica: Características de las aguas.

Tabla A2. Patrones de Drenaje que predominan en el Valle del Chicamocha.

PATRÓN	CARACTERÍSTICAS
Dendrítico	Este patrón está formado por una corriente principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones.
Meándrico	Éste es el caso en el cual un río posee una extensión apreciable como llanura de inundación, allí se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros. Para que se genere un comportamiento de este tipo es necesario que el caudal involucrado sea importante, de cantidad apreciable.
Subendrítico	Como su nombre lo indica, es una modificación de la dendrítica. Se desarrolla en aquellas áreas donde el curso principal fluye en una zona en la que la pendiente y el control estructural son distintos a los de la zona por la que se desarrollan los tributarios.
Rectangular	Este patrón se caracteriza por el paralelismo de sus afluentes principales y generalmente con ángulos rectos y conexiones cortas entre los afluentes. Sin embargo, es menos definido en las planicies enteras donde los cordones litorales superficiales interfieren la pendiente descendiente del drenaje regional.
Paralelo	Son canales paralelos que tienen una dirección definida por la pendiente regional del terreno. Cuando mayor sea la pendiente en una dirección, mayor y mas paralelos serán los canales, por el contrario, cuando la pendiente es casi plana el paralelismo será visible con una cobertura fotográfica regional.

Fuente: Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela de ingeniería Geográfica, “Evaluación Técnica y Económica de los Recursos Naturales”. Perú.

Tabla A3. Acciones realizadas en el lago Sochagota cronológicamente.

AÑO	ACCION
	Construcción.
1956	En este mismo año se realizan aerofotografías del embalse y se deduce que existen afloramientos de aguas salinas en el lecho de este.
	Es declarado Distrito de Manejo integrado y área de recreación.
1986	En octubre de este mismo año debido a la mortalidad de carpas en el lago, se tomaron muestras del agua al lago y a la quebrada afluente, para análisis bacteriológicos y fisicoquímicos, estos análisis fueron realizados por la CAR (Bogotá).
1987	Se establecen los términos de referencia para las actividades de hotelería y turismo que se desarrollarían en el distrito.
1988	Se emitió un diagnóstico de la situación del lago Sochagota, mediante un documento el cual muestra el estado crítico del lago.
19--	Se hizo un estudio en el lago y la quebrada El Salitre encontrando que el oxígeno disuelto en el fondo y en la superficie es aproximadamente cero, además se encontró en gran cantidad nutrientes como nitratos, fosfatos y amonio lo cual causa problemas.
1989	Se construyó la primera instancia de carácter público: cercas a 30 metros.

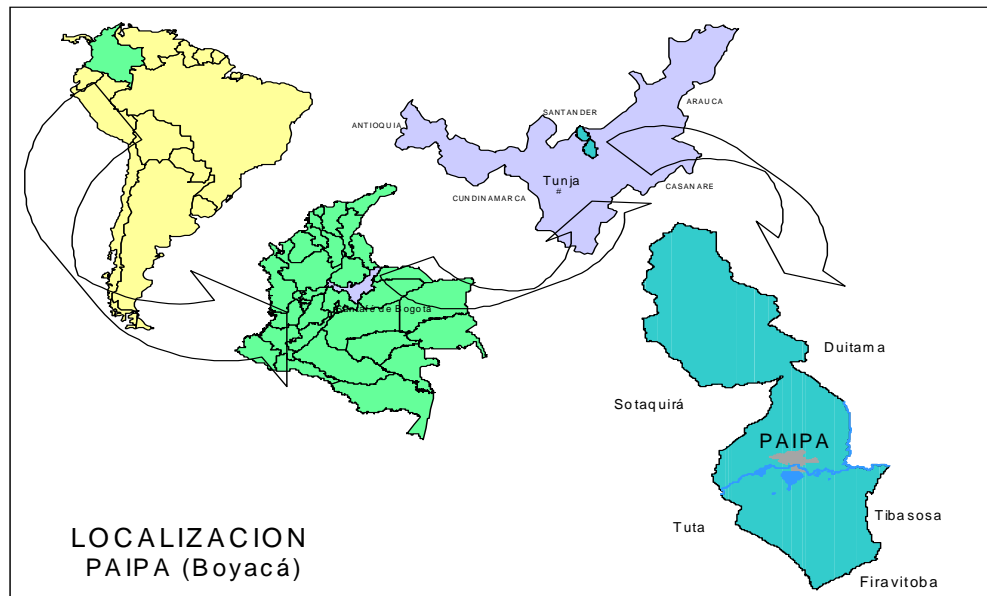
Fuente: Plan de acción e inversión generación térmica 2002 – 2009, Remediación de la contaminación biológica del Lago Sochagota y construcción de una planta de tratamiento de aguas negras para la ciudad de Paipa 1993.

Continuación Tabla A3. Acciones realizadas en el lago Sochagota cronológicamente.

AÑO	ACCION
1990	INDERENA declara esta zona en emergencia sanitaria. No apta para recreación.
	Este mismo año el INDERENA prohibió la realización de los juegos pirotécnicos en el Lago.
	En noviembre se realizo una reunión en el despacho del alcalde municipal de Paipa con el fin de tratar los temas relacionados con el lago Sochagota.
1993	Se presentó una propuesta a la alcaldía municipal por parte de Waste Microbes Inc. Houston-Texas, la cual tenía por objetivo remediar la contaminación biológica del lago Sochagota y construir una planta de tratamiento de aguas negras para el municipio.
1994	Se proyectó la construcción del alcantarillado perimetral.
1995	Elaboración de un plan de manejo del lago Sochagota y su área circundante.
1998	Comenzó a funcionar el alcantarillado perimetral del Lago.
	En octubre se presento una propuesta de proyecto “estabilización y descontaminación del lago Sochagota”.
1999	Se construye el PMA del Lago Sochagota (documento).
2001	Se presenta una propuesta de investigación a la alcaldía de Paipa para el estudio y diagnostico físico-biótico general de los alrededores del lago Sochagota.
2002	CORPOBOYACA cuenta con el Plan de Manejo e Inversión para la aplicación de los recursos provenientes del sector eléctrico por las plantas de generación eléctrica TERMOPAIPA I, II y III de la Empresa de Energía de Boyacá y TermoSochagota IV de la Compañía Eléctrica de Sochagota S.A. E. S. P. localizadas en el Municipio de Paipa, el cual contempla dentro de sus líneas de acción la de Manejo del Recurso Hídrico, en donde se contempla como actividad específica la Recuperación de Rondas Hídricas, para lo cual se prevé la recuperación de la Ronda Hídrica del Lago Sochagota.

Fuente: Plan de acción e inversión generación térmica 2002 – 2009, Remediación de la contaminación biológica del Lago Sochagota y construcción de una planta de tratamiento de aguas negras para la ciudad de Paipa 1993.

Figura A1. Localización Municipio de Paipa (Boyacá).



Fuente: Corporación de tecnologías ambientales sostenibles CTAS.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS:

Oxígeno disuelto: sin la presencia de oxígeno no puede desarrollarse vida biológica normal en las aguas naturales. Las aguas procedentes de lagos eutróficos, aguas subterráneas y aguas superficiales cargadas con aguas residuales presentan un déficit más o menos elevado de oxígeno. Como déficit de oxígeno se designa la diferencia entre el contenido realmente determinado y el valor teórico de saturación de oxígeno que corresponde a la temperatura de agua en el momento de la toma de muestra. Los valores de oxígeno teórico pueden verse a continuación:

Tabla A4. Valores teóricos de oxígeno disuelto.

T (°C)	Oxigeno Disuelto (P = 1atm)
17,0	9,37
17,5	9,28
18,0	9,18
18,5	9,10
19,0	9,01
19,5	8,93
20,0	8,84
20,5	8,76
21,0	8,68
21,5	8,61
22,0	8,53
22,5	8,46
23,0	8,38
23,5	8,32
24,0	8,25

Fuente: Kit de campo MERCK ®.

Dureza: la dureza total de agua se define como la suma de las durezas individuales que se refieren a los contenidos en los iones alcalinotérreos siguientes: calcio, magnesio, estroncio y bario. Otros cationes, por ejemplo hierro, aluminio y cobre, no se cuentan entre los promotores de dureza. Existe una clasificación estándar de las aguas según su dureza (ver Tabla A5).

La dureza del agua influye en la obstrucción de las tuberías y maquinaria utilizadas en diferentes funciones (transporte, tratamiento, etc.), en cuanto a la salud, algunos estudios han demostrado que hay una débil relación inversa entre la dureza del agua y algunas enfermedades cardiovasculares, por encima del nivel de 170mg de carbonato de calcio por litro en el agua. Sin embargo La organización mundial de la salud ha revisado las evidencias y concluyeron que los datos eran inadecuados permitir una recomendación para un nivel de la dureza en agua potable. [11]

Tabla A5. Clasificación de las aguas según su dureza total.

ppm CaCO ₃	Tipo de agua
0 – 50	Blanda
50 – 100	Moderadamente blanda
100 – 200	Ligeramente dura
200 – 300	Moderadamente dura
300 – 450	Dura
> 450	Muy dura

Fuente: Kit de campo MERCK ®.

Alcalinidad: se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones; representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, se toma como un indicador de dichas especies iónicas.

La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua natural, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente,

la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de algas en lagos, donde niveles de alcalinidad altos, indicarían una productividad alta y viceversa (Tabla A6). Dicha correlación se debe en parte a que la disponibilidad del carbono es mayor en lagos alcalinos y también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos, a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo. [11]

Tabla A6. Productividad de lagos respecto niveles de alcalinidad presentes.

RANGO	ALCALINIDAD (mgCaCO ₃ /L)
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

Fuente: Datos tomados de kevern 1989.

Acidez: Se define como la capacidad de donar protones. Las sustancias ácidas se caracterizan por poseer un sabor agrio y ser buenos conductores de la electricidad.

Las aguas ácidas presentan concentraciones elevadas de sulfato, metales (disueltos o totales) y sólidos disueltos totales; se producen mediante la oxidación química y biológica de sulfuros metálicos que se pueden encontrar presentes o formando parte de botaderos, relaves¹², basuras municipales, etc.

Temperatura: la temperatura del agua es un factor importante en diversos tipos de reacciones, para la reproducción y vida de microorganismos.

La clasificación de las aguas termominerales según su temperatura puede ser aprovechada como dato inicial en el estudio de la determinación del potencial geotérmico de dichas fuentes.

¹² Desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales.

Anexo B: Cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno para el lago Sochagota y el punto de unión de las vertientes en estudio en el río Chicamocha.

Tabla B1. Valor del Factor de corrección para el cálculo de oxígeno teórico disuelto a diferentes alturas.

Presión Atmosférica (mmHg)	Altitud Equivalente (pies)	Factor de Corrección
775	540	1,02
760	0	1,00
745	542	0,98
730	1094	0,96
714	1688	0,94
699	2274	0,92
684	2864	0,90
669	3466	0,88
654	4082	0,86
638	4756	0,84
623	5403	0,82
608	6065	0,80
593	6744	0,78
578	7440	0,76
562	8204	0,74
547	8939	0,72
532	9694	0,70
517	10472	0,68

Fuente: Manual de Campo para el Monitoreo de la Calidad del Agua.

Tomando los valores anteriores y teniendo en cuenta que la altura promedio a la que se encuentra el Lago Sochagota es de 2496 m = 8186,9 ft; se hizo una regresión lineal para obtener un factor de corrección de 0,743.

Utilizando este valor de corrección se recalculó el valor de oxígeno teórico disuelto de la Tabla A4. Obteniendo la siguiente tabla:

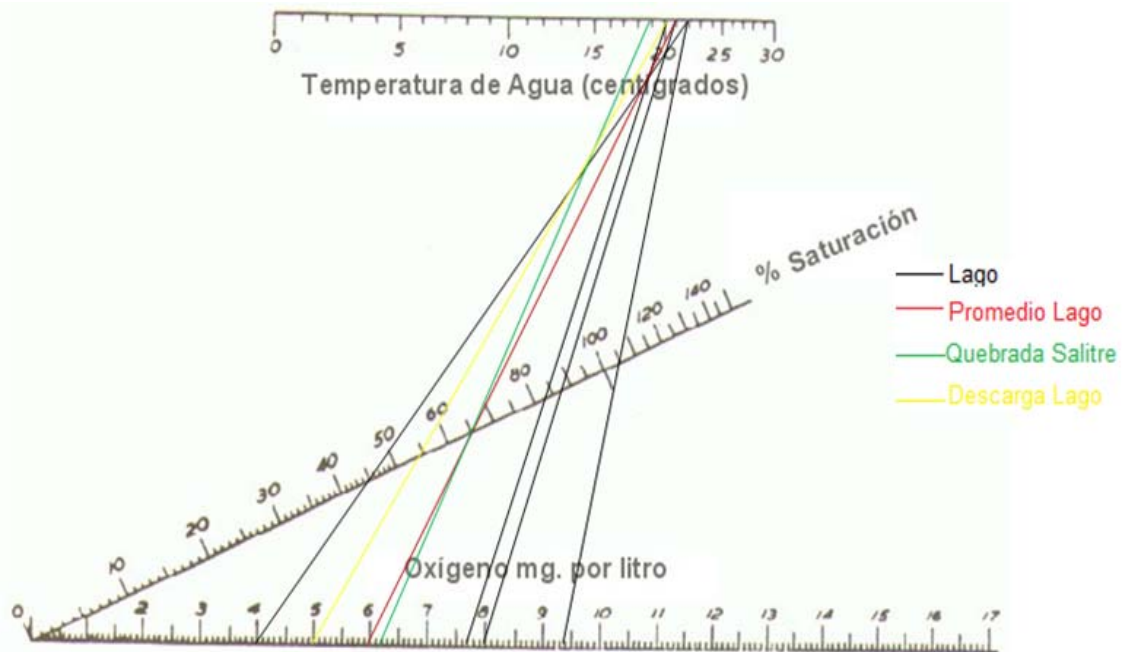
Tabla B2. Valores teóricos de oxígeno disuelto para la altura a la que se encuentra el lago Sochagota.

T (°C)	Oxígeno Disuelto (1atm)	Oxígeno Disuelto Altura Lago Sochagota
17,0	9,37	6,96
17,5	9,28	6,90
18,0	9,18	6,82
18,5	9,10	6,76
19,0	9,01	6,69
19,5	8,93	6,63
20,0	8,84	6,57
20,5	8,76	6,51
21,0	8,68	6,45
21,5	8,61	6,40
22,0	8,53	6,34
22,5	8,46	6,29
23,0	8,38	6,23
23,5	8,32	6,18
24,0	8,25	6,13

Fuente: Kit de campo MERCK® y los autores.

Tomando los valores de oxígeno disuelto de la Tabla B1. Se graficó para obtener el % de saturación presente, de la fuente hídrica en cada punto.

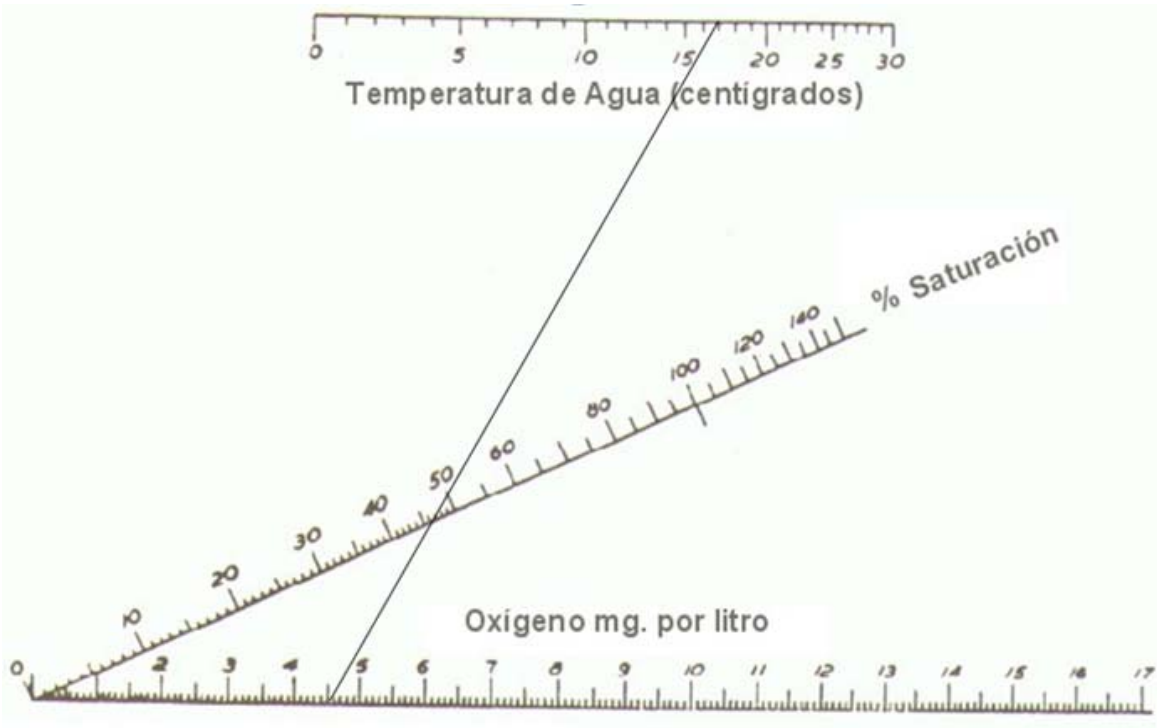
Figura B1. Porcentaje de Saturación de Oxígeno en el Lago Sochagota.



Fuente: Los Autores.

Se realizó el mismo cálculo para la muestra tomada en el Río Chicamocha en el municipio de Sogamoso, obteniendo como resultado la siguiente gráfica:

Figura B2. Porcentaje de saturación de oxígeno en el río Chicamocha, unión de las vertientes utilizadas por el municipio de Paipa.



Fuente: Los Autores.

Anexo C: Nivel de riesgo para el lago Sochagota y el punto de unión de las vertientes en estudio en el río Chicamocha teniendo en cuenta el tipo de aplicación (recreativo, riego, potable).

Este anexo muestra una serie de tablas, ecuaciones y datos que dan un factor para saber si el agua de dichos recursos puede ser utilizada de diferentes formas como el consumo directo, recreación y agrícola. Se siguieron las leyes colombianas para elaborar un puntaje de riesgo que permita sugerir la posible utilización de dichas fuentes hídricas en los diferentes campos en que se emplean actualmente.

Tabla C1. Parámetros y puntaje de Riesgo para aguas de uso recreativo.

Características	Expresadas como	Valor aceptable Mediante contacto primario	Valor aceptable Mediante contacto Secundario	Puntaje de Riesgo
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	30	30	20
Olor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	Aceptable	7
Oxígeno Disuelto	% Saturación	70 – 100	70 – 100	10
Grasas y Aceites	mg G&A/L	5	7	7
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	1000	5000	20
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	200	1000	30
Ph	unidades	5 – 9	5 – 9	6

Fuente: Ministerio de Protección Social y Ambiente – Resolución 2115 de 2007 y Los Autores.

Tabla C2. Parámetros y puntaje de riesgo para aguas de riego.

Características	Expresadas como	Valor máximo aceptable	Puntaje de Riesgo
Conductividad Eléctrica	uS /cm	0 - 3000	20
Olor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	15
Sólidos Disueltos	mg / L	0 – 2000	15
Alcalinidad y Dureza Total	CaCO ₃ CaCO ₃	50 – 1000	15
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	1000	25
pH	unidades	6,5 – 8,5	10

Fuente: Ministerio de Protección Social y Ambiente – Resolución 2115 de 2007 y Los Autores.

Tabla C3. Parámetros y puntaje de riesgo para agua potable.

Características	Expresadas como	Valor máximo aceptable	Puntaje de Riesgo
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15	6
Olor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	4
Turbiedad	Unidades nefelométrías de turbiedad (UNT)	2	17
Alcalinidad	CaCO ₃	200	4
Dureza Total	CaCO ₃	300	4
Coliformes Totales	NMP / 100 mL	< 1	17
Coliformes Fecales	NMP / 100 mL	< 1	27
pH	unidades	6,5 – 9	4
Cloro Residual Libre	Cl ₂	0,3 – 2	17

Fuente: Ministerio de Protección Social y Ambiente – Resolución 2115 de 2007 y Los Autores.

Los valores de los puntajes de riesgo para las tablas C1, C2 y C3 se asignaron debido a la influencia contaminante de la característica correspondiente basándose en los valores establecidos por el IRCA; con estos valores se procede a calcular los factores de riesgo mediante las siguientes ecuaciones.

Ec. C1. Cálculo del factor de riesgo para aguas de recreación.

$$FRAR = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables aguas de recreación}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas aguas de recreación}} \times 100$$

Fuente: Los autores

Ec. C2. Cálculo del factor de riesgo para aguas para riego.

$$FRAR = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables aguas de riego}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas aguas de riego}} \times 100$$

Fuente: Los autores

Ec. C3. Cálculo del factor de riesgo para agua potable.

$$FRAP = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables a agua potable}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas agua potable}} \times 100$$

Fuente: Los autores

Se elaboran las siguientes tablas para poder analizar el nivel de riesgo y las recomendaciones para cada caso.

Tabla C4. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de aguas para recreación.

FRARE	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
80,1 – 100	Inviabile Sanitariamente	No interactuar con el recurso hídrico de forma directa o indirecta ya que presenta alta contaminación.
55,1 – 80	Alto	Agua no apta para la recreación debido a que podría ser perjudicial para la salud humana.
30,1 – 55	Medio	No es recomendable hacer uso recreacional de aguas con estas características pues se podrían presentar problemas de higiene y salud.
10,1 – 30	Bajo	Agua que puede ser utilizada para usos recreativos pero advirtiendo a las personas que puede existir algún riesgo para la salud humana.
0 – 10	Sin riesgo	Agua en estado óptimo para uso recreacional.

Fuente: Los Autores.

Tabla C5. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de aguas para riego.

FRARI	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
80,1 – 100	Inviabile Sanitariamente	No interactuar con el recurso hídrico de forma directa o indirecta ya que presenta alta contaminación.
65,1 – 80	Alto	Agua no apta para el riego debido a que podría ser perjudicial para los cultivos y la salud humana.
40,1 – 65	Medio	No es recomendable hacer uso de aguas con estas características para riego pues se podrían presentar problemas de higiene.
15,1 – 40	Bajo	Agua que puede ser utilizada para riego pero no tiene las mejores características para este uso.
0 – 15	Sin riesgo	Agua en estado óptimo para riego.

Fuente: Los Autores.

Tabla C6. Nivel de riesgo y recomendaciones respecto al factor de riesgo calculado de agua potable.

FRAP	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
80,1 – 100	Inviabile Sanitariamente	No interactuar con el recurso hídrico de forma directa o indirecta ya que presenta una alta contaminación.
35,1 – 80	Alto	Agua no apta para el consumo humano.
14,1 – 35	Medio	Agua no apta para el consumo humano.
5,1 – 14	Bajo	Agua poco recomendable para el consumo humano puesto que puede traer repercusiones para la salud.
0 – 5	Sin riesgo	Agua apta para el consumo Humano.

Fuente: Los Autores.

Con los valores de las tablas 1,2,5 y 6 y las ecuaciones C1, C2 y C3 se procedió a calcular los respectivos valores de FRARE, FRARI y FRAP para el Lago Sochagota y para el río Chicamocha en el punto de descarga de las aguas utilizadas por el municipio de Paipa, obteniendo como resultado:

- Lago:

FRARE 30% lo cual indica, según la tabla C4 que el lago se encuentra en un nivel de riesgo bajo – medio y por tal motivo es apto para el uso recreacional, sin embargo no se encuentra en condiciones óptimas.

FRARI 35% según la tabla C5 las aguas del Lago Sochagota podrían ser utilizadas como fuente de riego sin causar mayor riesgo para la salud humana, no obstante por sus altos valores de conductividad y salinidad puede causar problemas considerables en los cultivos.

FRAP 67% lo cual la clasifica estas aguas dentro de un alto riesgo para la salud humana si se consume.

- Descarga fuentes hídricas (Río Sogamoso):

FRARE: 37% según la tabla C4 el uso recreativo del río en esta parte podría ocasionar riesgo medio para la salud, pudiendo ser un factor de afectación higiénica en la zona.

FRARI: 50% en la tabla C5 se puede observar que el agua no es recomendable para usos de riego debido a que se podrían presentar problemas de higiene.

FRAP: 75% lo cual la clasifica estas aguas dentro de un alto riesgo para la salud humana si se consume.

Tabla C7. Comparación de algunas propiedades importantes del lago Sochagota en las últimas 3 décadas.

AÑO, Década	1987	1998	2010
pH	7,2 - 8,2	7,2 - 8,1	7,2 - 8,1
Dureza Total	55 - 60	70 - 75	60 – 65
Coliformes totales	200 - 450	40 - 100	50 – 75
Coliformes Fecales	200 - 450	25 - 80	30 – 60
Oxígeno	0 - 1	0 - 8,7	0 - 9,4
Turbiedad	270 - 310	20 - 57	45 – 57
Sólidos Totales	4000 - 4500	3500 - 5000	2800 – 3900
Sólidos Suspendidos	650 - 700	700 - 900	320 – 510
Especificaciones	Insecticidas organoclorados, acumulación de sodio y cloruros.	Fósforo total y nitrógeno amoniacal denotan condiciones de eutroficación	No se sabe el estado del alcantarillado perimetral y su repercusión sobre el lago.

Fuente: Plan de acción e inversión generación térmica 2002 – 2009: Foro ambiental Lago Sochagota.