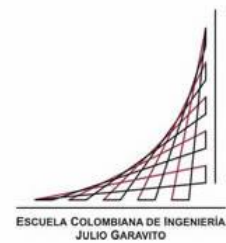


Maestría en Ingeniería Civil

Calidad sanitaria de un agua termal

JENNY ANDREA HERNÁNDEZ ROMERO

BOGOTÁ, D. C. JUNIO 2018



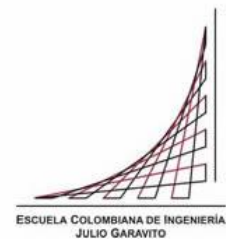
Maestría en Ingeniería Civil

Calidad sanitaria de un agua termal

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en
Ingeniería Ambiental en la modalidad de investigación**

JENNY ANDREA HERNÁNDEZ ROMERO

BOGOTÁ, D. C. JUNIO 2018



Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Junio de 2018

DEDICATORIA

A mis padres, que siempre han estado a mi lado apoyándome en cada momento. Por ellos y para ellos serán siempre mis logros.

AGRADECIMIENTOS

Doctor. Romero, por su apoyo y paciencia durante la elaboración de este documento.

*Rocío González, por sus enseñanzas en el laboratorio, cada uno de mis saberes en él se los
debo a ella.*

Mis padres por su apoyo incondicional

RESUMEN

Las aguas termales y recreacionales así como su uso pueden implicar un riesgo potencial para la salud pública, cuando las instalaciones no reúnen características y condiciones higiénicas y sanitarias adecuadas. La caracterización del agua determina si la calidad es correcta para el uso o requiere de tratamiento. Los responsables del mantenimiento de las instalaciones y de la calidad del agua, operarios de piscinas, así como los propios usuarios, juegan un papel fundamental en la disminución de riesgos para la salud.

La presente investigación tiene por finalidad evaluar la calidad sanitaria de una piscina de agua termal localizada en el municipio de Tabio en el departamento de Cundinamarca, mediante indicadores para características físicas, químicas y microbiológicas del agua termal.

Palabras clave: Agua termal, calidad microbiológica, aguas minerales, normatividad, caracterización

ABSTRACT

Thermal and recreational waters and their use may pose a potential risk to public health when the facilities do not meet adequate hygienic and sanitary conditions and conditions. Characterization of water allows determining if it is adequate for an intended use or if it requires treatment. Those responsible for the maintenance of facilities and water quality, pool operators, as well as the users themselves, play a fundamental role in reducing health risks.

The present investigation has the purpose of evaluating the sanitary quality of a thermal water pool located in the municipality of Tabio in the department of Cundinamarca, by means of indicators for physical, chemical and microbiological composition of the thermal water.

Keywords: Thermal water, microbiological quality, mineral waters, normativity, characterization

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I MARCO CONCEPTUAL	12
1.1. Aguas Subterráneas	12
1.2. Aguas Minerales.....	12
1.2.1 Clasificación de las aguas termales.....	12
1.2.2 Contaminación del agua Termal	13
1.2.3 Composición química de un agua termal	14
1.2.4 Uso de aguas termales	15
1.2.5 Aguas termales en Colombia	16
1.3. Área de Estudio (Tabio – Cundinamarca).....	17
1.3.1 Composición geológica	19
1.3.2 Composición microbiológica.....	22
1.3.3 Composición física	22
1.3.4 Antecedentes de Termal El Zipa.....	23
1.4. Marco normativo	23
1.4.1 Marco Normativo Internacional.....	23
1.4.2 Marco Normativo Nacional	32
1.5 Enfermedades causadas en aguas de uso recreacional	36
CAPITULO II CASOS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD SANITARIA DE AGUAS TERMALES	40
2.1 Marco Internacional.....	40
2.1.1 Caso manantial termal balneario El Tingo (Ecuador)	40
2.1.2 Caso Balnearios de Salavarrey-Huanchao	41
2.2 Marco Colombiano.....	42
2.2.1 Caso agua termal Estación Los Volcanes	42
2.2.2 Caso agua termal Becerril y Ciénaga.....	43
2.2.3 Caso agua termal Paipa e Iza	44
CAPITULO III METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SANITARIA DE UN AGUA TERMAL.....	45

3.1	Toma de muestras.....	45
3.2	Ensayos de laboratorio	46
CAPITULO IV RESULTADOS CALIDAD SANITARIA TERMALES EL ZIPA (Tabio – Cundinamarca)		48
4.1	Caracterización físico-química de la fuente de agua termal.....	48
4.2	Caracterización físico-química de la Piscina	50
4.2.1	pH.....	50
4.2.2	Color.....	51
4.2.3	Turbiedad	52
4.2.4	Temperatura.....	52
4.2.5	Sólidos Disueltos Totales	52
4.2.6	Oxígeno Disuelto.....	53
4.3	Ensayos microbiológicos.....	54
4.3.1	Coliformes totales.....	54
4.3.2	Coliformes fecales	54
4.3.3	Pseudomona Aeruginosa	54
4.3.4	Bacterias Heterótrofas	55
4.4	Resumen de resultados Piscina Termales El Zipa.....	56
CAPÍTULO V CONTROL SANITARIO		58
CONCLUSIONES		61
REFERENCIAS.....		62

LISTAS DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y FOTOGRAFÍAS

Tablas

Tabla 1. Resultados Microbiológico Termales El Zipa	22
Tabla 2. Resultados Ensayos Físicos y Químicos Termales El Zipa	22
Tabla 3. Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional	23
Tabla 4. Frecuencias y directrices microbiológicas para diferentes tipos de piscinas.	24
Tabla 5. Criterios de calidad microbiológica para agua dulce y agua marina de recreación	24
Tabla 6. Composición y factores de calidad del agua mineral	25
Tabla 7. Composición y factores de calidad del agua mineral	25
Tabla 8. Composición y factores de calidad del agua mineral	26
Tabla 9. Título III De la Calidad del agua	27
Tabla 10. Parámetros Físico - Químicos.....	28
Tabla 11. Parámetros Inorgánicos	29
Tabla 12. Parámetros Microbiológicos y Parasitológico	30
Tabla 13. Límites microbiológicos máximos en aguas minero-medicinales, termales y salinas y lodos.....	32
Tabla 14. Calidad para fines recreativos.....	33
Tabla 15. Resumen del marco normativo	34
Tabla 16. Bacterias no derivadas de la materia fecal se encuentran en piscinas y entornos similares y sus infecciones asociadas	38
Tabla 17. Brotes relacionados con aguas de recreo en Estados Unidos en el período 2003-2004	38
Tabla 18. Resultados de parámetros físico-químicos El Tingo.....	40
Tabla 19. Resultado del recuento de bacterias Aerobias Mesofilas El Tingo	41
Tabla 20. Resultado del recuento de Coliformes totales y fecales El Tingo	41
Tabla 21. Resultado del recuento de Staphylococcus El Tingo	41
Tabla 22. Resultado del recuento de Mohos y levaduras El Tingo	41
Tabla 23. Resultados de fuente de los balnearios de Salavarray-Huanchaco	42
Tabla 24. Resultados de fuente de agua termal Estación Los Volcanes.....	43
Tabla 25. Resultados de fuente de agua termal Becerril y Ciénaga	44
Tabla 26. Resultados de fuente de manantiales termales de Paipa e Iza en Boyacá.....	44
Tabla 27. Métodos de análisis físico-químico	46
Tabla 28. Métodos de análisis ensayos microbiológicos	47
Tabla 29. Resultados fuente de agua termal El Zipa.....	49
Tabla 30. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales	53
Tabla 31. Comparación resultados ensayos microbiológicos Fuente de agua y Piscina	56
Tabla 32. Resultados muestras de agua Piscina Termales El Zipa	57
Tabla 33. Frecuencia de control de la calidad física del agua de estanques que deben realizar los responsables de piscinas y estructuras similares de uso colectivo.	59
Tabla 34. Frecuencia de control de la calidad microbiológica del agua de estanques que deben realizar los responsables de piscinas y estructuras similares de uso colectivo.	59
Tabla 35. Características físicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares.....	59
Tabla 36. Características químicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares	60

Tabla 37. Características microbiológicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares	60
---	----

Ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama Lindal, para evaluación de usos potenciales del recurso geotérmico, de acuerdo con la temperatura del reservorio.	16
Ilustración 2 Inventario nacional de manifestaciones hidrotermales	17
Ilustración 3 Ubicación satelital Termales El Zipa en el municipio de Tabio.....	18
Ilustración 4 Ubicación satelital Termales El Zipa	19
Ilustración 5 Ubicación geográfica del municipio de Tabio	20
Ilustración 6 Modelo esquemático de un sistema de acuífero de basamento.	21
Ilustración 7 Corte esquemático transversal de la Sabana de Bogotá	21
Ilustración 8 Microorganismos peligrosos en piscinas y ambientes similares.	36
Ilustración 9 Análisis de pH piscina de agua termal	51
Ilustración 10 Análisis de Color Piscina de Agua Termal	51
Ilustración 11 Análisis de Turbiedad piscina de agua termal.....	52
Ilustración 12 Análisis de Conductividad y temperatura	52
Ilustración 13 Análisis de OD	53
Ilustración 14 Resultados Coliformes Totales	54
Ilustración 15 Resultados Pseudomona Aeruginosa	55
Ilustración 16 Resultados Bacterias Heterótrofas	55

Fotografías

Fotografía 1. Balneario Termales El Zipa	19
Fotografía 2. Lectura de pH in situ.....	45
Fotografía 3. Fijación de Oxígeno Disuelto.....	46
Fotografía 4. Fuente de agua Termales El Zipa.....	48
Fotografía 5. Piscina Termales El Zipa	50

INTRODUCCIÓN

El uso de las piscinas puede representar un riesgo potencial para la salud pública, cuando las instalaciones no reúnen características y condiciones higiénicas y sanitarias adecuadas. A partir de la caracterización del agua se determina si la calidad es correcta para el uso o requiere de tratamiento. Los responsables del mantenimiento de las instalaciones y de la calidad del agua, operarios de piscinas, así como los propios usuarios, juegan un papel fundamental en la disminución de riesgos para la salud.

En el primer capítulo se presenta los sustentos teóricos en relación con las aguas subterráneas y aguas minerales profundizando en los usos de las aguas termales, en su composición química y se revisan antecedentes; a nivel nacional e internacional del uso de las aguas minerales y termales, así como las enfermedades causadas por el uso recreacional.

En el capítulo dos se hace una síntesis de casos de evaluación de calidad sanitaria de aguas termales: El tingo, Salavarrey, Huanchaco a nivel internación, a nivel nacional los termales la estación Los Volcanes, Becerril, Ciénaga, Santa Rosa de Cabal, Paipa e Iza.

En el capítulo tres se describe la metodología implementada para la evaluación de la calidad sanitaria de un agua termal, los ensayos físico-químicos en relación con el pH, la temperatura, la turbiedad, la conductividad y oxígeno disuelto. Así mismo los ensayos microbiológicos en relación con el grupo coliforme, pseudoma aeruginosa y heterótrofos.

En el capítulo cuatro se incluye la calidad sanitaria del termal el Zipa, ubicada en Tabio-Cundinamarca, su caracterización físico-química y finalmente se formulan las conclusiones que arroja la investigación.

CAPÍTULO I MARCO CONCEPTUAL

1.1. Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas representan el 0.54% del agua contenida en el globo y se encuentran ubicadas en los acuíferos bajo la superficie de la tierra, se clasifican en Aguas Meteóricas, Aguas Marinas, Aguas Connatas y Aguas Juveniles, Magmáticas y Volcánicas. En esta clasificación se hallan las aguas termales consideradas como aguas minerales cuya temperatura es producto del enfriamiento de las rocas ígneas.

1.2. Aguas Minerales

Se distinguen del resto de las aguas naturales en que poseen prácticamente invariables su caudal, temperatura y composición química y bacteriológica. Cuando presentan reconocida acción terapéutica estas aguas se denominan mineromedicinales (Gonzalez, 2015).

Según Cadish (1964, en Urbani, 1991), un agua mineral es aquella con un residuo seco superior a 1g/L, o que sin tener la cantidad de residuo tenga más de 1 mg/L de litio, 5 mg/L de hierro, 5 mg/L de estroncio, 1 mg/L de yodo, 2 mg/L de flúor, 1,2 mg/L de sílice, etc. Si no se dispone de la información sobre el residuo seco se puede utilizar el total de sólidos disueltos (igual a la suma de aniones y cationes), en exceso a 1g/L.

El agua termal se define según el Servicio Geológico Colombiano (2016) como una descarga natural de agua con temperatura mayor de 4 °C sobre 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).

Las aguas termales proceden de capas subterráneas de la Tierra que se encuentran a mayor temperatura, las cuales son ricas en diferentes componentes minerales y permiten su utilización en la terapéutica como baños, inhalaciones, irrigaciones, y calefacción (Cáceres, 1990. Pág. 34). Por lo general se encuentran a lo largo de líneas de fallas ya que a lo largo del plano de falla pueden introducirse las aguas subterráneas que se calientan al llegar a cierta profundidad y suben después en forma de vapor que puede condensarse al llegar a la superficie, formando un géiser o agua caliente.

1.2.1 Clasificación de las aguas termales

Según Armijo y Valenzuela (1994), con relación a la temperatura las aguas minerales pueden ser hipotermas (con temperaturas inferiores a 20 °C) y termales propiamente dichas (con temperaturas superiores a 20 °C).

Así mismo, según Schoeller (1962), para clasificar las aguas según su temperatura se hace necesario considerar la temperatura media anual del aire (T_{ma}) o la temperatura del suelo (T_s) en que brota el manantial.

Desde el punto de vista hidroterapéutico y en relación con la llamada Temperatura Indiferente del Organismo, resulta de interés la clasificación que establece que las aguas mesotermales son aquellas con temperaturas entre 35 y 37 °C, hipertermales (más de 37 °C) e hipotermales (menos de 35 °C).

De la misma manera Armijo- Valenzuela y San Martín (1994), clasifican las aguas en:

- Frías: menos de 20 °C.
- Hipotermales: entre 20 y 35 °C.
- Mesotermales: entre 35 y 45 °C.
- Hipertermales: de más de 45 y hasta 50 °C.

Esta clasificación es considerada universal y resulta la más aceptada.

Según la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología médica (ANMAT), las aguas termales se pueden clasificar de la siguiente manera:

De acuerdo al grado de mineralización determinado por el residuo seco soluble a 180°C:

- Oligominerales: residuo entre 50 y 100 mg/L.
- De mineralización débil: residuo entre 101 y 500 mg/L.
- De mineralización media: residuo entre 501 y 1500 mg/L.
- De mineralización fuerte: residuo entre 1501 y 2000 mg/L.

De acuerdo a su composición

- Alcalina o bicarbonatada: contiene más de 600 mg/L de ión bicarbonato.
- Acidulada o carbogaseosa: contiene más de 250 mg/L de dióxido de carbono libre.
- Salida o clorurada: contiene más de 500 mg/L de cloruro de sodio.
- Cálctica: contiene más de 150 mg/L de calcio.
- Magnésica: contiene más de 50 mg/L de magnesio.
- Fluorada: contiene más de 1 mg/L de flúor.
- Ferruginosa: contiene más de 2 mg/L de hierro.
- Yodadas: contiene más de 1 mg/L de yodo.
- Sulfatadas: contiene más de 200 mg/L ión sulfato.

1.2.2 Contaminación del agua Termal

Las aguas termales tienen una relación directa con los volcanes, ya que estas aguas se almacenan en el subsuelo y están en contacto con el calor que emanan las masas ígneas, estas a su vez se impregnan de azufre (es el olor característicos de las aguas termales o aguas

sulfurosas). Se considera que la concentración de sales y otros elementos (Cl, SO₄, F, B, As, Hg, Pb, Cd, etc.) pueden ser nocivos para la salud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define que, debe considerarse que un agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones de utilización a la que se hubiera destinado en su estado natural (OMS.2014).

Según Martínez P. E, Martínez P y Castaño S, puede ser índice de contaminación cualquier parámetro físico químico cuyo valor esté fuera del rango esperable en las aguas subterráneas, por ejemplo:

- Presencia de metales pesados y elementos traza en concentraciones superiores a las habituales.
- Presencia de nutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo)
- Presencia de elementos radiactivos.
- Presencia de hidrocarburos.
- Presencia de herbicidas.
- Presencia de plaguicidas.
- Presencia de detergentes.
- Presencia de bacterias.
- Valores de pH inferiores a 6 o superiores a 8.5.
- Valores fuera del rango de la temperatura media ambiental más el *gradiente geotérmico*.

1.2.3 Composición química de un agua termal

La composición química de las aguas termales está íntimamente ligada a la constitución geológica de la región en que brotan, lo cual permite muchas veces prever la naturaleza de las aguas que se encuentran en ellas, esto es un indicador de la estrecha relación entre las aguas termales y la geología del país, ya que en los terrenos sedimentarios las aguas encuentran generalmente gran cantidad de sustancias fácilmente solubles, como son las sales de los metales ligeros y oxidables, sales alcalinas y alcalino térreas en condiciones muy apropiadas para su redisolución y movilización. (Cámara, 1956)

La composición química de las aguas que se consideran como minerales es muy variada y depende de los minerales presentes en los acuíferos, del tiempo de residencia del agua y de la temperatura en los diferentes pasos. Por tanto se pueden encontrar aguas de muy diferente composición, desde soluciones muy diluidas hasta salmueras con conductividades eléctricas muy superior a las del agua del mar. (Rodríguez J, López J y Ramírez A, 2001, pg 27).

Algunas investigaciones han proporcionado información sobre la presencia y cantidad de ciertas sustancias y de tal manera se han podido distinguir según su frecuencia en

constituyentes principales, secundarios, menores y trazas, así (Martinez P. E, Martinez P y Castaño S, 2006 pg 169-174):

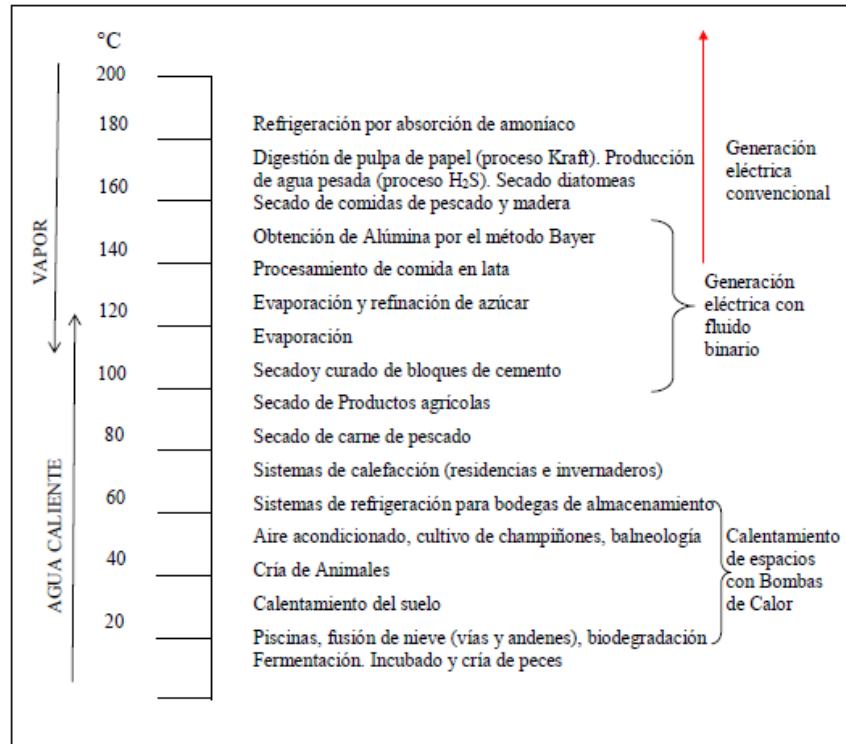
- Los *constituyentes principales* suelen estar siempre presentes en las aguas subterráneas y en concentraciones comprendidas entre 1 y 1000 ppm. Son Sodio, Calcio y Magnesio en el grupo de los cationes, y Cloruros, Sulfatos y Bicarbonatos en el de los aniones. También se suele incluir en este grupo a la Sílice, aunque no se presenta en forma iónica.
- Los *constituyentes secundarios* se presentan con menor frecuencia y en concentraciones entre 0.01 y 10 ppm. En el grupo de los cationes están Hierro Estroncio y Potasio; y en el de los aniones: Carbonatos, Nitratos y Fluoruros.
- Los *constituyentes menores* se presentan ocasionalmente en las aguas subterráneas y en concentraciones generalmente entre 0.0001 y 0.1 ppm. Entre estos elementos están: Antimonio, Aluminio, Arsénico, Bario, Bromo, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Germanio, Yodo, Plomo, Litio, Manganeseo, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Rubidio, Selenio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
- Las *constituyentes trazas* raramente se presentan en las aguas subterráneas y en concentraciones inferiores a 0.001 ppm. Entre estos elementos están: Berilio, Bismuto, Cerio, Cesio, Estaño, Galio, Oro, Indio, Lantano, Niobio, Platino, Radio, Rutenio, Escandio, Plata, Talio, Torio, Tungsteno, Yterbio, Ytrio, Zirconio.

1.2.4 Uso de aguas termales

Según Alfaro, las aguas termales tienen usos indirectos y directos. Los usos indirectos consisten en la transformación de la energía térmica del fluido, en energía eléctrica. En un paso intermedio de esta transformación, la energía térmica es transformada en mecánica, que es la que proporciona el movimiento de las turbinas para la generación eléctrica. Esta aplicación demanda el beneficio del fluido geotérmico con la separación de vapor (motor de las turbinas) y agua.

En los usos directos el fluido geotérmico es utilizado como fuente de energía térmica, directamente o a través de intercambiadores de calor. Las aplicaciones más difundidas de esta categoría son los invernaderos, sistemas de calefacción, refrigeración, acuicultura, secado industrial, deshidratación de vegetales, generación eléctrica por ciclo binario (en donde el calor del fluido geotérmico se utiliza para vaporizar un fluido secundario-hidrocarburo liviano de bajo punto de ebullición – después de lo cual el fluido geotérmico es reinyectado), bombas de calor y usos balneológicos (mineromedicinales y recreación). Existen otras aplicaciones directas, derivadas del contenido de minerales de estas aguas como son la obtención de sales o compuestos inorgánicos, como sulfato de sodio y ácido bórico. (Alfaro, 2003).

Ilustración 1 Diagrama Lindal, para evaluación de usos potenciales del recurso geotérmico, de acuerdo con la temperatura del reservorio.



Fuente: Gudmundsson et al. (1985), en Lund et al. (1999)

1.2.5 Aguas termales en Colombia

El Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales es un proyecto en el que se integra la información de localización y descripción de manantiales termales y fumarolas, con información sobre su composición química según el Servicio Geológico Colombiano. Algunas fuentes de agua termal se nombran a continuación:

- Termales Aguas Calientes de Guasca Cundinamarca
- Termales Aguas Calientes del Llano
- Termales Santa Rosa de Cabal
- Termales San Vicente
- Termales de Paipa
- Termales de Chocontá
- Termales de Machetá
- Termales de Alejandría (Antioquia)
- Termales de El Otoño (Manizales)
- Termales Tierra Viva (Manizales)
- Termales de Rivera (Huila)
- Termales de Choachi
- Termales Raizón Chinácota

- Termales de Coconuco- Cauca
- Termales de Guateque- Paraiso Termal
- Termales de Tajumbina- Nariño
- Termales del Cusiana-Tauramena-Casanare
- Termales El Retorno - Guaviare
- TermaColores Resguardo Indígena de Puracé Cauca
- **Termales de Tabio Cundinamarca**
- Termales del Córdoba "El Volcán" (Ciénaga Magdalena)

Ilustración 2 Inventario nacional de manifestaciones hidrotermales



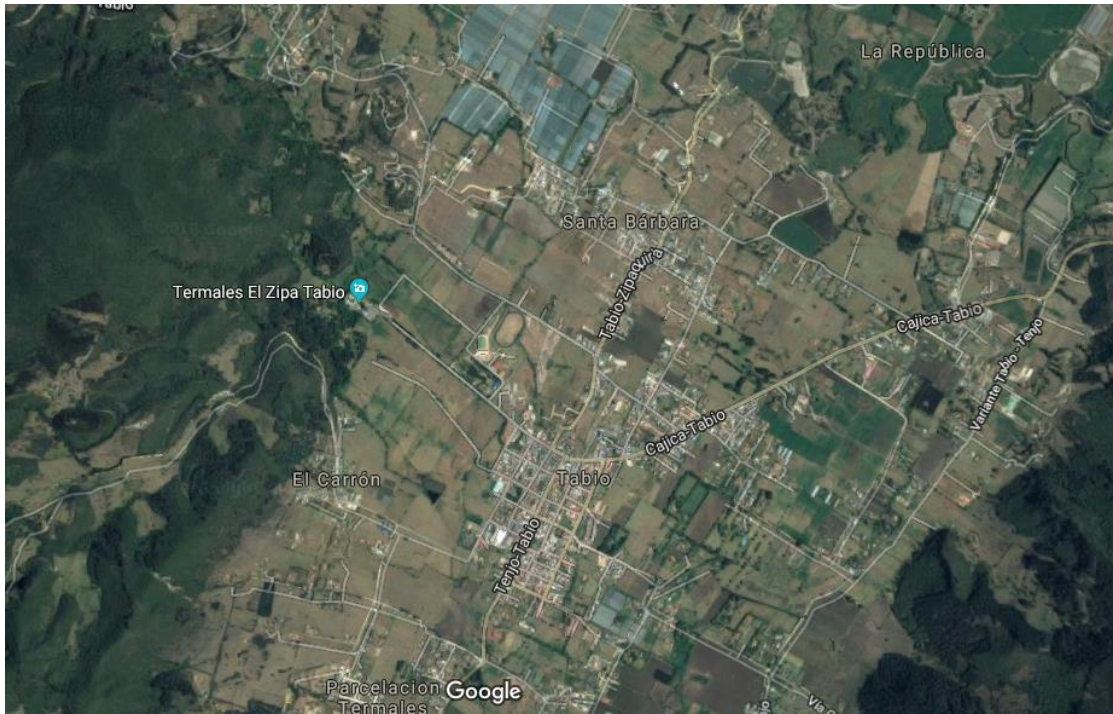
Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2016) Inventario nacional de manifestaciones hidrotermales

1.3. Área de Estudio (Tabio – Cundinamarca)

La fuente de agua Termal el Zipa se encuentra ubicada en el municipio de Tabio en el departamento de Cundinamarca. El Balneario cuenta con dos tipos de piscinas; la piscina Turística con una profundidad mínima de 1,10 m y una profundidad máxima de 1,50 m, su temperatura es aproximadamente de 32°C totalmente natural y se encuentra enchapada. La piscina Medicinal como es llamada, tiene una profundidad de 1,10 m, con un fondo en piedras y una temperatura aproximada de 34.5°C y la fuente de agua termal tiene una temperatura

aproximada de 42°C. El estudio de calidad microbiológica del agua se llevó a cabo en la piscina turística.

Ilustración 3 Ubicación satelital Termales El Zipa en el municipio de Tabio



Fuente: Google Maps.

El balneario cuenta con distintas zonas de uso, dentro ellas está la zona de restaurante y tienda de víveres (1), zona húmeda que incluye sauna, duchas, baterías de baños y lockers (2) a continuación se encuentra la piscina medicinal que está revestida en piedra y tiene malla de encerramiento (3), contigua a esta se encuentra la piscina enchapada en baldosa (4) y a la cual se le realizaron las pruebas de laboratorio. Las instalaciones cuentan con otra batería de baños (5) ubicada en el costado norte, luego se aprecia la ubicación de la fuente de agua termal (6), que conecta la entrada de agua a las dos piscinas y finalmente un lago (7) donde se pueden apreciar especies de pez y patos. En la Ilustración 3 se puede detallar cada una de las ubicaciones.

Ilustración 4 Ubicación satelital Termales El Zipa



Fuente: Google Maps.



Fotografía 1. Balneario Termales El Zipa

Izquierda: Fuente de agua termal, Derecha: Piscina de agua termal

1.3.1 Composición geológica

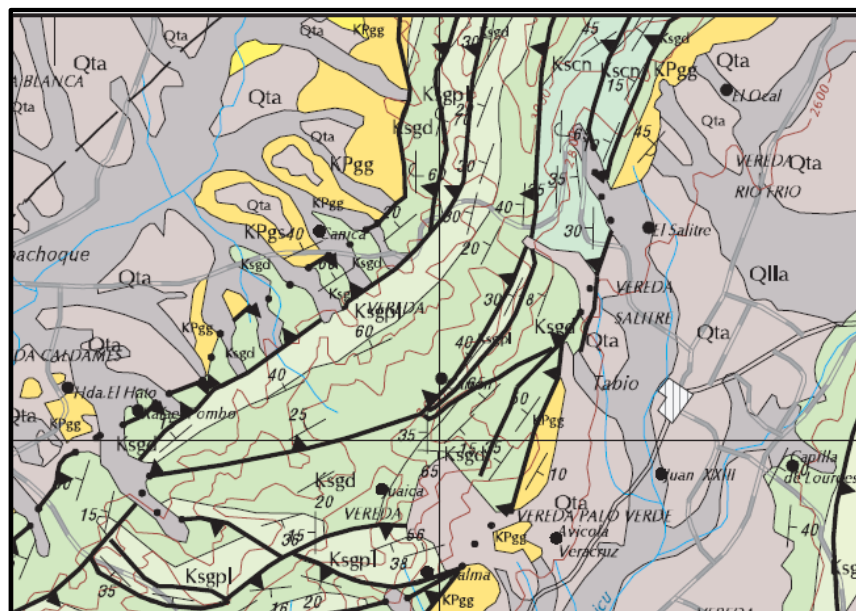
En el Departamento de Cundinamarca afloran rocas sedimentarias, de edad Cretáceo y Terciario; las cuales subrayasen a rocas paleozoicas, de bajo grado de metamorfismo. Adicionalmente, afloran unos pequeños cuerpos intrusivos hacia el norte del departamento.

Según Acosta y Ulloa (2002), el departamento de Cundinamarca se divide en cuatro bloques tectónicos:

- Bloque I: Valle medio del Magdalena - Guaduas
- Bloque II: Anticlinorio Villeta
- Bloque III: Sabana de Bogotá – Anticlinorio Los Farallones
- Bloque IV: Piedemonte llanero

El municipio de Tabio ubicado en la sabana de Bogotá, pertenece al Bloque III de la clasificación; este bloque se encuentra localizado entre la base del escarpe generado por el Grupo Guadalupe, al occidente de la Sabana de Bogotá, y al oriente por la Falla de Santa María – Tesalia.

Ilustración 5 Ubicación geográfica del municipio de Tabio



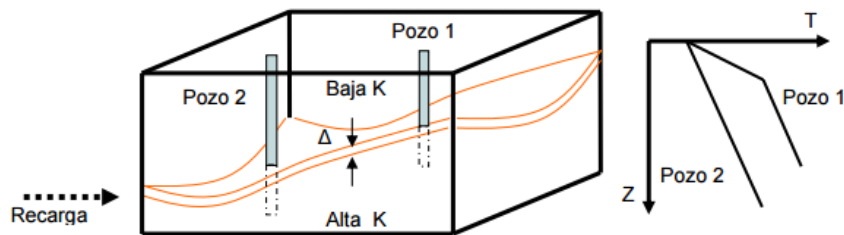
Fuente: Ingeominas, Plancha 227 (1998)

El Balneario El Zipa está ubicado a 1 km., aproximadamente, al noroccidente del parque principal de Tabio, en él se presentan dos manantiales (227-01 y 227-07). Los manantiales emergen entre depósitos aluviales y terrazas, los cuales reposan sobre la Formación Arenisca Dura del Grupo Guadalupe. La Serranía de Tenjo – Tabio, localizada al occidente de los manantiales, está caracterizada por la presencia de diferentes fallas de cabalgamiento. La formación Arenisca Dura aflora en los alrededores de la Sabana de Bogotá, y forma escarpes de difícil acceso. Está conformada por capas muy delgadas a muy gruesas de cuarzo arenitas de grano fino, con intercalaciones de limolitas de cuarzo y lodolitas negras. (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003)

Las fuentes termales de Tabio emergen a través de depósitos cuaternarios constituidos por cascajo, arena y limo; los cuales han sido transportados por lluvias y corrientes de agua. También se presenta turba. (Scheibe 1918).

En la composición del *Sistema geotérmico*, la fuente de agua termal El Zipa está dentro de la clasificación de Acuíferos de Basamento Bajo Cuencas Sedimentarias lo cual indica que existe un acuífero altamente permeable dentro o sobre la parte superior de un basamento cubierto por una secuencia de rocas sedimentarias más jóvenes de baja permeabilidad. Estos acuíferos se caracterizan por ser de baja temperatura de 50 a 60°C desde profundidades entre 0,5 a 1 km, el área de la cual el calor puede ser extraído es enorme y la mineralización de los fluidos es baja. (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

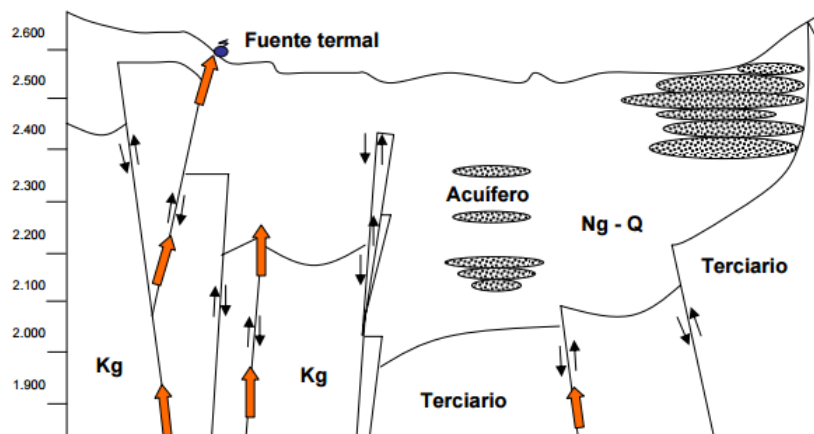
Ilustración 6 Modelo esquemático de un sistema de acuífero de basamento.



Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca.

En cuanto a la relación entre la tectónica actuante y la litología de la cuenca, la cobertura del cuaternario Ng-Q contiene los acuíferos que se explotan en la Sabana y que se encuentran sobre el basamento cretácico. La permeabilidad de este basamento es secundaria por fracturamiento. (Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen, 2003).

Ilustración 7 Corte esquemático transversal de la Sabana de Bogotá



Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca.

Las aguas termales utilizan las fallas y fracturas para moverse desde las partes profundas de la cuenca hasta la superficie, luego de ser calentadas por el gradiente geotérmico normal (Modificado de Bermoudes y Velandia, 1999).

En cuanto a la clasificación del agua termal de Tabio, Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) determina que la fuente es de aguas bicarbonatadas y cloruradas, se consideran aguas termales de agua dulce, ya que su contenido salino es inferior a 1g/L. El manantial de Tabio, probablemente se originan en un reservorio geotérmico o por infiltración más profunda del agua meteórica. Su concentración de sólidos totales disueltos inferior a 1700 mg/L, no evidencia la contribución de una fuente salina fría.

1.3.2 Composición microbiológica

Para la composición microbiológica del manantial El Zipa; Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) determinaron como indicadores importantes los microorganismos mesófilos y coliformes totales. A continuación se muestran los resultados:

Tabla 1. Resultados Microbiológico Termales El Zipa

PARÁMETRO	RESULTADOS
Mesófilos Aerobios UFC/100 mL	46000
Coliformes Totales UFC/100 mL	33000
Coliformes Fecales UFC/100 mL	0
Pseudomonas aeruginosa NMP/100 mL	<2.2
Mohos UFC/100 mL	240
Levaduras UFC/100 mL	12

Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca.

1.3.3 Composición física

Alfaro, Aguirre, Bernal, & Gokcen (2003) con el fin de identificar las fuentes potenciales adecuadas para uso de acuicultura de las aguas termales en el departamento de Cundinamarca realizaron ensayos de Alcalinidad y Dureza.

Tabla 2. Resultados Ensayos Físicos y Químicos Termales El Zipa

PARÁMETRO	RESULTADOS
T (°C)	50
pH laboratorio	8.11
Alcalinidad (mg/L – CaCO ₃)	77.4
Dureza (mg/L – CaCO ₃)	133.2

Fuente: Inventario de Fuentes Termales del departamento de Cundinamarca.

1.3.4 Antecedentes de Termales El Zipa

En 1982 la OLADE, con la asesoría de Geotérmica Italiana/INTECOL, y el ex Instituto Colombiano de Electricidad –ICEL-, completaron el Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional donde se determinó áreas de interés geotérmico (OLADE, 2013). Algunos de los resultados obtenidos para el sector de la cordillera oriental departamento de Cundinamarca se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional

Manantial	ID Fuente original	T(°C)	pH	Concentración en mg/L											Clasificación
				Na	K	Ca	Mg	Li	B	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	SD	
Choachi	68	52	6,6	64	5	52	8	0,18	0,19	50	15	336	41,4	571	Bicarbonatada
Girardot	75	33	6,6	17	10	184	14	0,02	0,03	7	178	506	17,4	933	Bicarbonatada
Tocaima	76	33	6,6	71	4	174	25	0,02	0,09	16	168	671	19,2	1148	Bicarbonatada
Tocaima	77	31	7,6	39	6	240	34	0,00	0,08	12	576	336	28,8	1271	Sulfatada
Anapoima	78	28	6,6	25	3	240	35	0,00	0,00	24	446	409	15	1197	Sulfatada-Bicarbonatada
Tabio	79	55	7	506	7	54	4	0,22	0,14	780	0	220	51,6	1623	Clorurada

Fuente: OLADE y Geotérmica Italiana. 1982. Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Colombia

Por su clasificación como agua clorurada, la fuente de agua termal de Tabio se considera perteneciente a circuitos someros.

1.4. Marco normativo

1.4.1 Marco Normativo Internacional

A nivel internacional 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, presentan la frecuencias de monitoreo y directrices microbiológicas para los diferentes tipos de piscinas durante su funcionamiento normal, establecidos por la OMS. Fuente:(World Health Organization, 2006).

Tabla 4. Frecuencias y directrices microbiológicas para diferentes tipos de piscinas.

Tipo de piscina	Heterótrofos (Recuento en placa)	Coliformes Termo tolerantes / E. Coli	Pseudomonas aureginosa	Legionella spp.
Piscinas con desinfección, públicas y de alto uso	Semanal <200UFC/mL	Semanal <1UFC/100mL	Cuando la situación lo requiera <1UFC/100mL Trimestral	Trimestral <1UFC/100mL
Piscinas con desinfección, semipúblicas	Mensual <200UFC /mL	Mensual <1UFC/100mL	Cuando la situación lo requiera <1UFC/100MI	Trimestral <1UFC/100mL
Balnearios Naturales	n/a	Semanal <1UFC/100mL	Semanal <1UFC/100mL	Mensual <1UFC/100mL
Jacuzzis	n/a	Semanal <1UFC/100mL	Semanal <1UFC/100mL	Mensual <1UFC/100mL

Fuente: World Health Organization (2006).

- **ESTADOS UNIDOS (United States Environmental Protection Agency, USEPA)**

Según la EPA los Criterios de Calidad del Agua Recreativa, expuestos en el documento "Ambient Water Quality Criteria for Bacteria -1986" (EPA 440/5-84-002) (EPA, 2003), reflejan los últimos conocimientos científicos, comentarios públicos y revisión externa por pares. Los criterios están diseñados para proteger al público de la exposición a niveles nocivos de agentes patógenos mientras participan en actividades de contacto con el agua tales como natación, vadeo y surf en todas las aguas designadas para tales usos recreativos.

La Ley de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés) es la encargada de regular la calidad de las aguas de la superficie en los Estados Unidos. Los estándares y criterios de calidad del agua están designados según los usos (tales como natación y pesca) y los umbrales específicos para sustancias químicas.

Tabla 5. Criterios de calidad microbiológica para agua dulce y agua marina de recreación

INDICADOR	AGUA DULCE	AGUA MARINA
Enterococos	33 UFC/100 mL	33 UFC/100 mL
Escherichia Coli	126 UFC/100 mL	

Fuente EPA, 2004

En la Tabla 5 se muestran los valores criterio para un número de muestras (generalmente no menos de 5 muestras con intervalo de 30 días), el promedio geométrico de las densidades bacterianas indicadas no debe exceder uno u otro de los indicadores mencionados.

- **ARGENTINA (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología médica, ANMAT):**

Según la Ley 18284 Capítulo XII Artículo 985, se entiende por Agua Mineral natural apta para la bebida, de origen subterráneo, procedente de un yacimiento o estrato acuífero no sujeto a influencia de aguas superficiales y proveniente de una fuente explotada mediante una o varias captaciones en los puntos de surgencias naturales o producidas por perforación. Se diferencia claramente del agua potabilizada o agua común para beber. Su composición y factores de calidad se muestran a continuación (Tabla 6, 7 y 8).

Tabla 6. Composición y factores de calidad del agua mineral

CARACTERES SENSORIALES	VALOR	UNIDADES
Color	Hasta 5	U (Unidades en la escala Pt-Co)
Olor	Sin olores extraños	Característico
Sabor	Sin sabores extraños	Característico
Turbidez	Hasta 3	UT (Unidades Jackson o nefelométricas)

Fuente: Ley 18284 Capítulo XII Artículo 985.

Tabla 7. Composición y factores de calidad del agua mineral

CARACTERES QUÍMICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS	VALOR	UNIDADES
Arsénico	< 0,2	mg/L
Bario	< 1,0	mg/L
Boro	< 30,0	mg/L-H ₃ BO ₃
Bromo	< 6,0	mg/L
Cadmio	< 0,01	mg/L
Carbonatos	< 600,0	mg/L-CaCO ₃
Cloruro	< 900,0	mg/L-Cl ⁻
Cobre	< 1,0	mg/L
Flúor	< 2,0	mg/L
Hierro	< 5,0	mg/L
Iodo	< 8,5	mg/L
Manganeso	< 2,0	mg/L
Materia Orgánica	< 3,0	mg/L (oxígeno consumido por KMnO ₄ , medio ácido)
Nitratos	< 45,0	mg/L- NO ₄
pH	4 – 9	
Residuo seco soluble	50 – 2000	mg/L (180°C)
Selenio	< 0,01	mg/L
Sulfato	< 600	mg/L-SO ₄
Sulfuro	< 0,05	mg/L-S ⁻
Zinc	< 5,0	mg/L

Fuente: Ley 18284 Capítulo XII Artículo 985.

Tabla 8. Composición y factores de calidad del agua mineral

CONTAMINANTES	VALOR	UNIDADES
Agentes tensoactivos	Ausencia	
Cianuro	< 0,01	mg/L-CN ⁻
Cloro residual	Ausencia	
Compuestos fenólicos	Ausencia	
Cromo (VI)	< 0,05	mg/L
Hidrocarburos, aceites, grasas	Ausencia	
Mercurio	< 0,001	mg/L
Nitrito	< 0,1	mg/L-NO ₂ ⁻
Nitrógeno Amoniacal	< 0,2	mg/L-NH ₄
Plomo	< 0,05	mg/L
Productos indicadores de contaminantes	Ausencia	
Residuos de pesticidas	Ausencia	

Fuente: Ley 18284 Capítulo XII Artículo 985.

Calidad microbiológica: En la captación y durante su comercialización el agua mineral natural deberá estar exenta de:

- Parásitos, en 250 cc
- Escherichia coli, en 250 cc
- Streptococos fecales, en 250 cc
- Anaerobios esporulados sulfito reductores, en 50 cc
- Pseudomonas Aeruginosa, en 250 cc

- **CHILE (Ministerio de Salud)**

El Reglamento de aguas minerales del Ministerio de Salud de Chile mediante **Decreto 106 del 14 de junio de 1997** regula las actividades que se desarrollan en relación con las aguas minerales, con el objeto de resguardar la salud de la población.

Para reglamentación de piscinas de uso público el **Decreto 209 del 05 de julio de 2002** se encarga de regular la normatividad vigente en Chile y define como Piscina: Centro deportivo, recreativo o terapéutico, que incluye una pileta y las instalaciones anexas necesarias para su buen funcionamiento, tales como camarines, áreas de esparcimiento, equipos de mantención, etc.

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

Tabla 9. Título III De la Calidad del agua

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

Fuente: Decreto 209 del 05 de julio de 2002

Este último decreto establece además en su Artículo 12.- *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.*

El Instituto Nacional de Normalización con base a los Decretos ya mencionados y en el estudio de otras normas internacionales prepararon la Norma Chilena Oficial 2939 de 2005 “TERMAS – Requisitos para su clasificación” donde se especifica los requisitos generales de gestión y de calidad que deben cumplir las termas para optar a la calificación de 1, 2, 3,4 o 5 estrellas.

- **ALEMANIA**

En Alemania, la calidad del agua de piscinas y balnearios está regulada por la norma DIN19643, en esta se contemplan los parámetros de evaluación de calidad del agua de piscina expresadas como - DIN 19643-1 "Tratamiento de agua de piscinas y balnearios - Parte 1: Requisitos generales "; - DIN 19643-2 "Tratamiento del agua de piscinas y balnearios - Parte 2: Combinaciones de proceso con filtros de lecho fijo y filtros de prerrevestimiento"; - DIN 19643-3 "Tratamiento de agua de piscinas y balnearios - Parte 3: Combinaciones de proceso con ozonización"; - DIN 19643-4 "Tratamiento del agua de piscinas y balnearios - Parte 4: Combinaciones de proceso con ultrafiltración".

Determina que el valor máximo permisible para *Bacterias Heterótrofas* es de 100 UFC/100ML.

- **PERÚ (Autoridad Nacional del Agua, ANA)**

El artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición

de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

El Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. “Artículo 2.- Precisiones de las Categorías de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Para la implementación del Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y de la presente norma, se tiene en consideración las siguientes precisiones de las Categorías de los ECA para Agua:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional Sub Categoría

A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, con tratamiento convencional y con tratamiento avanzado.

B. Aguas superficiales destinadas para recreación: Son las aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea y que en las aguas continentales su amplitud es definida por la autoridad competente. Estas pueden ser de contacto primario o secundario (Tabla 10, 11 y 12).

Tabla 10. Parámetros Físico - Químicos

PARÁMETRO	UND	AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACIÓN	
		B1	B2
		CONTACTO PRIMARIO	CONTACTO SECUNDARIO
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de origen antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	1	**

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

Tabla 10. Parámetros Físico – Químicos (Continuación)

PARÁMETRO	UND	AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACIÓN	
		B1	B2
		CONTACTO PRIMARIO	CONTACTO SECUNDARIO
Olor	Factor de dilución a 25°C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	>5	>4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

Tabla 11. Parámetros Inorgánicos

PARÁMETRO	UND	AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACIÓN	
		B1	B2
		CONTACTO PRIMARIO	CONTACTO SECUNDARIO
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

Tabla 12. Parámetros Microbiológicos y Parasitológico

PARÁMETRO	UND	AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS PARA RECREACIÓN	
		B1	B2
		CONTACTO PRIMARIO	CONTACTO SECUNDARIO
Coliformes Totales (35 – 37°C)	NMP/100 mL	1000	4000
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	200	1000
Escherichia coli	E.coli/100 mL	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	Nº Organimo/L	0	**
Giardia duodenails	Nº Organimo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 mL	200	**
Salmonella sp	Presencia/100 mL	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

- ESPAÑA

La Directiva 80/777 de 15 de julio de 1980 es una legislación propia de la UE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre explotación y comercialización de las aguas minerales-naturales.

La Ley 22/1985, de agosto decretó que las aguas subterráneas pasaron a ser públicas, pero excluye de su ámbito de aplicación las aguas minerales indicando en su artículo 1.4. Que "Las aguas minerales se registrarán por su legislación específica"

El Real Decreto Ley 743/28 de 26 de abril de 1928 esta ley regula la explotación de las aguas minero-medicinales definiéndolas como: aquellas aguas subterráneas de surgencia natural o artificial que, por su composición, pueden ser clasificadas de utilidad pública.

Ley 22/1973 de 21 de julio de Minas y Real Decreto 2857/1978 de 25 de agosto, esta ley clasifica las aguas en:

Minero-Medicinales: Son las alumbradas natural o artificialmente que, por sus características y cualidades, sean declaradas de utilidad pública. La declaración de agua minero-medicinal lleva implícita la de utilidad pública según el Artículo 39.3 de esta Ley.

Minero-Industriales: Son las que permitan el aprovechamiento racional de las sustancias que contengan, entendiéndose incluidas en este grupo las aguas tomadas del mar a estos efectos. Independientemente de las sustancias que se puedan extraer de estas aguas, recientemente en España se está desarrollando una incipiente industria de este tipo de aguas, en los centros de talasoterapia (utilización del agua de mar con fines terapéuticos).

Termales: Son aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior al menos en 4°C a la media anual del lugar donde se alumbrá; la producción calórica máxima ha de ser inferior a 500 termias hora. Por su temperatura pueden ser utilizadas con fines terapéuticos en balnearios o estaciones termales.

Las competencias en aguas minerales han sido transferidas a las CC.AA. (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad), habiendo legislado al respecto algunas de ellas:

- Decreto 28/1990, de 30 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento, Ordenación y aprovechamiento de los Balnearios y de las aguas Minero-Medicinales y/o Termales de Cantabria.
- Ley 8/1990 de 28 de diciembre de aguas Minerales y Termales de Castilla-La Mancha.
- Ley 6/1994 de 24 de noviembre, de Balnearios y de Aguas Minero-Medicinales y/o Termales de Extremadura.
- Ley 5/1995 de 7 de junio, sobre regulación de las Aguas Minerales, Termales, de Manantial y de los Establecimientos Balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia

MURCIA

La Región de Murcia dispone del **Decreto N° 55 del 11 de julio de 1997** en el cual se establecen las “Condiciones sanitarias de Balnearios, Baños Termales y Establecimientos de Talasoterapia y de aplicación de Peloides”.

Así mismo, este decreto establece en su Artículo 10: *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 1, no debiéndose sobrepasar los niveles indicados en él.

El agua salina, empleada en los tratamientos o baños, deberá cumplir los requisitos microbiológicos contemplados en Tabla 13.

Tabla 13. Límites microbiológicos máximos en aguas minero-medicinales, termales y salinas y lodos

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE
Mohos y Levaduras	100 ufc/1 g ó 1 ml
Coliformes totales	Ausencia en 1g ó 100 ml
Escherichia coli	Ausencia en 1g ó 100 ml
Estreptococos fecales	Ausencia en 1g ó 100 ml
Staphylococcus aureus	Ausencia en 1g ó 100 ml
Pseudomonas aeruginosa	Ausencia en 1g ó 100 ml
Candia albicans	Ausencia en 1g ó 100 ml

Fuente: Decreto N°55 de 11 de julio de 1997

1.4.2 Marco Normativo Nacional

El **Decreto 2811 de 1974** dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, identifica y clasifica el recurso geotérmico en la Parte VI. Artículo 172: Para los efectos de este Código, se entiende por recursos geotérmicos: a) La combinación natural del agua con una fuente calórica endógena subterránea cuyo resultado es la producción espontánea de aguas calientes o de vapores, y b) La existencia de fuentes calóricas endógenas subterráneas a las cuales sea posible inyectar agua para producir su calentamiento, o para generar vapor.

Artículo 173: También son recursos geotérmicos, a que se aplican las disposiciones de este Código y las demás legales, los que afloren naturalmente o por obra humana con temperatura superior a 80 grados centígrados o a la que la ley fije como límite en casos especiales. Los recursos geotérmicos que no alcancen los 80 grados centígrados de temperatura mínima serán considerados como aguas termales.

Artículo 174: Sin perjuicio de derechos adquiridos, la nación se reserva el dominio de los recursos geotérmicos.

Artículo 175: Los recursos geotérmicos pueden tener entre otros, los siguientes usos: a) Producción de energía; b) Producción de calor directo para fines industriales, o de refrigeración o calefacción; c) Producción de agua dulce; d) Extracción de su contenido mineral.

Artículo 176: La concesión de uso de aguas para explotar una fuente geotérmica será otorgada con la concesión del recurso geotérmico.

Artículo 177: Serán de cargo del concesionario de recursos geotérmicos de contenido salino las medidas necesarias para eliminar efectos contaminantes de las aguas o los vapores condensados.

El **Decreto 1594 de 1984** “Usos del agua y Residuos líquidos”, define los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario (Artículo 42) y los criterios para contacto secundario (Artículo 43).

Tabla 14. Calidad para fines recreativos

Referencia	Expresado como	Valor
Coliformes fecales	NMP	<200 microorganismos/100 mL
Coliformes totales	NMP	1000 microorganismos/100 mL
Compuestos fenólicos	Fenol	0.002
Oxígeno disuelto		70% concentración de saturación
Ph	Unidades	5.0 – 9.0 unidades
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5

Fuente: Decreto 1594 de 1984 Artículo 42

El **decreto 2171 de 2009** Reglamentado parcialmente por la Resolución del Min. Protección 1618 de 2010, señala medidas aplicables a las piscinas y estructuras similares de uso colectivo y de propiedad privada unihabitacional y se dictan otras disposiciones.

CAMPO DE APLICACIÓN. Las disposiciones del decreto 2171 aplican a todas las piscinas de uso colectivo y de propiedad privadas unihabitacional ubicadas en el territorio nacional. En el caso de las piscinas de propiedad privada unihabitacional, la autoridad sanitaria departamental, distrital o municipal (municipio categoría 1, 2 Y 3) de salud donde esté ubicada la piscina o estructura similar, supervisará el cumplimiento de lo señalado en los artículos 3° y 11 de la Ley 1209 de 2008 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.

Las disposiciones señaladas en el decreto 2171 relativas a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, no se les aplica a las piscinas con estanques de aguas termales, de centros de tratamiento de hidroterapia y las destinadas a usos eminentemente terapéuticos. No obstante, deben cumplir con las condiciones sanitarias y de seguridad. El Ministerio de la Protección Social definirá los aspectos técnicos relacionados con aguas termales, terapéuticas y otras de características especiales que determine dicho organismo.

El **proyecto de ley número 65 de 2014** 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, actualmente se encuentra archivado en el Senado De la Republica de Colombia.

A continuación se resumen las normas aplicables a las piscinas de uso público (Tabla 15).

Tabla 15. Resumen del marco normativo

PARÁMETRO	OMS	EPA	ESPAÑA (Decreto 55/1997)	ARGENTINA Ley 18284 Cap12	CHILE Decreto 209/2002	PERU Decreto N°015- 2015-MINAM	COLOMBIA Decreto 1594/1984
Color				5 UPtCo		Sin cambio normal	
Olor				Sin Olores		Aceptable	
Sabor				Sin Sabores			
Turbidez				<3 UT		100 UTN	
Coliformes Fecales					Ausencia		<200 NMP/100mL
Coliformes Totales			Ausencia		<20 colonias/100Ml	1000 NMP/100mL	1000 NMP/100mL
Compuestos Fenólicos				Ausencia			0.002 mg/L
Oxígeno Disuelto						>5 mg/L	70% Saturación
pH				4 – 9	7.2 – 8.2	6.0 – 9.0	5.0 – 9.0
Tensoactivos				Ausencia			0.5 mg/L
Heterótrofos	N/A						
Escherichia Coli	<1UFC/100mL	126UFC/100mL	Ausencia	Ausencia/250cc		Ausencia	
Pseudomona Aeruginosa	<1UFC/100mL		Ausencia	Ausencia/250cc			
Legionella spp	<1UFC/100mL						
Streptococos Fecales			Ausencia	0 organismos/250cc			
Parásitos				Ausencia/250cc		0 N°Organismo/L	
Anaerobios Esporulados				Ausencia/50cc			
Cloro residual libre				Ausencia	0.5 – 1.5 mg/L		

Tabla 15. Resumen del marco normativo

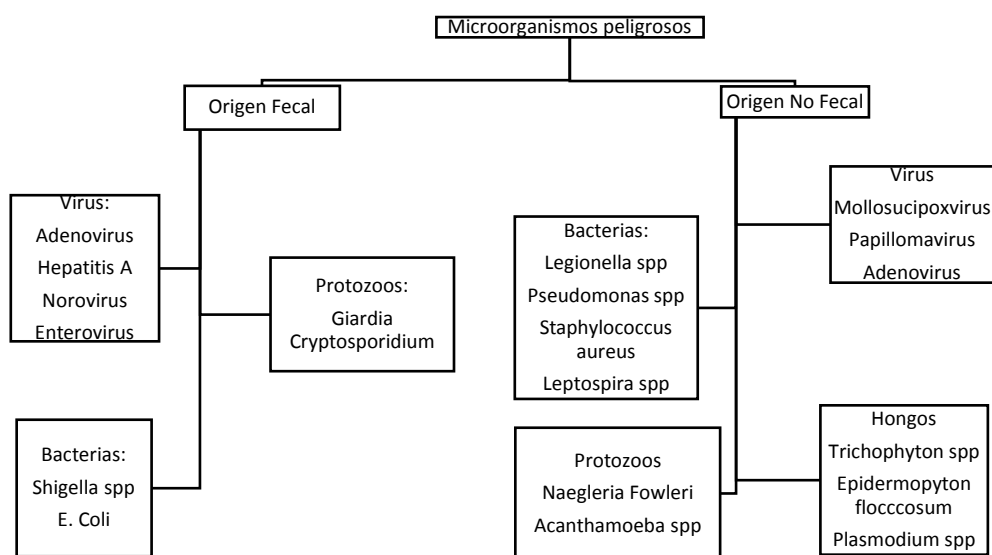
PARÁMETRO	OMS	EPA	ESPAÑA (Decreto 55/1997)	ARGENTINA Ley 18284 Cap12	CHILE Decreto 209/2002	PERU Decreto N°015- 2015-MINAM	COLOMBIA Decreto 1594/1984
Cobre				<1.0 mg/L	<1.5 mg/L	2 mg/L	
Bromo				<6.0 mg/L	1.0 – 3.0 mg/L		
Espumas, grasas y partículas en suspensión				Ausencia	Ausencia		
Bacteria aerobicas			Reporte		<200 colonias/MI		
Algas, larvas u otros					Ausencia		
Giardia Duodenails						Ausencia	
Enterococos Intestinales		33UFC/100mL				200 NMP/100MI	
Salmonella sp						0 Presencia/100mL	
Vibrio Cholerae						Ausencia/100mL	
Mohos y Levaduras			100UFC/1mL				
Staphylococcus aureus			Ausencia				
Candida Albicans			Ausencia				
Legionella Pneumophila			Reporte				

1.5 Enfermedades causadas en aguas de uso recreacional

El estudio de la calidad del agua es de gran importancia para la evaluación de propagaciones de enfermedades y su relación con el uso. Según la Organización Mundial de la Salud las causas son microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua, algunas de ellas como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos (Ilustración 8).

La Organización Mundial de la Salud, ha venido estudiando la amplitud de los riesgos asociados a las aguas recreativas y han establecido los vínculos entre la calidad del agua y la salud de los bañistas a través de las Directrices para ambientes seguros en aguas recreativas en la cual clasifica la calidad del agua mediante una combinación de indicadores y de inspecciones sanitarias.

Ilustración 8 Microorganismos peligrosos en piscinas y ambientes similares.



Fuente: (World Health Organization, 2006).

En el estudio de infecciones por Amebas de vida libre, Oddo encontró que la Naegleria fowleri, que es un protozoo ubicuo y presente en todo el mundo, ha sido encontrado, bajo condiciones normales y temperatura ambiente, en el suelo, polvo del aire ambiente, agua dulce de piscinas y lagos, reservorios de agua doméstica, sistemas de humidificación,

aguas residuales y en la nariz de individuos sanos. También se desarrolla bien en climas tropicales y temperaturas calurosas entre 40 y 45 °C, en aguas termales naturales limpias y contaminadas, aguas cloradas de piscinas temperadas. Las cepas de *N. fowleri* adaptadas a altas temperaturas, sobre 46 °C, son termofílicas y virulentas en los animales de experimentación, mientras que las cepas no termofílicas son avirulentas (Oddo, 2006).

La *Naegleria fowleri* ha sido aislada de la mucosa nasal de individuos sanos en numerosas ocasiones; sin embargo, el cómo ocurren estas infecciones humanas es materia de especulación. La mayor parte de las infecciones humanas son adquiridas después de las zambullidas en agua fresca, especialmente en corrientes de aguas termales contaminadas, aguas termales naturales, aguas de piscinas temperadas, o aguas estancadas que son calentadas sobre lo normal durante los meses de verano. Por esta razón se ha asumido que los trofozoitos del agua son los responsables de las infecciones humanas, pero esto no ha sido firmemente establecido. *N. aerobia*, una especie patógena para el ratón, es transmitida más eficientemente durante su estado flagelado (Oddo, 2006).

Los spas naturales (especialmente el agua termal) y el agua de la tina caliente y el equipo asociado crean un hábitat ideal (agua aeróbica cálida que contiene nutrientes) para la selección y proliferación de *Legionella*. La *Pseudomonas aeruginosa* también está presente con frecuencia en jacuzzis, ya que es capaz de resistir altas temperaturas y desinfectantes y de crecer rápidamente en aguas provistas de nutrientes de los usuarios. En jacuzzis (Tabla 16), el efecto primario de salud asociado con la presencia de *P. aeruginosa* es la foliculitis, una infección de los folículos pilosos que puede dar lugar a una erupción pustular (OMS, 2006, pxvi).

Tabla 16. Bacterias no derivadas de la materia fecal se encuentran en piscinas y entornos similares y sus infecciones asociadas

ORGANISMO	INFECCIÓN/ ENFERMEDAD	FUENTE
Legionella spp	Legionelosis (fiebre de Pontiac y enfermedad del legionario)	Aerosoles de spas naturales, jacuzzis y sistemas HVAC Duchas mal mantenidas o sistemas de agua caliente.
Pseudomonas aeruginosa	Foliculitis (jacuzzis) Oído de nadador (piscinas)	Bañista en aguas de piscinas y jacuzzis y en superficies mojadas alrededor de piscinas y jacuzzis
Mycobacterium spp	Granuloma de piscina, Hipersensibilidad, Neumonitis	Cambio de ropa de bañista sobre superficies mojadas alrededor de piscinas y jacuzzis. Aerosoles de jacuzzis y sistemas HVAC
Staphylococcus aureus	Infecciones de piel, heridas y oídos	Bañista descamando en el agua de la piscina
Leptospira spp	Ictericia, hemorrágica Meningitis aséptica	Piscina contaminada con orina de animales infectados

Fuente: WHO - Pautas para entornos seguros de agua recreativa

El uso recreativo del agua implica un riesgo de contagio por parte de microorganismos responsables de gastroenteritis, dermatitis y patología respiratoria (Tabla 17). Los agentes etiológicos relacionados con las enfermedades infecciosas provocadas por el uso de aguas de recreo suelen ser bacterianos (aproximadamente un 32,3%), parásitos (24,2%), virales (9,7%) o sustancias químicas o toxinas (4,8%). (Doménech-Sánchez, A., F. Olea y C.I. Berrocal).

Tabla 17. Brotes relacionados con aguas de recreo en Estados Unidos en el período 2003-2004

CAUSA	BROTOS, n(%)
Gastroenteritis infecciosa o tóxica	30
Dermatitis	13
Enfermedad respiratoria aguda (grave)	7
Diversas causas	12
Meningoencefalitis ameboides	1
Meningitis aséptica	1
Leptospirosis	1
Otitis externa	1
Mixtas	8

Fuente: Infecciones relacionadas con las aguas de recreo Doménech-Sánchez, A., F. Olea y C.I. Berrocal

Estados Unidos cuenta con los Centers for Disease Control and Prevention (CDC) encargados de registrar brotes asociados con las aguas, en especial las de uso recreativo.

La Unión Europea y España cuenta con el Programa Europeo de Formación en Epidemiología de Intervención (EPIET) que proporciona información de epidemiología de las enfermedades infecciosas.

CAPITULO II CASOS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD SANITARIA DE AGUAS TERMALES

2.1 Marco Internacional

2.1.1 Caso manantial termal balneario El Tingo (Ecuador)

En la investigación realizada por (VINUEZA. Raúl, 2015), se realizó el análisis microbiológico de las fuentes termales del balneario El Tingo en la parroquia de Sangolquí en la provincia de Pichincha, para caracterizar la microbiota del manantial, durante el periodo Septiembre 2014 - Abril 2015. Se midieron los parámetros físico-químicos con la ayuda de un aparato multiparámetros Hannah, se realizó el muestreo aplicando las normas INEN, se utilizaron placas Petrifilm para detectar la presencia de Aerobios mesófilos, E. coli/ Coliformes, Staphylococcus aureus y mohos y levaduras, se aisló bacterias representativas con repiques y siembras por agotamiento en agar Muller , se estableció el tipo de bacteria con la tinción Gram y posteriormente con pruebas bioquímicas y el sistema de identificación Microgen™ GN-ID se determinó género y especie de las colonias bacterianas aisladas. Se aisló 6 cepas bacterianas en total de los dos sitios muestreados, de los que se estableció un predominio de bacterias Gram-negativas (66.7%), y en menor porcentaje bacterias Gram-positivas (33.3%), se pudo determinar que hay un mayor crecimiento de bacterias en el agua que desemboca de la cascada. Se encontró una superioridad de Pseudomonas aeruginosa (50%), seguido de Staphylococcus aureus (33%) y en menor porcentaje Moraxella spp (17%). Siendo este el primer estudio microbiológico realizado a este balneario y habiendo encontrado variedad de bacterias que indican contaminación, es recomendable, que el GAD Municipal de la parroquia de Sangolquí se preocupe en realizar estudios de este tipo de manera periódica y efectúe una adecuada sanitización del lugar asegurando la salud de los usuarios. Se recomienda también que se establezcan parámetros de calidad sanitaria para este tipo de aguas y de esta forma el agua no se convierta en un vehículo de transmisión de enfermedades.

Los resultados se resumen en las Tablas 18 a 22.

Tabla 18. Resultados de parámetros físico-químicos El Tingo

PARÁMETRO FÍSICO QUÍMICO	SITIO DE LA TOMA		
	OJO DE AGUA	CASCADA	AMBIENTE
pH	7,68	7,56	
Conductividad	3011 μ S/cm	3003 μ S/cm	
Sólidos Totales	1506 ppm	1503 ppm	
Temperatura (°C)	42,0 °C	41,0 °C	17,7 °C

La medición de los parámetros físico químicos se realizó in situ a las 16 horas del 2 de Enero del 2015. (VINUEZA. Raúl, 2015)

Tabla 19. Resultado del recuento de bacterias Aerobias Mesofilas El Tingo

LUGAR	M1 (UFC/mL)	M2 (UFC/mL)	MEDIA (X)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	VARIANZA (S2)
Ojo de Agua	45.0	49.0	47.0	2.83	8
Cascada	250.0	245.0	247.5	3.54	12.5
X Total	295.0	294.0	294.5	0.71	0.5

Tabla 20. Resultado del recuento de Coliformes totales y fecales El Tingo

SITIO DE MUESTREO		UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC/mL)			MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
		COL. T.	COL. F.	T			
OJO DE AGUA	M1	8.0	0.0	8.0	6.5	2.12	4.5
	M2	5.0	0.0	5.0			
CASCADA	M1	31.0	0.0	31.0	32.5	2.12	4.5
	M2	34.0	0.0	34.0			
TOTAL		78.0	0.0	78.0	39	0	0

Tabla 21. Resultado del recuento de Staphylococcus El Tingo

LUGAR	M1 (UFC/mL)	M2 (UFC/mL)	MEDIA (X)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	VARIANZA (S2)
OJO DE AGUA	1.0	0.0	0.5	0.71	0.5
CASCADA	4.0	5.0	4.5	0.71	0.5
X TOTAL	5.0	5.0	5.0	0.0	0.0

Tabla 22. Resultado del recuento de Mohos y levaduras El Tingo

SITIO DE MUESTREO		UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC/mL)			MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VARIANZA
		MOHOS	LEV.	T			
OJO DE AGUA	M1	1	2.0	3	2.5	1.3	1.6
	M2	4	3.0	7			
CASCADA	M1	4	16	20	11.3	7.9	63.6
	M2	5	20	25			
TOTAL		14	41	55	27.5	6.4	40.5

2.1.2 Caso Balnearios de Salavarray-Huanchao

Se consultó el caso del análisis microbiológico de coliformes totales y fecales en muestras de agua de mar extraídas de los balnearios de Salavarray-Huanchaco realizada por Carranza

(2016) cuyo objetivo central fue evaluar la calidad microbiológica del agua de mar en los balnearios de Salaverry-Huanchaco en 2015 (Tabla 23).

Tabla 23. Resultados de fuente de los balnearios de Salaverry-Huanchaco

Parámetro	Huanchaco	Salaverry
Coliformes totales (NMP/100 mL)	619.7	118.8
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	167.1	118.8

Fuente: Elaboración propia

La evaluación se realizó en los meses de Noviembre y Diciembre de 2015, realizando la toma de muestras cada semana, encontrándose que los parámetros determinados fueron mayores en el balneario Huanchaco que en el balneario Salaverry.

Se concluyó que son numerosos los gérmenes patógenos que pueden transmitirse al hombre a través de la utilización con fines recreativos de aguas dulces y saladas. En este sentido los humanos pueden estar expuestos a estos patógenos en las aguas recreacionales a través de la ingestión o contacto personal lo que ha provocado gastroenteritis (E. Coli, Shigella, Salmonella), infecciones en heridas (aeromonas, hydrophila, staphylococcus áureos) y otras (pseudomonas, vibrio) (Carranza, 2016).

Lo anterior lo sustenta Silva (2012) quien afirma en un estudio previo que las aguas costeras de Salaverry presentan valores promedios de coliformes totales y fecales por debajo de lo establecido en los estándares de calidad ambiental de aguas recreacionales.

2.2 Marco Colombiano

2.2.1 Caso agua termal Estación Los Volcanes

La investigación realizada por Avendaño (2016) evalúa la calidad sanitaria del agua termal de las piscinas de la Estación Los Volcanes, así como revisa las normas de calidad para aguas termales nacionales e internacionales.

A continuación se muestra lo encontrado en las fuentes de agua termal de la Estación Los Volcanes (Tabla 24).

Tabla 24. Resultados de fuente de agua termal Estación Los Volcanes

PARAMETRO	UNIDADES	2015/09/06 10:20 a.m.	2015/09/20 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	0,31	–
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	–
Solidos totales	mg/L	153,3	–
Coliformes total	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

2.2.2 Caso agua termal Becerril y Ciénaga

La investigación realizada por Rojas, E., Fortich, M., & Pavajeau, H. (2014) tuvo como objetivo llevar a cabo un análisis que mostrara las condiciones geológicas bajo las cuales se originaron los depósitos que dieron lugar a los afloramientos, su composición mineralógica y su potencial terapéutico medicinal en los municipios de Becerril y Ciénaga (Rojas, 2014), dando especial relevancia a la gran diversidad de estos recursos naturales en Colombia, siendo importante despertar el interés por conocer sus características geológicas, biológicas y medicinales, además de su importancia en los ecosistemas que las circundan y su aprovechamiento terapéutico, con el fin de promover el desarrollo del ecoturismo en las zonas donde se presentan. En este sentido se muestra a continuación lo encontrado en las fuentes de agua termal (Tabla 25).

Tabla 25. Resultados de fuente de agua termal Becerril y Ciénaga

Parámetro	Becerril	Ciénaga
pH (Unidades de pH)	7,05	7.03
Temperatura (°C)	24,1	24,1
Conductividad (µS/cm)	854	2240
Alcalinidad Total (mg CaCO₃/L)	328.9	24,35
Color (UPC)	24	28
Dureza Total (mg CaCO₃/L)	240,9	424,15
Turbiedad (NTU)	1,26	0,85
Sólidos Totales (mg/L)	516	1655
Coliformes total (UFC/100 mL)	321	445
Escherichia coli (UFC/100 mL)	167	278

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran ciertos parámetros similares dentro de los dos depósitos de fuentes termales estudiadas; las aguas que afloran en estos depósitos contienen un pH relativamente neutro, con presencia de coliformes y Escherichia coli.

2.2.3 Caso agua termal Paipa e Iza

La investigación aislamiento y caracterización de microorganismo de manantiales termales de Paipa e Iza en Boyacá realizada por Rubiano (2006) encontró los resultados de la Tabla 27.

Tabla 26. Resultados de fuente de manantiales termales de Paipa e Iza en Boyacá

Parámetro	Paipa	Iza
pH (Unidades de pH)	7,0	7
Temperatura (°C)	57,2	54,1
Conductividad (µS/cm)	458	654
Alcalinidad Total (mg CaCO₃/L)	310	367
Color (UPC)	32	29
Dureza Total (mg CaCO₃/L)	240,9	424,15
Turbiedad (NTU)	2,20	1,09
Sólidos Totales (mg/L)	754	701
Coliformes total (UFC/100 mL)	56	44
Escherichia coli (UFC/100 mL)	12,4	2,14

Según los resultados mostrados en la Tabla 26, en los manantiales termales de Paipa e Iza hay presencia de coliformes totales que no superan los valores máximos y presencia de E. Coli que no cumple con los límites admisibles según la normatividad colombiana.

CAPITULO III METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SANITARIA DE UN AGUA TERMAL

El uso de aguas para fines recreativos se ha incrementado en las últimas décadas por todo el planeta. Las piscinas y otras instalaciones de aguas de recreo ofrecen la posibilidad de disfrutar y mejorar la salud, pero también pueden entrañar riesgos sanitarios, aunque con la mejora de la gestión y las tecnologías modernas para el tratamiento de las aguas y la vigilancia de la calidad del agua esas instalaciones han pasado a ser más seguras (OMS, 2014).

Son varias las enfermedades transmisibles (criptosporidiosis, giardiasis, legionelosis y gastroenteritis bacteriana y vírica) que se relacionan por lo general con los baños en aguas de recreo. Según varios estudios prácticos efectuados en diferentes países, la tasa de enfermedades diarreicas entre nadadores varía entre el 3 y el 8% (Accidents, 2014), normalmente estas enfermedades son transmitidas por la ruta fecal-oral y en algunos casos otras rutas como oídos, ojos, cavidad nasal y tracto respiratorio superior.

Teniendo en cuenta, que en diferentes estudios se ha expuesto que las enfermedades de las mucosas, de la piel y digestivas asociadas con los bañistas están directamente relacionadas con los niveles de contaminación fecal, se determina la calidad sanitaria de la piscina Termal El Zipa, contemplando la caracterización física, química y microbiológica, de los parámetros más indispensables.

3.1 Toma de muestras

El muestreo se realizó en los meses de julio, agosto y septiembre del año 2017, los días sábados y domingos cuando el aforo de bañistas es mayor que los días restantes de la semana, para un total de nueve (9) muestras de la piscina y una (1) muestra de la fuente de agua termal. La toma de la muestra se realizó a 30 cm de las paredes de la piscina y 20 cm de distancia de la superficie del agua.



Fotografía 2. Lectura de pH in situ

En el muestreo de los ensayos físicos y químicos del agua se utilizaron recipientes plásticos de 5 litros de capacidad, para los ensayos microbiológicos se usaron recipientes estériles de 50 ml y la fijación del oxígeno disuelto se realizó en botellas winkler de 300 ml. Todas las muestras se transportaron etiquetadas y refrigeradas.



Fotografía 3. Fijación de Oxígeno Disuelto

3.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos se realizaron con los procedimientos descritos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Tabla 27).

Tabla 27. Métodos de análisis físico-químico

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	STANDARD METHODS
pH	Unidades	Electrométrico	4500 – H + B
Temperatura	°C	Termómetro	2550
Turbiedad	UFC	Nefelométrico	2130 B
Conductividad	µmhos/cm	Electrométrico	2510 B
Color	UPC	Comparación Visual	2120 B
Oxígeno Disuelto	mg/L	Titulométrico	4500 – O – C

Los parámetros de calidad sanitaria se evaluaron mediante ensayos de Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Pseudomona Aeruginosa y Bacterias Heterótroficas (Tabla 28).

Tabla 28. Métodos de análisis ensayos microbiológicos

PÁRAMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	INCUBACIÓN	MEDIO DE CULTIVO	STANDARD METHODS
Coliformes Totales y Fecales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	24 a 48 horas a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$	m-Colibblue 24	9222 E
Pseudomonas Aeruginosa	UFC/100 MI	Filtración por membrana	24 horas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Caldo selectivo para Pseudomonas	9213 E
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 mL	Filtración por membrana	24 horas a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Caldo extracto de glucosa y triptona (TGE)	9215 D

CAPITULO IV RESULTADOS CALIDAD SANITARIA TERMALES EL ZIPA (Tabio – Cundinamarca)

Este trabajo reúne el análisis de resultados de la calidad sanitaria del agua de la fuente de agua termal y piscina del Balneario Termales EL ZIPA ubicado en el municipio de Tabio, Cundinamarca en el año 2017 entre los meses de agosto y septiembre de 2017. Estas termales se encuentran administradas por la Alcaldía.

Las muestras se tomaron los días sábado y domingo cuando el balneario tiene mayor concurrencia de bañistas. Algunas de las muestras se tomaron en días de lluvia y otras en días cálidos. La temperatura promedio del municipio es de 18°C y su altitud media es de 2569 msnm.

4.1 Caracterización físico-química de la fuente de agua termal

Se realizó la caracterización del agua de la fuente de agua en la entrada del Balneario. Esta fuente es proveniente de la fisura de la raíz de un volcán inactivo, dando como resultado un nacedero de agua. Los resultados se muestran en la Tabla 30.



Fotografía 4. Fuente de agua Termales El Zipa

Tabla 29. Resultados fuente de agua termal El Zipa

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO (16/09/2017) 10:30 am
Temperatura	°C	42
pH	Unidades	7.38
Color	UPC	10
Turbiedad	UTN	0.625
Conductividad	μS/cm	2760
Oxígeno Disuelto	mg/L	1.7
Alcalinidad	mg/L – CaCO ₃	84.5
Acidez	mg/L – CaCO ₃	12
Dureza total	mg/L – CaCO ₃	152
Calcio	mg/L – CaCO ₃	144
Coliformes totales	UFC/100 mL	20000
Escherichia Coli	UFC/100 mL	0
Pseudomonas aeruginosa	UFC/100 mL	27000
Bacterias heterótrofas	UFC/100 mL	200000

De acuerdo con los resultados de la Tabla 29, la fuente de agua termal se clasifica como aguas MESOTERMAL.

La caracterización física del agua permite apreciar los parámetros de color y turbiedad como condiciones óptimas para el uso de llenado de agua de la piscina a servicio de los bañistas. En cuanto a la conductividad, es un parámetro que permite determinar la concentración de sustancias disueltas, la baja conductividad representa bajo contenido de mineralización. Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente, valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 μS/cm: en Salmueras pueden alcanzarse valores de 100000 μS/cm (Lagrange, B. 1979). Para el resultado obtenido se considera como aguas de bajo contenido mineral.

El Oxígeno disuelto como parámetro en la caracterización del agua termal, permite evaluar las condiciones biológicas y los posibles procesos de oxidación de la materia orgánica. La concentración de O₂ normal en aguas subterráneas puede llegar incluso a valores de saturación, variables en función de la presión y la temperatura (13.3 mg/l. a 10°C. 7.6 mg/l. a 30°C). (Davies, (1985)). A medida que aumenta la temperatura del agua el contenido de Oxígeno disuelto disminuye, a tal razón que en la fuente de agua termal El Zipa tiene una concentración de 1.7 mg/L.

De acuerdo a la composición del agua y a los análisis de Alcalinidad y su relación con el pH, se puede concluir que son aguas bicarbonatadas.

Los ensayos microbiológicos del agua para Coliformes totales, *Pseudomonas aeruginosa* y Bacterias heterótrofas arrojaron como resultado presencia de microorganismos, exceptuando el ensayo de *E. Coli* que en las 8 muestras tomadas el resultado fue de 0.00 UFC/100 mL, concluyendo que no hay presencia de contaminación en el agua por materia fecal.

La presencia de *Pseudomonas aeruginosa* implica riesgos de foliculitis e infecciones de distinto índole del tracto urinario, respiratorio y de la piel así como otitis extrema.

A partir del pH, se concluye que los microorganismos presentes en el agua son neutrófilos con un rango de crecimiento de 5.5 a 8.5.

4.2 Caracterización físico-química de la Piscina

El Balneario cuenta con una Piscina enchapada con profundidad mínima de 1.10 m y profundidad máxima de 1.50 m. La temperatura promedio es de 32°C. El agua de la piscina es proveniente de la fuente termal.

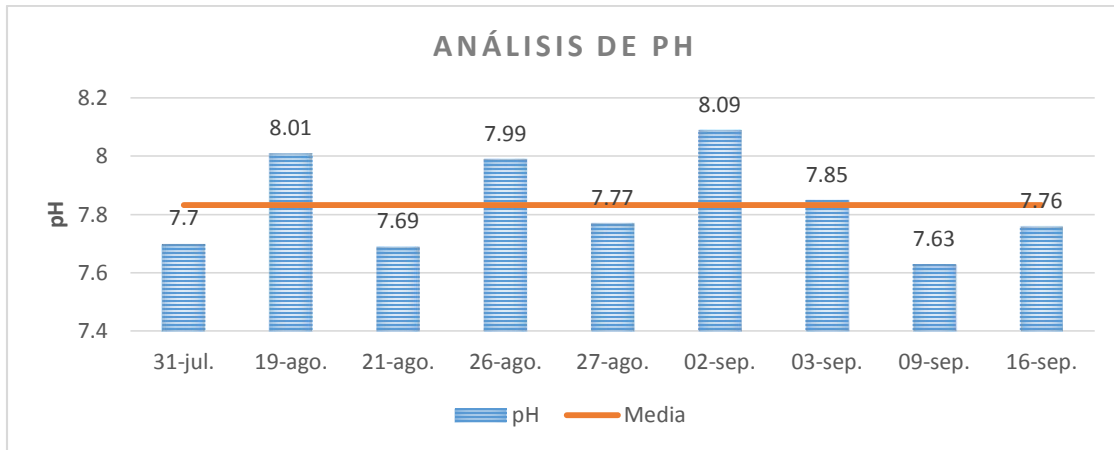


Fotografía 5. Piscina Termales El Zipa

4.2.1 pH

En la Ilustración 9 a continuación se muestran los resultados de pH para las 9 muestras de agua de la piscina de agua termal. Las muestras se tomaron los días sábado y domingo y un lunes festivo.

Ilustración 9 Análisis de pH piscina de agua termal



Fuente: Elaboración propia

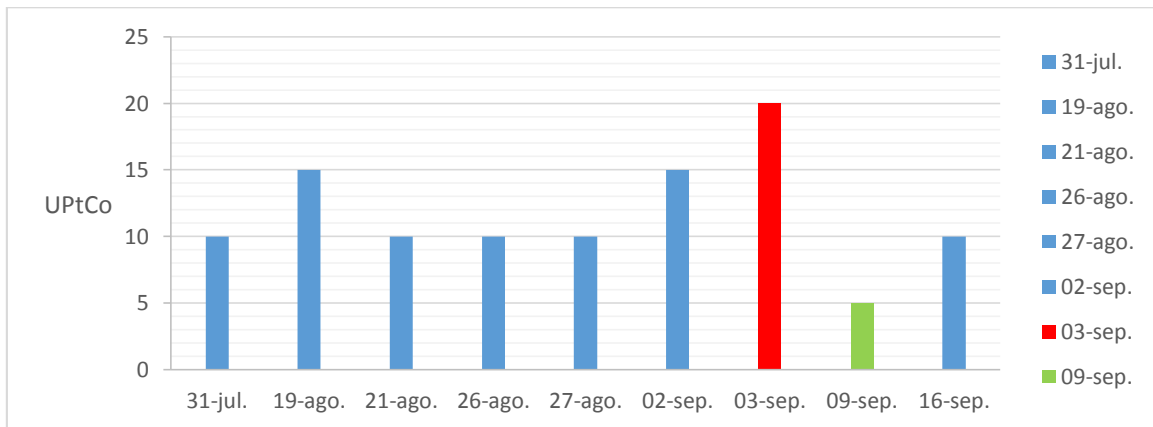
La media aritmética del pH tiene un valor de 7,83. El valor máximo obtenido fue de 8,09 para el día 2 de septiembre. El día 9 de septiembre se obtuvo el valor mínimo de pH de 7,63 para el cuál el color obtenido fue el menor resultado.

Según el marco normativo nacional *Decreto 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.8 Transitorio. Criterios de Calidad para fines recreativos mediante contacto secundario* el pH de las muestras se encuentran en el rango admisible entre 5,0 y 9,0 unidades.

4.2.2 Color

Las normas Argentinas exigen como valor admisible 5 UPtCo y en Perú “Sin cambio normal”; las demás normas estudiadas no evalúan ese parámetro. En los resultados obtenidos para las muestras de agua termal en el balneario Termales El Zipa, el máximo valor encontrado fue de 20 UPtCo para la muestra tomada el día 3 de septiembre y el valor mínimo de 5 UPtCo para el día 9 de septiembre (Ilustración 10).

Ilustración 10 Análisis de Color Piscina de Agua Termal

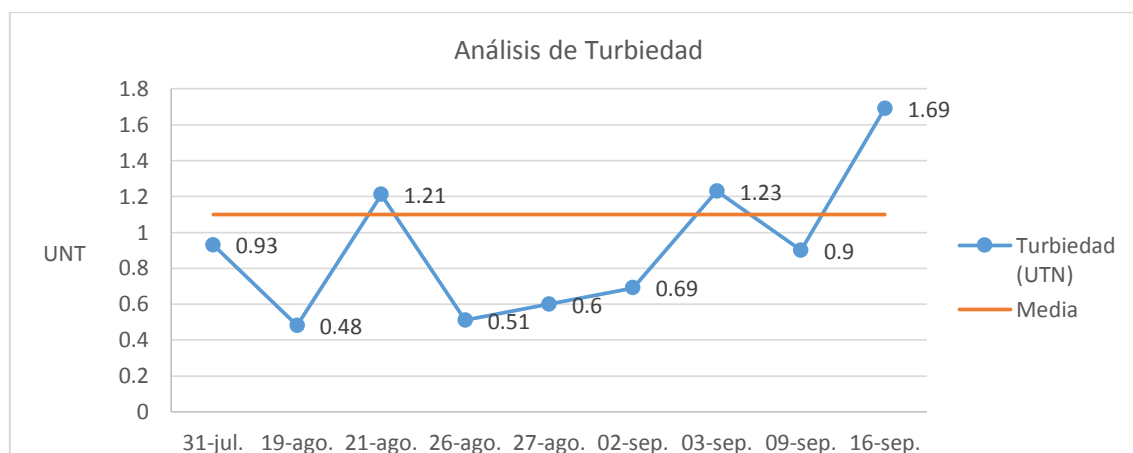


Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Turbiedad

Para aguas termales el Decreto 1076 de 2015 (Colombia) no reporta el valor de turbidez aceptable en agua termales.

Ilustración 11 Análisis de Turbiedad piscina de agua termal



Fuente: Elaboración propia

La turbiedad del agua de la piscina de agua termal, varía entre 1,69 UNT, correspondiente a la muestra del día 3 de septiembre, y 0,48 UNT de la muestra del día 19 de agosto (Ilustración 11).

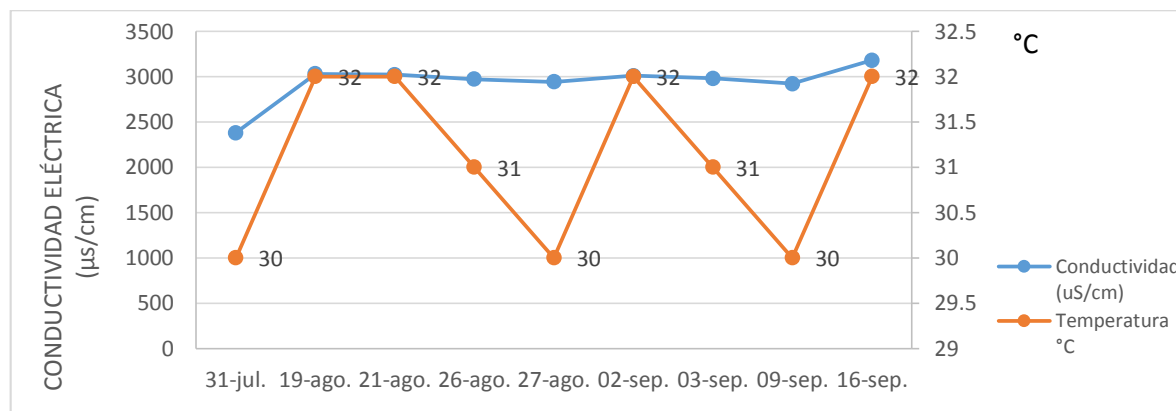
4.2.4 Temperatura

La temperatura de todas las muestras se encuentran en el rango de 32°C y 30°C, para una desviación estándar de 1 °C. Se considera que los resultados no tienen mayor variación con respecto al valor promedio que corresponde a 31.1°C. (Tabla 32)

4.2.5 Sólidos Disueltos Totales

Los valores de conductividad del agua de la piscina oscilan entre 2380 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 3180 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Ilustración 12 Análisis de Conductividad y temperatura



Fuente: Elaboración propia

Suponiendo la relación siguiente:

$$SDT(mg/L) = 0.6 * CE(\mu S/cm)$$

Se obtienen los resultados de SDT de la Tabla 30 con una concentración promedio de 1762 mg/L de SDT, mayor al valor de la fuente de agua termal. (Tabla 30)

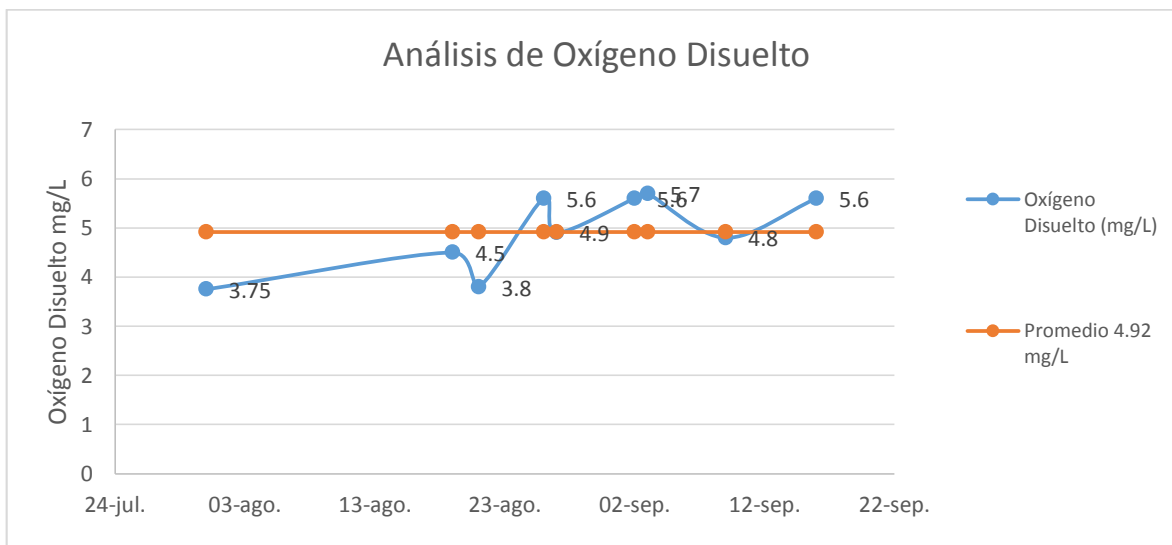
Tabla 30. Cálculo de Sólidos Disueltos Totales

PARÁMETRO	31-jul	19-ago	21-ago	26-ago	27-ago	02-sep	03-sep	09-sep	16-sep
Temperatura (°C)	30	32	32	31	30	32	31	30	32
Conductividad (mS/cm)	2.38	3.03	3.02	2.97	2.94	3.01	2.98	2.92	3.18
Conductividad (μS/cm)	2380	3030	3020	2970	2940	3010	2980	2920	3180
SDT (mg/L)	1428	1818	1812	1782	1764	1806	1788	1752	1908

4.2.6 Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto en el agua es de gran importancia para la supervivencia de los microorganismos. Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto de saturación en el agua. El agua puede estar sobresaturada de oxígeno bajo ciertas condiciones.

Ilustración 13 Análisis de OD



Fuente: Elaboración propia

El contenido de oxígeno disuelto en el agua tiene un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura. Las concentraciones de OD en la piscina de agua termal se encuentran entre 3,75 mg/L y 5,7 mg/L para una temperatura entre 30°C y 32°C. La fuente

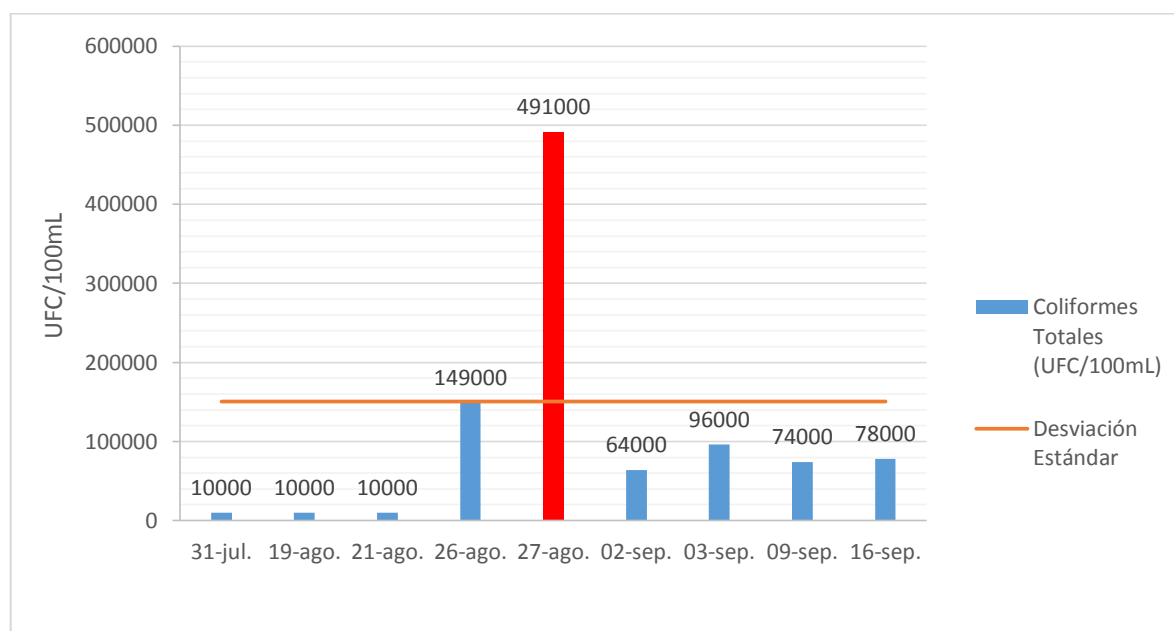
de agua termal exhibe una concentración de OD de 1,7 mg/L con temperatura promedio de 42°C.

4.3 Ensayos microbiológicos

4.3.1 Coliformes totales

El valor máximo obtenido corresponde a 491.000 UFC/100mL y el mínimo de 10.000 UFC/100mL. La media aritmética es de 10.911 UFC/100mL y la media geométrica es de 51.602 UFC/100mL. (Ilustración 14)

Ilustración 14 Resultados Coliformes Totales



Fuente: Elaboración propia

El 100% de las muestras tomadas en la fuente de agua termal no cumplen la norma de Coliformes totales menor a 1000 UFC/100mL (Decreto 1076 de 2015).

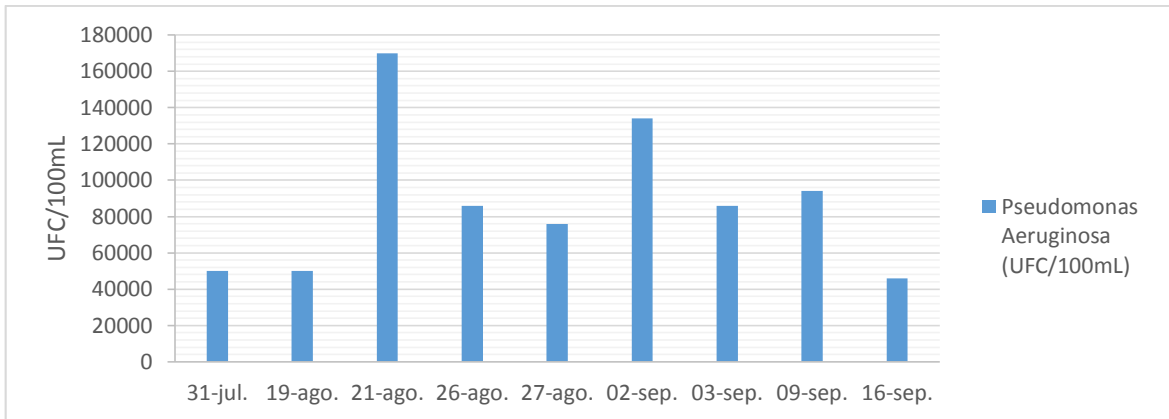
4.3.2 Coliformes fecales

El análisis de coliformes fecales arrojó como resultado para las diferentes muestras un valor de 0 UFC/100mL y satisface la condición de que no hay presencia de contaminación por materia fecal según normatividad Chilena y Decreto 1076 de 2015, norma Colombiana.

4.3.3 Pseudomona Aeruginosa

El análisis de Pseudomonas Aeruginosa revela una media aritmética de 88.000 UFC/100mL y una media geométrica de 80.274 UFC/100mL. (Ilustración 15)

Ilustración 15 Resultados Pseudomona Aeruginosa



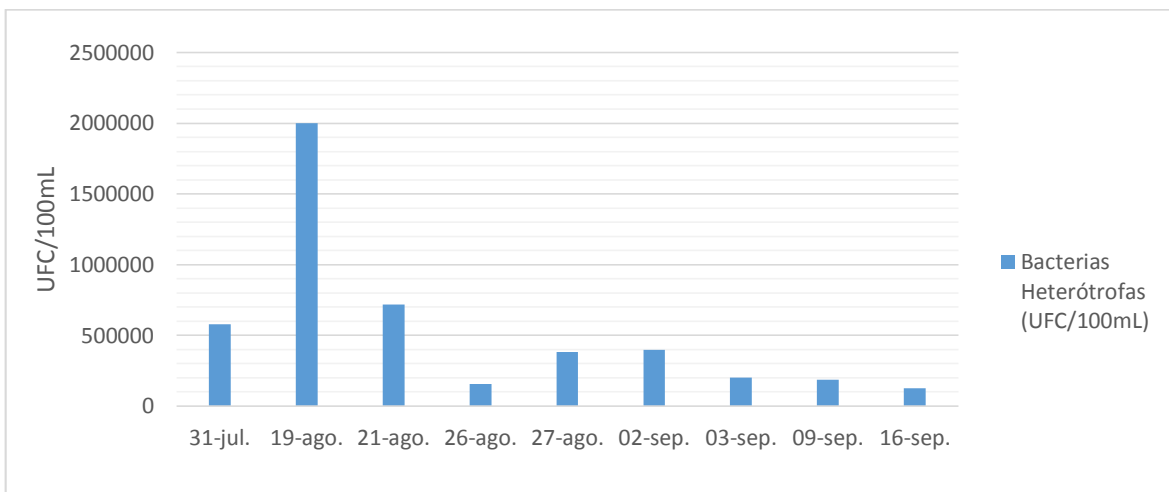
Fuente: Elaboración propia

La normatividad internacional determina que el resultado debe ser “Ausencia” en el reporte del ensayo microbiológico de Pseudomona Aeruginosa (España-Decreto 55 de 1997 y Argentina Ley 18284); la Organización Mundial de la salud toma como valor máximo menor a 1UFC/100 mL. Dado que el 100% de las muestras reportan resultados de valores mayores a los permitidos, el agua de la piscina no satisface la norma por Pseudomonas Aeruginosa.

4.3.4 Bacterias Heterótrofas

El ensayo de bacterias heterótrofas, indica una media geométrica de a 356.430 UFC/100mL y una media aritmética de 527.592 UFC/100mL (Ilustración 16).

Ilustración 16 Resultados Bacterias Heterótrofas



Fuente: Elaboración propia

El contenido de Bacterias Heterótrofas no está regulado por la normatividad colombiana.

En la Tabla 31 se hace la comparación entre los resultados para la fuente de agua termal y para la piscina de agua termal del Balneario Termales El Zipa.

Tabla 31. Comparación resultados ensayos microbiológicos Fuente de agua y Piscina

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO FUENTE DE AGUA TERMAL	RESULTADO PISCINA DE AGUA TERMAL	DECRETO 1076/2015 COLOMBIA
Coliformes totales	UFC/100 mL	20000	109111	1000 NMP/100mL
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	0	0	<200 NMP/100mL
Pseudomonas aeruginosa	UFC/100 mL	27000	88000	-
Bacterias heterótrofas	UFC/100 mL	200000	527593	-

Se observa que los valores obtenidos en la fuente de agua termal son menores a los reportados para la piscina; resultados influidos por las condiciones de operación, mantenimiento y uso que le dan los bañistas. El Balneario Termales El Zipa, tiene un protocolo de uso de duchas antes del ingreso a la piscina, a su vez cada bañista debe ingresar con gorro para cubrir el cabello.

Los resultados de calidad microbiológica del agua de la piscina de agua termal indican presencia de Pseudomonas Aeruginosa que puede producir otitis del nadador y exceso de Coliformes Totales y de bacterias heterótrofas pueden causar riesgos para la salud de los bañistas

4.4 Resumen de resultados Piscina Termales El Zipa

En la Tabla 32 se presenta el resumen de resultados obtenidos para el agua de la piscina de agua termal de las Termales El Zipa.

Tabla 32. Resultados muestras de agua Piscina Termales El Zipa

PARÁMETRO	UNIDADES	31-jul-17 10:00 am	19-ago-17 11:30 am	21-ago-17 10:35	26-ago-17 12:20 pm	27-ago-17 11:20 am	02-sep-17 11:00 am	03-sep-17 10:55 am	09-sep-17 10:40 am	16-sep-17 10:40 am	PROMEDIO ARITMÉTICO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CRITERIO
pH	Unidades	7.7	8.01	7.69	7.99	7.77	8.09	7.85	7.63	7.76	7.83	0.16	5 – 9 **
Temperatura	°C	30	32	32	31	30	32	31	30	32	31	1	-
Color	UPC	10	15	10	10	10	15	20	5	10	12	4	-
Turbiedad	UTN	0.93	0.48	1.21	0.51	0.6	0.69	1.23	0.9	1.69	0.92	0.40	-
Conductividad	mS/cm	2.38	3.03	3.02	2.97	2.94	3.01	2.98	2.92	3.18	2.94	0.22	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.75	4.5	3.8	5.6	4.9	5.6	5.7	4.8	5.6	4.9	0.78	5 **
Alcalinidad	mg/L – CaCO ₃	166	168	168	170	172.5	172	172	87.5	87.5	160.2	27	-
Coliformes totales	UFC/100 mL	10000	10000	10000	149000	491000	64000	96000	74000	78000	109111	150543	1000 **
Escherichia Coli	UFC/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200 ** 1 *
Pseudomonas aeruginosa	UFC/100 mL	50000	50000	170000	86000	76000	134000	86000	94000	46000	88000	41352	1 *
Bacterias heterótrofas	UFC/100 mL	580000	2000000	720000	156667	383333	396667	200000	186667	125000	527592	588315	100 +

* OMS (Organización Mundial de la Salud)

+ DIN 19643

** Decreto 1076 de 2015

CAPÍTULO V CONTROL SANITARIO

Las Termas El Zipa cuentan con un protocolo de uso de las instalaciones que incluye los procedimientos para tener acceso a la piscina termal, dentro de los cuales están:

- No usar joyas
- No utilizar cremas faciales o corporales
- Ducharse antes de ingresar
- Utilizar gorro de baño
- Utilizar vestido de baño adecuado (Nylon, Poliéster, Lycra)
- Evitar tomar agua de la piscina

Además, la administración de las termas debe tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Deberá mantenerse permanentemente el agua limpia y sana, cumpliendo los requisitos higiénico-sanitarios establecidos por la respectiva autoridad sanitaria municipal o encargada.
- Debe contar con botiquín de primeros auxilios.
- Es obligatorio implementar dispositivos de seguridad homologados, como son: barreras de protección y control de acceso a la piscina, detectores de inmersión o alarmas de agua que activen inmediatamente un sistema de alarma provisto de sirena.
- La piscina debe garantizar un sistema de circulación de agua óptimo
- Según Decreto 0554 de 2015: Las piscinas y estructuras similares deben cumplir con las Buenas Prácticas Sanitarias que para el efecto expide el Ministerio de la Protección Social a través del Formulario Único de Inspección Sanitaria a las piscinas y estructuras similares que debe ser utilizado por las autoridades sanitarias departamentales, distritales y municipales
- Los operarios, salvavidas y demás personal debe estar capacitado para cada una de las actividades correspondientes.
- Se debe realizar mantenimiento y renovación del agua termal.
- Definir capacidad máxima de bañistas en cada piscina.
- Realizar muestreos de características físicas, químicas y microbiológicas con la frecuencia determinada por la autoridad sanitaria cumpliendo con los valores aceptables.
- Realizar toma de muestras en baños, duchas, zonas húmedas para detección de presencia o ausencia de hongos, levaduras y dermatofitos.
- Mantener en buenas condiciones sanitarias todas las estructuras que conforman el balneario, como restaurante, baterías de baños, lockers entre otros.
- Realizar campañas de educación sanitaria y reconocimiento del reglamento de la piscina a los bañistas.

De acuerdo con la Resolución 1618 de 2010 se debe realizar un control de calidad del agua de las piscinas como se indica en las Tablas 33 y 34.

Tabla 33. Frecuencia de control de la calidad física del agua de estanques que deben realizar los responsables de piscinas y estructuras similares de uso colectivo.

CARACTERISTICA	FRECUENCIA MÍNIMA	
	RUTINARIA IN SITU	OCASIONALES
Color (Visual)	Una vez al día	
Materias Flotantes (Visual)		
Olor (Olfativo)		
Transparencia (Visual)		
Turbidez		
pH	Una vez a la semana	
Temperatura		
Conductividad		1 muestra al mes

Fuente: Resolución 1618 de 2010

Tabla 34. Frecuencia de control de la calidad microbiológica del agua de estanques que deben realizar los responsables de piscinas y estructuras similares de uso colectivo.

CARACTERISTICA	FRECUENCIA MÍNIMA OCASIONAL
Heterótrofos	1 muestra al mes
Coliformes Termotolerantes	
Escherichia coli	
Pseudomona aeruginosa	
Cryptosporidium parvum	1 muestra al año
Giardia	

Fuente: Resolución 1618 de 2010

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos deben cumplir con los límites máximos admisibles del Decreto 1076 de 2015. Ver tablas 35, 36 y 37.

Tabla 35. Características físicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares

CARACTERÍSTICA	EXPRESADA COMO	VALOR ACEPTABLE
Color	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Materias Flotantes	Presentes o ausentes	Ausentes
Olor (Olfativo)	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Transparencia (Visual)	Fondo visible o no visible	Fondo visible
pH	Unidades de pH	7,0 – 8,0
Conductividad	µS/cm (microsiemens por centímetro)	Hasta 2400
Potencial de Oxidación-Reducción	mV (milivoltios)	Mínimo 700
Turbidez	Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT)	2

Fuente: Resolución 1618 de 2010 del Ministerio de la Protección Social, Artículo 5

Tabla 36. Características químicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares

CARACTERÍSTICA	EXPRESADA COMO	VALOR ACEPTABLE (mg/L)
Ácido cianúrico	$C_3H_3N_3O_3$	Menor que 100
Alcalinidad Total	$CaCO_3$	Hasta 140
Aluminio	Al	Menor que 0,2
Bromo libre	Br_2	Entre 1 – 2
Bromo total	Br_2	Entre 2 – 2,5
Amonio (Ión)	NH_4	Menor que 1,5
Cloro residual libre	Cl_2	Entre 1 – 3
Cloro Combinado	Cl_2	Menor que 0,3
Cobre	Cu	Menor que 1
Dureza Total	$CaCO_3$	Hasta 400
Hierro Total	Fe	Menor que 0,3
Plata	Ag	Menor que 0,1

Fuente: Resolución 1618 de 2010 del Ministerio de la Protección Social, Artículo 6

Tabla 37. Características microbiológicas del agua de estanques de piscinas y estructuras similares

CARACTERÍSTICA	EXPRESADA COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Heterótrofos	UFC/1 cm ³	Menor que 200
Coliformes Termotolerantes	Microorganismos o UFC/100 cm ³	0
Escherichia coli	Microorganismos o UFC/100 cm ³	
Pseudomona aeruginosa	Microorganismos o UFC/100 cm ³	
Cryptosporidium parvum	Ooquistes/1.000 cm ³	
Giardia	Quistes/1.000 cm ³	

Fuente: Resolución 1618 de 2010 del Ministerio de la Protección Social, Artículo 9

CONCLUSIONES

- La fuente de agua termal del Balneario “Termales El Zipa” exhibe una temperatura promedio de 42°C que la clasifica como agua mesotermal.
- Los valores de pH, con un valor medio de 7.38 unidades, clasifica la fuente como agua termal bicarbonatada.
- El agua de la piscina exhibe ausencia de Coliformes Fecales cumpliendo con el valor máximo permisible de 200 NMP/100mL.
- El agua de la piscina arrojó para Coliformes Totales un valor promedio de 109.111 UFC/100mL, el cual no cumple con el límite máximo permitido según Decreto 1076 de 2015 de 1.000 UFC/100mL.
- Los resultados encontrados para *Pseudomona aeruginosa* (46.000 – 170.000 UFC/100mL) en el agua de la piscina no cumplen con el límite máximo según la OMS.
- El contenido de Bacterias Heterótrofas del agua de la piscina arrojó como resultado promedio la presencia de 527.592 UFC/100 mL y no cumple con la norma alemana de 100 UFC/100mL.
- De acuerdo con los análisis microbiológicos del agua en la fuente y en la piscina, no se satisface la norma de calidad para Coliformes Totales, *Pseudomonas Aeruginosa* y Bacterias Heterótrofas que indica como recomendación final la de hacer desinfección del agua.

REFERENCIAS

- Avendaño, A. (2016). *Calidad microbiologica de agua termal*. . Bogotá-Colombia: Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.. Escuela Colombiano de Ingeniera Julio Garavito.
- American Public Health Association, American Water Works Association and the Water Environment Federation, Standard Methods. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Clearway Logistics Phase 1a; Edición: 22.
- Cáceres L. (1990). Desinfección del Agua. Ministerio de Salud-OPS. Bogotá. 45p
- Carpenter. (1969). Microbiología 1ª edición Editorial: Interamericana S.A. México. 625p
- Carranza, V. (2016). *Analisis microbiologica de coliformes totales y fecales en muestras de agua de mar extraidas de los balnearios Salvarrey y Huanchaco*. Lima-Peru: Universidad Nacional de Trujillo.
- Collins C, Lyne P. (1989). Método Microbiológico Editorial: ACRIBIA; S.A. Zaragoza. 487p
- Condori Mendoza, C., & Guillen Merino, E. (2018). Contaminación de las aguas termales de la piscina con coliformes fecales y totales en el Barrio San Cristobal, Huancavelica-2016.
- Davies, A.M.C. (1985). Laboratory Practice, 34, 32
- Doménech-Sánchez, A., F. Olea y C.I. Berrocal, Infecciones Relacionadas con las Aguas de Recreo, Enferm. Infecc. Microbiol. Clin.: 26(13), 32-37 (2008).
- Environmental Protection Agency United States. (1985). *Ambient Water Quality Criteria for Copper*. Washington: EPA.
- García G. (1982). Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas Internacionales, Conferencia ante la Sociedad Colombiana de Ecología, 230p
- Geotérmica Italiana Pisa. (1982). *Estudio de Reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Colombia* . Italia.
- Jones G. (1998). Calidad Microbiológica del Agua: características del problema. Ingeniería y Ambiental Número 37 pg: 48-53.Extractado de AQUA vol. 46. 1997.
- Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives. 249pp

- Lenntech V. (2009). FAQ De la Contaminación Del Agua. Rotterdamseweg, Holanda. <http://www.lenntech.com/español/FAO/descripción.ht> (15- 09 - 09).
- Ministerio de agricultura. (26 de junio de 1984). Decreto 1594 junio 26 de 1984. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Perú. (2015 de diciembre de 2015). Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf>
- Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015*. Bogotá.
- Ministerio de justicia y derechos humanos Argentina. (25 de septiembre de 2018). *Código Alimentario Argentino*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>
- Ministerio de Salud Chile. (8 de noviembre de 2003). *Biblioteca del congreso nacional de Chile*. Obtenido de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=217014&r=1>
- Oddó B, David. (2006). Infecciones por amebas de vida libre.: Comentarios históricos, taxonomía y nomenclatura, protozoología y cuadros anátomo-clínicos. *Revista chilena de infectología*, 23(3), 200-214. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182006000300002>
- Organización Mundial para la Salud. (1995). *Guías Para la Calidad del Agua Potable*. OMS. Ginebra. 125p
- Organización Mundial de la Salud. *Guidelines for safe recreational water environments - Volume 2. Swimming pools and similar environments*. Ed 2006 WHO.
- Región de Murcia Consejería de Salud. (11 de julio de 1997). *Portal sanitario de la región de Murcia*. Obtenido de <https://www.murciasalud.es/legislacion.php?id=15238&idsec=1935>
- Rojas, E. (2014). *Determinacion del origen y la composicion de las aguas termales ubicadas en los municipios de Beccerril (Cesar) y Cienaga (Magdalena)*. Valledupar Colombia: Fundación Universitaria del Area Andina.
- Rubiano, C. (2006). *Aislamiento y caracterizacion de microorganismo en manantiales termales de Paipa e Iza Boyaca*. Bogota-Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Microbiología.
- 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/>

Universidad Nacional de Colombia (2009). Red de Extensión de la Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín. Colombia. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ags/AGSE/impacts.htm> (13 – 08 – 09)

Vinueza Armas, R. S. (2015). *Análisis Microbiológico de las fuentes termales del balneario El Tingo ubicado en Sangolqui en la provincia de Pichincha*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Vargas C. (1996). Control de Calidad del Agua en la Red de Distribución. CEPIS. 6p