

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA LA INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES DE LAS AGUAS TERMOMINERALES POST USO DEL MUNICIPIO DE PAIPA BOYACÁ

MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR THE INACTIVATION OF TOTAL COLIFORMS FROM THE POST-USE THERMOMINERAL WATER OF PAIPA MUNICIPALITY-BOYACÁ

Leidy Heraldine Ballesteros Cabra
Ingeniera Ambiental
Bogotá, Colombia.
U27101028@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
NOVIEMBRE 2020

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA LA INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES DE LAS AGUAS TERMOMINERALES POST USO DEL MUNICIPIO DE PAIPA BOYACÁ

MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR THE INACTIVATION OF TOTAL COLIFORMS FROM THE POST-USE THERMOMINERAL WATER OF PAIPA MUNICIPALITY-BOYACÁ.

Leidy Heraldine Ballesteros Cabra
Ingeniera Ambiental
Bogotá, Colombia.
U2701028@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El estudio explora posibles alternativas de manejo de las aguas termominerales enfocados en la inactivación de coliformes totales presentes en este tipo de aguas que provienen de la industria hotelera del municipio de Paipa, que son vertidas luego de su uso a un sistema denominado dársena, cuya finalidad es almacenar y regular el volumen vertido al río Chicamocha.

Estas aguas están expuestas a factores externos como lluvia, cambios de temperatura y contacto con animales, provocando así una posible alteración a sus propiedades fisicoquímicas presentando un potencial de afectación a la salud humana y al río Chicamocha. Desde el punto de vista ambiental, son una problemática que afectan directamente a los usuarios del distrito de riego del río Chicamocha, que realizan captaciones para sus actividades agrícolas. Se observa la presencia de coliformes totales y se determina que está por encima de los límites máximos permisibles reportados en la norma, indicando que esta agua no cumple con los requisitos de calidad, además de causar impactos en el recurso hídrico y en los cultivos donde usan el agua para riego. Cabe considerar que es importante realizar un tratamiento a este tipo de aguas, sin embargo en este artículo se hace una revisión bibliográfica, para determinar las posibles alternativas de manejo para la eliminación y/o control de coliformes totales presentes en las aguas y así evitar los impactos ambientales negativos que causan sobre el recurso hídrico, mediante la descripción de tratamientos basados en la radiación solar que permiten la inactivación de coliformes totales.

Palabras clave: agua termomineral; dársena; coliformes totales; impacto ambiental; inactivación.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

ABSTRACT

This study looks into possible alternatives to handle the thermo-mineral water focused on the inactivation of total coliforms found into this kind of water, which come from the hotel industry of Paipa. These are poured down after being used into a system called “dock”. Its main use is to accumulate and regulate the volume thrown out to the Chicamocha River.

This water is exposed to external factors such as rain, weather changes and animal contact, provoking a possible alteration of its physic-chemical features presenting a potential risk of affectation to the human health and to the Chicamocha River. Seen from the environmental side, these factors are a huge problem affecting the users of the irrigation district from the Chicamocha river, people who make uptakes of it for their agricultural activities. Total coliforms are seen and, it is determined that they are over the normal levels permitted and reported into the law, indicating that this water is not fulfilling the quality requirements, but it is also causing a great impact into the hydric resource and the crops where the irrigation water is being used.

On the other hand, making a careful treatment to this type of water is important; so, in this article, a bibliographic review is done in order to determine the possible protection alternatives to eliminate and/or control the total coliforms found into this water; and hence, avoiding the negative environmental impacts caused on the hydric resource. All of this, throughout the description of treatments based on the solar radiation which permits the inactivation of those total coliforms.

Keywords: thermomineral water; darsena; total coliforms; environmental impact; inactivation.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

INTRODUCCIÓN

Paipa es un municipio cuya actividad principal es el turismo, adicionalmente, cuenta con la influencia de actividad volcánica pasiva ubicado en la zona que corresponde a la cuenca de la Quebrada Honda-Río Salitre, y en donde se localiza algunos afloramientos de aguas termales las cuales constituyen uno de sus principales atractivos y pilares de ésta economía.

Diversos hoteles, balnearios y piscinas se benefician del recurso subterráneo de la zona, extrayéndolo para fines recreativos. Posteriormente de ser usadas para fines recreativos, las aguas termo-minerales son recolectadas en sistemas de almacenamiento denominados dársenas, que luego son desechadas al río Chicamocha sin realizar ningún tratamiento. Esta fuente hídrica provee de diversos usos al sector, entre ellos el riego que es gestionado por Usochicamocha, entidad que provee del recurso al sector agrícola.

El agua termo-mineral residual procedente de los diferentes hoteles y balnearios de Paipa, que han estado en contacto con las personas, adquieren una carga contaminante de coliformes fecales y totales, entre otras, que agregan al agua un nivel de riesgo sanitario incidiendo negativamente en la calidad de las descargas que recibe el río Chicamocha, pudiendo afectar a la población que aprovecha este recurso para riego, potabilización y consumo.

Se evidencia una potencial optimización de gestión por parte de la entidad encargada del manejo de los sistemas dársena (Usochicamocha), sin embargo la calidad del agua no es la adecuada causando problemas ambientales, económicos y sociales a la región. Las características geológicas de la zona favorecieron la existencia de manantiales termo-minerales actualmente usadas como atractivo turístico debido a sus diversas propiedades medicinales, no obstante el desconocimiento sobre el impacto ambiental ha hecho evidente problemáticas surgidas a lo largo del tiempo motivando así diversas investigaciones con el objetivo de entender y mitigar la

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

influencia antropogénica en la zona uno de ellos es la “Evaluación De Alternativas Para El Tratamiento De Aguas Termo-minerales Del Municipio De Paipa” (Mahecha, 2010) , siendo este una de las primeras respuestas a la problemática de las aguas termo-minerales.

En 2013 en España se realiza un estudio enfocado en el analisis y modelización de la inactivación de E.coli en aguas residuales (Benitez, 2013) considerando los parámetros que inhiben el crecimiento bacteriano. Adicionalmente, el proyecto “Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha – Tunjuelo – Canoas” tiene el objetivo de realizar mediciones de campo de calidad del agua que permitieran implementar, calibrar y verificar modelos de calidad del agua del Rio que pudieran servir como herramientas de planeación (Díaz, 2004), proporcionando bases para la búsqueda de alternativas de manejo que se le pueden dar a las aguas termo minerales de la Dársena. El estudio que se presenta a continuación tiene como variable principal las bacterias en especial los coliformes, las cuales al igual que muchos organismos son susceptibles a cambios en su entorno, asi mismo se pretende dar posibles alternativas de manejo, mediante la descripción de tratamientos que ayudan a la eliminacion, reducción, mejor llamado inactivación de coiformes totales presentes en el agua de la Dársena.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se realizó en este estudio, es mediante la revisión de referencias bibliográficas, bases de datos relacionadas con la gestión del recurso hídrico, especialmente con alternativas de manejo y tratamiento de aguas residuales, con características iguales o similares a las que se encuentran en a zona de estudio.

Análisis

Se evaluó los posibles impactos y/o afectaciones que pueden ocasionar estos organismos (coliformes) en el recurso hídrico y en cultivos y se determinó las posibles alternativas de manejo teniendo un enfoque en la eliminación o reducción de coliformes presentes en este tipo de agua que se encuentran en el municipio de Paipa Boyacá.

Las aguas termominerales, por su composición química, corresponde a un tipo de agua natural, es decir que no se encuentran en su estado químico por acción del hombre, sino por la formación misma de la corteza terrestre (CORPOBOYACA, 2015a). Sin embargo la contaminación que pueda tener por su uso, ejemplo de ello, es cuando se utiliza ese tipo de agua en piscinas, puede tener un grado de contaminación bacteriológica. En el Decreto 3930 de 2010, menciona las prohibiciones de los vertimientos y define, donde no se admiten, también precisa el uso de agua para fines recreativos, natación, buceo y baños medicinales, estos últimos siendo la principal actividad de las aguas en Paipa.

Otros uso que define de la aguas termominerales en el municipio de Paipa es el uso agrícola, que de acuerdo a lo definido en el decreto, “como la utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias” (Dec 3930,2010). La población aprovechan los cuerpos de agua, en este caso, ríos y quebradas en las que se hacen descargas de

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

las aguas termominerales, sobre el mismo lecho de los ríos, se puede entender este uso como medidad indirecta, debido a que serealiza capatacion de agua (CORPOBOYACA, 2015a).

El sistema dársena 1, recibe aportes de aguas termo-minerales post uso de 6 hoteles los cuales son: Panorama, Estelar, Lanceros, Colonial, Hacienda el Salitre y Sochagota (ver imagen 1). El complejo turístico (ITP), forma parte de las entidades relacionadas por Usochicamocha como beneficiario del servicio de regulación, posteriormente esas aguas son transportadas a la Dársena 2.

Imagen 1 Fuentes aportantes a la Dársena 1



Fuente :Google Earth y modificado. 2017.

Una vez empleadas las aguas termo-minerales por la actividad turística, se disponen en la dársena a través de canales y tuberías o al río Chicamocha. El volumen almacenado en la dársena 1 es bombeado hacia una segunda estructura de regulación denominada dársena 2, la cual luego de llegar a su máxima capacidad de almacenamiento realiza su descarga al canal Vargas o al río Chicamocha.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Cabe resaltar que diferentes investigaciones usan como indicador bacteriano el grupo de coliformes, con el objetivo de evaluar las descargas a los ambientes marinos, a los diferentes cuerpos de agua y la distribución de bacterias patógenas (Ramaiah, 2002). Así mismo también se presentan coliformes fecales *E. Coli* el cual indica contaminación por material fecal en agua debido a la presencia de algunos animales en el área de estudio, sin embargo este se encuentra en menores proporciones, comparado con la presencia de coliformes totales. La identificación de este tipo de organismo es más difícil ya que estos pueden estar presentes en el suelo (IDEAM) y como se puede observar en la imagen 2 la Dársena presentan sedimentos en su totalidad, lo que deriva de la presencia de coliformes totales.

Imagen 2, Dársena 1



Fuente: Autora. 2017.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLIFORMES TOTALES

Recurso hídrico

Estudios sobre la calidad microbiológica del agua de diferentes fuentes hídricas han utilizado una serie de microorganismos patógenos e indicadores de contaminación fecal, entre estos se encuentran los coliformes totales, coliformes fecales, para el control de aguas de embalses (Shubiao, 2016), la presencia de estas bacterias coliformes totales indica que el agua ha sido contaminado con materia orgánica de origen fecal, tanto animal como humana (Gualdron, 2016), que se ve reflejado en la calidad del agua, indicando una mala condición. Así mismo el control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos (Asano, 1998).

La contribución de estos organismo al río Chicamocha es un factor de riesgo significativo causando problemas de salud publica y ambiental de los pobladores que captan aguas abajo para su actividad agrícola. Es importante aclarar que los principales contaminantes de los ríos son los coliformes, que pueden transmitir diferentes enfermedades como cólera, tifus, gastroenteritis y hepatitis (Ancco, s.f), provocando riesgos de contaminación en el ambiente, es por eso que es necesario realizar controles de la presencia de estos microorganismos en el agua, el programa iberoamericano de ciencia tecnología para el desarrollo (CYTED) indica que estos microorganismo proporcionan herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas(CYTED, s.f).

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Actividad agrícola

Muchos de los agricultores de la región utilizan agua proveniente del río Chicamocha al cual llegan las descargas de los hoteles, sin ningún tipo de tratamiento, convirtiéndolas en aguas residuales, que son captadas para la producción de sus cultivos. Uno de los principales problemas del uso de aguas residuales es la presencia de coliformes (Hernandez, et al. 2014). En un estudio realizado en México se determinó que las aguas residuales con presencia de coliformes, tiene la capacidad de dispersar inóculos capaces de transmitir enfermedades que llegan a los cultivos agrícolas (Castro, et al. 2008). Según Muñoz estudios que analizan metales en agua y alimentos, están relacionados con el uso de agua de baja calidad, especialmente en ríos contaminados o sistemas de reúso de aguas residuales para riego de cultivos (Muñoz, 2014).

Es importante mantener un control y monitoreo de las aguas, especialmente de los coliformes, ya que estos microorganismos (coliformes totales) son indicadores de la calidad del agua, además de ser considerados como indicadores de calidad higiénica de los alimentos.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aguas termominerales

Las aguas minerales constituyen un recurso natural que yace en estratos acuíferos subterráneos. Se diferencian claramente de las aguas de consumo ordinario por su grado de mineralización; la presencia de determinados componentes y por poseer estables la composición química, la temperatura, el caudal y la microflora saprofítica (Fagundo, s.f).

Cuadro 1 Descripción aguas termominerales.

PARAMETRO	CLASIFICACION
TEMPERATURA	FRIAS: menor a 20°C
	HIPOTERMALES: de 21°C a 45°C
	HIPERTERMALES: de 46°C a 100°C
	SUPERTERMALES: de 101°C a 150°C
ORIGEN GEOLOGICO	MAGMATICAS: aguas con origen eruptivo, con caudal constante en composición y temperatura.
	TELURICAS: su caudal varía dependiendo de la época del año, pues proviene de la infiltración de lluvias.
pH	ACIDAS: pH menor de 7
	NEUTRAS: pH igual a 7
	ALCALINAS: pH mayor de 7
COMPOSICION MINERAL	AGUAS BICARBONATADAS: aguas de baja mineralización, alcalinas y frías, predomina el anión bicarbonato.
	AGUAS CLORURADAS: en su composición predomina el anión cloruro y los cationes sodio, calcio y magnesio. Son frías de baja mineralización.
	AGUAS FERRUGINOSAS: en su composición se encuentra hierro bivalente, acompañadas por bicarbonatos o sulfatos.
	AGUAS SULFUROSAS: Agua hipertermal con pH de 6.5 y mineralización media; se encuentra en suelos fangosos.
	AGUAS SULFATADAS: predominan los iones sulfato con diferentes cationes; su temperatura y mineralización es variable.
	AGUAS RADIOACTIVAS: en su contenido se encuentra Radón (gas) radioactivo de origen natural.
	AGUAS SULFURADAS: contiene azufre bivalente, en las formas de ácido sulfhídrico y ácidos poli-sulfhídricos; tiene olor a huevos podridos.
	AGUAS OLIGOMETALICAS: son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L.
	AGUAS CARBOGASEOSAS: contienen concentraciones mayores a 250 mg/L de gas carbónico libre

Fuente: "TERMASWORLD" Sociedad española de Hidrología Médica: características de las aguas. s.f.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Localización

El municipio de Paipa está localizado en la parte centro oriental del país y noroccidental del departamento de Boyacá, a 2525 msnm; dista aproximadamente 184 km de la capital del país y 40 km de la capital del departamento (Barco-Mendez,2010).

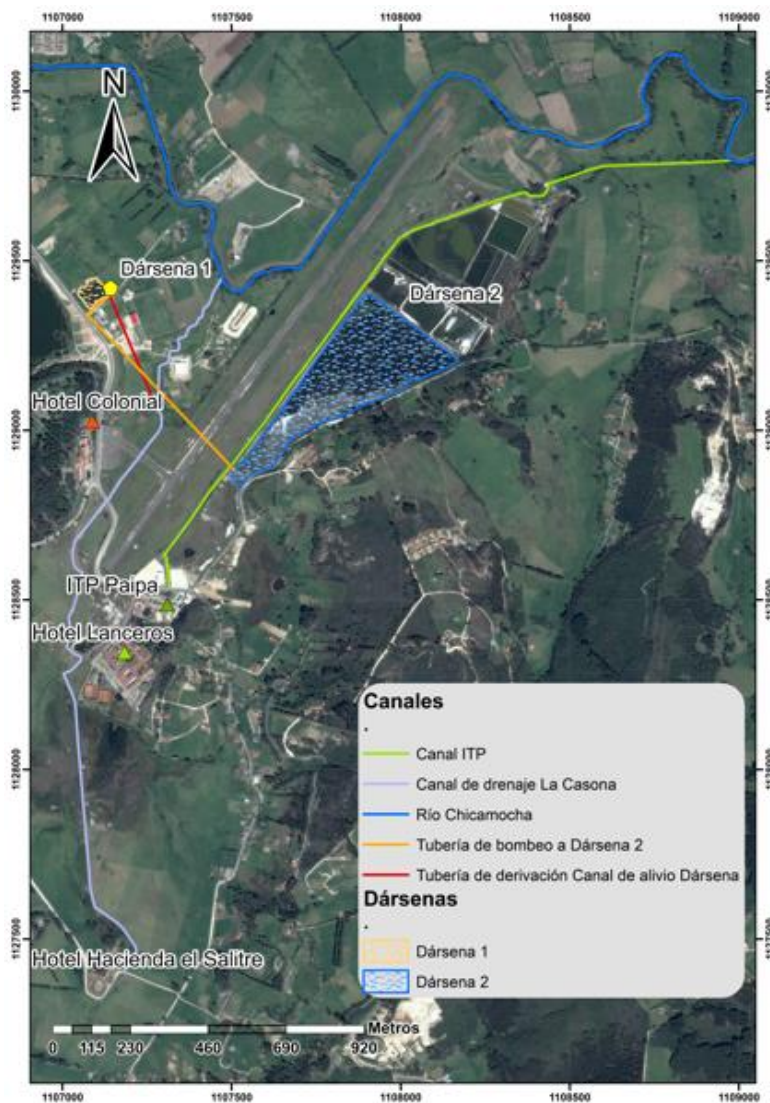
Su cabecera municipal se encuentra a los 5° 47' de latitud norte y 73° 06' de longitud oeste. Presenta una temperatura anual promedio de 14,5°C, con una precipitación media anual de 944 mm. Abarca una extensión de 30592,41 hectáreas aproximadamente. El área ocupada por el municipio, forma parte de la cuenca alta del río Chicamocha. Morfológicamente su territorio de norte a sur, presenta tres regiones a saber: media falda con colinas y páramos al norte; un plano inclinado con aguas freáticas superficiales y un área pantanosa (Barco-Mendez,2010).

La red hidrográfica está conformada por el río Chicamocha, las Quebradas el Rosal y el Lago Sochagota, el cual se alimenta por la Quebrada El Salitre o Quebrada Honda (Alfaro, 2010). A la dársena deben llegar todas las descargas de las piscinas provenientes de los hoteles Panorama, Estelar centro de convenciones, Colsubsidio y Sochagota. Este tanque de almacenamiento sirve como sistema amortiguador el cual tiene como función u objetivo no impactar directamente el cuerpo hídrico. El agua de la dársena 1 es evacuada a través de un sistema de bombeo que la lleva directamente a la dársena 2, que finalmente son descargadas en el río Chicamocha(CORPOBOYACÁ, 2015).

A lo largo de los años el municipio de Paipa se ha beneficiado de los recursos hídricos que caracterizan este lugar, como lo son sus fuentes termales usadas comúnmente para la recreación y actividades curativas, o bien sea, el reservorio artificial creado por el Ser Humano, como lo es el Lago Sochagota, el cual promueve el turismo en la región y los deportes náuticos.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Imagen 3 Fuentes aportantes a la Dársena 1.



Fuente: Contrato de consultoría CCC2014010 con Corpoboyacá en el año 2015

Debido a la composición físicoquímica de las aguas termales en Paipa su potencial de afectación a recursos como aire, suelo y agua donde son vertidas, se considera alto, ya que puede aumentar la conductividad, generar cambios de temperatura disminuyendo el oxígeno disuelto, originando olores, aportando sales y otros elementos tales como SO_4 , Cl , Fe , (Kadlec, 2009), adicionalmente considerando que las aguas termo minerales objeto de estudio han entrado en contacto con las personas, sus propiedades físicoquímicas varían, ejemplo de ello es la posible

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

presencia de coliformes totales y fecales, presentando un potencial de afectación a la salud humana, en la dársena, el río Chicamocha, el canal Vargas y el distrito de riego entre otras actividades que se desarrollan en la cuenca alta de esta corriente receptora.

Acorde al estudio “Identificación de las características hidrológicas y sanitarias del lago Sochagota y de fuentes de aguas termo mineral en el municipio de Paipa, Boyacá” realizado por Barco y Méndez, conforme con las propiedades químicas, la temperatura y la acción fisiológica, las aguas termo-minerales del municipio se clasifican como termales-medicinales y pertenecen al grupo de las alcalinas, sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas (Barco-Méndez, 2010) con elevada conductividad debido a las altas concentraciones de minerales disueltos.

FACTORES QUE AFECTAN EL DECAIMIENTO BACTERIANO (COLIFORMES)

Según Suematsu existes diferente factores que pueden afectar el decaimiento bacteriano, el difine los mas importantes:

Radiación Solar

La intensidad de la luz durante el día varía debido a los diferentes ángulos del sol en relación con la superficie de la tierra, que depende de la latitud, así como la temporada. Es posible calcular la intensidad de luz (radiación solar, radiación) en cualquier momento durante el día, como una función de la latitud en la tierra, la intensidad media durante el día, el momento del día y día del año. La variación de la intensidad de la luz durante el día es relevante para la simulación tanto de los productores primarios y contaminantes bacterianos. Para el microfitobentos, dependiendo del suministro de luz durante el ciclo de marea, la intensidad de la luz producción primaria. Para las bacterias Coliformes las tasas de descomposición son tan altas

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

y la influencia de la intensidad de luz, que la variación de la radiación solar durante el día puede tener un impacto significativo en los patrones de concentración (Suematsu,2009).

Temperatura del agua

En relación con los factores que inciden en el decaimiento bacteriano, la temperatura del agua es quizás el más conocido. La elevación de la temperatura aumenta el decaimiento bacteriano presuntamente por incremento de la actividad metabólica, lo que origina mayor susceptibilidad a las sustancias tóxicas. El aumento de la temperatura también hace que los predadores se multipliquen más rápido haciendo que el número de bacterias disminuye más velozmente. Otro papel importante de la temperatura es que mientras mayor sea, hay más crecimiento de algas. Un aumento en la concentración de algas mejora la eficiencia del tratamiento en relación con la remoción de bacterias (Suematsu,2009).

pH

Diferentes investigaciones sugieren que un valor de 9 o más de pH podría desempeñar un papel crítico en el aceleramiento del decaimiento bacteriano. Un valor de 9 o más de pH es letal para los coliformes fecales y totales, pero también por debajo de este nivel pueden ocurrir reducciones considerables de coliformes fecales, totales y se puede encontrar una relación entre el incremento de la velocidad del decaimiento bacteriano y elevados niveles de pH (Suematsu,2009).

DBO y nutrientes

Las bacterias requieren formas orgánicas de carbón y nitrógeno, lo cual implica que una escasez de substrato orgánico podría reducir el número de coliformes. Saqqar y Pescod (1991) postularon que la carga orgánica por sí sola no influye en la remoción de coliformes, sino a través de cambios ambientales asociados a ella (Saqqar-Pescod, 1991). Por lo tanto, el

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

parámetro estará representado por cambios en los otros parámetros. Esto permite postular que las últimas lagunas de oxidación en una serie tenderán a reducir más coliformes durante el mismo período de retención que las lagunas anaerobias o facultativas que estén al principio de la serie, por lo tanto, las últimas lagunas en una serie tendrán menos DBO, DQO y concentración de sólidos suspendidos totales (esto es diferente cuando se combina con el crecimiento de algas, teniendo en cuenta que la influencia de las algas no afecta directamente el crecimiento bacteriano si no que está asociada a factores como el pH, oxígeno disuelto y la penetración de la luz) (Suematsu, 2009).

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS SISTEMA DÁRSENA

En la imagen 3 se pueden observar los diferentes puntos de descarga de las aguas termominerales una vez ya finalizado su uso, en este sentido se resaltan 5 principales puntos, enfocado en el comportamiento de los coliformes totales, se debe tener en cuenta los parámetros físicoquímicos que se muestran en el cuadro 1 ya que pueden llegar a influir en el crecimiento o decaimiento de los coliformes como se mencionó en el ítem anterior.

Cuadro 1 Parámetros puntos de monitoreo

Punto Parámetro	Punto 1 Entrada Dársena Uno	Punto 2 Canal de alivio	Punto 3 Entrada Dársena Dos	Punto 4 Salida Dársena Dos	Punto 5 Canal ITP
Ph	6.82	7.1	7.03	8.4	8.21
Temperatura Agua (°C)	23	27	28.78	26	23.04
Oxígeno Disuelto (mg/L O ₂)	2.36	4.05	0.05	2.6	0.02
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	529800	139200	159900	78800	45400
Sulfatos (mg/ L SO ₄)	11200	9080	12800	1770	13100
DBO5 (mg/L O ₂)	<5	<5	<5	107	17

Fuente: Proagua-Corpoboyaca. 2015.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

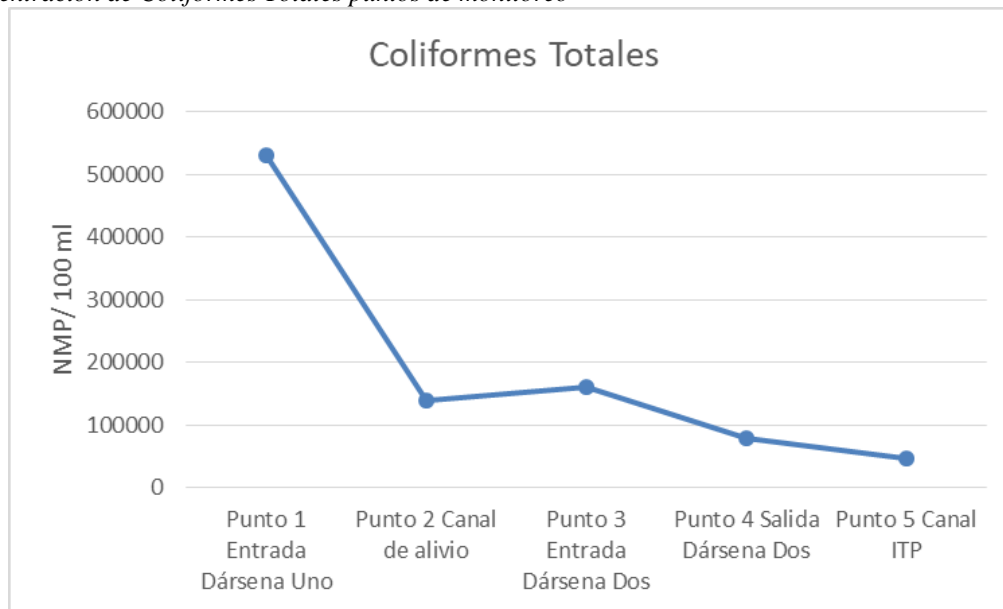
En el informe realizado por PROAGUA en conjunto con COPOBOYACA, afirma que las aguas en su mayoría se clasifican como sulfatadas. En el cuadro (1) se observa que la concentración de coliformes totales excede el valor máximo permisible para vertimientos, según lo establecido en la norma, así mismo sucede con los sulfatos, lo establecido en la norma (Resolución 631/2015) es de 250 mg/l y los valores dispuestos en el cuadro sobrepasan el valor límite máximo permisible a vertimientos puntuales o cuerpos de agua superficial, en este caso aplicado al río Chicamocha. En cuanto al valor de pH se observa que se encuentra dentro del rango establecido de 6 – 9 unidades de pH, cumpliendo la normatividad.

Coliformes Totales

En la figura 1 se presenta el comportamiento obtenido de los coliformes totales en el Sistema Dársena y algunos puntos de descarga, observando la alta concentración de Coliformes Totales, indicando presencia de contaminación por aguas residuales domésticas. El tramo comprendido entre el punto 1 y el punto 2 evidencia una reducción de coliformes totales que puede estar asociada al efecto de los rayos solares y mayor recirculación de flujo. En el tramo del punto 2 al punto 3, se observa un incremento de coliformes totales, indicando la llegada de aguas residuales y de escorrentía al sistema. Finalmente se observa una reducción de bacterias coliformes en el punto 3 al canal ITP, indicando que existe una mayor recirculación de flujo.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Figura 1 Concentración de Coliformes Totales puntos de monitoreo



Fuente: Proagua-Corpoboyaca. 2015.

Se debe tener en cuenta este parámetro, ya que el canal ITP entrega sus aguas al río Chicamocha para ser usada en riego de cultivos (PROAGUA, 2015), ya que se puede presentar afecciones en la salud de las personas. Los datos obtenidos por PROAGUA, se realizaron para el periodo de mayor precipitación en la región, demostrando que un nivel de mala calidad de agua, que se entrega el río Chicamocha, por consiguiente no es la más apropiada para uso agrícola. Las altas concentraciones de coliformes totales, pueden presentarse debido a la contaminación por aguas residuales, lo cual restringe el uso de estas aguas para cultivos, para consumo humano y doméstico.

Se puede decir que ninguno de los hoteles que realizan aportes al sistema Dársena implementan tratamientos a fin de reducir el grado de contaminación bacteriológica, teniendo como resultado la combinación de aguas negras y aguas termomineales, que llegan al río Chicamocha.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

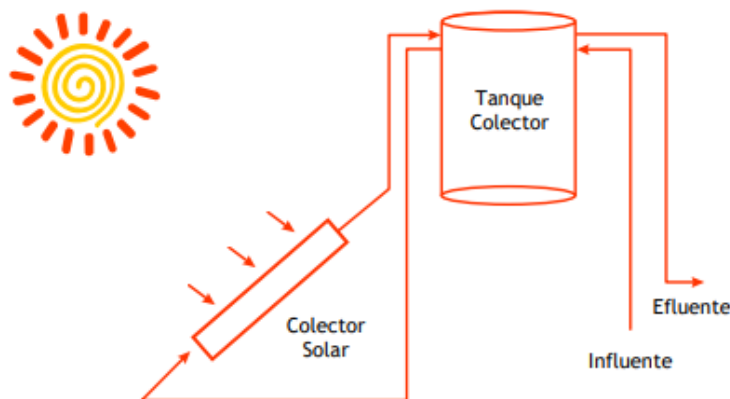
TRATAMIENTOS PARA INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES

Uno de los principales problemas que tienen las aguas termominerales que son descargadas a la Dársena, es la presencia de microorganismos en este caso coliformes totales, así mismo se describirán los posibles tratamientos para la eliminación y/o reducción del crecimiento de bacterias, basados en la desinfección del agua mediante energía solar, debido a que es uno de los métodos más fáciles de implementar y así mismo conllevan menos gastos.

Pasteurización con calentadores solares

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), evaluó la eficiencia de los calentadores, determinando que la eficiencia depende directamente de la temperatura que alcance para llevar a cabo el proceso (Marquez s.f). En la figura 2 se observa el esquema de funcionamiento de un calentador.

Figura 2 Esquema de un colector para calentamiento de agua



Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. s.f.

En este tratamiento se indica que el 99% de los casos la remoción de coliformes es total para temperaturas del afluente igual o mayores a 60°C, en cuanto a su diseño únicamente se

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

requiere que el tanque colector de agua caliente se encuentre a una altura de 60 cm y el colector debe colocarse con una inclinación aproximada de 15 a 35° (IMTA, s.f).

Destiladores solares

Este proceso funciona igual que el ciclo hidrológico, ya que se evapora el agua del embalse que tiene presencia de sales y se condensa en otra parte. El destilador solar es una buena alternativa, no solo por la remoción de sales presentes en el agua, sino también por que elimina microorganismos patógenos presentes en el agua (Marquez s.f). En un destilador solar se requiere de un elemento que transforme la energía solar en un incremento de temperatura del agua para poder evaporarla, es decir un colector solar (IMTA, s.f), al calentar el agua se produce vapor que es mayor al de las sales, ocasionando que estas sean retenidas en un recipiente, para así lograr una separación eficiente del vapor, para luego este ser llevado nuevamente a su fase líquida.

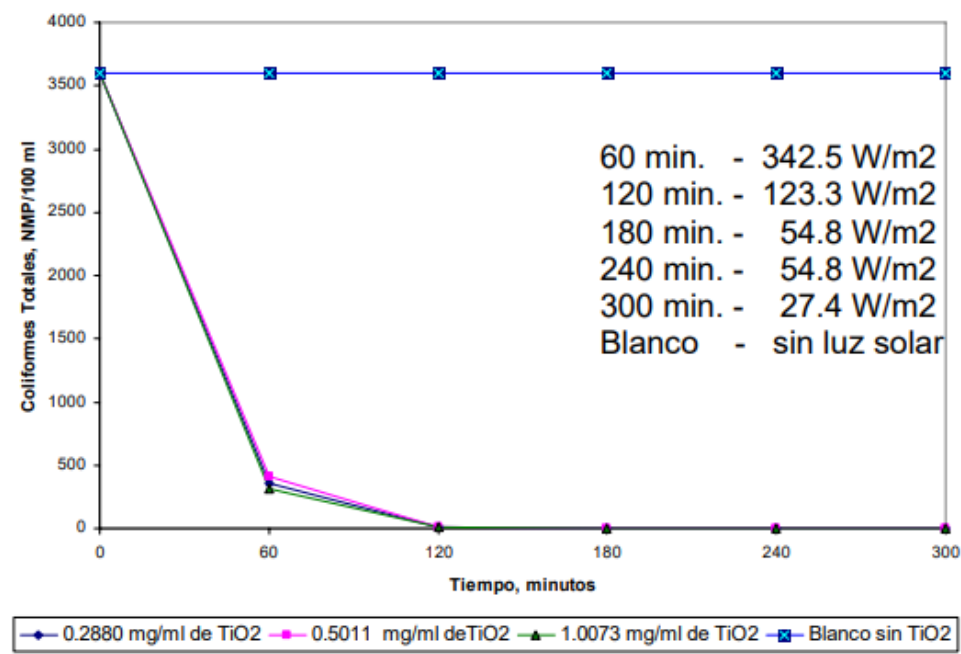
Fotocatálisis heterogénea con Dióxido de Titanio (TiO₂)

Consiste en la destrucción de contaminantes mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el objeto de formar radicales hidroxilo, los cuales tendrán un efecto oxidante en los contaminante químicos. Se utiliza como catalizador el TiO₂ , como fuente de energía la radiación solar (Garces, s.f).

En un estudio realizado a nivel de laboratorio en Mexico, se observo que la concentración de coliformes totales se redujo al aplicar diferentes concentraciones de TiO₂, como se observa en la siguiente figura:

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

Figura 3 Decaimiento de coliformes totales



Fuente: Centro de estudios académicos sobre contaminación ambiental. Universidad Autónoma de Querétaro México. s.f.

Se debe tener una temperatura por encima de los 43°C, para que el tratamiento sea efectivo y así no haya presencia de coliformes totales en el agua, presentando valores por debajo 1.1 NMP/100 ml (Gutierrez, s.f).

Una de las desventajas de usar el TiO₂, ocasiona la aparición de sólidos suspendidos, por lo tanto es necesario separar las particular de TiO₂ de las aguas tratadas antes de sus vertido o reutilización, mediante técnicas de filtración y/o decantación (Garces, s.f).

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

CONCLUSIONES

Se identificaron diferentes alternativas de manejo basada en la radiación solar, ya que estas permiten la eliminación de contaminantes en aguas residuales, mediante el uso de fotocatalizadores y así aprovechar al máximo la energía solar que llega directamente para obtener un proceso de oxidación de compuestos orgánicos, además de ser tratamientos de bajo costos.

Uno de los principales problemas que presenta la Dársena son sus altas concentraciones de salinidad representada en sulfatos y microorganismo patógenos mediante coliformes totales, para ello se requiere una serie de tratamientos que disminuya y/o controle dichas concentraciones, que permita que el agua este en mejores condiciones de calidad y se pueda usar para riego de cultivos.

Teniendo en cuenta las características fisicoquímicas del agua, es importante aclarar que se deben implementar pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento terciario y complementarlos con las alternativas propuestas.

Los tratamientos basados en la radiación solar para la inactivación o reducción de coliformes totales, son alternativas que pueden sustituir el proceso de cloración ya que estos generan compuestos organoclorados, que ponen en riesgo la salud humana y el mismo recurso hídrico.

Los coliformes totales es uno de los principales indicadores de calidad de agua, por eso la importancia de implementar alternativas que sirvan para la eliminación de estos organismos patógenos.

Para que los tratamientos sean efectivos se debe tener un control de la temperatura, ya que estos microorganismos mueren a temperaturas iguales o superiores a 60°C.

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, C., VELANDIA, F., CEPEDA, H & PARDO, N. (2010). Modelo Conceptual Preliminar del Sistema Geotérmico Paipa, Colombia. Ingeominas. Disponible en: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B22/ActuModeConcPP/Documento/pdf/ActuModeConcPP.pdf>
- ANNCO, I. (s.f). Coliformes totales y termotolerantes como contaminantes de agua de río. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Perú.
- ASANO, T. & LEVINE, AD (1996). Recuperación, reciclaje y reutilización de aguas residuales: pasado, presente y futuro. Ciencia y tecnología del agua. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0273122396004015>
- BARCO & MÉNDEZ. (2010). Identificación de las características hidrológicas y sanitarias del lago Sochagota y de fuentes de aguas termo mineral en el municipio de Paipa, Boyacá. Universidad Industrial de Santander.
- BENITEZ, G. (2013). Análisis y modelización de la inactivación de escherichia coli en aguas residuales. Universidad complutense de Madrid. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/22907/1/T34742.pdf>
- CASTRO, L., GORTÁRES, P., MONDACA, I., MEZA, M., BALDERAS, J., LOPEZ, J & LARES, F. (2008). Patógenos emergentes como restricción para el reúso de las aguas residuales municipales tratadas de Cd. Obregón, Sonora. México. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v5-n1-2-patogenos-emergentes-como-restriccion-para-el-reuso-de-las-aguas-residuales-municipales.pdf>

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

CYTED. (s.f). Indicadores de contaminación fecal. Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo. Disponible en:

http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf

CORPOBOYACA. (2015)a. Lineamientos para la gestión integral de aguas termales y termominerales en el municipio de Paipa, departamento de Boyacá. Informe.

CORPOBOYACA. (2015). Análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos e índices de calidad del agua.

DECRETO 3930 de 2010. Usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

DÍAZ, B. (2004). Modelación de la calidad del agua en el interceptor río Bogotá en los tramos Fucha-Tunjuelo-Canoas. Universidad de los Andes. Disponible en:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/flexpaper/handle/1992/10312/u250840.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=1>

FAGUNDO, J., CIMA, A & GONZALEZ, P. (s.f). Revisión bibliográfica sobre clasificación de las aguas minerales y mineromedicinales. Centro nacional de termalismo.

GARCÉS, L., MEJIA, E & SANTAMARIA, J. (s.f). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Corporación Universitaria Lasallista. Disponible en:

<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/195/1/08392%20La%20fotocat%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>

GUTIÉRREZ, C., ROBLES, L., ORTIZ, F & MARTINEZ, L. (s.f). Desinfección fotocatalítica del agua para consumo humano usando luz solar y dióxido de titanio TiO₂ inmovilizado. Centro de estudios académicos sobre contaminación ambiental. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Disponible en:

<http://www.elaguapotable.com/DESINFECCI%C3%93N%20FOTOCATAL%C3%8DTI>

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

[CA%20DEL%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20USANDO%20L
UZ%20SOLR%20Y%20DI%3%93XIDO%20DE%20TITANIO%20\(TiO2\)%20INMO
VILIZADO.pdf](#)

GUALDRON, L. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. Universidad libre de Colombia. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/4593/3916>

HERNANDEZ, E., QUIÑONES, E., ACEVEDO, D & RUBIÑOS, J. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo Hidalgo, México. Universidad Autónoma Chapingo. México. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v20n1/v20n1a9.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Determinación de Escherichia Coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult. Bogotá.

KADLEC, R, & WALLACE, S. (2009). Treatment wetlands. Boca Raton, FL, CRC Press, 1016. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Resumen/CA/RO/CAO-46.pdf

MAHECHA, J. (2010). Evaluación De Alternativas Para El Tratamiento De Aguas Termominerales Del Municipio De Paipa. Universidad de Boyacá.

MARQUEZ, L. (s.f). Desinfección solar. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en: http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/desinfeccion_solar.pdf

MUÑOZ, F. (2014). Determinación de los niveles de calidad a nivel microbiológico en muestras de espinacas y agua de riego para cultivos, en el municipio de Cota, Cundinamarca. Universidad de los Andes. Disponible en:

INACTIVACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, DÁRSENA 1 EN PAIPA

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17198/u703655.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PROAGUA & CORPOBOYACA. (2015). Análisis de la calidad del agua del Sistema Dársenas mediante el análisis de parámetros de calidad y la aplicación de los índices de calidad y de contaminación ICA Dinius, ICOMO, ICOSUS e ICOMI.

PROAGUA & CORPOBOYACA. (2015). Modelación hidráulica. Corporación Autónoma de Boyacá. Contrato de consultoría CCC2014010.

RAMAIAH, N., KENKRE, V., VERLECAR, X. (2002). Marine environmental pollution stress detection through direct viable counts of bacteria. Water Res. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135401004353>

SAQQAR, M. Y PESCOD, M. (1991). Microbiological performance of multi-stage stabilization ponds for effluent use in7 agriculture" Water Science and~Technology, Gran Bretaña.

SUEMATSU, G. (2009). Tratamiento de aguas residuales; objetivos y selección de tecnologías en función al tipo de reúso. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon3.pdf>

SHUBIAO, W., CARVHALO, P., MÝLLER, J., REMONY, V. y DONG, R. (2016). Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. Science of the Total Environment. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715307075>

TERMASWORLD. (s.f). Sociedad española de Hidrología Médica: características de las aguas. Disponible en: http://termasworld.com/component/option,com_frontpage/Itemid,1/lang,es/