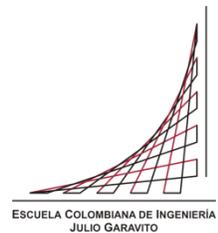


Maestría en Ingeniería Civil

Calidad Microbiológica de un Agua Termal

Amalia Avendaño Sánchez

Bogotá, D.C., 25 de Mayo de 2016



Calidad Microbiológica de un Agua Termal

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Ingeniería Ambiental**

Jairo Alberto Romero Rojas

Ingeniero Civil, MEEE

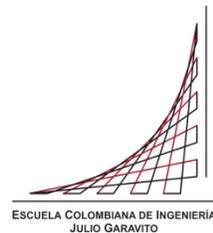
Director

Jurado:

Bióloga. Gladys Rocío González Leal

Ing. María Carolina Romero

Bogotá, D.C., 25 de Mayo de 2016



NOTA DE ACEPTACIÓN

La tesis de maestría titulada "Calidad Microbiológica de un Agua Termal", realizada por la estudiante Amalia Avendaño Sánchez, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con Énfasis en ingeniería Ambiental, fue evaluada como APROBADA por el jurado evaluador el día _____.

Bióloga, ESP. Gladys Rocío González Leal

Jurado Evaluador

Ingeniera Civil, MSc(E). María Carolina Romero

Jurado Evaluador

Ingeniero Civil, MEEE. Jairo Alberto Romero Rojas

Director del proyecto

AGRADECIMIENTOS

Jairo Alberto Romero Rojas, ingeniero civil y director de tesis, por su constante apoyo y orientación durante toda la maestría y ejecución de este trabajo.

Rocío González Leal, bióloga, por su asesoría y colaboración en el laboratorio de ambiental.

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito", por la financiación de los reactivos utilizados en el desarrollo de este trabajo y facilitarme el uso de las instalaciones del laboratorio de ambiental.

Los propietarios y empleados de la Estación los Volcanes, que me colaboraron con el suministro de información y los muestreos en la piscina y fuente termal.

Padres, hermanos y demás familiares, por su apoyo y motivación en la culminación de esta tesis.

Jorge Andrés Vega Ortiz, por su apoyo y compañía en los muestreos y análisis de laboratorio realizados.

Todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este trabajo de grado.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar la calidad sanitaria de las aguas termales, para lo cual se tomó como caso de estudio las piscinas de la Estación Los Volcanes, las cuales son de alto uso turístico y recreativo.

En el capítulo 1, se realiza la presentación del tema en estudio; en el capítulo 2 se describen los objetivos generales y específicos; en el capítulo 3 se expone el marco referencial, donde se describen los conceptos básicos sobre el agua termal y la normatividad a nivel nacional e internacional; en el capítulo 4 se presenta la metodología utilizada para evaluar la calidad del agua termal; en el capítulo 5 se muestran los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas y el análisis de los mismos, y finalmente en el capítulo 6 se exponen las conclusiones deducidas del estudio realizado.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	12
CAPÍTULO 3. MARCO REFERENCIAL	13
3.1 Aguas Termales	13
3.1.1 Clasificación de las aguas termales	13
3.1.2 Potencial de aprovechamiento	16
3.2 Caracterización Microbiológica	18
3.2.1 Grupo coliforme	18
3.2.2 Pseudomonas	19
3.2.3 Bacterias heterotróficas	20
3.3 Normas	20
3.3.1 España	20
3.3.2 Chile	26
3.3.3 Cuba	28
3.3.4 Organización Mundial de la Salud (OMS)	30
3.3.5 Estados Unidos	31
3.3.6 Colombia	32
3.4 Casos de Evaluación de Calidad Sanitaria de Aguas Termales	37
3.5 Área de Estudio	38
3.5.1 Aspectos geológicos	38
3.5.2 Sistema geotérmico	40
3.5.3 Composición química del manantial	41
3.5.4 Clasificación del manantial	43
3.5.5 Análisis microbiológicos del manantial	44
3.5.6 Uso actual y potencial	45
3. 6. Enfermedades Asociadas a las Aguas Termales	48
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	52
4.1 Muestreo	53

4.2 Métodos de Análisis	54
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	61
5.1 Análisis fisicoquímico y bacteriológico de la fuente de agua termal	61
5.2 Análisis fisicoquímico y bacteriológico de la piscina termal	63
5.2.1 pH.....	65
5.2.2 Turbiedad.....	66
5.2.3 Color	67
5.2.4 Conductividad	68
5.2.5 Temperatura	69
5.2.6 Oxígeno disuelto	69
5.2.7 Coliformes totales	70
5.2.8 Coliformes fecales	72
5.2.9 Pseudomonas.....	73
5.2.10 Bacterias heterotróficas totales	74
5.3. Control Sanitario	77
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación según la temperatura.	13
Tabla 2. Clasificación según el origen.....	14
Tabla 3. Clasificación según los sólidos totales.	14
Tabla 4. Clasificación según la composición química.	15
Tabla 5. Frecuencias y directrices microbiológicas para diferentes tipos de piscinas.....	30
Tabla 6. Criterios bacteriológicos para agua dulce de uso recreacional.....	32
Tabla 7. Criterios bacteriológicos para agua marina de uso recreacional.	32
Tabla 8. Estándares de calidad para piscinas de agua termal.	36
Tabla 9. Análisis microbiológicos de manantiales termales de Cundinamarca.....	37
Tabla 10. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos aguas termales en Paipa.	38
Tabla 11. Composición química del manantial termal.	42
Tabla 12. Clasificación del manantial termal.	43
Tabla 13. Análisis microbiológico del manantial.....	44
Tabla 14. Características de las piscinas de La Estación los Volcanes.....	45
Tabla 15. Cronograma de muestreo.	54
Tabla 16. Análisis fisicoquímico total.	55
Tabla 17. Parámetros fisicoquímico medidos.....	55
Tabla 18. Métodos de análisis microbiológico.....	56
Tabla 19. Resultados análisis fuente de agua termal.....	61
Tabla 20. Resultados del análisis fisicoquímico total.	63
Tabla 21. Caracterizaciones agua termal en la piscina.	64
Tabla 22. Comparación de los parámetros microbiológicos de la fuente y la piscina termal.	76
Tabla 23. Frecuencias y valores de referencia para piscinas de agua termal.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes termales en Colombia.	17
Figura 2. Manantial de agua termal - Estación Los Volcanes.....	39
Figura 3. Imagen Geológica.....	40
Figura 4. Modelo esquemático de un sistema en zona estrecha de factura.	41
Figura 5. Piscina de niños y Piscina 1.....	46
Figura 6. Piscina 2.....	46
Figura 7. Jacuzzi.....	46
Figura 8. Diagrama Lindal para evaluación de usos potenciales del recurso geotérmico de acuerdo a la temperatura del reservorio.	47
Figura 9. Microorganismos peligrosos en piscinas y ambientes similares.....	50
Figura 10. Localización Estación Los Volcanes.	52
Figura 11 Estación Los Volcanes.....	52
Figura 12. Toma de muestra en la fuente y piscina.....	53
Figura 13. Etiqueta y refrigeración de muestras.....	54
Figura 14. Fijación OD y toma de parámetros in situ.	56
Figura 15. Procedimiento método de filtración membrana.	57
Figura 16. Montaje filtración membrana y contador de colonias.....	58
Figura 17. Colonias de coliformes totales y fecales - Medio de cultivo <i>m- Colibblue 24</i>	59
Figura 18. Colonias bacterias heterotróficas- Medio de Cultivo <i>TGE</i>	59
Figura 19. Colonias Pseudomonas- Medio de cultivo Pseudomonas.....	60
Figura 20. Comportamiento del pH del agua de la piscina.	65
Figura 21. Comportamiento de la turbiedad del agua de la piscina.....	66
Figura 22. Comportamiento del color del agua de la piscina.....	67
Figura 23. Comportamiento de la conductividad del agua de la piscina.	68
Figura 24. Comportamiento de la temperatura del agua de la piscina.....	69
Figura 25. Comportamiento del oxígeno disuelto del agua de la piscina.....	70
Figura 26. Comportamiento de los coliformes totales.	71
Figura 27. Comportamiento de la Escherichia coli.	72
Figura 28. Comportamiento de las Pseudomonas.	74
Figura 29. Comportamiento de las bacterias heterotróficas	75

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas minerales de balnearios termales presentan una gran diversidad de microorganismos, que depende de sus propiedades fisicoquímicas como la temperatura, el pH, la cantidad de nutrientes, entre otros.

A pesar de que el agua termal de los balnearios es un hábitat extremo ya que tiene altas temperaturas y elevadas concentraciones de sales, condiciones desfavorables para la vida de muchos seres vivos, se conoce que en estas aguas minerales, como en cualquier ambiente acuático natural, existe una población microbiana autóctona y otra procedente de otros hábitats (suelo, heces, vegetales, bañistas), que coexisten con los anteriores, adaptándose a las condiciones adversas, siendo los de mayor interés sanitario *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Legionella* (De la Rosa & Mosso Romeo, 2000).

La presencia de estos microorganismos representa riesgo para la salud de los bañistas, debido a que pueden contraer enfermedades de origen hídrico por el contacto, ingestión o inhalación de este tipo de agua. Por lo cual la detección de alguno de estos microorganismos en el agua obliga a tomar medidas para su prevención y eliminación.

Debido a su alta temperatura y contenido inorgánico, el agua termal de este tipo de balnearios no se puede evaluar ni tratar como las piscinas normales, por lo cual es necesario investigar acerca de los tratamientos que se pueden utilizar para mejorar su calidad microbiológica y fisicoquímica.

De otra parte, en Colombia este tipo de agua ha sido poco estudiada y no existe normatividad en la que se aborde el control de calidad de las aguas termales, así como su uso y aprovechamiento sostenible.

Este trabajo se orienta a evaluar la calidad y a revisar experiencias previas de riesgos de salud por contacto con aguas termales en balnearios y piscinas de amplio uso en turismo y recreación. Se pretende dar a conocer normas y metodologías de control que aseguren la calidad sanitaria del agua termal, teniendo en cuenta la gran cantidad de bañistas expuestos al contacto con dichas aguas.

Se escogen como parámetros de control bacteriológico del agua termal los coliformes totales y fecales debido a que estos microorganismos tradicionalmente se han considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua y *Pseudomonas aeruginosa* porque es un patógeno oportunista que puede causar otitis, enfermedades de la piel y vías respiratorias. Es importante aclarar que estos microorganismos pueden crecer en altas temperaturas (coliformes hasta 44,5°C y *Pseudomonas aeruginosa* hasta 42°C) (Montero, 2012), son de fácil detección y según la literatura e investigaciones están presentes en este tipo de aguas (San Martín, 1992).

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar la calidad sanitaria del agua termal de las piscinas de la Estación Los Volcanes y revisar y conocer las normas de calidad para aguas termales nacionales e internacionales.

Objetivos específicos:

- Revisar casos de evaluación de calidad sanitaria de aguas termales.
- Definir y ejemplarizar casos de transmisión de infecciones o enfermedades por aguas termales.
- Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua termal de la piscina de la Estación Los Volcanes.
- Describir las razones por las cuales es necesario el control sanitario de aguas termales.
- Describir los métodos para control sanitario de aguas termales.

CAPÍTULO 3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Aguas Termales

Un manantial o fuente termal, es una descarga natural de agua con temperatura mayor de 4 °C de la temperatura media ambiental. En ocasiones la descarga de agua está acompañada de descargas de gases, principalmente gas carbónico (CO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Servicio Geológico Colombiano, s.f.).

Las observaciones y estudios han puesto de manifiesto que la infiltración del agua lluvia es la fuente principal de todas las aguas subterráneas y que la mineralización y la temperatura de las aguas minerales y termales se explica por la circulación de las aguas subterráneas a diferentes profundidades, donde entran en contacto con materiales del basamento, más caliente, lo que produce movimientos convectivos que provocan su emigración hacia zonas porosas y permeables, llegando en algunos casos a aparecer en superficie como manifestaciones hidrotermales: fuentes termales, escapes de vapor, hervideros, etc. (Pinuaga, 1992).

3.1.1 Clasificación de las aguas termales

De acuerdo con su temperatura se clasifican según la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación según la temperatura.

Frías	< 20 °C
Hipotermiales	21 – 35 °C
Mesotermiales	35 – 45 °C
Hipertermiales	>45 °C

Fuente:(Instituto Geológico y Minero de España, 2012).

De acuerdo con el origen geológico se clasifican según la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación según el origen.

Magmáticas	Surgen de una relación directa con filones metálicos o eruptivos. Presentan temperaturas elevadas, el caudal es constante en composición y temperatura.
Telúricas	El caudal varía según la época del año, al depender de la infiltración. Las temperaturas rara vez llegan a los 50 °C. El grado de mineralización es mediano a bajo.

Fuente: (Instituto Geológico y Minero de España, 2012).

De acuerdo con el contenido de sólidos totales se clasifica según la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación según los sólidos totales.

Oligometálicas	> 100 mg/L
De mineralización muy débil	Entre 100 y 250 mg/L
De mineralización débil	Entre 250 y 500 mg/L
De mineralización media	Entre 500 y 1000 mg/L
De mineralización fuerte	> 1000 mg/L

Fuente: (Maraver, 2008).

Por otra parte las aguas mineromedicinales se clasifican de acuerdo con la composición química, por el contenido aniónico/catiónico predominante, donde un anión/catión debe representar más del 20% de la mineralización global para clasificar un agua como tal. Los principales grupos de aguas mineromedicinales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación según la composición química.

Sulfatadas	Predominan los aniones sulfato con diferentes cationes. La mineralización total debe superar un g/L. Su mineralización y temperatura son variables. Por vía son colagogas, hepatoprotectoras y habitualmente, laxantes. Sus principales usos son en dispepsias digestivas y discinesias biliares. Estas aguas pueden compartir otros grupos de composición química, diversificando sus acciones y vías de administración.
Sulfuradas	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 sulfuraria). El azufre bivalente se absorbe por todas las vías de administración. Tiene gran capacidad óxidorreductora sistemática. Estas aguas tienen su principal indicación en determinados procesos reumáticos, dermatológicos, otorrinolaringológicos, y respiratorios crónicos.
Cloruradas	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. Las de muy alta mineralización (más de 50 g/L) suelen ser frías y las de baja mineralización suelen ser termales. Son estimulantes de múltiples funciones orgánicas. Las acciones concretas sobre los sistemas orgánicos dependen de la mineralización total del agua y de la vía de administración. Se suelen usar en reumatología, dermatología, otorrinolaringología, afecciones respiratorias crónicas, y en estados de agotamiento psicofísicos.
Bicarbonatadas	Predomina el anión bicarbonato y su mineralización global es superior a 1g/L. Suelen ser de baja mineralización y de temperatura de emergencia fría. Su uso es, sobre todo, en bebida. Estimulan la secreción enzimática pancreática, aumentan el poder saponificante de la bilis, alcalinizan la orina y también el pH gástrico. Estas aguas pueden compartir otros grupos de composición química diversificando sus acciones y su vía de administración.
Ferruginosas	Contienen hierro bivalente en más de 1 mg/L. Suelen ser, además, bicarbonatadas o sulfatadas. La biodisponibilidad del hierro en estas aguas es muy alta, generalmente por la presencia de otros oligoelementos. Por vía oral su utilidad es el aporte de hierro.
Carbogaseosas	Contienen concentraciones de más de 250 mg/L de CO ₂ libre. Por vía oral son estimulantes de la secreción gástrica y del peristaltismo intestinal. En balneación producen una vasodilatación arteriolar y de los plexos venosos cutáneos, utilizándose en el tratamiento coadyuvante de arteriopatías ocliterantes.

Tabla 4. Clasificación según la composición química (Continuación).

<p>Radiactivas</p>	<p>Son las que contienen gas radón radiactivo de origen natural en concentraciones superiores a 67,3 Bq/L. Las dosis de radiactividad aplicadas en las curas termales nunca suponen un riesgo y, por el contrario, han demostrado beneficios sobre el sistema neurovegetativo, el endocrino y el inmune. Este tipo de aguas se utilizan, principalmente, en reumatología, afecciones respiratorias crónicas, y ciertos trastornos psiquiátricos como los trastornos de ansiedad, del estado de ánimo y del sueño.</p>
<p>Oligometálicas o de débil mineralización</p>	<p>Son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L. Muchas se utilizan como agua de mesa. La principal característica es la diurética. Pueden producir más diuresis que el agua ingerida y variar el pH de la orina. La presencia de gas carbónico puede variar estas propiedades. Se emplean en litiasis renales úricas, oxálicas y cistínicas.</p>

Fuente: (Sociedad Española de Hidrología Médica, s.f.).

3.1.2 Potencial de aprovechamiento

El recurso termal se encuentran ampliamente distribuido en el país, prácticamente se cuenta con fuentes en todas las regiones del país (Figura 1), constituyendo un invaluable recurso desde el punto de vista turístico, económico, cultural y social.

De acuerdo con la información reportada por el Servicio Geológico Colombiano en el aplicativo Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales y como se observa en la Figura 1, la mayoría de manantiales o fuentes termales se encuentran ubicados en el sistema montañoso del país. La existencia de manantiales termales y fumarolas en zonas de fallas y fracturas geológicas, son evidencia de zonas de distensión de la corteza terrestre.

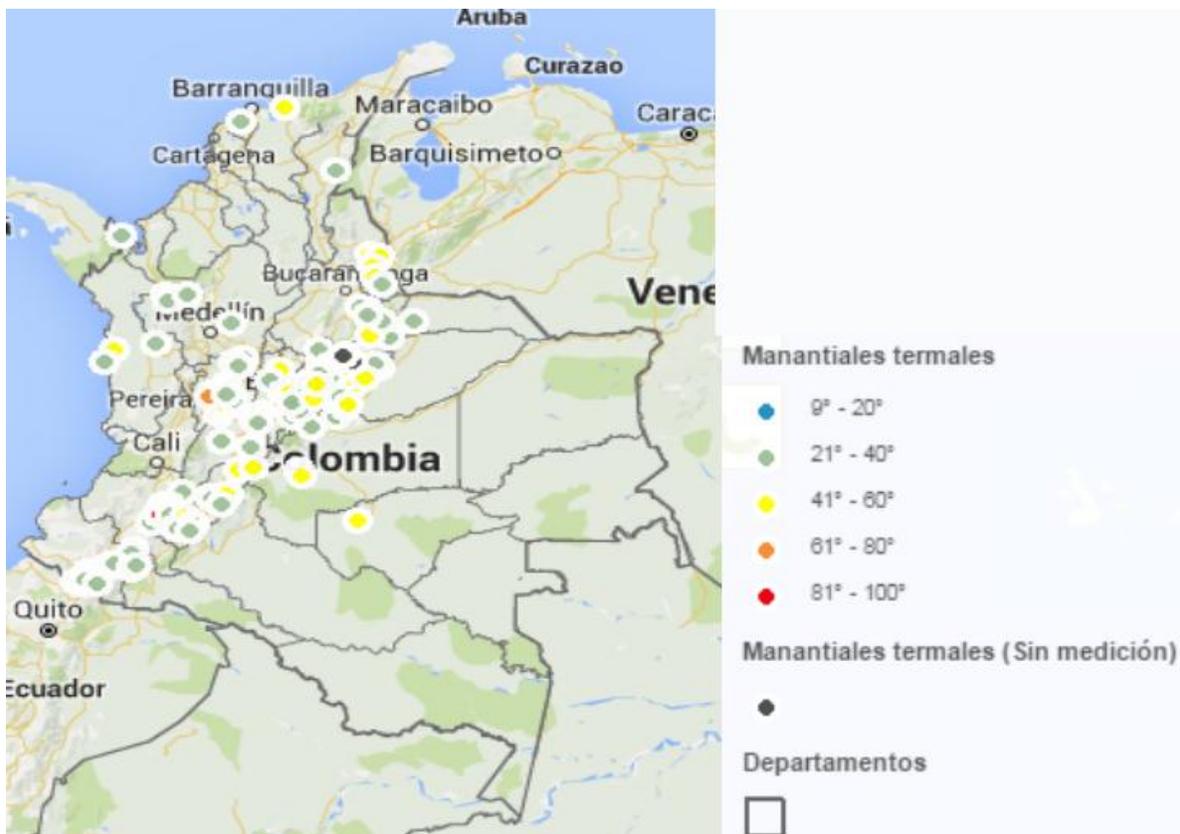


Figura 1. Fuentes termales en Colombia.
 Fuente: <http://hidrotermales.sgc.gov.co/invtermales/>

Los fluidos geotérmicos tienen un amplio campo de aprovechamiento, por su contenido mineral y energético, dentro de los cuales se destacan:

- Aprovechamiento energético: transformación de la energía térmica del fluido en energía eléctrica.
- Acuicultura: uso del agua termal en cultivos de peces, con el fin de controlar la temperatura, producir peces más grandes en un menor tiempo y permitir la producción en invierno.
- Agricultura: calefacción de invernaderos, secado de frutas, aplicaciones a campo abierto para irrigar, calentar o esterilizar el suelo.
- Balneología: usos terapéuticos (mineromedicinales) y con fines recreativos, promoción de destinos turísticos.
- Obtención de sales o compuestos dependiendo de su contenido de minerales.

3.2 Caracterización Microbiológica

Desde el punto de vista del aprovechamiento de los manantiales minerales y termales, hay por lo menos dos aspectos de máximo interés para estudios de caracterización microbiológica: Las aplicaciones biotecnológicas derivadas de microorganismos autóctonos y la contaminación de los manantiales con microorganismos alóctonos patógenos, que limitarían su utilización en balnearios y como aguas minerales naturales embotelladas (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

Un organismo indicador de contaminación se define como aquel que puede indicar la presencia de organismos patógenos y permite evaluar el riesgo en la salud pública (González Leal, 2012). Este trabajo contempla la caracterización de algunos microorganismos indicadores de contaminación como bacterias heterotróficas, coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomonas*.

3.2.1 Grupo coliforme

El grupo coliforme se define como el grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares con producción de ácido y gas a una temperatura entre 35 y 37 °C, durante un lapso de 24 a 48 horas (González Leal, 2012). Abarca los géneros de *Serratia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Escherichia*, los cuales se caracterizan por su resistencia a condiciones ambientales adversas, la cual es superior a la de los patógenos.

Cuatro de los géneros mencionados (*Serratia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*) se encuentran en grandes cantidades en el ambiente (suelos, vegetación y fuentes de agua) viviendo como saprófitos independientes y no se encuentran asociados necesariamente con la contaminación fecal.

Los coliformes fecales, se definen como el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C, comprenden el género de *Escherichia* y en menor grado,

Citrobacter, *Klebsiella* y *Enterobacter*. Tienen la característica de poderse reproducir fuera del intestino, en las redes de distribución de agua, formando biopelículas o en cuerpos de agua donde hay condiciones favorables de pH, contenido de materia orgánica y humedad. Este grupo es el indicador fecal por excelencia, debido a que refleja con mayor exactitud la contaminación de tal tipo en un cuerpo de agua (González Leal, 2012).

Escherichia coli es una bacteria Gram negativa de forma bacilar, aeróbica y anaeróbica facultativa, con un tamaño aproximado de 0,5 a 2 micras, forma parte de la flora intestinal normal del ser humano y otros animales y es indicadora de contaminación fecal y de la presencia de patógenos en el agua. La dosis mínima infectiva (DMI) de *E. coli* se encuentra en un rango de 10^8 a 10^{10} organismos (González Leal, 2012).

La *E. coli* es responsable de aproximadamente 630 millones de casos de diarrea en el mundo y entre 5 a 6 millones de muertes al año, afectando principalmente a la población infantil de países en desarrollo (Molina López & Eslava Campos, 2015).

En Colombia, la epidemiología de *E. coli* está estrechamente relacionada con la Enfermedad Diarreica Aguda – EDA (González Leal, 2012).

3.2.2 Pseudomonas

Son bacilos Gram negativos y aeróbicos que poseen flagelo polar. La *Pseudomona aeruginosa* es la de mayor impacto en la salud y presenta pigmentos azules no fluorescentes. Se ha aislado de acuíferos, agua embotellada, agua superficial, agua destilada, agua de piscina, agua de mar, suelo y vegetación. Se puede transmitir por ingestión de comida o aguas contaminadas, por contacto con agua contaminada al momento de bañarse o por contacto persona a persona en hospitales. Son causantes de infecciones oculares, otitis, diarrea y osteomielitis (González Leal, 2012).

La *Pseudomona aeruginosa* está asociada con contaminación fecal humana más que con contaminación animal.

3.2.3 Bacterias heterotróficas

Las bacterias heterotróficas, aerobias o mesófilas son microorganismos que necesitan oxígeno para subsistir y crecen en condiciones de temperatura intermedia, comprendida entre 10 a 45°C, siendo su rango óptimo, de 20 a 40°C (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

Las bacterias heterotróficas están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, son indicadores de la eficiencia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (Marchand Pajares, 2002).

Estos microorganismos no se encuentran asociados a un tipo específico de enfermedad, pero se consideran un indicador global de contaminación.

Como un criterio de calidad microbiológica de las aguas minerales naturales, el contenido total de bacterias heterotróficas no debería superar 20 colonias por mililitro (2000 Unidades Formadoras de Colonias/ 100 ml), después de incubación a 20-22 °C durante 72 horas y 5 colonias por mililitro (500 Unidades formadoras de Colonias /100 ml) después de incubación a 37°C durante 24 horas (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

3.3 Normas

3.3.1 España

En España se dispone de tres normas a nivel estatal en materia de aguas minero-medicinales: el Real Decreto Ley 743/1928, de 25 de abril, por el que se aprueba el Estatuto sobre explotación de manantiales de aguas mineromedicinales, la Ley de Minas 22/1973, de 21 de julio, que regula la declaración, explotación y protección del recurso y el Real Decreto 2857/1978 de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería. En ellas se regulan los diferentes aspectos relativos a las aguas mineromedicinales. El análisis de dichas normas refleja que no se hace referencia a los controles de calidad que deberían llevarse a cabo, ni a los posibles tratamientos o limitaciones impuestos a los mismos; no obstante evidencia la importancia de la

conservación de las propiedades terapéuticas que propiciaron la declaración de utilidad pública. (Corral Lledó, Abolafia de Llanos, & López Geta, 2006)

El Ministerio de Sanidad y Consumo promulgó el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. En su artículo 2 indica que el ámbito de aplicación se extenderá a las instalaciones que utilicen agua en su funcionamiento, produzcan aerosoles y se encuentren ubicadas en el interior o exterior de edificios de uso colectivo, entendiéndose por tanto, incluidos a los establecimientos balnearios. En dicho Real Decreto, se especifican las medidas preventivas y los programas de mantenimiento de las instalaciones, la necesidad de inspecciones sanitarias y de controles de calidad. También señala dentro de las actuaciones, la limpieza y desinfección en dos fases: un primer tratamiento de choque seguido de un tratamiento continuado. (Corral Lledó, Abolafia de Llanos, & López Geta, 2006).

Adicionalmente, algunas Comunidades Autónomas de las diecisiete que conforman el territorio español han establecido su propia legislación en esta materia, a partir de la Ley de Minas.

Cantabria

- Ley 2/1988, de 26 de octubre, de fomento, ordenación y aprovechamiento de los establecimientos balnearios y de las aguas mineromedicinales y/o termales, cuyo alumbramiento se sitúe en el ámbito territorial de Cantabria.
- Ley 8/1990, de 12 de abril, por la que se modifica el artículo 7 de la Ley 2/1988, relacionado con el personal sanitario de los establecimientos balnearios.
- Decreto 28/1990, de 30 de mayo, del Gobierno Cántabro, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento, Ordenación y Aprovechamiento de los Balnearios y de las aguas Mineromedicinales y/o termales (Boletín Oficial de Cantabria de 13 de junio de 1990).

Castilla-La Mancha

- Ley 8/1990, de 28 de diciembre, de Aguas Minerales y Termales.
- Decreto 4/1995, de 31 de enero, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 8/1990, de 28 de diciembre, reguladora del aprovechamiento, ordenación y fomento de las Aguas Minerales y Termales de Castilla-La Mancha.
- Orden de 29 de enero de 2007, de la Consejería de Sanidad (Deroga Orden de 30 de abril de 1991 sobre autorizaciones administrativas de establecimientos balnearios).

Extremadura

- Ley 6/1994, de 24 de noviembre, de Balnearios y de Aguas mineromedicinales y/o Termales.

Galicia

- Ley 5/1995, de 7 de junio, de Regulación de las Aguas Minerales, Termales y de Manantial y de los Establecimientos Balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia.
- Decreto 402/1996, de 31 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de aprovechamiento de aguas minero-medicinales, termales y de los establecimientos balnearios (Modificado por el Decreto 116/2001, de 10 de mayo).
- Orden de 5 de noviembre de 1996 por la que se regula la autorización sanitaria de los Establecimientos Balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia, en la cual se indica:

“Artículo 1º. Tendrán la consideración de establecimientos balnearios aquellos que, estando dotados de los medios adecuados, utilizan las aguas mineromedicinales o termales declaradas de utilidad pública, con fines terapéuticos y preventivos para la salud.

Artículo 2º. Los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia están obligados a reunir los requisitos y condiciones técnico-sanitarias mínimas que se determinan en el anexo I de la presente orden, no pudiendo poseer tal denominación en caso contrario.

ANEXO I. REQUISITOS Y CONDICIONES TÉCNICO-SANITARIAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS BALNEARIOS, numeral 6 Controles:

*Por lo que respecta a las aguas destinadas a duchas y baños medicinales o a baños colectivos y piscinas de uso terapéutico, estarán exentas de microorganismos indicadores de contaminación fecal (*Escherichia coli* y *estreptococos fecales*) así como de microorganismos y parásitos patógenos. La Consejería de Sanidad y Servicios Sociales podrá fijar otros parámetros que estime oportunos.*

A tal fin y durante el período de funcionamiento del balneario la empresa realizará dos controles de calidad de las aguas mencionadas en el párrafo anterior en los que se determinarán los parámetros indicados más arriba; estos resultados se remitirán a la delegación provincial de la Consejería de Sanidad y Servicios Sociales”.

Cataluña

- Decreto 271/2001, de 9 de octubre, por el que se establecen los requisitos técnico-sanitarios que deben cumplir los servicios de balneoterapia y de hidroterapia. En el Artículo 4 dispone:

”Los titulares de los servicios de balneoterapia y de hidroterapia deberán identificar cualquier aspecto de su actividad que sea determinante para garantizar la higiene de las instalaciones y los equipamientos y las condiciones sanitarias de las aguas.

Asimismo, velarán para que se definan, se pongan en práctica, se cumplan y se actualicen sistemas eficaces de autocontrol de los riesgos asociados a estas actividades.

Los sistemas de autocontrol estarán documentados y a disposición de la autoridad sanitaria competente y constarán, como mínimo, de:

- a) Un programa de limpieza y desinfección de las instalaciones y los equipamientos, cuya eficacia se comprobará periódicamente, mediante análisis microbiológicos. En este programa constará una referencia explícita al control de inhaladores y de los elementos de salida de agua de las bocas de los grifos, rociadores y difusores o alcachofas de las duchas*
- b) Un programa de vigilancia de las condiciones sanitarias de las aguas utilizadas en los servicios de balneoterapia y de hidroterapia que permita asegurar la ausencia de microorganismos patógenos, especialmente de Legionella pneumophila, y que incluya el seguimiento de microorganismos indicadores de contaminación fecal.*
- c) Cuando sea necesario, un programa de tratamiento del agua utilizada en las diferentes actividades en el que deberán constar los productos o los métodos utilizados para la desinfección, la forma de aplicación y los controles que se realizan para asegurar una correcta dosificación.*

Los resultados y las incidencias del sistema de autocontrol se han registrar documentalmente de manera que en cualquier momento se pueda hacer un seguimiento retrospectivo de los mismos.

Esta documentación estará a disposición de los servicios de inspección y de la autoridad sanitaria competente durante un plazo no inferior a dos años”.

Murcia

- Decreto 22/1991, de 9 de mayo, sobre autorización de Centros, Servicios y Establecimientos Sanitarios.

- Orden de 7 de junio de 1991, de la Consejería de Sanidad, por la que se desarrolla el Decreto 22/1991, de 9 de mayo, sobre autorización de Centros, Servicios y Establecimientos Sanitarios.
- Decreto 55/1997, de 11 de julio, sobre condiciones sanitarias de Balnearios, Baños Termales y Establecimientos de Talasoterapia y de aplicación de Peloides. Es de resaltar que en el Artículo 10 del Capítulo IV "*Condiciones generales de los establecimientos considerados en el presente Decreto*", se señala:

"El agua minero-medicinal y/o termal o salina, deberá entrar continuamente a las bañeras colectivas mientras que sean utilizadas por el público y éstas deberán estar provistas, al menos, de un rebosadero de superficie, situado en el extremo opuesto al de la entrada del agua, de modo que se produzca la renovación continua de la lámina superficial del líquido.

El rebosamiento del agua de baño podrá también efectuarse de manera perimetral.

Las bañeras de uso individual deberán ser vaciadas del agua después cada uso, renovándose completamente para una posterior utilización de otros usuarios.

El agua minero-medicinal y/o termal y peloides empleados en los tratamientos o baños, deberá cumplir los requisitos microbiológicos contemplados en el Anexo I, no debiéndose sobrepasar los niveles indicados en él.

El agua salina, empleada en los tratamientos o baños, deberá cumplir los requisitos microbiológicos contemplados en el Anexo 1, no debiéndose sobrepasar los niveles indicados en él, excepto para los gérmenes viables totales.

ANEXO I. Límites microbiológicos máximos en aguas minero - medicinales, termales y salinas y lodos.

(Los resultados analíticos correspondientes a muestras de peloides se expresarán en g. y los de aguas en ml., a los efectos de interpretar la calidad de los mismos según el cuadro siguiente)

Parámetro	Valor Límite
<i>Bacterias aerobias</i>	----- (en 1ml) ^(*)
<i>Mohos y levaduras</i>	100 ufc/1 g ó 1 ml.
<i>Coliformes totales</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Streptococos fecales</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Candida albicans</i>	Ausencia en 1 g ó 100 ml.
<i>Legionella pneumophila</i>	----- (en 1l.) ^(*)

Las técnicas analíticas de referencia serán los métodos oficiales en su caso, y en ausencia de los mismos, los propuestos por instituciones u organismos de reconocido prestigio.

^(*) A la vista de los resultados obtenidos, la Dirección General de Salud indicará, en su caso, las medidas a adoptar”.

3.3.2 Chile

- Decreto con fuerza de ley N° 237 del 28 de mayo de 1931, sobre fuentes termales.
- Decreto N° 106 de 14 de junio de 1997 aprueba el Reglamento de aguas minerales, en el cual se dispone:

“Artículo 3. Para obtener la declaración de fuente curativa, el interesado deberá presentar una solicitud al Servicio de Salud en cuyo territorio jurisdiccional ésta se encontrare ubicada, acompañando los siguientes antecedentes:

e). Boletines de análisis físico-químico, bacteriológico y de temperatura en la fuente de las aguas, bimensuales, practicados durante un año, a lo menos, por el propio Servicio de Salud, el Instituto de Salud Pública de Chile o un laboratorio autorizado para este efecto.

Artículo 20. Las piscinas pertenecientes a los establecimientos de que trata el presente reglamento se regirán por las disposiciones generales del Reglamento de Piscinas.

El régimen de alimentación de las piscinas con agua mineral deberá hacerse directamente, por tuberías cerradas y de material adecuado, desde las mismas vertientes o estanques de almacenamiento.

Artículo 35. Prohíbese someter las aguas minerales a otras manipulaciones que no sean las siguientes: desferrización, ozonificación, radiación ultravioleta, filtración, gasificación y decantación".

- Decreto 209, 05 de julio de 2002, aprueba el Reglamento de Piscinas de Uso Público y requiere:

“Artículo 11. El agua de la pileta deberá cumplir los siguientes parámetros de calidad:

pH	7,2 -8,2
Cloro libre residual	0,5 -1,5 (ppm)
Cobre (alguicidas)	Máximo 1,5 (mg/l)
Bromo (desinfectante)	1-3 (mg/l)
Espumas, grasas y partículas en suspensión	Ausencia
Bacterias aeróbicas	≤ 200 colonias/ml
Coliformes fecales	Ausencia
Coliformes totales	≤ 20 colonias/100ml
Algas, larvas u otro organismo vivo	Ausencia

Artículo 12. La transparencia del agua de toda pileta debe ser tal que permita ver claramente un disco negro de 15 cm de diámetro colocado sobre un fondo claro bajo 1,4 m. de agua mirando desde un ángulo de aproximadamente 45° desde la altura de los ojos de una persona de estatura media, situada al borde de la pileta. En toda piscina de uso público deberá efectuarse por lo menos 2 verificaciones diarias de la transparencia del agua, una al comienzo y la otra hacia la mitad de la jornada de apertura al público. En el caso de piscinas cuyo abasto provenga de fuentes termales o marinas, cuyas características físico-químicas no permitan cumplir con este requisito, este parámetro será evaluado por el Servicio de Salud, el que definirá el valor a cumplir".

3.3.3 Cuba

De acuerdo con lo establecido en el Anexo II del Subprograma de control sanitario del agua (Ministerio de Salud Pública, 2002), las actividades de control técnico a realizar en el control sanitario de las aguas minero medicinales son las que se ejecutan sobre los Balnearios Minero Medicinales y que se establecen en las Normas Cubanas siguientes:

NC 93-09:85 Higiene Comunal, Balnearios Minero Medicinales - Requisitos Sanitarios.

NC 93-28:88 Sistema de Normas de Protección del Medio Ambiente, Higiene Comunal, Instalaciones de Alojamiento - Requisitos Higiénicos Sanitarios.

Dentro de las actividades principales se encuentra la inspección mensual de las instalaciones de los Balnearios Minero Medicinales, verificando el cumplimiento de las Zonas de Protección Sanitaria, así como de los requisitos establecidos en las NC 93-09:85 y NC 93-28:88.

Los parámetros a realizar mensualmente, como rutina, con las concentraciones máximas admisibles que se establecen serán los siguientes:

- Aguas empleadas para beber directamente en la fuente y en puntos críticos del sistema, así como agua envasada:

Conteo total bacterias heterótrofas: 100-10000 UFC/ml

Coliformes totales*: <2,2 UFC/100ml

Estreptococos fecales: <2,2 UFC/100ml

Pseudomonas aeruginosa: <2,2 UFC/100ml

Bacterias anaeróbicas formadoras de esporas y reductoras de sulfito: ausencia

*En 5 muestras analizadas en el mes una pudiera dar 2,2 coliformes totales, pero ninguna puede dar coliforme fecal.

- Aguas empleadas para el baño:

Conteo total de microorganismos heterótrofos**: 100-10000 UFC/ml

Coliformes totales: <2,2 NMP/100ml

Estreptococos fecales: <2,2 NMP/100ml

Pseudomonas aeruginosa: <2,2 NMP/100ml

**Este análisis se refiere al conteo total de bacterias a 37°C y 20-22°C

Adicionalmente, la norma cubana de peloides NC:XX-1998, establece los requisitos higiénico sanitarios para peloides (fango o barro) y las aguas asociados a estos para su aplicación terapéutica:

Los peloides deberán ser de calidad tal que no representen un riesgo para la salud (ausencia de microorganismos patógenos) y se ajustaran a los requisitos microbiológicos siguientes:

- Para las muestras de peloides

Coliformes fecales: < 0,2 NMP / gps

Estreptococos fecales:< 0,2 NMP / gps

Clostridium perfringens:< 0,2 NMP / gps

Pseudomonas aeruginosa: ausencia

Staphylococcus aureus: ausencia

Salmonella: ausencia

Conteo de mohos y levaduras: < 10UFC / g

- Para las muestras de agua
 Coliformes fecales:< 2 NMP / 100 ml
 Estreptococos fecales:< 2 NMP / 100 ml
 Clostridium perfringens:< 3 NMP / 100 ml
 Pseudomonas aeruginosa:< 2 NMP / 100 ml

3.3.4 Organización Mundial de la Salud (OMS)

En la Tabla 5 se presentan la frecuencias de monitoreo y directrices microbiológicas para los diferentes tipos de piscinas durante su funcionamiento normal, establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2006) en el documento denominado Directrices para Ambientes de Aguas Recreacionales Seguras, Volumen 2, referente a piscinas y ambientes similares.

Tabla 5. Frecuencias y directrices microbiológicas para diferentes tipos de piscinas.

Tipo de piscina	Heterótrofos (Recuento en placa)	Coliformes Termotolerantes / E. Coli	Pseudomonas aeruginosa	Legionella spp.
Piscinas con desinfección, públicas y de alto uso	Semanal (<200ufc/ml)	Semanal (<1ufc/100ml)	Cuando la situación lo requiera ¹ (<1ufc/100ml)	Trimestral (<1ufc/100ml)
Piscinas con desinfección, semipúblicas	Mensual (<200ufc/ml)	Mensual (<1ufc/100ml)	Cuando la situación lo requiera ¹ (<1ufc/100ml)	Trimestral (<1ufc/100ml)
Balnearios Naturales	n/a	Semanal (<1ufc/100ml)	Semanal (<10ufc/100ml)	Mensual (<1ufc/100ml)
Jacuzzis	n/a	Semanal (<1ufc/100ml)	Semanal (<1ufc/100ml)	Mensual (<1ufc/100ml)

Fuente:(World Health Organization, 2006)

¹Por ejemplo cuando se sospecha de problemas de salud asociados con la piscina.

Es importante indicar que el término de balnearios naturales hace referencia a los establecimientos que utilizan aguas termales y/o minerales. Así mismo, se señala que las muestras deben ser tomadas cuando la piscina tiene gran número de bañistas, la frecuencia de muestreo indicada se debe aumentar si los parámetros operativos como turbidez, pH y concentración residual del desinfectante no se mantienen dentro de los rangos adecuados, los números de muestras deben determinarse con base al tamaño y complejidad de la piscina y se debe incluir un punto de muestreo representativo de la calidad de agua y posibles áreas problemáticas.

3.3.5 Estados Unidos

El programa de normas de calidad del agua en Estados Unidos es administrado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la cual ha desarrollado criterios para proteger a las personas de organismos patógenos presentes en los cuerpos de agua. La natación y otras actividades recreativas en agua contaminada con patógenos pueden causar que las personas se enfermen. Así mismo, las personas también pueden llegar a ser expuestas por beber agua no tratada de los cuerpos de agua contaminados.

En la Tabla 6 y 7 se presentan los criterios bacteriológicos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para aguas recreacionales, los cuales están contenidos en el documento denominado "*Ambient Water Quality Criteria for Bacteria -1986*" (EPA 440/5-84-002) (Environmental Protection Agency, 2003).

- Agua dulce

Basándose en un número estadísticamente suficiente de muestras (generalmente no menos de 5 muestras igualmente espaciadas durante un período de 30 días), el promedio geométrico de las densidades bacterianas indicadas no debe exceder uno u otro de los siguientes indicadores:

Tabla 6. Criterios bacteriológicos para agua dulce de uso recreacional.

Indicador	Promedio geométrico
Escherichia coli	126 UFC/100ml
Enterococos	33 UFC/100ml

Fuente: (Environmental Protection Agency, 2004)

- Agua Marina

Basándose en un número estadísticamente suficiente de muestras (generalmente no menos de 5 muestras igualmente espaciadas durante un período de 30 días), el promedio geométrico de las densidades de enterococos no debe exceder el siguiente indicador:

Tabla 7. Criterios bacteriológicos para agua marina de uso recreacional.

Indicador	Promedio geométrico
Enterococos	35 UFC/100ml

Fuente: (Environmental Protection Agency, 2004)

3.3.6 Colombia

En nuestro país no existe normatividad específica referente al control de la calidad físicoquímica y microbiológica del agua termal de balnearios y piscinas, ni al uso y aprovechamiento de estas fuentes.

Sobre seguridad en piscinas se ha expedido la Ley 1209 de 2008, reglamentada por el Decreto 554 del 27 de marzo de 2015, cuyo objeto es determinar las medidas de seguridad aplicables a los establecimientos de piscinas de uso colectivo abiertas al público en general que deben ser cumplidas por los responsables de las mismas,

tendientes a prevenir y controlar los riesgos que afecten la vida y la salud de las personas.

El Decreto 554 del 27 de marzo de 2015, establece en el Parágrafo del Artículo Sexto que los parámetros generales físico-químicos y microbiológicos del agua no serán exigibles a los estanques que almacenen aguas termales y de usos terapéuticos. El Ministerio de Salud y Protección Social definirá dichos parámetros.

En el radicado 201621300665321 del 15 de Abril de 2016, el Ministerio de Salud y Protección Social indica *“Este Ministerio no ha emitido norma para aguas termales. No obstante, y en concordancia con el parágrafo del artículo 6 del Decreto 554 de 2015, el Ministerio de Salud y Protección Social definirá los parámetros para la vigilancia del agua termal, en tal sentido está elaborando un documento técnico para orientar las acciones de inspección, vigilancia y control de aguas termales. Una vez se finalice dicho proceso se pondrá a consulta pública del nivel nacional”*.

Por otra parte, el Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 establece:

Artículo 2.2.3.3.2.7. Uso recreativo. Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización cuando se produce:

- 1. Contacto primario, como natación, buceo y baños medicinales.*
- 2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.*

Artículo 2.2.3.3.9.7. TRANSITORIO. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario los siguientes:

Referencia	Expresado como	Valor
<i>Coliformes fecales</i>	<i>NMP</i>	<i>200 microorganismos/ 100 ml.</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>NMP</i>	<i>1000 microorganismos /100 ml.</i>
<i>Compuestos Fenólicos</i>	<i>Fenol</i>	<i>0.002 mg/L</i>
<i>Oxígeno disuelto</i>	<i>-</i>	<i>70% concentración de saturación</i>
<i>pH</i>	<i>Unidades</i>	<i>5,0 - 9,0</i>
<i>Tensoactivos</i>	<i>Sustancias activas al azul de metileno</i>	<i>0,5 mg/L</i>

Fuente: Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015.

Parágrafo 1. No se aceptará en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.

Parágrafo 2. El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporción que no ocasionen eutrofización.

Artículo 2.2.3.2.17.14. Aguas minerales y termales. La Autoridad Ambiental competente, tendrá a su cargo la expedición de las autorizaciones para el aprovechamiento de las aguas minero – medicinales.

Artículo 2.2.3.2.17.15. Preferencias de destino de las aguas minero – medicinales. Las aguas minero – medicinales se aprovecharán preferiblemente para destinarlas a centros de recuperación, balnearios y plantas de envase por el Estado o particulares mediante concesión.

Artículo 2.2.3.2.17.16. Condición en la reversión. En toda concesión de aprovechamiento de aguas minero – medicinales deberá además, establecerse como condición que, al término de la misma, las construcciones e instalaciones y demás

servicios revertirá al dominio del Estado en buenas condiciones de higiene, conservación y mantenimiento, indemnización alguna

Finalmente, el Proyecto de ley número 65 de 2014, titulado “*Por medio de la cual se promueve, se fomenta, se regula, se orienta y se controla el aprovechamiento terapéutico y turístico de los balnearios termales y el uso de las aguas termales*”, radicado ante la Secretaria General de Senado el 20 de marzo de 2013 por el Senador Marco Aníbal Avirama, señala “*El agua termal no es un recurso estéril y para usos terapéuticos el agua termal y los balnearios en donde se utiliza el agua, deben estar exentos de microorganismos indicadores de contaminación (coliformes fecales, Pseudomona aeruginosa) y de la bacteria Legionella pneumophila, causante de la legionelosis, una enfermedad pulmonar que puede llegar a ser mortal*”(Congreso de la República de Colombia, 2015).

Cabe resaltar que el proyecto de ley mencionado fue retirado por solicitud de su Autor el 14 de mayo de 2015, por lo cual a la fecha se encuentra archivado.

En la Tabla 8, se presenta una tabla resumen de las normas de calidad de agua referidas en el presente Capítulo.

Tabla 8. Estándares de calidad para piscinas de agua termal.

Parámetro	España 1997	Chile 2002	Cuba 2002	OMS 2006	Colombia 1984	EPA 1986	FWPCA 1968
pH	-	7,2 -8,2	-	-	5 - 9	-	5-9
Profundidad visual Disco Secchi	-	1,4 m	-	-	-	-	1,2 m
Turbiedad	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura							<30 °C
Color	-	-	-	-	-	-	-
Oxígeno disuelto	-	-	-	-	70% saturación	-	-
Cloro libre residual	-	0,5 -1,5 ppm	-	-	-	-	-
Cobre (alguicidas)	-	≤1,5 mg/l	-	-	-	-	-
Bromo (desinfectante)	-	1 - 3 mg/l	-	-	-	-	-
Espumas, grasas y partículas en suspensión	-	Ausencia	-	-	-	-	-
Compuesto fenólicos	-	-	-	-	0,002 mg/L	-	-
Tensoactivos	-	-	-	-	0,5 mg/L	-	-
Bacterias heterotróficas	Reporte	≤ 200 colonias/ml	100-10000UFC/ml	n/a	-	-	-
Coliformes fecales	-	Ausencia	-	-	<200 NMP/100ml	-	<200 NMP/100ml
Escherichia coli	Ausencia	-	-	<1ufc/100ml	-	≤ 126 ufc/100ml*	-
Coliformes totales	Ausencia	≤ 20 colonias/100ml	<2,2 NMP/100ml	-	1000 NMP/100ml	-	-
Algas, larvas u otro organismo vivo	-	Ausencia	-	-	-	-	-
Mohos y levaduras	100 ufc/1ml	-	-	-	-	-	-
Estreptococos fecales	Ausencia	-	<2,2 NMP/100ml	-	-	-	-
Staphylococcus aureus	Ausencia	-	-	-	-	-	-
Pseudomonas aeruginosa	Ausencia	-	<2,2 NMP/100ml	<10ufc/100ml	-	-	-
Candida albicans	Ausencia	-	-	-	-	-	-
Legionella	Reporte	-	-	<1ufc/100ml	-	-	-
Enterococos	-	-	-	-	-	33 ufc/100ml*	-

* Promedio geométrico de la densidad bacterial.

3.4 Casos de Evaluación de Calidad Sanitaria de Aguas Termales

En la Tabla 9 se presentan los resultados de algunas caracterizaciones realizadas por Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) a manantiales del agua termal ubicados en el departamento de Cundinamarca, los cuales son utilizados con fines recreativos y/o medicinales y están asociados a piscinas.

Tabla 9. Análisis microbiológicos de manantiales termales de Cundinamarca.

Manantial	Municipio	Mesófilos Aerobios UFC/100mL	Coliformes Totales UFC/100mL	Coliformes Fecales UFC/100mL	Pseudomonas aeruginosa NMP/100mL	Mohos UFC/100mL	Levaduras UFC/100mL
Casablanca	Ricaurte	510	6	0	0	1	0
El Gran Pozo Azufrado	Tocaima	520	440	0	0	64	25
Los Pocitos Azufrados	Tocaima	925	140	0	0	150	0
Hotel Abacoa	Útica	4800	2500	0	0	10	147
Santa Ana	Anapoima	260	0	0	0	10	20
Nápoles	Chocontá	1000	300	0	<2,2	8	0
La Piscina Municipal	Nemocón	0	0	0	<2,2	0	0
Agua Clara	Suesca	17000	200	0	<2,2	20	22
Los Volcanes 2	Chocontá	3500	3400	0	<2,2	2	0
Los Volcanes 3	Chocontá	600	300	0	<2,2	3	0
El Paraíso	Tibirita	430	120	0	<2,2	0	0
El Paraíso Termal	Tibirita	130	80	0	<2,2	0	0
El Zipa	Tabio	46000	33000	0	<2,2	240	12
Aguas Calientes	Tabio	19000	11000	0	<2,2	1000	50
Finca Agua Caliente 1	Tabio	43000	30000	0	<2,2	800	35
El Zipa 2	Tabio	1500	820	0	<2,2	14	0
Aguas Calientes	Guasca	14000	600	0	<2,2	650	270
Zoratama	La Calera	9200	1200	0	<2,2	6	1
Spa Helena del Mar	La Calera	700	33	0	<2,2	51	11
Los Volcanes	Choachí	400	300	0	<2,2	7	0
Santa Mónica	Choachí	200	20	0	<2,2	0	0

Fuente: (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

En la Tabla 10 se presentan los resultados de las caracterizaciones realizadas por Barco y Méndez (2010) a muestras de agua termal tomadas en el afloramiento de la zona de piscinas del Instituto de Turismo de Paipa y a la entrada y salida de la piscina El Delfín ubicada en la vereda La Playa del municipio de Paipa (Boyacá), en la cual se incluyen los parámetros de coliformes totales y fecales.

Tabla 10. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos aguas termales en Paipa.

Parámetro	Instituto de Turismo de Paipa	Entrada Piscina El Delfín	Salida Piscina El Delfín
Sólidos suspendidos (mg/L)	5600	3200	7400
Sólidos totales (mg/L)	13400	8800	16300
Sólidos disueltos (mg/L)	7800	5600	8900
DQO(mg/L)	15	19	15
DBO5 (mg/L)	8,6	11	8,6
Grasas y aceites (mg/L)	0,89	0,96	0,78
Color (UPC)	21	32	26
Turbiedad (UNT)	18	19	31
Conductividad (μ S/cm)	10200	8700	10300
Coliformes Totales (NMP/100mL)	54	24	44
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	23	16	21

Fuente: (Barco Rincón & Méndez Angarita, 2010)

Es importante señalar que como en el país no hay regulación específica en cuanto a calidad sanitaria para el agua de las piscinas termales, es escasa la información referente al tema.

3.5 Área de Estudio

3.5.1 Aspectos geológicos

La estación termal los Volcanes se encuentra ubicada en el bloque tectónico Sabana de Bogotá - Anticlinorio Los Farallones, el cual está ubicado entre la base del escarpe generado por el Grupo Guadalupe, al occidente de la Sabana de Bogotá, y al oriente por la Falla Santa María – Tesalia (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

El balneario se encuentra entre Sisga y Macheta a 800 metros del Balneario de Nápoles, en el cual se presentan varios manantiales de agua termal. Sin embargo, en este estudio solo se analiza el manantial que se encuentra localizado dentro el balneario al cruzar el río Macheta, en la orilla sur, el cual es captado en dos tanques de concreto (Figura 2).



Figura 2. Manantial de agua termal - Estación Los Volcanes.

Dicho manantial se encuentra en depósitos de ladera, sobre la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe y está cerca de la traza de la Falla Suralá (Ver Figura 3), inversa y de ángulo alto, la cual es perpendicular al Río Machetá. Aunque también puede pensarse en una posible falla que controle el río estructuralmente. La Falla Suralá pone en contacto a las areniscas friables de la Formación Cacho con arcillolitas de la Formación Guaduas, que en este sector presenta poco espesor. Aunque la Falla Suralá es inversa, puede tener una componente de rumbo, ya que hay sectores donde las unidades están oblicuas a su trazo. (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

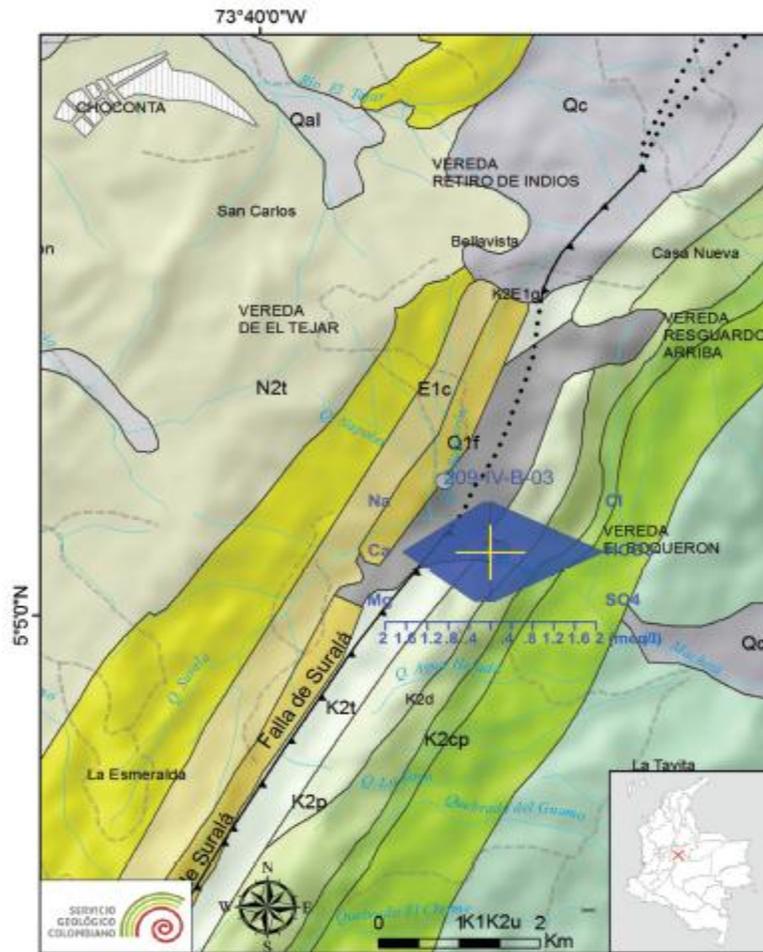


Figura 3. Imagen Geológica.
 Fuente: <http://hidrotermales.sgc.gov.co/invtermales/>

3.5.2 Sistema geotérmico

Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003), indican que este manantial termal de acuerdo a su temperatura, sus relaciones geológicas y su grado de mineralización, se encuentra dentro de la clasificación de sistema en zona de fractura (Figura 4), en este caso el reservorio principal consiste en una zona de fractura pendiente y estrecha (<100 m de ancho), la cual a menudo y como repuesta de la actividad tectónica reciente, exhibe una gran permeabilidad vertical, a diferencia de las demás rocas del entorno que tienen permeabilidades bajas. En general, estas aguas a pesar de tener una temperatura relativamente alta en superficie (40 a 70 °C) tienen una baja mineralización, lo que indica

que el tiempo de residencia es lo suficientemente corto como para evitar un mayor intercambio iónico con la roca. También, es indicio de que estas aguas tienen una circulación rápida, se calientan en la zona de fractura y buscan un camino para aflorar, ya sea un río una quebrada o fracturas en las rocas más superiores

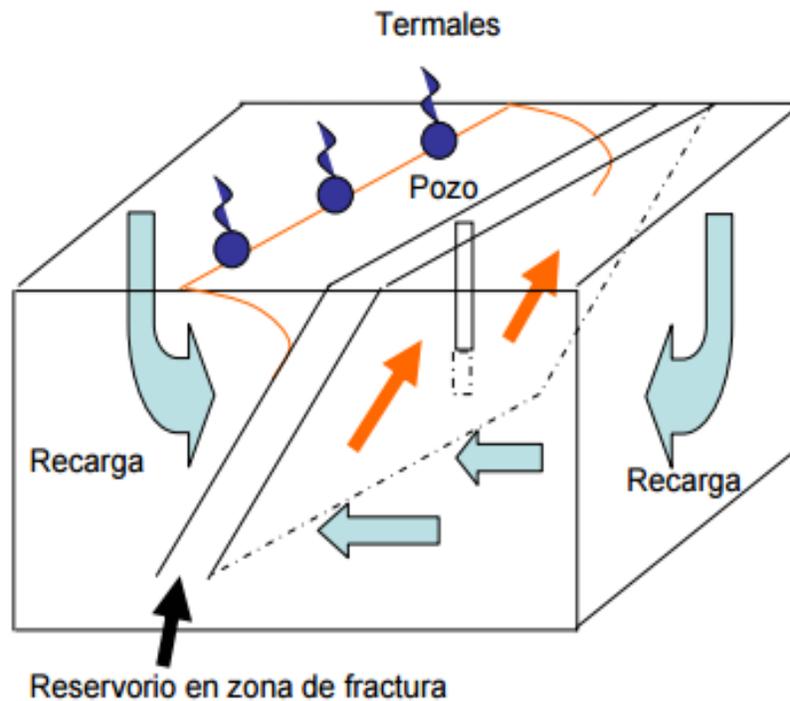


Figura 4. Modelo esquemático de un sistema en zona estrecha de fractura.

Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

3.5.3 Composición química del manantial

En la Tabla 11 se muestran los resultados de la caracterización realizada por Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, (2003) al manantial objeto de estudio.

Tabla 11. Composición química del manantial termal.

Parámetro	Unidades	Valores
pH	mg/L	7,73
Sodio (Na)	mg/L	5,9
Potasio (K)	mg/L	2,12
Calcio (Ca)	mg/L	30,5
Magnesio (Mg)	mg/L	4,43
Litio (Li)	mg/L	<0,010
Estroncio (Sr)	mg/L	0,104
Bario (Ba)	mg/L	0,093
Hierro (Fe)	mg/L	0,054
Boro (B)	mg/L	<0,150
Oxido de silicio (SiO ₂)	mg/L	37,9
Aluminio (Al)	mg/L	<0,010
Antimonio (Sb)	mg/L	<0,0001
Arsénico (As)	mg/L	<0,0005
Cadmio (Cd)	mg/L	<0,00004
Cesio (Cs)	mg/L	<0,100
Cromo (Cr)	mg/L	0,0024
Cobre (Cu)	mg/L	0,0003
Plomo (Pb)	mg/L	0,00007
Manganeso (Mn)	mg/L	0,066
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,0007
Rubidio(Rb)	mg/L	<0,100
Selenio(Se)	mg/L	<0,0019
Cloruros (Cl)	mg/L	1,62
Flúor (F)	mg/L	0,303
Bromo (Br)	mg/L	<0,100
Sulfatos (SO ₄)	mg/L	3.22
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	135
Nitrógeno amoniacal (NH ₄)	mg/L	0,063
Nitratos (NO ₃)	mg/L	<0,100
Yodo (I)	mg/L	<1,00
Fósforo total (P)	mg/L	<0,050
Cianuro (CN)	mg/L	<0,050

Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

3.5.4 Clasificación del manantial

A partir de los análisis químicos presentados en la Tabla 11, Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) clasificaron el manantial en función de su temperatura y especies iónicas dominantes como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12. Clasificación del manantial termal.

Temperatura del manantial °C	53,7
Temperatura Ambiente °C	13
Clasificación por Temperatura	Caliente
%Cl	1,16
%SO ₄	2,30
%HCO ₃	96,54
Clasificación por aniones	Bicarbonatada
%Na + K	14,10
%Ca	69,16
%Mg	16,74
Clasificación por cationes	Cálcica

Fuente: Inventario de Fuentes Termal del departamento de Cundinamarca(Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

Adicionalmente, se presenta una estimación de los gradientes geotérmicos. Para el manantial termal Los Volcanes se obtuvo un valor de 54°C/Km (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

3.5.5 Análisis microbiológicos del manantial

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la caracterización realizada por Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, (2003) al manantial objeto de estudio.

Tabla 13. Análisis microbiológico del manantial.

Parámetro	Unidades	Valores
Mesófilos Aerobios	UFC/100mL	11000
Coliformes Totales	UFC/100mL	7900
Coliformes Fecales	UFC/100mL	0
Pseudomonas aeruginosa	NMP/100mL	<2,2
Mohos	UFC/100mL	1
Levaduras	UFC/100mL	0

Fuente:(Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

Respecto a la calidad microbiológica de los manantiales, Aguirre, Bernal & Gokcen (2003) señalan:

- Considerando los resultados de microorganismos mesófilos aerobios, 27 de los 46 manantiales analizados de Cundinamarca, cumplen con el criterio general para aguas minerales naturales de no exceder 2000 Unidades Formadoras de Colonias/ 100 mL. Se observa que aquellos manantiales con temperatura superior a 40°C (14 con caracterización microbiológica), registran un nivel inferior a 2000 UFC, con excepción de 4 manantiales, dentro de los que se encuentra el manantial Los Volcanes en Chocontá con 11000 UFC/100mL.
- Las coliformes fecales que sugieren contaminación reciente con materias fecales, registraron una concentración de cero en todos los manantiales. De igual manera, la Pseudomonas aeruginosa, que hubiera sido de utilidad para identificar el origen animal o humano de las heces, en caso de haber detectado coliformes totales, registra un valor de cero o inferior a 2,2 NMP/100 mL.

- En resumen, la mayoría de los manantiales de Cundinamarca registran una carga alta de bacterias no provenientes de contaminación por heces, altos contenidos de mesófilos y coliformes totales, frente a un contenido de cero coliformes fecales. En los manantiales con potencial de utilización como aguas de mesa envasadas y en balnearios, se deben hacer estudios detallados de caracterización microbiológica para identificar restricciones de uso o para ampliar el potencial de utilización de estos recursos a aplicaciones biotecnológicas.

3.5.6 Uso actual y potencial

En la actualidad, el principal uso y aprovechamiento del manantial termal Los Volcanes es en balneario con fines de recreación y turismo. La estación Los Volcanes cuenta con dos piscinas grandes, una piscina para niños, un jacuzzi y un turco (Ver Figura 5, 6 y 7), cuyas características se encuentran en la Tabla 14.

Tabla 14. Características de las piscinas de La Estación los Volcanes.

Descripción	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad Mínima (m)	Profundidad máxima (m)	Materiales constructivos
Piscina de niños	2,70	7,0	0,60	0,70	Paredes y piso en mineral
Piscina 1	7,20	17,05	1,20	1,70	Paredes y piso en mineral
Piscina 2	12,15	24,80	1,10	1,70	Paredes enchapadas en baldosa y piso en mineral



Figura 5. Piscina de niños y Piscina 1.



Figura 6. Piscina 2.



Figura 7. Jacuzzi.

No obstante, Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) señalan que de acuerdo con las características de los manantiales de Cundinamarca, existen otras posibilidades de aprovechamiento a partir de temperatura estimada en profundidad y aún a partir del agua en las condiciones de descarga natural. De acuerdo con el Diagrama Lindal, de evaluación de usos potenciales del recurso geotérmico acorde con la temperatura del reservorio (Figura 8), el uso de máximo requerimiento energético a partir del fluido geotérmico profundo (por extracción a través de pozos), es el secado de productos agrícolas y carnes y el calentamiento residencial o en invernaderos. Otros usos de menor requerimiento energético aplicables a la gran mayoría de los sistemas restantes, son los sistemas de refrigeración para bodegas de almacenamiento, acuicultura, calentamiento del suelo, biodegradación e incubado y cría de peces.

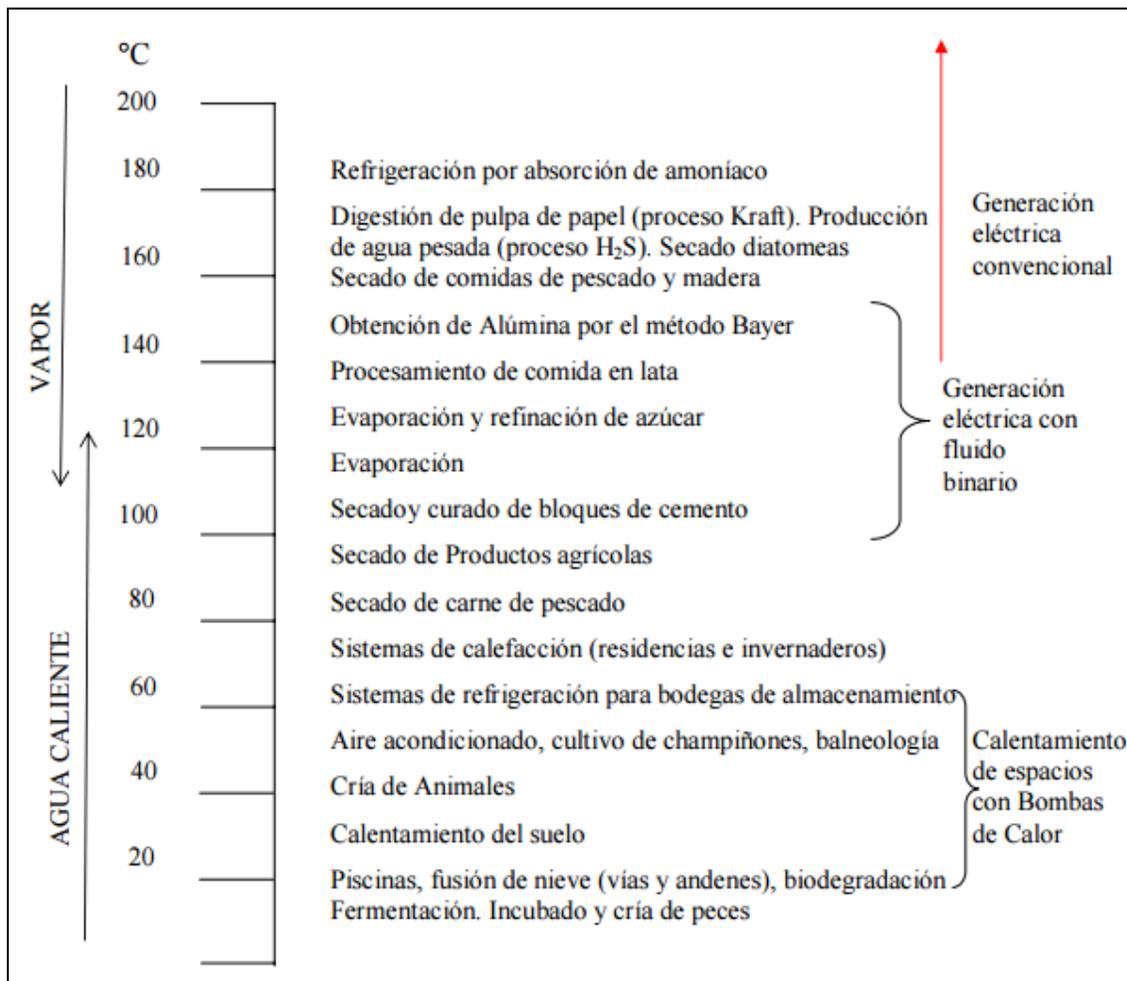


Figura 8. Diagrama Lindal para evaluación de usos potenciales del recurso geotérmico de acuerdo a la temperatura del reservorio.

Fuente: (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) plantean en su documento los usos potenciales para los manantiales de Cundinamarca. Para el manantial Los Volcanes 2, fuente de estudio del presente documento, se indica un uso potencial en acuicultura, balneología, uso en secado, agricultura e invernaderos.

3. 6. Enfermedades Asociadas a las Aguas Termales

En numerosos estudios se señalan las propiedades curativas y terapéuticas de las aguas termales, sin embargo, también pueden existir efectos adversos o intolerancias, como ocurre con cualquier otro recurso terapéutico.

Megías (2015) afirma que las reacciones adversas, o efectos no deseados, que pueden aparecer a las dosis habituales de aplicación de las técnicas de tratamiento con aguas mineromedicinales y que se recogen en la literatura, son fundamentalmente de dos tipos:

- Las relacionadas con una reagudización de un proceso crónico, inducida por el propio tratamiento termal. Éstas incluyen desde un despeño diarréico, hasta la aparición de un brote artrítico, generalmente monoarticular, pasando por la aparición de una crisis asmática o de hiperreactividad bronquial, o el desencadenamiento de un proceso cólico al producirse la expulsión dolorosa de un cálculo en la vía biliar o en las vías urinarias, lo que puede ocurrir si él o los cálculos que se movilizan son de un tamaño importante. Se han descrito cuadros relacionados con el efecto del agua mineromedicinal, como la congestión en las mucosas accesibles, desde blefaritis o conjuntivitis, hasta la denominada hidrorrea termal en mujeres susceptibles. O bien la rubefacción o la cefalea que aparece por la vasodilatación producida por inhalación del vapor de aguas carbogaseosas. De hecho se aconseja, y es muy frecuente en la práctica, aislar la vía respiratoria de la emanación de vapores durante la balneación. En este caso el efecto vasodilatador es el que realmente buscamos, pero no así las molestias que provoca (Megías, 2015).
- Las que dependen de una respuesta del organismo ante el estímulo de la cura termal, cuando éste se puede considerar excesivo, y que incluyen, a su vez:

Crisis termal: Se define como la aparición entre el tercer y octavo día de tratamiento termal, y raramente antes o después, de una clínica totalmente inespecífica que recuerda mucho a los síntomas de un enfriamiento, con malestar general, dolores musculares o articulares, sensación de cansancio, malestar digestivo con dolor o sensaciones dispépticas, náuseas e incluso vómitos, alteraciones del ritmo intestinal con diarrea en algunos casos, o en otros estreñimiento, alteraciones del sueño, o del

apetito, fiebre, síntomas que pueden combinarse entre sí de forma variable (Megías, 2015).

Fiebre termal: Podríamos definirla como un tipo de crisis termal en la que el síntoma predominante es la fiebre, acompañada o no de otros síntomas descritos en la crisis propiamente dicha (Megías, 2015).

Brote termal: Quedaría definida como un tipo de crisis termal en la que predomina una reacción cutánea de carácter urticarial, se acompañe o no de otros síntomas más generales (Megías, 2015).

Crisis postermal: Es un tipo de crisis termal que aparece con posterioridad a la recepción de la cura, e incluso después de haber regresado el curista a su domicilio, tras su estancia en el balneario (Megías, 2015).

Cansancio termal: Descrito como un cuadro de saturación en la que el agua provoca una cierta aversión o un verdadero empacho, acompañado o no de molestias inespecíficas de todo tipo, desde cambios de humor o insomnio a dispepsia y malestar general (Megías, 2015).

Por otra parte, es importante señalar que algunos microorganismos encuentran en el agua de la piscina condiciones favorables para su desarrollo, para otros, el medio hídrico no es favorable pero pueden sobrevivir durante un tiempo suficiente para producir y facilitar la transmisión de enfermedades, siendo las más frecuentes, infecciones otorrinolaringológicas, gastrointestinales, oftalmológicas y cutáneas . Otra enfermedad que destaca por su frecuencia en el ambiente de las piscinas es la infección por hongos, estas infecciones micóticas están favorecidas por el fácil desarrollo de estos microorganismos en ambientes calientes y húmedos, propagándose por el contacto con las superficies húmedas de los suelos de los pasillos, duchas, vestuarios, etc (San Martín, 1992).

En la Figura 9 se señalan los microorganismos que representan riesgo para la salud de las personas y que se pueden encontrar en piscinas y ambientes similares, los cuales se clasifican según el origen en fecales y no fecales.

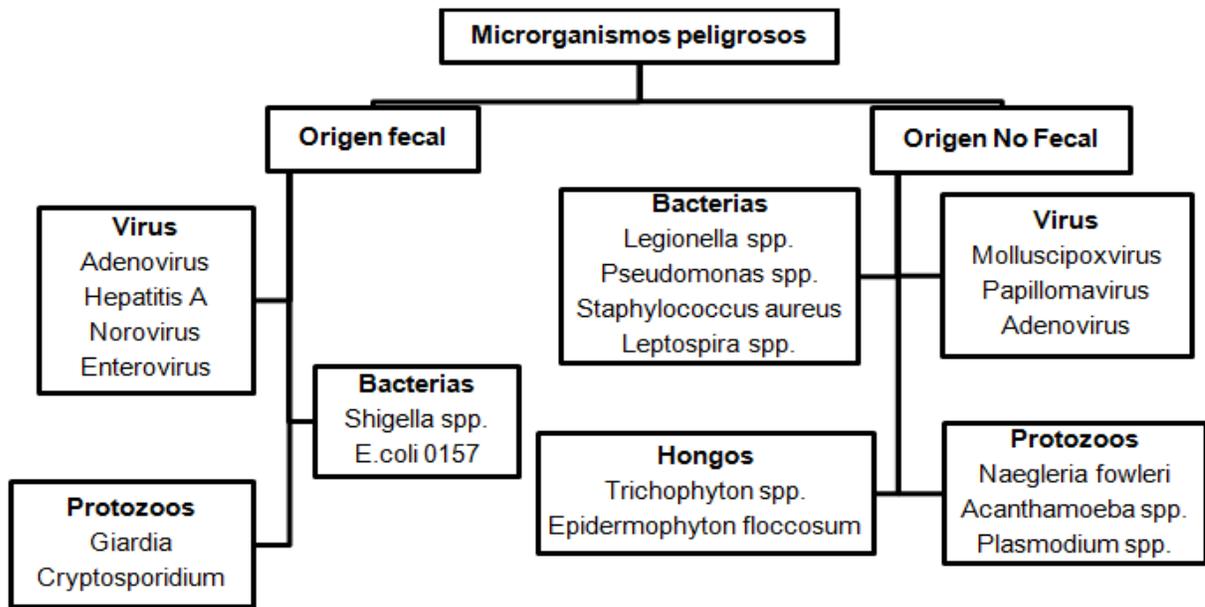


Figura 9. Microorganismos peligrosos en piscinas y ambientes similares.

Fuente: (World Health Organization, 2006).

A pesar de que la Organización Mundial para la Salud (2006), señala múltiples casos de enfermedades e infecciones asociadas a la existencia de los microorganismos mencionados (Figura 9) en las piscinas, para el caso específico de balnearios naturales, se señala principalmente la presencia de *Legionella spp*, *Pseudomona aeruginosa* y *Naegleria fowleri* en las aguas termales.

La *Legionella* es una bacteria Gram negativa aeróbica, no formadora de esporas, se encuentra en una amplia gama de ambientes de agua y puede proliferar a temperaturas superiores a 25 °C. Puede estar presente en un número elevado en los balnearios naturales que utilizan agua termal o crecer en jacuzzis con deficiente mantenimiento (World Health Organization, 2006). Es la causante de la legionelosis, que puede manifestarse de dos formas distintas, la fiebre de Pontiac, que es la forma más leve de infección parecida a la influenza o gripe, y la enfermedad del legionario, que es la forma más severa de infección y cursa con neumonía atípica y fiebre muy alta.

La *Legionella* se puede prevenir mediante la aplicación de medidas básicas de gestión, incluyendo la filtración, un desinfectante residual continuo durante el baño caliente (donde no se utilizan desinfectantes, debe haber una alta velocidad de dilución con agua fresca) y

el mantenimiento y limpieza de todos los componentes del balneario natural, jacuzzi y piscina, incluyendo tuberías asociadas y unidades de aire acondicionado (World Health Organization, 2006).

Santa Marina Rodriguez, Basterretxea Irurzun, Ibarlucea Maurologoitia, et al (2001) reportan para el año 1998 la detección de un brote de legionelosis asociado a un balneario en Gipuzkoa (España), lo cual condujo al cierre de la instalación y al estudio epidemiológico y ambiental. Se definió como caso toda persona que durante su estancia en el balneario o durante los 10 días siguientes presentará neumonía o un cuadro febril compatible con fiebre de Pontiac.

El estudio ambiental incluyó la inspección del balneario y entorno y muestreos de los sistemas sanitarios de agua y de los elementos de hidroterapia. De las 287 personas encuestadas de la Comunidad Autónoma Vasca, el 12,5% cumplían con la definición de caso; 9 casos presentaron neumonía y 26 fiebre de Pontiac. La curva epidémica se inició el 7 de mayo, alcanzando un pico los días 14 y 15 de mayo y finalizando el día 20. El riesgo de enfermar ajustado por edad, sexo y consumo de tabaco se asoció con la duración de la estancia en el balneario y con el uso de una piscina. Se detectó *Legionella pneumophila* en recuentos superiores a 103 ufc/l. El establecimiento se abrió al público tras realizar un tratamiento de choque y comprobar que transcurridos 15 días no se detectó *Legionella pneumophila* en las muestras ambientales. (Santa Marina Rodriguez, Basterretxea Irurzun, Ibarlucea Maurologoitia, Serrano Ibarbia, & Zigorruga Arrieta, 2001).

Naegleria fowleri es una ameba que causa una enfermedad del sistema nervioso central llamada Meningoencefalitis Amebiana Primaria (MAP). La infección es generalmente adquirida por la exposición al agua en los estanques naturales, balnearios y lagos artificiales.

La Organización Mundial de la salud (2006) hace referencia a un caso de Meningoencefalitis Amebiana Primaria en niña que nadaba en una piscina pública alimentada con agua de las fuentes termales en el Reino Unido, en 1978. El análisis posterior confirmó que las aguas termales fueron la fuente de la infección.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua termal de La Estación Los Volcanes, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Chocontá (Cundinamarca), kilómetro 13 vía Sisga – Macheta (Figura 10), se evaluó con base en muestras de agua de la fuente termal y de la piscina.

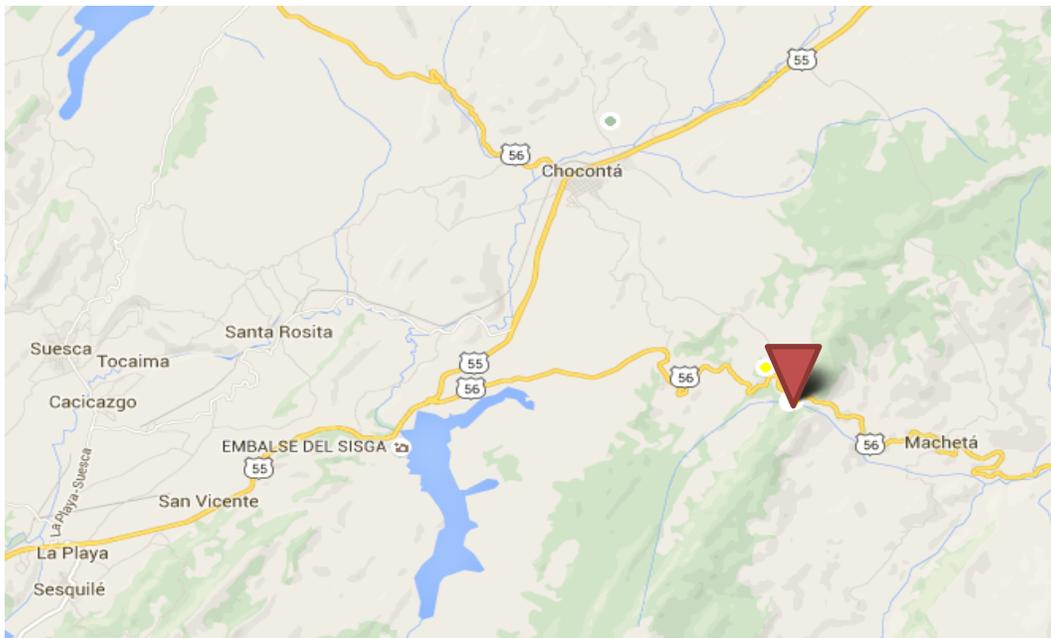


Figura 10. Localización Estación Los Volcanes.
Fuente :<http://hidrotermales.sgc.gov.co/invtermales/>



Figura 11 Estación Los Volcanes.

4.1 Muestreo

Se realizaron en total 11 muestreos puntuales de agua termal, dos (2) en la fuente de agua termal y nueve (9) en una de las piscinas de la Estación Los Volcanes, durante un periodo de un mes y medio.

Para la toma de muestras de agua para análisis de parámetros físico químicos se dispuso de recipientes plásticos lavados apropiadamente y botellas winkler de 300mL para la fijación del oxígeno disuelto; la recolección de muestras para análisis microbiológicos se realizó en recipientes estériles plásticos de 50mL. La toma de muestra se realizó a una profundidad de 20 cm de la superficie del agua de la fuente y piscina, en esta última la toma de muestra se hizo cerca de una de las tuberías de rebose (Ver Figura12)



Figura 12. Toma de muestra en la fuente y piscina.

Las muestras recolectadas fueron rotuladas y refrigeradas con hielo en una nevera de icopor durante su transporte al laboratorio (Ver Figura13).



Figura 13. Etiqueta y refrigeración de muestras.

Los análisis de laboratorio fueron realizados en un periodo menor a 24 horas de recolectada la muestra. En la Tabla 15 se presenta el cronograma de muestreo.

Tabla 15. Cronograma de muestreo.

Punto de muestreo	Año 2015																																										
	Septiembre																Octubre																										
	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Fuente	X													X																													
Piscina	X												X	X														X	X						X	X			X	X			

4.2 Métodos de Análisis

Las muestras recolectadas fueron caracterizadas fisicoquímicamente y microbiológicamente en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Se realizaron dos caracterizaciones fisicoquímicas totales (Tabla 16), una a la fuente de agua termal y otra a la piscina. Para las demás muestras se analizaron los parámetros descritos en la Tabla 17.

Tabla 16. Análisis fisicoquímico total.

Parámetro	Unidad	Método de Análisis	Standard Methods
Color	UPC	Comparación visual	2120 B
pH	-	Electrométrico	4500-H ⁺ B
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	2320 B
Acidez	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	2310 B
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	2340 C
Calcio	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	3500 Ca ⁺ B
Magnesio	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	3500 Mg ⁺ B
Hierro	mg/L	Colorimétrico	3500 Fe B
Manganeso	mg/L	Colorimétrico	3500 Mn B
Cloruros	mg/L	Titulométrico	4500 Cl ⁻ B
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Colorimétrico	417 B SM 16a edición
Nitritos	mg/L	Colorimétrico	4500 NO ₂ B
Nitratos	mg/L	Colorimétrico	4500 NO ₃ B
Fluoruros	mg/L	Colorimétrico	4500 F ⁻ B
Sulfatos	mg/L	Turbidez	4500 SO ₄ E
Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico	2540 D
Temperatura	°C	Termómetro	2550
Turbiedad	UNT	Nefelométrico	2130 B
Conductividad	μS/cm	Electrométrico	2510 B
Oxígeno disuelto	mg/L	Titulométrico	4500-O C

Tabla 17. Parámetros fisicoquímico medidos.

Parámetro	Unidad	Método de Análisis	Standard Methods
pH	-	Electrométrico	4500-H ⁺ B
Temperatura	°C	Termómetro	2550
Turbiedad	UNT	Nefelométrico	2130 B
Conductividad	μS/cm	Electrométrico	2510 B
Color	UPC	Comparación visual	2120 B
Oxígeno disuelto	mg/L	Titulométrico	4500-O C

La temperatura y el pH fueron medidos in situ, así mismo, el oxígeno disuelto fue fijado en campo (Ver Figura 14).



Figura 14. Fijación OD y toma de parámetros in situ.

La totalidad de las muestras de agua termal recolectadas fueron caracterizadas microbiológicamente inmediatamente después de llegar al laboratorio, de acuerdo con los métodos descritos en la Tabla 18.

Tabla 18. Métodos de análisis microbiológico.

Parámetro	Unidad	Método de Análisis	Medio de cultivo	Incubación	Color de las colonias
Bacterias heterotróficas	UFC/100mL	Filtración membrana	Caldo extracto de glucosa y triptona (TGE)	24 ± 4 horas a 35 ± 5°C	Blancas, algunas pueden producir pigmentos
Coliformes totales y fecales	UFC/100mL	Filtración membrana	Caldo m-Colibblue 24	24 a 48 horas a 35 ± 5°C	Totales: rojas y azules Fecales: azules
Pseudomonas	UFC/100mL	Filtración membrana	Caldo selectivo para Pseudomonas	24 a 48 horas a 35°C	Incoloras traslucidas a amarillas

La caracterización microbiológica se realizó por el método de filtro membrana, que consiste en pasar un volumen de la muestra de agua a través de un filtro membrana con tamaño de poro de 0,45µm, en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos. Las muestras fueron incubadas sobre los medios de cultivo y a la temperatura indicada en la Tabla 18, para posteriormente realizar el conteo de las colonias sobre la superficie de la membrana. La Figura 15 describe detalladamente el procedimiento realizado.

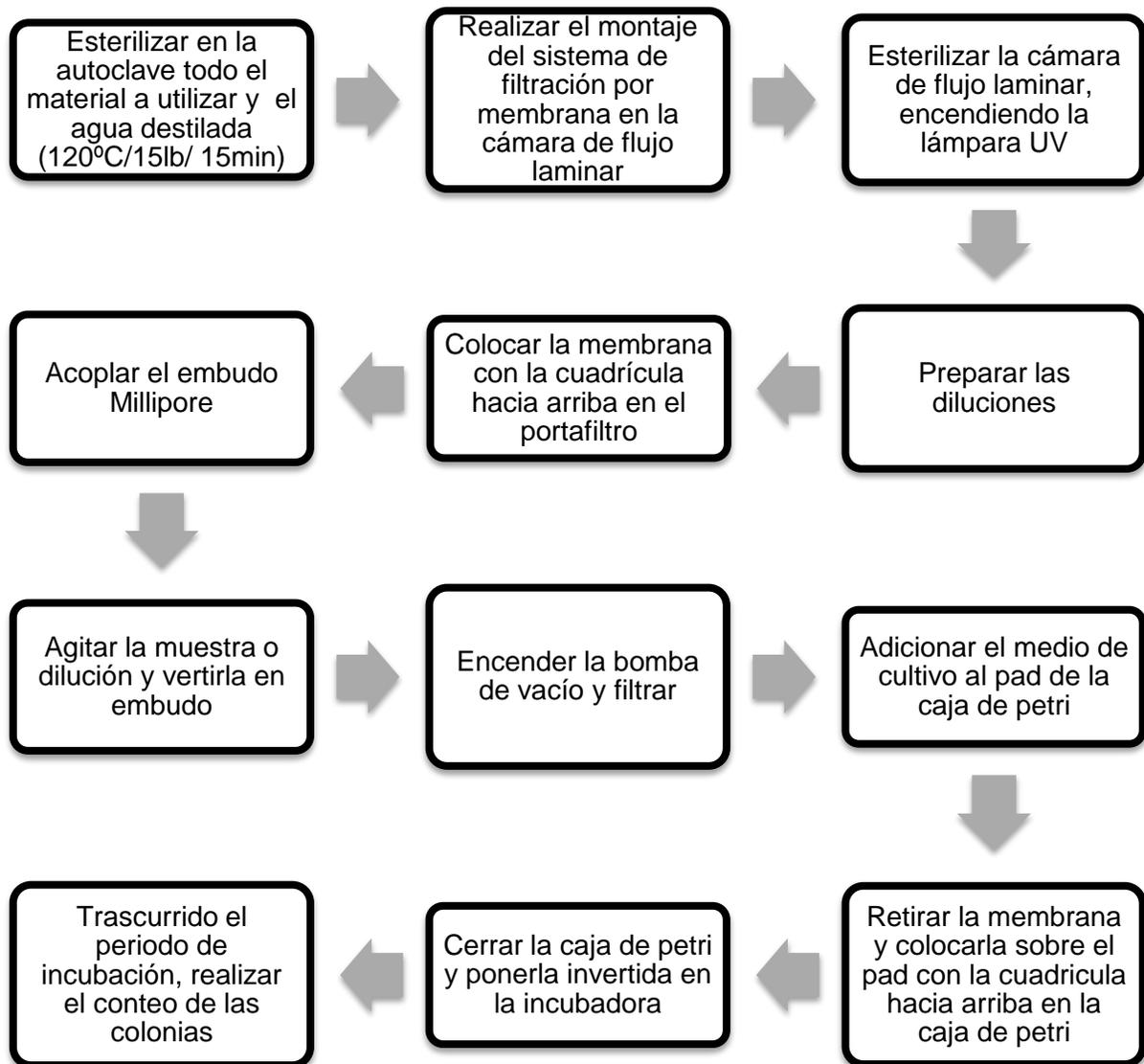


Figura 15. Procedimiento método de filtración membrana.

Para realizar la filtración por membrana se utilizó la cámara de flujo laminar, el sistema de filtración Millipore, bomba vacío, incubadora y contador de colonias (Ver Figura 16).



Figura 16. Montaje filtración membrana y contador de colonias.

A continuación se describen los medios de cultivo utilizados para la determinación de los parámetros microbiológicos mencionados anteriormente.

Caldo m-colibblue 24:

Medio de cultivo que permite la identificación simultánea de coliformes totales y *Escherichia coli* dentro de las 24 horas. El caldo *m-Colibblue* contiene un indicador de alta sensibilidad para *Escherichia coli* (1UFC/ 100ml), es muy selectivo y elimina los pasos de confirmación que se necesitan al utilizar los medios tradicionales. Después de sólo 24 horas, se puede identificar al menos el 95% de todas las colonias de *Escherichia coli*. Adicionalmente, este medio nutritivo incrementa al máximo la tasa de crecimiento de las bacterias coliformes y ofrece una recuperación óptima de los organismos dañados o bajo estrés. Contiene inhibidores específicos que reducen eficazmente el crecimiento de las bacterias no coliformes. Para la lectura de coliformes totales se cuentan las colonias de color azul y rojo y para *Escherichia coli* solamente las colonias azules, como se observa en la Figura 17.

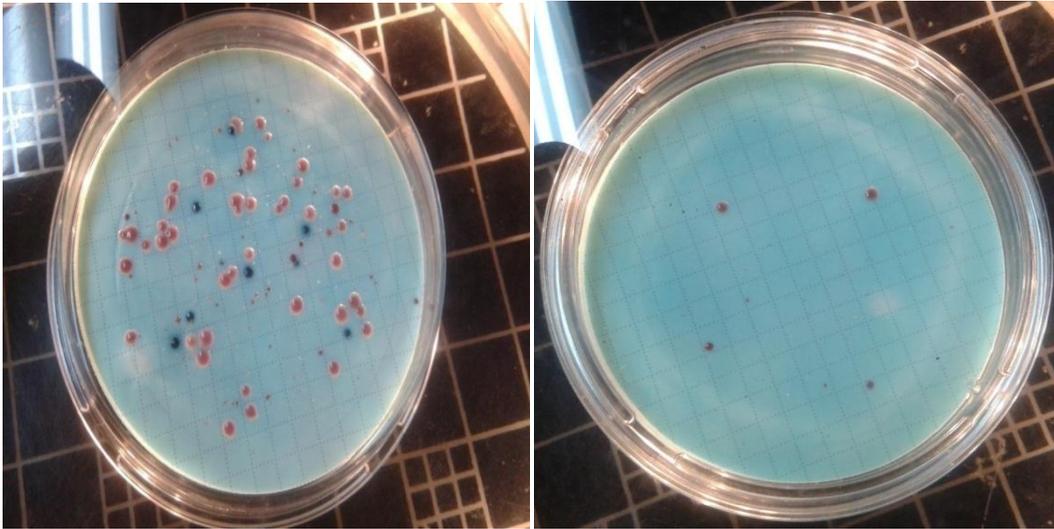


Figura 17. Colonias de coliformes totales y fecales - Medio de cultivo *m- ColiBlue 24*.

Caldo extracto de glucosa y triptona (TGE):

Es un medio de cultivo no selectivo para detectar los microorganismos heterotróficos totales en agua y otros líquidos. El aspecto de estas colonias es de color transparente a blanco cremoso, algunas pueden producir pigmentos, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Colonias bacterias heterotróficas- Medio de Cultivo *TGE*.

Caldo selectivo para Pseudomonas:

Medio de cultivo en ampollitas plásticas de 2 mililitros de Millipore que permite la detección de Pseudomonas. El caldo selectivo para Pseudomonas contiene inhibidores para el crecimiento de otras bacterias. La temperatura de incubación es de 25 a 35 ° C (35 ° C durante 24 horas es favorable para Pseudomona aeruginosa, 25 ° C para otras especies de Pseudomonas). Las colonias de Pseudomonas son pequeñas sin color o de color amarillo translúcido (Ver Figura 19).

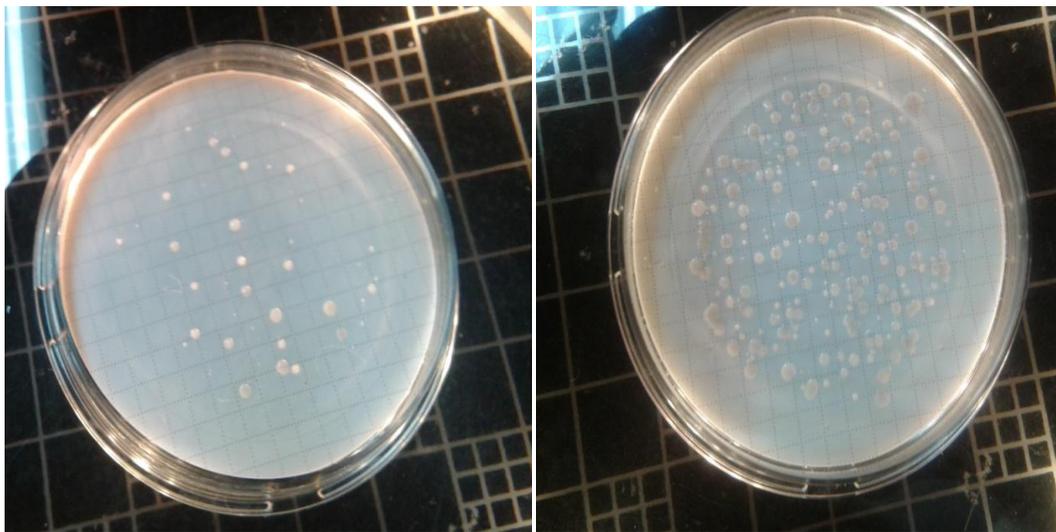


Figura 19. Colonias Pseudomonas- Medio de cultivo Pseudomonas.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1 Análisis fisicoquímico y bacteriológico de la fuente de agua termal

En la Tabla 19 se muestran los resultados de los análisis realizados a la fuente de agua termal.

Tabla 19. Resultados análisis fuente de agua termal.

Parámetro	Unidades	2015/09/06	2015/09/20
		10:20 a.m	8:30 a.m
Temperatura	°C	50	50
pH	Unidades	6,81	6,69
Color	UPC	10	5
Turbiedad	UNT	1,02	0,53
Conductividad	μS/cm	187,7	187,8
Oxígeno disuelto	mg/L	1,28	0,8
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	110	-
Acidez	mg/L CaCO ₃	13	-
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	107	-
Calcio	mg/L CaCO ₃	79	-
Magnesio	mg/L CaCO ₃	28	-
Hierro	mg/L	14,25	-
Manganeso	mg/L	0	-
Cloruros	mg/L	3,81	-
Cloro residual	mg/L	0	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,104	-
Nitritos	mg/L	0,05	-
Nitratos	mg/L	0,36	-
Fluoruros	mg/L	0,295	-
Sulfatos	mg/L	0,613	-
Sólidos Totales	mg/L	153,3	-
Coliformes Totales	UFC/100mL	480	14.400
Escherichia coli	UFC/100mL	0	0
Pseudomonas	UFC/100mL	4.500	3.100
Bacterias heterotróficas	UFC/100mL	10.800	27.000

La fuente termal se puede clasificar como mesotermal y de débil mineralización, según los datos de temperatura y sólidos totales obtenidos.

De acuerdo con el resultado de dureza total (107 mg/l CaCO_3), el agua se clasifica como moderadamente dura, por encontrarse entre el rango de 75 a 150 mg/L CaCO_3 (Romero Rojas, Calidad del agua, 2005).

Teniendo en cuenta el pH del agua, se determina que la alcalinidad del agua se debe a la presencia de bicarbonatos (HCO_3).

A partir de los resultados de las caracterizaciones microbiológicas realizadas (Tabla 19), se establece la presencia de bacterias heterotróficas, pseudomonas y coliformes totales en la fuente de agua termal. La concentración de coliformes fecales en todos los monitoreos realizados a la fuente de agua termal fue cero, lo cual indica que no existe contaminación por materia fecal en el manantial.

La fuente termal presenta concentraciones de hierro superiores a la de la piscina. La disminución de dicho parámetro en la piscina, puede ser atribuida a la precipitación del hierro en el manantial y en los tanques, cajas y tuberías existentes para la conducción del agua termal desde la fuente hasta la piscina, lo cual se evidencia en la tinción rojiza de dichos elementos.

El oxígeno disuelto del agua de la fuente termal, presenta concentraciones significativamente más bajas que la piscina. Lo anterior se debe a que la concentración de saturación de oxígeno disuelto es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua (Romero Rojas, 2008). Al aumentar la temperatura en el manantial termal, se disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Las concentraciones bajas de sulfatos, cloruros, fluoruros, manganeso, nitratos y nitritos, confirmadas por la baja conductividad, indican una baja mineralización, lo cual concuerda con la clasificación dada por Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003), de sistema en zona estrecha de fractura, donde el tiempo de residencia es lo suficientemente corto como para evitar un mayor contacto e intercambio iónico con la roca.

De los cationes y aniones medidos en las caracterizaciones, el bicarbonato, el hierro y el calcio presentan las concentraciones más altas.

5.2 Análisis fisicoquímico y bacteriológico de la piscina termal

Se realizaron nueve (9) caracterizaciones microbiológicas y fisicoquímicas al agua de la piscina termal, los valores obtenidos se relacionan en las Tablas 20 y 21.

Tabla 20. Resultados del análisis fisicoquímico total.

Parámetro	Unidades	2015/09/06
		10:30 a.m
Temperatura	°C	41
pH	Unidades	7,21
Color	UPC	10
Turbiedad	UNT	2,48
Conductividad	µS/cm	239
Oxígeno disuelto	mg/L	3,55
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	115
Acidez	mg/L CaCO ₃	7
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	104
Calcio	mg/L CaCO ₃	79
Magnesio	mg/L CaCO ₃	25
Hierro	mg/L	0,115
Manganeso	mg/L	0
Cloruros	mg/L	6,19
Cloro residual	mg/L	0
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0,179
Nitritos	mg/L	0,05
Nitratos	mg/L	0,36
Fluoruros	mg/L	0,36
Sulfatos	mg/L	0,602
Sólidos Totales	mg/L	146,7
Coliformes Totales	UFC/100mL	1000
Coliformes Fecales	UFC/100mL	5
Pseudomonas	UFC/100mL	15000
Bacterias heterotróficas	UFC/100mL	>200

De acuerdo con los resultados presentados en la Tablas 20 y 21, se observa que los valores de pH, color, alcalinidad, dureza total, calcio, magnesio, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fluoruros, sulfatos y sólidos totales del agua en la piscina, presentan variaciones poco significativas respecto a los valores del agua termal en la fuente.

Tabla 21. Caracterizaciones agua termal en la piscina.

Parámetro	Unidades	2015/09/06	2015/09/19	2015/09/20	2015/10/03	2015/10/04	2015/10/11	2015/10/12	2015/10/15	2015/10/17	Promedio aritmético	Promedio geométrico	Desviación estándar
		10:30 a.m	10:00 a.m	8:40 a.m	5:00 p.m	11:30 a.m	2:40 p.m	10:10 a.m	2:40 p.m	10:10 a.m			
pH	und	7.21	7.14	7.15	7.14	7.24	7.38	7.12	7.29	7.49	7.24	-	0.1
Temperatura	°C	41	41	40	40	41	40	39	40	41	40	-	0.7
Turbiedad	UNT	2.48	1.39	1.56	1.31	2.13	3.02	2.94	2.22	2.91	2.2	-	0.6
Conductividad	μS/cm	239	177.5	179.5	162.6	154.5	199	240	190.1	189.1	192.4	-	28.3
Color	UPC	10	10	10	15	15	20	15	10	10	12.8	-	3.4
Oxígeno disuelto	mg/L	3.55	2.8	3.4	3.7	3.8	3.7	0.9	3.7	4.2	3.3	-	0.9
Coliformes Totales	UFC/100mL	1000	60	460	1200	1170	6000	1230	3600	260	1664	864	1814
Escherichia coli	UFC/100mL	5	0	20	10	36	870	52	59	1	117	24	267
Pseudomonas	UFC/100mL	15000	60500	28500	11800	19500	16000000	700000	21200	5400	1873544	58174	4998935
Bacterias heterotróficas	UFC/100mL	>200	10000	3200	29600	180000	39400000	2250000	85000	20600	5247300	112937	12928603

5.2.1 pH

En la Figura 20 se observan los resultados de pH (entre 7,12 y 7,49 unidades) para el agua de la piscina termal.

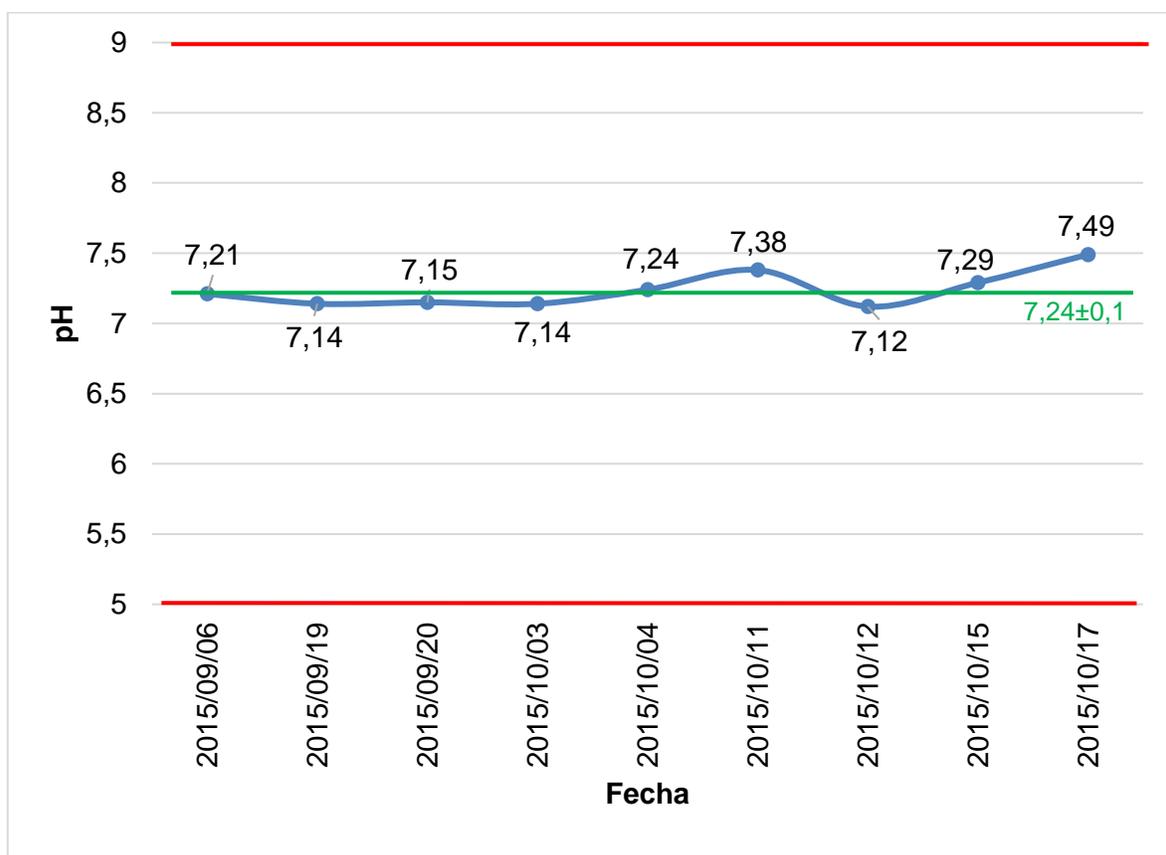


Figura 20. Comportamiento del pH del agua de la piscina.

Los valores obtenidos presentan variaciones poco significativas (desviación estándar 0,1) e indican una condición del agua de la piscina termal de neutralidad. El 100% de los registros de pH se encuentran dentro del rango admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario, establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.8 del Decreto 1076 de 2015 (5 a 9 unidades), por lo cual se determina que el pH del agua termal es adecuado para el contacto con los bañistas.

5.2.2 Turbiedad

La turbiedad presenta variaciones entre 1,31 y 3,02 UNT, con un valor promedio de 2,21 UNT y una desviación estándar de 0,6 UNT (Figura 21).

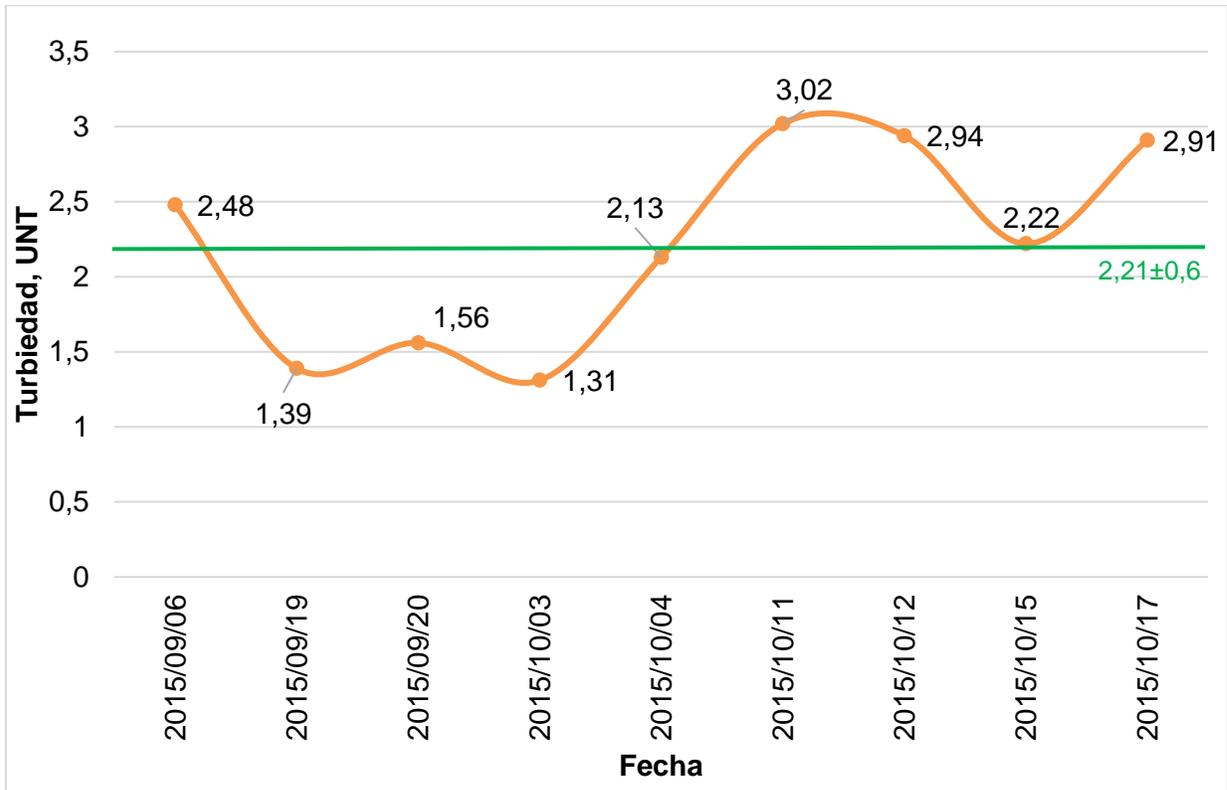


Figura 21. Comportamiento de la turbiedad del agua de la piscina.

La turbiedad del agua de la piscina es mayor que la de la fuente de agua termal, lo cual puede ser atribuido al aporte de los bañistas de materiales coloidales, microorganismos, materia orgánica e inorgánica al agua. Los máximos valores de turbiedad se relacionan con el aumento de las concentraciones de microorganismos.

En general, los valores de turbiedad son bajos y adecuados para el uso del agua termal con fines recreativos.

5.2.3 Color

El color es atribuido comúnmente a la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, al contacto con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc. (Romero Rojas, 2005)

Los valores de color aparente del agua de la piscina termal presentan registros entre 10 y 20 unidades de platino cobalto (UPC), con un promedio de 12,8 UPC y desviación estándar de 3,4 UPC (Figura 22).

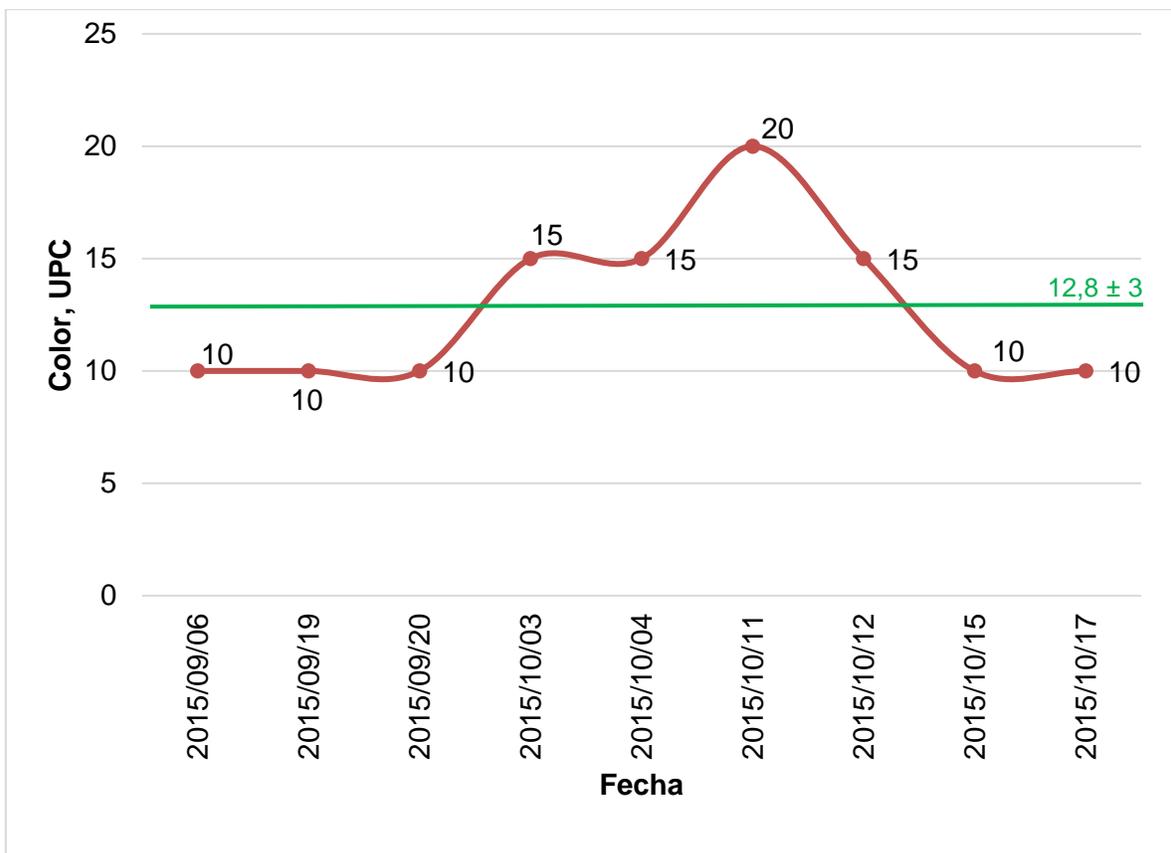


Figura 22. Comportamiento del color del agua de la piscina.

Los valores de color del agua de la piscina obtenidos no presentan variaciones significativas con respecto a los de la fuente termal y son lo suficientemente bajos para catalogarlos como aceptables para el uso del agua termal con fines recreativos.

5.2.4 Conductividad

La conductividad expresa la habilidad del agua para transportar corriente eléctrica y se encuentra asociada a la concentración de sólidos disueltos en el agua y a su temperatura.

Los resultados de conductividad de las caracterizaciones realizadas presentan valores entre 154,5 y 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 192 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y desviación estándar de 28,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 23).

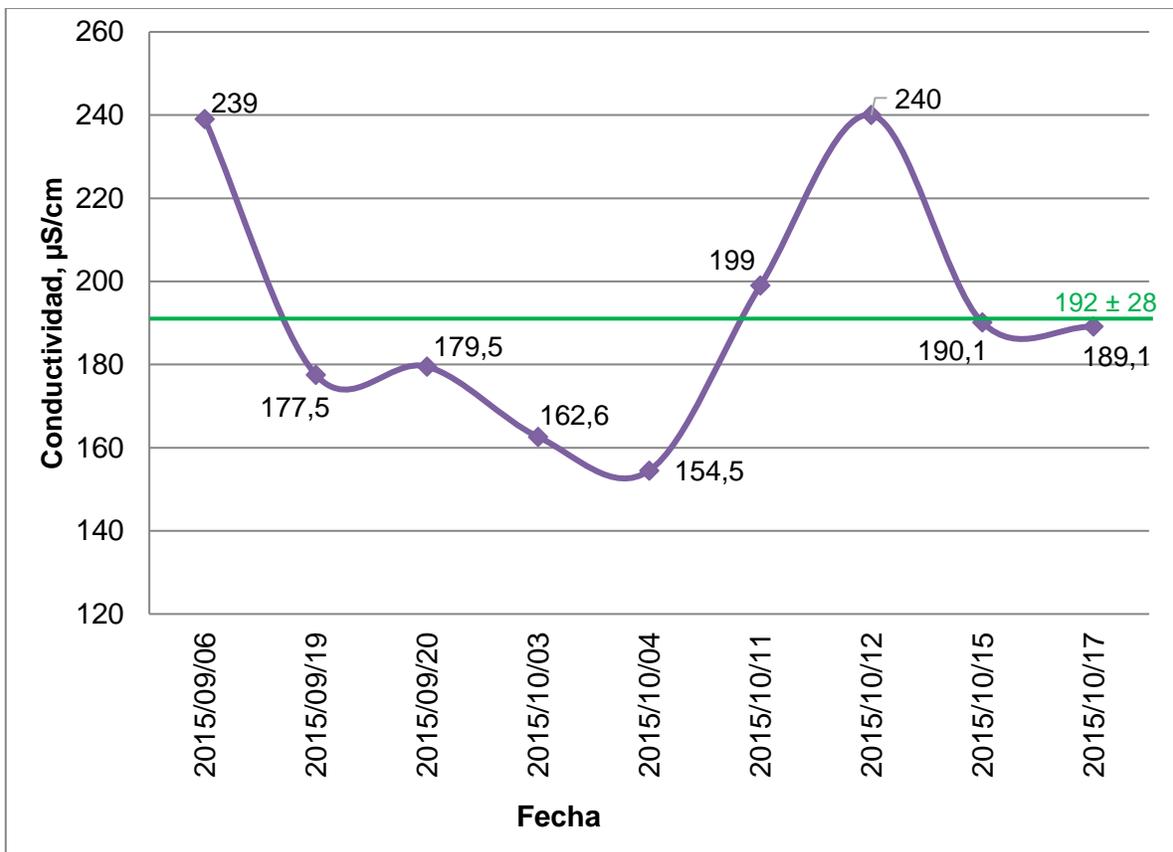


Figura 23. Comportamiento de la conductividad del agua de la piscina.

Los valores de conductividad del agua de la piscina termal son mayores a los de la fuente, lo cual se atribuye al aumento de sólidos disueltos en el agua. El valor promedio de conductividad del agua de la piscina indica una concentración aproximada de sólidos disueltos de 135 mg/L.

5.2.5 Temperatura

Los valores de temperatura medidos no presentan fluctuaciones considerables, los registros se encuentran dentro del rango de 39 a 41°C, con un valor promedio de 40°C y desviación estándar de 0,7 °C, como se observa en la Figura 24.

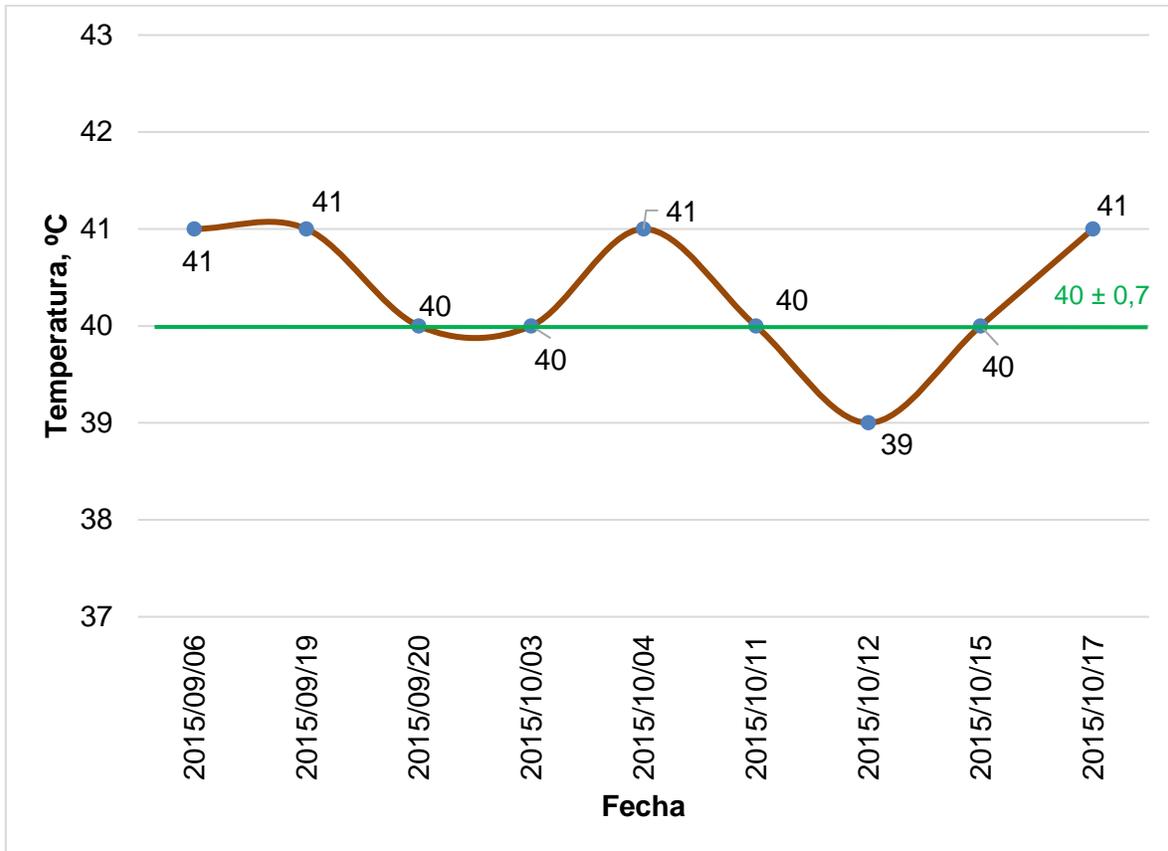


Figura 24. Comportamiento de la temperatura del agua de la piscina.

Respecto a la temperatura de la fuente se observa una disminución de aproximadamente 10 °C.

5.2.6 Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto presentan valores entre 0,9 y 4,2 mg/L, con un promedio de 3,3 mg/L y una desviación estándar de 0,9 mg/L.

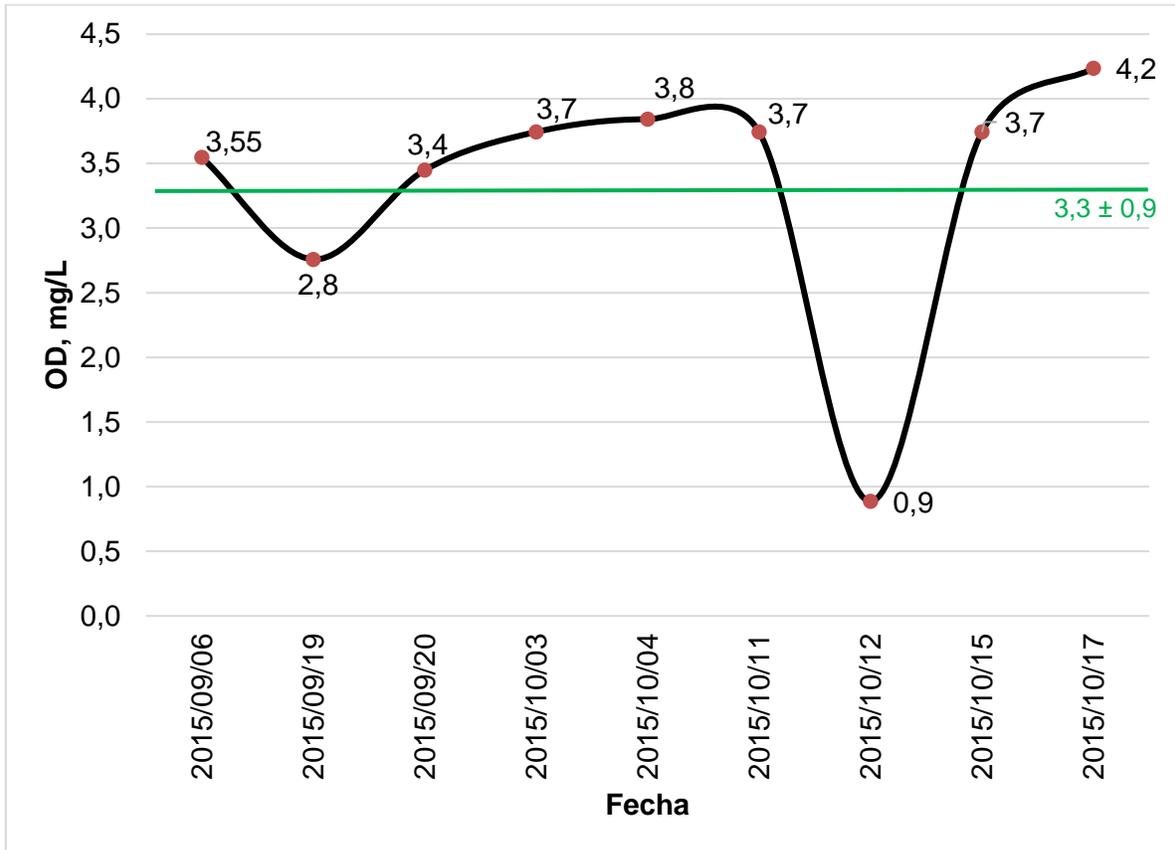


Figura 25. Comportamiento del oxígeno disuelto del agua de la piscina.

Las concentraciones de oxígeno disuelto del agua de la piscina son mayores a las obtenidas en la fuente termal, lo cual se atribuye a la disminución de la temperatura en la piscina termal, que genera un aumento de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

5.2.7 Coliformes totales

Los valores de coliformes totales fluctúan entre 60 y 6.000 UFC/100mL, con un valor promedio aritmético de 1.664 UFC/100mL y promedio geométrico de 864 UFC/100mL (Figura 26).

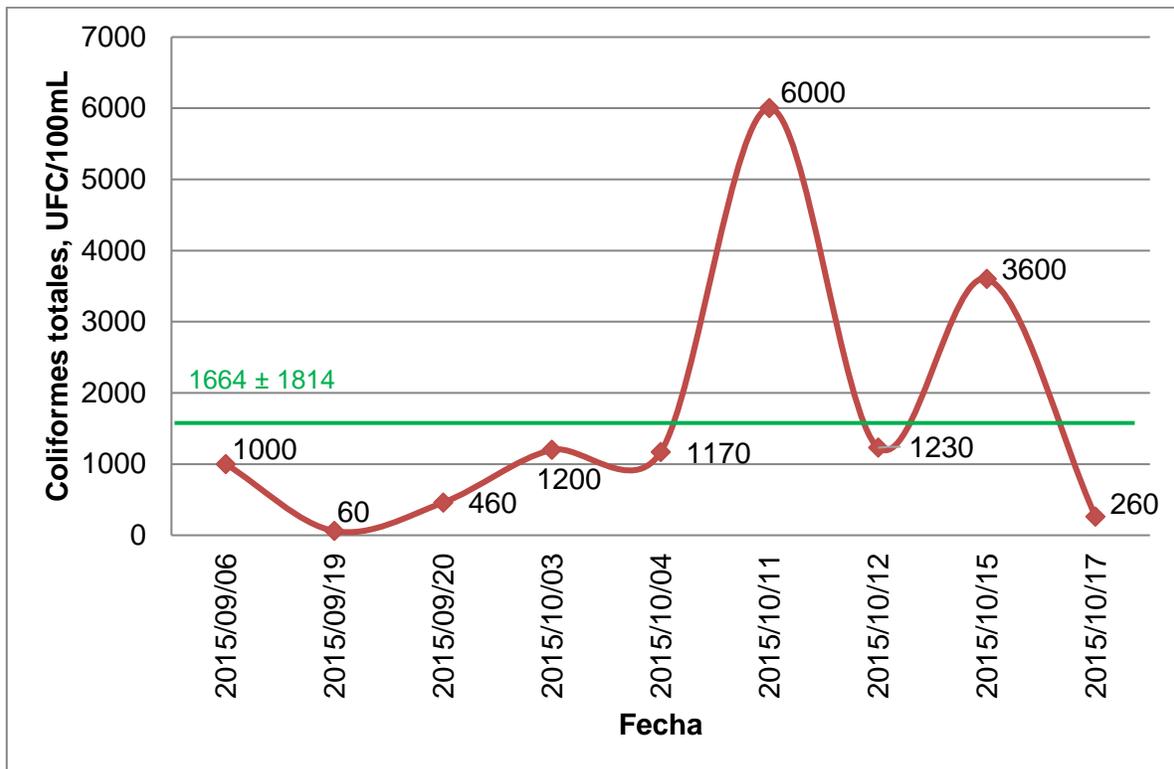


Figura 26. Comportamiento de los coliformes totales.

El 34% de los resultados de coliformes totales satisfacen el valor establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia en el Decreto 1076 de 2015 (Decreto 1594 de 1984) de 1000 NMP/100mL, para agua de uso recreacional.

El 100% de los valores de coliformes totales del agua de la piscina no cumplen con lo establecido en las siguientes normas: Decreto 55 del 11 de julio de 1997 de Murcia España para agua mineromedicinal y /o termal empleados en tratamientos o baños (Ausencia), Decreto 209 de 05 de julio de 2002 del Ministerio de Salud de Chile para piscinas de uso público (≤ 20 colonias/100mL) y subprograma de control sanitario del agua del Ministerio de Salud Pública de Cuba para aguas mineromedicinales empleadas para baño ($< 2,2$ NMP/100ml).

5.2.8 Coliformes fecales

Las concentraciones de *Escherichia coli* varían entre 0 y 870 UFC/100mL, con un promedio aritmético de 117 UFC/100mL y promedio geométrico de 24 UFC/100mL (Figura 27).

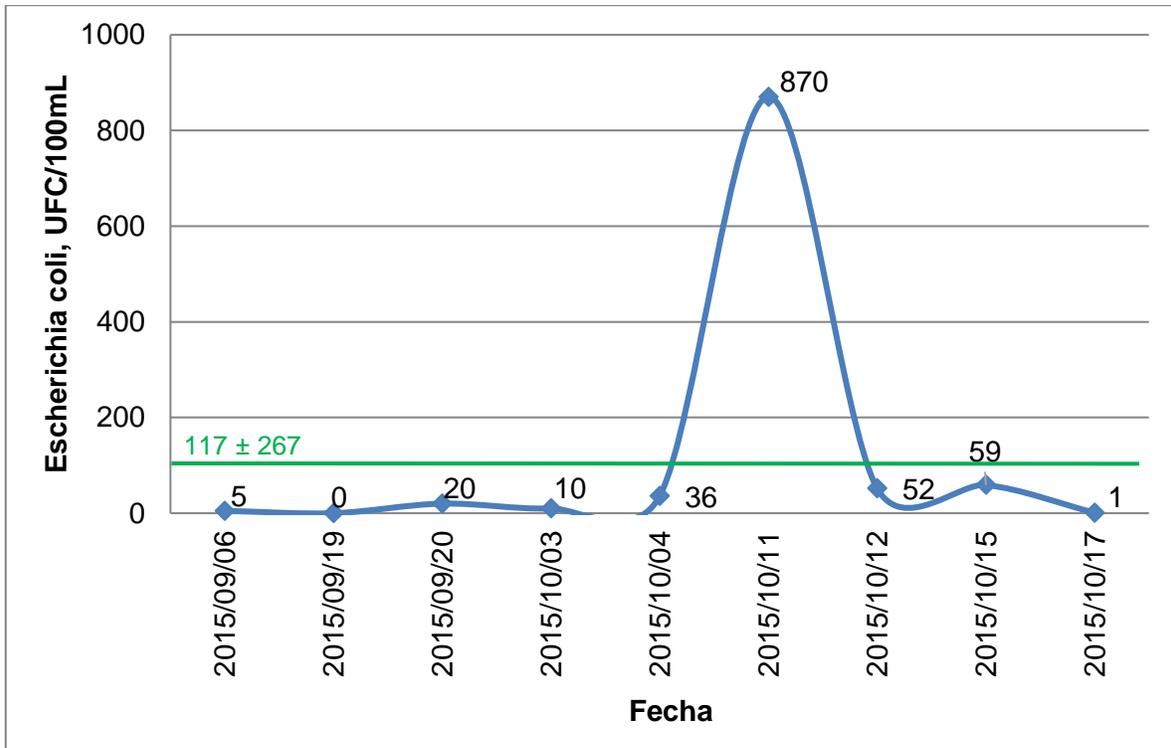


Figura 27. Comportamiento de la *Escherichia coli*.

El resultado de la muestra de agua tomada el 11 de octubre de 2015, presenta el valor máximo de *Escherichia coli*. Así mismo, se observa la correlación entre los datos de *Escherichia coli* y coliformes totales.

El promedio geométrico de densidad bacteriana de *Escherichia coli*, 24 UFC/100mL, satisface el criterio de la EPA para aguas dulces para baño (EPA 440/5-84-002) de 126 UFC/100mL.

El 89% de los valores satisfacen lo establecido para coliformes fecales por la Administración Federal de Control de Contaminación del Agua del Departamento del Interior de los Estados Unidos (Romero Rojas, Calidad del agua, 2005) y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sostenible de Colombia en el Decreto 1076 de 2015 (Decreto 1594 de 1984) de 200 NMP/100mL, para agua de uso recreacional.

No obstante, el 89% de las muestras analizadas no cumplen con los límites establecidos para *Escherichia coli* por la Organización Mundial de la Salud para balnearios naturales (<1 UFC/100mL), ni del Decreto 55 del 11 de julio de 1997 de Murcia (España) para agua mineromedicinal y /o termal empleados en tratamientos o baños (Ausencia).

Es de resaltar que las concentraciones de *Escherichia coli* indican la contaminación del agua con heces fecales y están ligadas a la presencia de organismos patógenos, representando un riesgo para la salud de los bañistas.

Teniendo en cuenta que ninguna de las muestras de agua termal de la fuente indicaron la presencia de *Escherichia coli*, se determina que la contaminación fecal de la piscina puede ser causada por los bañistas (materia fecal residual en el cuerpo y/o liberaciones fecales accidentales) o por la contaminación directa de animales como aves y roedores, teniendo en cuenta que la piscina esta al aire libre.

5.2.9 Pseudomonas

En la Figura 28 se muestran los resultados de *Pseudomonas*, los valores varían entre 5.400 y 16`000.000 millones UFC/100mL, con un valor promedio aritmético de 1`873.544 UFC/100mL y de 58.174 UFC/100mL en promedio geométrico. El alto valor de la desviación estándar indica una gran dispersión de los datos con referencia a la media aritmética. La máxima concentración se presenta en la muestra tomada el día 11 de octubre de 2015.

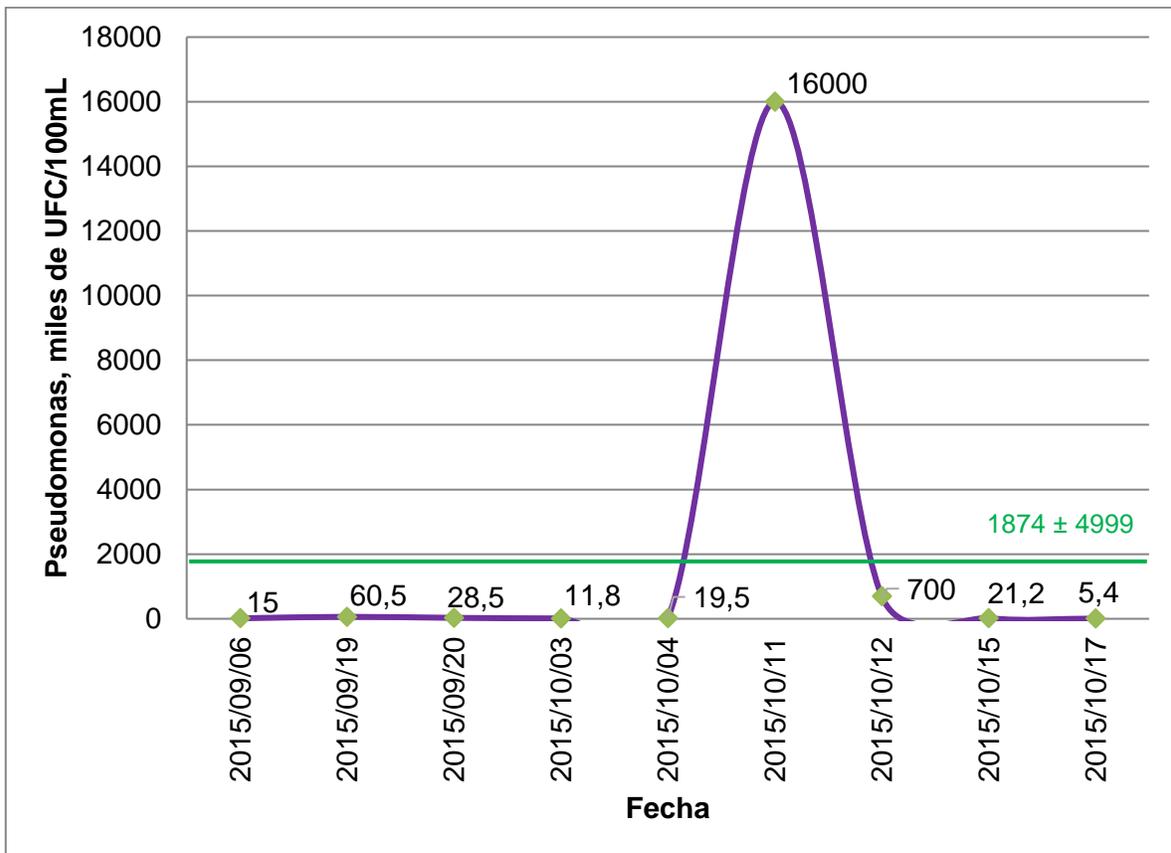


Figura 28. Comportamiento de las Pseudomonas.

El 100% de las concentraciones de Pseudomonas superan los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud para balnearios naturales (<10 UFC/100mL), y por Ministerio de Salud Pública de Cuba en el subprograma de control sanitario del agua, para aguas mineromedicinales empleadas para baño (<2,2 NMP/100ml).

Se evidencia mayores concentraciones de este parámetro con relación a la fuente.

5.2.10 Bacterias heterotróficas totales

La concentración de bacterias heterotróficas presenta variaciones entre 3.200 y 39' 400.000 UFC/100mL, con un valor promedio aritmético de 5' 247.300 UFC/100mL y de 112.937 UFC/100mL en promedio geométrico (Figura 29).

Así como en los demás parámetros microbiológicos el valor máximo se presenta para la muestra tomada el 11 de octubre de 2015.

El 75% de las muestras analizadas exceden el valor propuesto para bacterias heterotróficas por el Ministerio de Salud de Chile en el Decreto 209 de 05 de julio de 2002 para piscinas de uso público (≤ 20.000 UFC/100mL) y el 25% el valor establecido por el Ministerio de Salud Pública de Cuba en el subprograma de control sanitario del agua, para aguas mineromedicinales empleadas para baño (10.000 - 1`000.000 UFC/100mL).

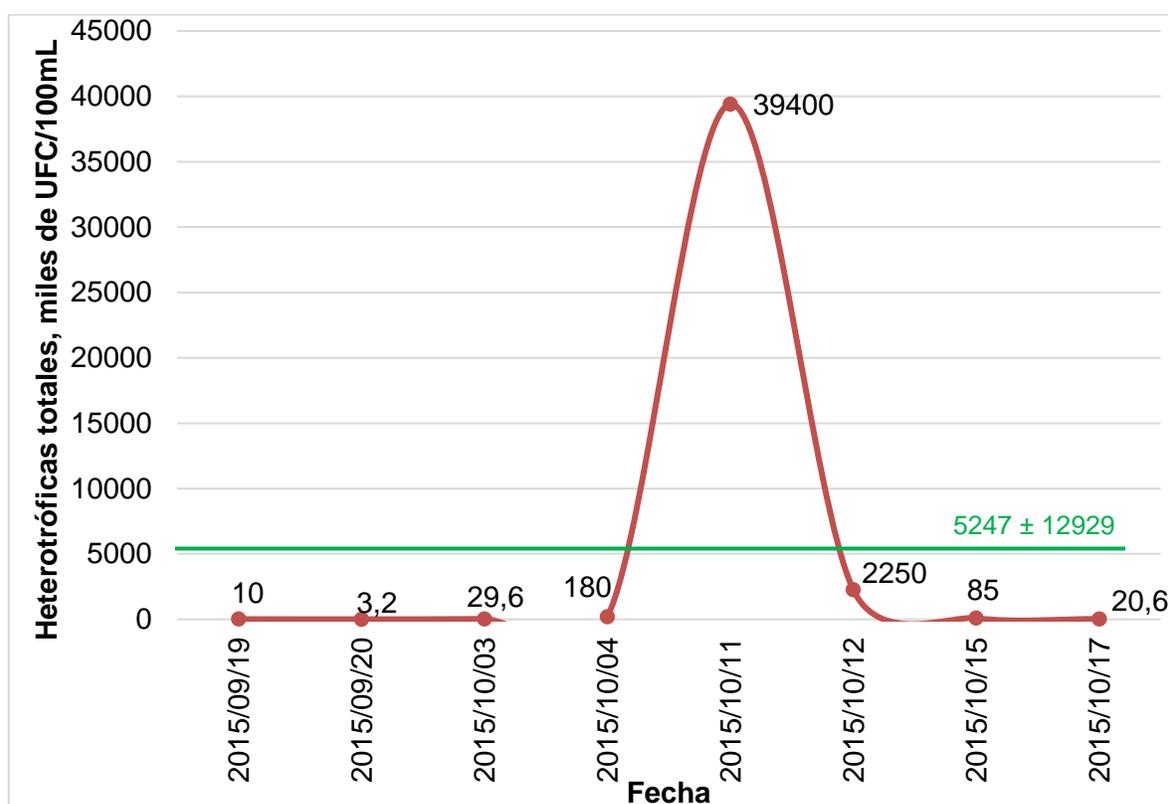


Figura 29. Comportamiento de las bacterias heterotróficas

Respecto a los parámetros de Escherichia coli, Pseudomonas, y bacterias heterotróficas totales, se observa que los resultados de las caracterizaciones microbiológicas del agua de la piscina, presentan en promedio valores significativamente mayores a los de la fuente de agua termal (Ver Tabla 22).

Tabla 22. Comparación de los parámetros microbiológicos de la fuente y la piscina termal.

Parámetro	Unidades	Fuente de agua termal	Piscina de agua termal
Coliformes Totales	UFC/100mL	7440	1664
Escherichia coli	UFC/100mL	0	117
Pseudomonas	UFC/100mL	3800	1873544
Bacterias heterotróficas	UFC/100mL	18900	5247300

Las condiciones microbiológicas del agua termal de la piscina varían significativamente, en función del número de bañistas y la renovación del agua principalmente.

La muestra tomada el día 11 de octubre de 2015, presenta las máximas concentraciones de bacterias heterotróficas, pseudomonas, coliformes totales y fecales, que se relacionan con el aumento de turbiedad y color, lo cual se puede atribuir a que para esta fecha por ser fin de semana festivo, la piscina tuvo un mayor número de bañistas, los cuales aportan al agua materia orgánica y mineral en considerable cantidad además de millones de bacterias incluso patógenos de origen orino-faríngeo, genitourinario, digestivo y cutáneo.

Los contaminantes del agua de las piscinas son múltiples y pueden proceder de la falta o deficiencia en la limpieza del vaso de la piscina e instalaciones, del material accesorio y principalmente del propio usuario. Cabe resaltar, que a este tipo de establecimientos, en donde se utilizan las aguas termales, por ser calificadas como curativas acuden gran cantidad de personas que no cuentan con buen estado de salud.

Las altas concentraciones de los microorganismos analizados en el agua termal de la piscina indican la presencia de organismos patógenos que ponen en riesgo la salud de los bañistas, por lo cual se deben implementar las medidas necesarias para garantizar la inocuidad a los usuarios.

5.3. Control Sanitario

Con el fin de disminuir el riesgo de enfermedades o infecciones que deterioren la salud de los bañistas, es recomendable:

- La implementación de normas de higiene concernientes a los bañistas o usuarios: se debe exigir máxima higiene corporal, ducha completa antes de entrar en la piscina, traje de baño adecuado, uso de gorro de baño y restricción del ingreso de personas con enfermedades infectocontagiosas, incontinencia de esfínteres u otra causa susceptible de constituir riesgo de contaminación para los otros usuarios.
- Prohibir el consumo de alimentos y bebidas dentro de las piscinas, así como dejar residuos de alimentos e introducir animales en las zonas de baño.
- Medidas de limpieza del vaso de la piscina e instalaciones conexas (duchas, baños, vestuarios, etc.)
- Normas referentes a la construcción de las piscinas como:

Revestimiento del vaso con materiales lisos, de color claro, de fácil limpieza y desinfección, impermeables y resistentes a la abrasión.

Las paredes deben ser verticales y las esquinas redondas, sin grietas ni uniones en las que pueda acumularse suciedad.

El agua termal debe entrar continuamente a la piscina y ésta debe estar provista de al menos un rebosadero de superficie, situado al extremo opuesto a la entrada, de modo que se produzca renovación continua de la lámina superficial del agua.

Las instalaciones generales tales como duchas, lavamanos, etc. deberán utilizar agua potable.

- Establecer una tasa adecuada de renovación del agua termal y la capacidad de bañistas (Número máximo de personas que pueden estar simultáneamente en una piscina pública) de acuerdo a las características propias de la piscina.
- Capacitación de operarios y personal del balneario.
- Tratamiento fisicoquímico de filtración y/o desinfección, con el fin de retener o destruir la carga bacteriológica del agua termal, teniendo en cuenta la necesidad de conservar los efectos terapéuticos atribuidos al agua mineromedicinal.
- Monitoreo y control de los parámetros microbiológicos de la Tabla 23.

Tabla 23. Frecuencias y valores de referencia para piscinas de agua termal.

Parámetro	Frecuencia de monitoreo	Valor de referencia (UFC/100mL)	Referencia
Bacterias heterotróficas	1/mes	20000	Ministerio de Salud de Chile, Decreto 209 de 05 de julio de 2002
Coliformes totales	1/mes	<20	Ministerio de Salud de Chile, Decreto 209 de 05 de julio de 2002
Escherichia coli	1/semana	<1	Directrices para Ambientes de Aguas Recreacionales Seguras, Volumen 2 (OMS, 2006)
Pseudomonas aeruginosa	1/semana	<10	Directrices para Ambientes de Aguas Recreacionales Seguras, Volumen 2 (OMS, 2006)
Legionella spp	1/mes	<1	Directrices para Ambientes de Aguas Recreacionales Seguras, Volumen 2 (OMS, 2006)

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- La fuente de agua termal de la Estación Los Volcanes clasifica como mesotermal y de débil mineralización.
- Los compuestos que presentan mayores concentraciones en el agua termal son los bicarbonatos, el hierro y el calcio.
- Los parámetros fisicoquímicos analizados al agua termal son adecuados para su uso con fines recreacionales en el balneario.
- El 100% de los valores de coliformes totales del agua de la piscina no cumplen con lo establecido en las siguientes normas: Decreto 55 del 11 de julio de 1997 de Murcia España para agua mineromedicinal y /o termal empleadas en tratamientos o baños (Ausencia), Decreto 209 de 05 de julio de 2002 de Chile para piscinas de uso público (≤ 20 colonias/100mL) y subprograma de control sanitario del agua del Ministerio de Salud Pública de Cuba para aguas mineromedicinales empleadas para baño ($< 2,2$ NMP/100ml).
- Las caracterizaciones microbiológicas del manantial termal, indican la ausencia de *Escherichia coli*, no obstante, en el 89% de las muestras de agua de la piscina hay presencia de dicho microorganismo.
- El promedio geométrico de densidad bacterial de *Escherichia coli* en el agua de la piscina termal satisface el criterio de la EPA para aguas dulces para baño (EPA 440/5-84-002).
- El 89% de los valores satisfacen lo establecido para coliformes fecales por la Administración Federal de Control de Contaminación del Agua del Departamento del Interior de los Estados Unidos (Romero Rojas, Calidad del agua, 2005) y por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia en el Decreto 1076 de 2015 (Decreto 1594 de 1984) de 200 NMP/100mL, para agua de uso recreacional.
- El 89% de las muestras analizadas no cumplen con los límites establecidos para *Escherichia coli* por la Organización Mundial de la Salud para balnearios naturales (< 1 UFC/100mL), ni del Decreto 55 del 11 de julio de 1997 de Murcia (España) para agua mineromedicinal y /o termal empleados en tratamientos o baños (Ausencia).

- El 100% de las concentraciones de Pseudomonas superan los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud para balnearios naturales (<10 UFC/100mL), y por Ministerio de Salud Pública de Cuba en el subprograma de control sanitario del agua, para aguas mineromedicinales empleadas para baño (<2,2 NMP/100ml).
- El 75% de las muestras analizadas exceden el valor propuesto para bacterias heterotróficas por el Ministerio de Salud de Chile en el Decreto 209 de 05 de julio de 2002 para piscinas de uso público (≤ 20.000 UFC/100mL) y el 25% el valor establecido por el Ministerio de Salud Pública de Cuba en el subprograma de control sanitario del agua, para aguas mineromedicinales empleadas para baño (10.000 - 1`000.000 UFC/100mL).
- Se presenta un aumento significativo de los parámetros microbiológicos en el agua termal de la piscina con respecto a la fuente, lo cual se presume es debido a la contaminación producida por los bañistas.
- Las altas concentraciones de bacterias heterotróficas, coliformes totales, Escherichia Coli y Pseudomonas aeruginosa, indican la conveniencia de implementar medidas de control sanitario en estos tipos de establecimientos.
- Dada la variabilidad en los estándares microbiológicos para aguas de recreación, así como la inexistencia en Colombia de dicha norma, es necesario realizar estudios epidemiológicos y vigilancia clínica de la incidencia de enfermedades y brotes de infecciones, relacionados con la utilización de piscinas de aguas termales, que conduzcan a un conocimiento certero de los criterios de control sanitario en piscinas y balnearios de aguas termales.

REFERENCIAS

- Alfaro, C., Aguirre, A., Bernal, N., & Gokcen, G. (2003). *Inventario de Fuentes Termales del Departamento de Cundinamarca*. Bogotá D.C: INGEOMINAS.
- Barco Rincón, L. M., & Méndez Angarita, M. (2010). *Universidad Industrial de Santander*. Recuperado el 9 de Mayo de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6648/2/134761.pdf>
- Congreso de la República de Colombia. (2015). *Gaceta del Congreso 215*. Bogotá.
- Corral Lledó, M. d., Abolafia de Llanos, M., & López Geta, J. A. (2006). *Análisis sobre la normatividad de las aguas minero- medicinales. Posibles tratamientos*. Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de Revista de Salud Ambiental : ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/download/297/331
- Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Recuperado el 10 mayo de 2016, de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Decreto 271 de 2001, establece los requisitos técnico-sanitarios que deben cumplir los servicios de balneoterapia y de hidroterapia. (2001). Departamento de Sanidad y Servicios Sociales. España. Recuperado el 30 noviembre de 2015, de <http://diario-oficial-generalitat-catalunya.vlex.es/vid/cumplir-balneoterapia-hidroterapia-331036622>
- Decreto 55 de 1997, regula las condiciones sanitarias de Balnearios, Baños Termales y establecimientos de talasoterapia y de aplicación de Peloides. (1997). Consejería de Sanidad y política Social. España. Recuperado el 8 enero de 2016, de <http://www.exfiles.murciasalud.es/recursos/ficheros/45436-Borm1997-N172-P8677-Marginal10482.pdf>
- Decreto 209 de 2002, aprueba el reglamento de piscinas de uso público. (2002). Ministerio de Salud. Chile. Recuperado el 30 enero de 2016, de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=217014>
- Decreto 106 de 1997, aprueba el reglamento de aguas minerales. (1997). Ministerio de Salud. Chile. Recuperado el 1 enero de 2016, de <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=73577>
- De la Rosa, M. d., & Mosso Romeo, M. Á. (2000). Diversidad microbiana de las aguas minerales termales. En J. A. López Geta, & J. Pinuaga Espejel, *Panorama actual de las Aguas Minerales y Minero medicinales en España* (pág. 154). España: Instituto Geológico y Minero de España.

Environmental Protection Agency. (16 de Noviembre de 2004). *U.S. Government Publishing Office*. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2004-11-16/pdf/04-25303.pdf>

Environmental Protection Agency. (Junio de 2003). *Bacterial Water Quality Standards for recreational water (Freshwater and marine waters)*, EPA-823-R-03-008. Recuperado el 4 de Mayo de 2016, de <http://permanent.access.gpo.gov/lps67028/statrept.pdf>

González Leal, G. R. (2012). *Microbiología del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

Instituto Geológico y Minero de España. (2012). *Instituto Geológico y Minero de España*. Recuperado el 26 de Abril de 2016, de Aguas minerales y termales: <http://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/agua12.pdf>

Maraver, F. (2008). Importancia de la medicina termal. *Balnea El Termalismo Argentino* , 36-37.

Marchand Pajares, E. O. (2002). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos* . Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos : http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/marchand_p_e/tesis_completo.pdf

Megías, M. (2015). Aspectos negativos de la cura termal. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica* , 30 (2).

Ministerio de Salud Pública de Cuba. (2002). *Localizador de información en salud*. Recuperado el 09 de Abril de 2016, de Localizador de información en salud: <http://files.sld.cu/sida/files/2012/01/prog-cont-sanit-agua.pdf>

Molina López, J., & Eslava Campos, C. (3 de Agosto de 2015). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Departamento de Microbiología y parasitología: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/bacteriologia/escherichia-coli.html>

Montero, M. M. (2012). *Tesis en red*. Recuperado el 05 de Marzo de 2016, de Tesis Doctoral "Pseudomonas aeruginosa multirresistentes": <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/107902/mmm1de1.pdf?sequence=1>

Orden de 5 de noviembre de 1996, por la que se regula la autorización sanitaria de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia. (1996). Consejería de Sanidad y Servicios Sociales. España. Recuperado el 8 enero de 2016, de http://www.xunta.gal/dog/Publicados/1996/19961120/AnuncioE01A_es.html

Pinuaga, J. I. (1992). *Infraestructura Hidrotermal*. Recuperado el 13 de Enero de 2016, de http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/3_infraestructura.pdf: http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/3_infraestructura.pdf

Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

San Martín, J. (1992). Piscinas de tratamiento: Higiene y control. En J. San Martín Bacaicoa, J. A. López Geta, R. Llamas Madurga, J. Baeza Rodríguez Caro, & P. Navarrete Martínez, *Jornadas de aguas minerales y minero medicinales en España*. Instituto Geológico y Minero de España.

Santa Marina Rodríguez, I., Basterretxea Irurzun, M., Ibarlucea Maurologoitia, J., Serrano Ibarbia, E., & Zigorraga Arrieta, C. (2001). Brote de legionelosis asociado a un balneario. *Revista de Salud Ambiental*, 1 (1), 12-19.

Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). *Servicio Geológico colombiano*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales: <http://hidrotermales.sgc.gov.co/invtermales/>

Sociedad Española de Hidrología Médica. (s.f.). *Sociedad Española de Hidrología Médica*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de Sociedad Española de Hidrología Médica: <http://www.hidromed.org/hm/index.php/el-agua>

Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Prentice Hall.

World Health Organization. (2006). *World Health Organization*. Recuperado el 06 de Mayo de 2016, de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43336/1/9241546808_eng.pdf?ua=1