

**Estudio de la efectividad de un producto biotecnológico comercial para el proceso de desinfección de aguas para consumo humano, en acueductos veredales de Bucaramanga**

**Yazmin Corredor Corzo**

**Trabajo de grado en modalidad de Práctica Empresarial como requisito para optar el título de Químico**

**Director del Proyecto**

**Hermínsul Cano Calle**

**Químico, D. Química**

**Codirector del Proyecto**

**Freddy Andrés Blanco**

**Químico, Msc. Química**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela de Química**

**Bucaramanga**

**2018**

## Dedicatoria

*A mi madre adorada Carmen, por todo su amor, apoyo, comprensión y sacrificios, a mis amados hijos Andres Santiago y Juan Felipe, por ser mi fuente de motivación e inspiración y a mi hermanita Adriana, por ser mi confidente y mejor amiga.*

*Yazmin Corredor Corzo*

## Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecerle a Dios, por haberme dado la oportunidad y las herramientas necesarias para lograr esta meta en mi vida.

Al profesor Herminul Cano por su nobleza, disposición y colaboración.

Quiero agradecer al Laboratorio Departamental de Salud Pública de Santander, por su colaboración y por haberme dado la oportunidad de desarrollar mi tesis en sus instalaciones, a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a mi codirector Freddy Andrés Blanco Ríos, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de esta práctica empresarial.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos, en especial, gracias a mi madre bella y a mis hermosos hijos, por ser la razón de mí existir.

A todos ellos, muchas gracias.

**Yazmin Corredor Corzo**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción	18
1. Marco referencial	20
1.1 Marco teórico	20
1.1.1 Agua potable	20
1.1.1.1 Características del agua potable	21
1.1.1.1.1 Características Físicas	21
1.1.1.1.2 Características Químicas	22
1.1.1.1.3 Sustancias biológicas contaminantes del agua para consumo humano.	22
1.1.2 Hierro	23
1.1.3 Fosfatos	23
1.1.4 Nitritos	25
1.1.5 La importancia de la desinfección del agua	25
1.1.5.1 Fases	26
1.1.5.2 Cloro.	27
1.1.6 Productos biotecnológicos	28
1.2 Técnica de filtración por membrana para detección de coliformes totales y coliformes fecales	29
1.2.1 Filtros de membrana	30
1.2.2 Medios de cultivo	30
1.2.2.1 Medio Chromocult para Coliformes	31

1.3 Marco de antecedentes	31
1.4 Marco legal	36
2. Metodología	38
2.1 Descripción Metodológica	39
2.1.1 Etapa 1. Determinación de la dosis efectiva del producto biotecnológico comercial y el producto químico (hipoclorito de calcio) para el tratamiento de desinfección de agua potable.	40
2.1.2 Etapa 2. Estudio de la cinética de los productos comerciales, en función de la inhibición del crecimiento bacteriano	40
2.1.2.1 Estudio del comportamiento de los productos comerciales seleccionados	41
2.1.3 Etapa 3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento	41
2.1.3.1 Determinación de nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) por medio del Método Colorimétrico. (SM 4500-NO <sub>2</sub> - B).	41
2.1.3.2 Medición del pH	42
2.1.3.3 Medición de la alcalinidad total por medio del método titulométrico. (SM 2320B).	42
2.1.3.4 Dureza total por medio del método titulométrico con EDTA (SM 2340 C).	43
2.1.3.5 Conductividad (SM 2510B)	45
2.1.3.6 Turbidez (SM 2130B).	45
2.1.3.7 Determinación de coliformes fecales y coliformes totales en agua por el Método de filtración por membrana en agar Chromocult (SM 9222H)	45
3. Resultados y análisis de resultados	46
3.1 Etapa 1. Determinación de la dosis efectiva del producto biotecnológico comercial (Ecoactive) y el producto químico (hipoclorito de calcio) para el tratamiento de desinfección de agua potable.	46

3.2 Etapa 2. Estudio del comportamiento de los productos comerciales, en función de la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano	49
3.2.1 Estudio de la evolución con la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano	49
3.3 Etapa 3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento.	52
3.3.1 Análisis estadístico para la determinación de nitritos	52
3.3.2 Análisis estadístico para la determinación de hierro	54
3.3.3 Análisis estadístico para la determinación de fosfatos	55
3.3.4 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con cada producto de estudio	57
3.3.5 Análisis de cumplimiento normativo	63
3.3.5.1 Análisis del cumplimiento resolución 2115 de 2007	63
3.3.5.2 Análisis del cumplimiento Decreto 1594 de 1984	69
3.3.6 Evaluación de la efectividad de los productos estudiados	72
4. Conclusiones	74
5. Recomendaciones	76
Referencias Bibliográficas	78

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Proceso de tratamiento del agua destinada al consumo humano. ....	27
<i>Figura 2.</i> Reacción general del hipoclorito con el agua .....	28
<i>Figura 3.</i> Reacción de nitritos empleando el método colorimétrico. ....	42
<i>Figura 4.</i> Reacción química para la alcalinidad. ....	43
<i>Figura 5.</i> Reacción química para la determinación de dureza total. ....	44
<i>Figura 6.</i> Curva de calibración de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), por Autor.....	53
<i>Figura 7.</i> Curva de calibración del hierro, por Autor .....	54
<i>Figura 8.</i> Curva de calibración de fosfatos, por Autor. ....	56

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Criterios de calidad admisibles para aguas de consumo humano.</i> .....	36
Tabla 2. <i>Parámetros generales fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano.</i> .....	37
Tabla 3. <i>Determinación de la dosis efectiva para el hipoclorito de calcio</i> .....	47
Tabla 4. <i>Ensayo microbiológico en el producto biotecnológico</i> .....	48
Tabla 5. <i>Determinación de la dosis efectiva para el producto biotecnológico</i> .....	48
Tabla 6. <i>Evidencia Fotográfica de la evolución de los productos</i> .....	50
Tabla 7. <i>Resultados obtenidos para nitritos</i> .....	54
Tabla 8. <i>Resultados obtenidos para hierro.</i> .....	55
Tabla 9. <i>Resultados obtenidos para Fosfatos</i> .....	57
Tabla 10. <i>Resultados obtenidos de las muestras de agua antes y después del tratamiento con hipoclorito de calcio.</i> .....	58
Tabla 11. <i>Resultados obtenidos de las muestras de agua antes y después del tratamiento con el producto biotecnológico.</i> .....	59
Tabla 12. <i>Evidencia fotográfica del ensayo microbiológico con las muestras de estudio</i> .....	60
Tabla 13. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de Vijagual y la Resolución 2115 de 2007</i> .....	63

Tabla 14. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de El Nogal y la Resolución 2115 de 2007.</i> .....	64
Tabla 15. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Bajo y la Resolución 2115 de 2007.</i> .....	65
Tabla 16. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Alto y la Resolución 2115 de 2007.</i> .....	67
Tabla 17. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto rural de la vereda San Cayetano y la Resolución 2115 de 2007.</i> .....	67
Tabla 18 <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de Vijagual y el decreto 1594 de 1984.</i> .....	69
Tabla 19. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de El Nogal y el decreto 1594 de 1984.</i> .....	69
Tabla 20. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Bajo y el decreto 1594 de 1984.</i> .....	70
Tabla 21. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Alto y el decreto 1594 de 1984.</i> .....	70
Tabla 22. <i>Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Cayetano y el decreto 1594 de 1984.</i> .....	70
Tabla 23. <i>Evaluación de la efectividad de cada producto comercial estudiado</i> .....	72

**Lista de abreviaturas y acrónimos**

E. Coli	<i>Escherichia coli</i>
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
DBP's	Desinfection by-product
HAA	Ácido haloacético
IARC	International Agency for Research on Cancer
NMP	Número más probable
NTP	Norma Técnica de Prevención
NOM	Normativa Oficial Mexicana
OVM	Organismos vivos modificados
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
THM	Trihalometanos
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UV	Ultravioleta

## Glosario

Agar: se trata de un polisacárido compuesto por galactosa (sustancia de tipo gelatinosa) que se obtiene a partir de ciertas algas (García J. A., 1996, págs. 14,15). Sirve como medio de cultivo para el desarrollo de hongos y de bacterias (García, Fernández & Paredes, 1997, págs. 31-37).

Alguicida: todo plaguicida destinado a destruir algas (Ministerio de Agricultura del Perú, 1983, pág. 293).

Bactericida: sustancia o producto que destruye las bacterias (Forbes, Sahm, Weissfeld & Trevino, 2009, págs. 205-206; Ingraham, Ingraham, Prentiss, Nieto, Quesada & Ventosa, 1998, pág. 495).

Bioacumulación: es una de las propiedades intrínsecas importantes de las sustancias químicas que determinan el potencial de peligro para el medio ambiente (United Nations, 2005, pág. 231). El término se emplea para describir los procesos dinámicos de la acumulación como el resultado final de la misma en el organismo (Figueroa & Marino, 2004, págs. 540-542).

Biocida: sustancia química que se emplea para destruir organismos vivos o para inhibir su desarrollo (de la Paz, Guiamet & Gómez, 2009, págs. 445-448; Darrigran & Damborenea, 2001, pág. 119).

Cianobacterias: organismos fotosintetizadores, pero algunas viven heterotróficamente, como descomponedores, o con un metabolismo mixto (Stainer & Villanueva, 1996, págs. 195-200; Parés & Juárez, 1997, págs. 313-317). Las cianobacterias comparten con algunas otras bacterias

la capacidad de usar N<sub>2</sub> atmosférico como fuente de nitrógeno (Stainer & Villanueva, 1996, págs. 31-37).

Contaminación microbiológica: es la presencia de bacterias, levaduras y mohos en los cuerpos receptores, es de gran preocupación la presencia de estos debido a que generan repercusiones sobre la salud humana, ya que muchos de los microorganismos causantes de enfermedades son ampliamente distribuidos por las aguas (Osorio, Torres & Sánchez, 2000, pág. 77; Ramos, 2003, págs. 48-49).

Desinfección: es la eliminación de los gérmenes patógenos, o que puedan provocar una infección en un cuerpo o un lugar (Moreno, 2006, págs. 566-568).

Enzimas: son biomoléculas de naturaleza proteica que aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio (Koolman & Röhm, 2004, pág. 88). Constituyen el tipo de proteínas más numeroso y especializado y, actúan como catalizadores de reacciones químicas específicas en los seres vivos o sistemas biológicos (Peña, 1988, págs. 193-194; Bender & Brubacher, 1977, págs. 13-14).

Fungicida: compuestos químicos u organismos biológicos utilizados para eliminar o inhibir hongos o esporas de hongos (Urizar, 1974, págs. 35-45; Arauz, 1998, págs. 336-338).

Materia orgánica: es un componente principal de las muestras representadas en distintas clases de materiales importantes, para los cuales las etapas de la preparación de la muestra a veces son largas y en algunas ocasiones son la mayor fuente de errores analíticos (Calvo, 1984, pág. 11). Este tipo de muestras incluye materiales biológicos como plantas, tejidos, materiales orgánicos sintéticos como plásticos, y muestras líquidas como sangre, orina, o aceites y combustibles (Calvo, 1984, pág. 11).

Metahemoglobina: es un tipo de hemoglobina que se encuentra oxidada, también denominada ferrihemoglobina (Miale, 1985, págs. 501-502). Y esta es incapaz de transportar oxígeno cuando existen altas concentraciones generando hipoxia y cianosis (Miale, 1985, págs. 501-502).

Nitrobacter: bacterias pertenecientes al grupo de bacterias nitrificantes. Oxidan los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), transformándolos en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (Tortora, Funke & Case, 2007, pág. 318; Seviour & Nielsen, 2010, pág. 268).

Nitrosomas: bacterias pertenecientes al grupo de bacterias nitrificantes. Oxidan el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), transformándolo en nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (Capone, 2008, pág. 142; Metzler & Metzler, 2001, págs. 805-807).

Patógeno: es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas (Male, 2007, págs. 6-8).

Tratamiento de aguas: se encaminó hacia la esterilización del agua, o para ser más precisos, hacia la destrucción de gérmenes patógenos, ya sea como único método, o como una etapa final complementaria de otros procesos de saneamiento denominados tratamientos (Gomella, Guerrée & Cantó, 1977, pág. 151).

## Resumen

**TÍTULO:** ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE UN PRODUCTO BIOTECNOLÓGICO COMERCIAL PARA EL PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUAS PARA CONSUMO HUMANO, EN ACUEDUCTOS VEREDALES DE BUCARAMANGA\*

**AUTOR:** CORREDOR, YAZMIN\*\*

**Palabras clave:** enzimas, aguas de consumo humano, tratamientos de aguas, contaminación microbiológica y materia orgánica.

### DESCRIPCIÓN

En esta investigación se decidió estudiar el empleo de un producto biotecnológico comercial como desinfectante en agua para consumo humano y compararlo con un producto químico comercial, el hipoclorito de calcio. En la fase experimental se varió la concentración de cada desinfectante identificando las dosis ideales para cada producto (1%/L del producto biotecnológico y 0,4%/L de hipoclorito de calcio) y su tiempo óptimo de desinfección (180 min y 45 min respectivamente).

Se realizaron análisis de parámetros fisicoquímicos (color, turbiedad, conductividad, dureza total, alcalinidad, pH, nitritos, hierro, fosfatos) y microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales) en cinco muestras provenientes de acueductos veredales de Bucaramanga (veredas Vijagual, El Nogal, San Pedro Bajo, San Pedro Alto y San Cayetano) y se evaluó cada producto antes y después de su uso como tratamiento de desinfección. Se obtuvo un porcentaje de efectividad del 100% para el producto biotecnológico y 74.5% del hipoclorito de calcio, evaluado respecto al cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007. En la determinación de la efectividad, se evidenció que el tratamiento con productos químicos genera modificaciones en las características fisicoquímicas del cuerpo de agua, lo que no ocurre con el producto biotecnológico, con lo cual se garantizaría una no afectación al recurso hídrico.

---

\*Trabajo de grado en modalidad de Práctica Empresarial

\*\*Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Director: Herminul Cano Calle, Ph.D. Codirector: Freddy Andres Blanco, Msc.

## Abstract

**TITLE:** STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF A COMMERCIAL BIOTECHNOLOGICAL PRODUCT FOR THE PROCESS OF DISINFECTION OF WATERS FOR HUMAN CONSUMPTION, IN AQUEDUCTOS VEREDALES DE BUCARAMANGA\*

**AUTHOR:** CORREDOR, YAZMIN\*\*

**Keywords:** enzymes, water for human consumption, water treatment, microbiological contamination and organic matter

### DESCRIPTION

In this research it was decided to study the use of a commercial biotechnological product as a disinfectant in water for human consumption and compare it with a commercial chemical, calcium hypochlorite. In the experimental phase, the concentration of each disinfectant was varied, identifying the ideal doses for each product (1% / L of the biotechnological product and 0.4% / L of calcium hypochlorite) and its optimal disinfection time (180 min and 45 min. respectively).

Analyzes were made of physicochemical parameters (color, turbidity, conductivity, total hardness, alkalinity, pH, nitrites, iron, phosphates) and microbiological (total coliforms and fecal coliforms) in five samples from the aqueducts of Bucaramanga (Vijagual, El Nogal , San Pedro Bajo, San Pedro Alto and San Cayetano) and each product was evaluated before and after its use as a disinfection treatment. A percentage of effectiveness of 100% was obtained for the biotechnological product and 74.5% of the calcium hypochlorite, evaluated with respect to compliance with Resolution 2115 of 2007. In the determination of the effectiveness, it was evidenced that the treatment with chemical products generates modifications in the physicochemical characteristics of the body of water, which does not happen with the biotechnological product, which would guarantee a non-impact on the water resource.

---

\*Degree work in Business Practice modality.

\*\*Sciences Faculty. Chemistry School. Director: Herminsul Cano Calle, Ph.D. Co-director: Freddy Andres Blanco, Msc.

## Introducción

Cuando vemos una imagen de la Tierra tomada desde el espacio, destaca su color azul. Esto se debe a que el 70% de su superficie se encuentra cubierta por agua, mientras que el resto corresponde a los continentes. Por estos datos, se podría pensar que la disponibilidad de agua en el planeta es infinita, es decir que alcanzaría de manera ilimitada para las necesidades humanas y para el funcionamiento de los ecosistemas. Pero, hoy sabemos que esta idea es completamente errónea, pues, una alta proporción del agua que existe en nuestro planeta es agua salada (97.5%) y solo el 2.5% es agua dulce. A su vez, de esta pequeña fracción la mayor parte no puede ser utilizada porque se encuentra congelada con los casquetes polares y las nieves perpetuas de las montañas, o también están en depósitos subterráneos a profundidades inaccesibles. Esto significa que el agua disponible en el planeta para el uso humano y para el mantenimiento de los ecosistemas naturales, corresponde al 0.55% del total de agua dulce y por lo tanto, el 0.01% del agua total del planeta (Valverde, Teresa; Meae, Jorge, Carabias, Julia & Cano, Zenón, 2005, cap 7). Este pequeño porcentaje es amenazado por los asentamientos y actividades que inciden en el deterioro de la calidad del agua en términos físicos, químicos y microbiológicos, propiciando la contaminación de las fuentes hídricas y aumentando así el riesgo en la salud de las personas (Ruiz Pimiento, Lyda Paola, 2015)

El tratamiento químico es fundamental en la higiene y desinfección del agua. La implementación de productos químicos para el tratamiento de aguas para consumo humano como el cloro, bromo, ozono, entre otros, han sido fuente de diversas controversias durante los últimos

años debido a los efectos colaterales que puedan tener sobre la salud de las personas, a pesar de que su objetivo sea evitar infecciones y enfermedades (Fernández Luna, A.; Burillo, P.; Plaza, M.; Sánchez Sánchez, J.; Gallardo, L. 2011, 3 (3), p. 203–210).

Un impacto negativo con respecto a la implementación de estos químicos, pueden generar varias consecuencias a corto y largo plazo tanto al ambiente como a la salud humana, debido a que la implementación de estos productos en aguas con alto contenido orgánico pueden generar subproductos cancerígenos como THM, para el caso específico de los halógenos (López et al., 2012, pág. 10). Cuando el producto químico no es adicionado en la concentración ideal, éste no puede reducir o eliminar la carga microbiana, potenciando la propagación de enfermedades hídricas, como son la diarrea, hepatitis A, entre otras (Alvarenga, G.& Aragon, E, 2012; Baron, S, p. 84).

La caracterización de la calidad del agua para consumo humano es una herramienta de evaluación para conocer el estado en el que se encuentra el recurso hídrico, con la finalidad de establecer estrategias de mejoramiento dependiendo del grado de afectación del líquido. Estudios como éste, ayudarían a disminuir los problemas de escasez y contaminación del recurso principalmente en zonas rurales de Bucaramanga donde no hay plantas de tratamiento de agua potable, solo hay captación y distribución del líquido, pues el agua que llega a las viviendas proviene de manantiales, ríos, arroyos, pozos subterráneos, ojos de agua u otro tipo de fuentes naturales superficiales o subterráneas expuestas a la contaminación debida a la exposición y arrastre de partículas orgánicas e inorgánicas (Galvis, A, 2010).

Por lo anterior, es necesario llevar a cabo una adecuada desinfección del agua para consumo humano, con productos que a la vez de garantizar su desinfección, no perjudiquen el medio ambiente (Junta de castilla y león). Es por esto que el uso de nuevos productos para el

tratamiento del agua, como las enzimas, ha ido tomando mayor auge (Arroyo Currás, 2006). Por consiguiente, el propósito de este trabajo es realizar un estudio sobre un producto biotecnológico comercial elaborado por la empresa PROISA, llamado Ecoactive, que tendrá como fin el estudio de su aplicabilidad y eficiencia en aguas para consumo humano, en el marco del convenio para el desarrollo de trabajos de grado en la modalidad de práctica empresarial entre la Gobernación de Santander y la Universidad Industrial de Santander.

## **1. Marco referencial**

### **1.1 Marco teórico**

**1.1.1 Agua potable.** Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para el consumo humano; se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (Resolución 2115, 2007).

Puede provenir de distintas fuentes, incluyendo los servicios públicos de agua, un suministro etc. El agua potable se puede usar en las primeras etapas de limpieza de los equipos de fabricación farmacéutica y de componentes en contacto con los productos, también es usada en la preparación de sustancias oficiales y otros ingredientes farmacéuticos a granel (USP 31, 2007)

El peligro más común y más difundido relativo al agua potable es el de su contaminación, sea esta directa o indirecta, debido al efecto de aguas servidas, de otros desechos o de las excretas del hombre o de los animales. Si dicha contaminación es reciente y entre los factores que

contribuyen a ella se hallan agentes portadores de enfermedades entéricas transmisibles, es posible que estén presentes algunos de los organismos vivos causales de las mismas. Beber agua contaminada puede producir mayor número de casos de infección. (OPS, 1997)

**1.1.1.1 Características del agua potable.** El agua potable no debe contener en ningún caso microorganismos considerados patógenos y debe estar libre de bacterias indicadoras de contaminación fecal (OPS, 1997).

No debe contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en cantidades tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, limpia y transparente. (Resolución 2115, 2007)

**1.1.1.1.1 Características Físicas.** En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua.

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión.

1.1.1.1.2 Características Químicas. Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Por ejemplo, los hierros en pequeñas cantidades no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico dentro de las tuberías de agua.

Las aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y también forma incrustaciones en tuberías de agua caliente y calderas. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro. (Ingeniería Sanitaria, A4, Cap 03).

1.1.1.1.3 Sustancias biológicas contaminantes del agua para consumo humano. Otro foco de contaminación es causado por las aguas no controladas higiénicamente, generando un alto riesgo de transmisión de enfermedades causados por agentes microbiológicos como lo son los coliformes fecales y totales (Tortora, G. J.; Funke, B. R.; Case, C. L, 2007, p. 318) Estas enfermedades pueden ser adquiridas por contacto y/o ingestión accidental y se presentan con mayor frecuencia la enteritis, la gastroenteritis, colitis, conjuntivitis, micosis cutánea (infección en la piel, cabello y uñas causado por hongos) (De La Rosa, C.; Cano-Rodríguez, I.; Rubio-Campos, 2015, p 1990-1994)

Las bacterias coliformes son organismos indicadores de la presencia de contaminación fecal, debido a que suelen habitar el tracto intestinal de los animales vertebrados y por tanto suelen encontrarse grandes cantidades de estas en las heces de dichos animales. Los géneros que componen el grupo son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todas pueden existir como saprofitas independientes, o como microorganismos

intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es casi exclusivamente fecal. (Alvarenga & Aragón, 2012, pág. 23; Alemán, Evalyn & Guerrero, 2007; Cornejo & Esquivel, 2008; WHO, 2003<sup>a</sup>, pág. 10).

Estas diferencias han llevado a la necesidad de distinguir entre coliformes totales: grupo que incluye a todos los coliformes de cualquier origen; y coliformes fecales: término que designa a los coliformes de origen exclusivamente intestinal, cuyo representante es la *Escherichia coli* (Alvarenga & Aragón, 2012, págs. 10, 23).

**1.1.2 Hierro.** La presencia de hierro es un problema de calidad del agua muy común, especialmente en aguas de pozos profundos. El agua que contiene pequeña cantidad de hierro, puede parecer clara cuando es extraída, pero podrá rápidamente tornarse roja, después de su exposición al aire. Este proceso es denominado oxidación, y envuelve la conversión de hierro disuelto (ferroso), que es altamente soluble, en hierro precipitado (férrico), que es muy insoluble. (Ruiz Carrillo, Blanca, 2003, p 5-11) El hierro se encuentra de manera natural en acuíferos, pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable.

En aguas superficiales las concentraciones de hierro son por lo general bajas, menores de 1 mg/L, las aguas subterráneas, por el contrario, pueden tener cantidades apreciables de hierro, comúnmente hasta 10 mg/L raras veces hasta 50mg/L.

**1.1.3 Fosfatos.** El Fósforo puede ser encontrado en el ambiente más comúnmente como fosfato. Los fosfatos son sustancias importantes en el cuerpo de los humanos porque ellas son

parte del material de ADN y tienen parte en la distribución de la energía. Los fosfatos pueden ser encontrados comúnmente en plantas. Los humanos han cambiado el suministro natural de fósforo radicalmente por la adición de estiércol ricos en fosfatos. El fosfato era también añadido a un número de alimentos, como quesos, salsas, jamón. Demasiado fosfato puede causar problemas de salud, como es daño a los riñones y osteoporosis. La disminución de fosfato también puede ocurrir. Estas son causadas por uso extensivo de medicinas. Muy poco fosfato puede causar problemas de salud. (Sanchez Salazar, Andres Felipe, 2011)

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas. Los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limón verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas, ahogan a otros organismos. Estas grandes poblaciones de plantas producen oxígeno en las capas superiores del agua pero cuando las plantas mueren y caen al fondo, son descompuestas por las bacterias que usan gran parte del oxígeno disuelto (OD) en las capas inferiores. Las masas de agua con altos niveles de fosfatos, generalmente tienen niveles altos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) debido a las bacterias que consumen los desechos orgánicos de las plantas y posteriormente a los niveles bajos de (OD). (Osorio Vélez, Francly Julieth; Sandino Vargas, Daniela, 2012).

Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Las especies inorgánicas incluyen ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos. Los compuestos orgánicos comprenden ésteres, fosfonatos, ácidos nucleicos, fosfolípidos, azúcares, proteínas, ácido aminofosfórico, fosfoamidas y el fósforo total incluye distintos compuestos como diversos

ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico (Osorio Velez, Francy Julieth; Sandino Vargas, Daniela, 2012).

**1.1.4 Nitritos.** Los átomos de nitrógeno se encuentran principalmente en el aire. En agua y suelos, el nitrógeno puede ser encontrado en forma de nitratos y nitritos. Todas estas sustancias son parte del ciclo del nitrógeno, aunque hay una conexión entre todos.

Los nitritos pueden estar en las aguas, por la reducción de los nitratos o por la oxidación del amoníaco, en este caso es casi seguro que su presencia se deba a una contaminación reciente en las aguas. El nitrito tiene acción hipotensiva ya que oxida el hierro de la hemoglobina en la sangre e impide el transporte del oxígeno.

En las aguas subterráneas, se pueden encontrar nitritos como consecuencia de la existencia de un medio reductor ya que es inestable y se oxida fácilmente. Igualmente cuando contiene nitrato está en contacto con metales fácilmente atacables, ya sea a pH alcalinos o ácidos, se pueden presentar nitritos.

Desde el punto de vista de los usos del agua, la presencia de nitritos en concentraciones elevadas la impotabiliza, debido a que su presencia indica una contaminación, con la consiguiente presencia de organismos patógenos (Osorio Zapata, Gina; Picado Peñalba, Edwin, 2005)

**1.1.5 La importancia de la desinfección del agua.** El agua es una necesidad fundamental de la humanidad. Las Naciones Unidas considera el acceso al agua limpia como un derecho básico, y como un paso esencial hacia la mejora de los estándares de vida en todo el mundo, ya que su calidad está directamente relacionada con la salud humana.

En un sistema de tratamiento del agua, la desinfección es el último paso para su potabilización. Se trata de una fase imprescindible para evitar riesgos de enfermedad, por lo que no debe tratarse como un elemento más, sino como un componente vital del sistema.

El objetivo de la desinfección es garantizar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico y asegurar su inocuidad para la salud del consumidor. Actúa eliminando los microorganismos patógenos de las aguas capaces de producir enfermedades.

El mecanismo de acción del desinfectante en el agua se puede realizar de dos modos:

- *Remoción de los microorganismos.* Los microorganismos son separados del agua mediante métodos físicos como coagulación, floculación o filtración.
- *Inactivación de los microorganismos.* Los mecanismos que provocan la inactivación de los patógenos son los siguientes:
  - Destrucción de la pared celular de los microorganismos, o cambios en la permeabilidad de la célula, permitiendo la penetración de la pared celular.
  - Reacción con las enzimas de los microorganismos, que causa inhibición del metabolismo de la glucosa y provoca la muerte del organismo.
  - Oxidación y destrucción de la materia orgánica del agua, eliminando la fuente de alimentación de los microorganismos.

#### ***1.1.5.1 Fases***

- Desinfección primaria. Elimina los patógenos y la materia orgánica del agua presentes en la planta de tratamiento.

- Desinfección secundaria. Evita que aparezcan patógenos durante la distribución del agua, desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llega al consumidor. Esto se consigue asegurando la presencia de desinfectante residual tras la desinfección y durante todo el sistema de distribución hasta el grifo del consumidor.



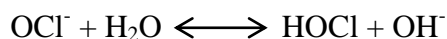
Figura 1. Proceso de tratamiento del agua destinada al consumo humano.

A la salida de la ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) o del depósito con sistema de cloración, el agua debe contener un mínimo de 0,5 mg/l de cloro libre residual, manteniéndose un valor mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente (Junta de castilla y león)

**1.1.5.2 Cloro.** Existen una gran variedad de productos químicos que pueden utilizarse para limpiar y desinfectar las aguas para consumo humano, generalmente se emplea el cloro como desinfectante principalmente por su efectividad, su fácil uso y economía (Junta de castilla y león; Cornejo, Esquivel, 2008)

Nuevas tecnologías como ozono, radiación UV y mezclas de oxidantes son también utilizadas.<sup>28</sup> Sin embargo, la radiación UV y el ozono no proveen protección residual, y pueden ser usados en conjunto con el cloro para una mejor desinfección, mientras que estudios realizados con cobre y plata en conjunto con cloro han mostrado ser más efectivos en la inactivación de microorganismos en la mitad de tiempo de contacto que el cloro (Mendoza Gómez, Mónica Marcela; Ibañez Pinedo, William, 2006)

El uso de productos clorados para la desinfección es muy empleado debido a su efectividad y su bajo costo. Uno de los productos más comunes para su desinfección es el uso de hipoclorito de calcio, o hipoclorito de sodio, con el fin de generar ácido hipocloroso en el momento de disolver en el agua como se observa en la figura 2, ya que, en el agua, se da una reacción ácido-base que convierte la mayoría del ion hipoclorito  $\text{OCl}^-$  a ácido hipocloroso  $\text{HOCl}$  (Baird, C, 2001, p 438-439)



*Figura 2.* Reacción general del hipoclorito con el agua

**1.1.6 Productos biotecnológicos.** La biotecnología se encuentra definida como la aplicación controlada y deliberada de agentes biológicos simples como células vivas, muertas o componentes celulares en operaciones técnicas útiles, ya sea para manufacturación de un producto como para una operación de servicio (Bu'loc, J.; Kristiansen, B.; Liras Padín, P, 1991, p 3-12, 21-25, 44-50). La implementación de microorganismos ha ayudado no solo como agentes productores sino como agentes optimizadores de procesos, los últimos estudios en esta área se encuentran vinculados con el desarrollo científico en la genética molecular (Arroyo Curras, T, 2006)<sup>8</sup> La biotecnología se ha constituido como una de las áreas de inversión

ampliamente retribuidas a una gran variedad de sectores, entre ellos el ambiental, por ejemplo, el tratamiento de efluentes residuales, esta es una de las aplicaciones más grandes y controladas por la biotecnología. (Arroyo Curras, T, 2006; Gray, N.F, 2004, p 1-3, 133-138, 191-195,643)

En la biotecnología la aplicación de enzimas igualmente ha sido útil ya que éstas se encuentran de forma natural en todo organismo, y juegan un papel importante al momento de degradar la materia orgánica acelerando el proceso biológico, desde convertir las hojas en una mezcla de paja y hojas mejor conocido como mantillo, hasta ayudar con la digestión y otros procesos bioquímicos (Sabater, S & Elosegui, A, 2009, P 98; Voet, D.; Voet, J. G.; Pratt, C. W.; Gismondi, M, 2007, p 96) por ello estas tienen un rol crucial en los procesos ecológicos (Gliessman, S.R, 2002, p 33-37; Fuentes colmeiro, 2007, p 50-55)

Las enzimas no sólo actúan en la naturaleza, sino que en algunos productos para el tratamiento de aguas, la aplicación de éstas, ha generado efectos positivos ya que son extremadamente efectivas para la destrucción de aceites, grasas, detergentes, polen y otros tipos de material orgánico (Sabater, S & Elosegui, A, 2009, P 98)

## **1.2 Técnica de filtración por membrana para detección de coliformes totales y coliformes fecales**

Para la determinación de coliformes totales y fecales en agua potable, la legislación colombiana en la Resolución 2115 de 2007, recomienda entre otras técnicas, la de filtración por membrana.

La técnica de filtración por membrana utiliza un mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de una membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro (0.45  $\mu\text{m}$ ); esto gracias a una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra

de agua haciendo que se filtre. Los microorganismos de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio enriquecido, selectivo o diferencial, quien a través de intercambio metabólico y una incubación, evidencian el crecimiento de microorganismos y Unidades Formadoras de Colonia (UFC). (APHA - AWWA - WPCF, 2000).

Esta técnica es altamente reproducible y proporciona resultados numéricos, es una manera rápida y simple de estimar las poblaciones bacterianas en el agua, y especialmente útil al evaluar grandes volúmenes o al realizar diariamente muchas pruebas de Coliformes (HACH, 2000).

El equipo de soporte del filtro (Fabricado en vidrio, plástico resistente a autoclave, porcelana o acero inoxidable) consiste en un embudo, unido a una base por un artefacto de cierre que se mantiene en su lugar mediante una fuerza magnética. El diseño debe permitir que la membrana se mantenga con seguridad sobre la placa porosa, sin que sufra daño mecánico, de manera que todo el líquido pase a través de la membrana durante la filtración. (APHA, 1992).

**1.2.1 Filtros de membrana.** Se deben utilizar filtros de membrana con un diámetro de poro que permita una completa retención de las bacterias coliformes. Solo se emplean filtros en los que se haya comprobado, mediante una adecuada prueba de control de calidad y por garantía del fabricante, que permita una retención de las bacterias coliformes. (APHA, 1992).

**1.2.2 Medios de cultivo.** Un medio de cultivo es un sustrato o solución de nutrientes en donde crecen, y se multiplican los microorganismos, con el objetivo de aislar diferentes especies de microorganismos que induzcan al desarrollo de estrategias complementarias de identificación, cuantificación, caracterización de la microflora (Tortora, G. 1993). De la inocuidad y de la

capacidad de recuperación del medio de cultivo, así como de su posterior manipulación dependen en gran medida los resultados de una prueba microbiológica. (Tortora, G. 1993).

**1.2.2.1 Medio Chromocult para Coliformes.** Es un agar selectivo para el crecimiento de coliformes totales y *E. coli* en muestras de aguas y alimentos. Por la acción conjunta de peptonas selectivas, piruvato y tampón de fosfatos se garantiza un rápido crecimiento también de coliformes con daños sublaterales. El contenido de lauril sulfato inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas sin tener influencias negativas sobre el crecimiento de los coliformes. La formación simultánea de coliformes totales y *E. coli* se hace posible por la nueva formación de dos sustratos cromógenos: el sustrato Salmon – Gal es separado por la enzima  $\beta$ -D-galactosidasa característico de coliformes y provoca una coloración roja de las colonias de coliformes. (MERCK, 1998).

La formación de la  $\beta$ -D-Glucoronidasa característica para *E. coli* tiene lugar mediante el sustrato X- glucorónido, que al ser cortado por la encima produce una coloración azul para las colonias positivas. Ya que *E. coli* separa tanto Salmon-Gal como X- Glucorónido, las colonias se tiñen de violeta – azul oscuro y debido a ellos se pueden diferenciar de los coliformes restantes que se presentan de color rojo. (MERCK, 1998)

### 1.3 Marco de antecedentes

Numerosos estudios se han realizado buscando determinar la calidad de agua para consumo humano, entre estos se encuentran estudios realizados por Tadesse e Ince, (2010), quienes realizaron una evaluación de la calidad del agua en Etiopía y Nigeria respectivamente basándose

en inspecciones sanitarias y parámetros como coliformes termotolerantes, estreptococos, pH, turbiedad y metales pesados, apoyándose en las recomendaciones de metodología RADWQ (Rapid Assessment of Drinking Water Quality en sus siglas en Ingles), Abu-Amr & Yassin, (2002), toman como referencia la presencia de coliformes totales y fecales en el agua que se transporta por las tuberías y en los pozos realizados artesanalmente por la comunidad de la franja de Gaza. Kish et al. (2004) evaluaron la relación que existe entre la degradación del suelo debido al manejo inadecuado de los recursos naturales con los desperdicios generados en las actividades económicas desarrolladas por los pobladores con la calidad de agua que consumen. Brick et al. (2004) y Lescano et al. (2007) evaluaron la calidad de agua en los hogares debido al inadecuado manejo que se le dan a los tanques de almacenamiento en el Sur de la India y Lima respectivamente, tomando como parámetro base la presencia de coliformes fecales y termotolerantes. Khan et al. (2012) se enfocaron en investigar las concentraciones de varios contaminantes en el agua para consumo humano y los posibles riesgos que representan a la salud.

El común denominador encontrado en los estudios fue tomar los coliformes totales y termotolerantes para indicar si esta es apropiada para el consumo y no atenta contra la salud de quienes la consumen. Por otro lado, un estudio realizado por Hoko (2005) buscó ir más allá y correlacionó la calidad de agua en términos físicos, químicos y microbiológicos con la percepción de la comunidad sobre la calidad de agua que consumen.

Estos autores discuten diferentes factores que se deben tener en cuenta en el momento de realizar los estudios y las razones por las cuales el agua que se tiene para consumo no cumple con los parámetros indicados por la OMS. Entre ellos se encuentra Tadesse et al. (2010), quien discute la relación directa que existe entre la cercanía de letrinas, fuentes no protegidas y otros aspectos ambientales con la baja calidad de agua que consumen las comunidades de Etiopía,

Abu-Amr & Yassin (2002), quienes discuten la relación entre la calidad de agua que se bebe en Gaza y la prevalencia de enfermedades relacionadas con la calidad del agua entre la población que bebe agua de los pozos y la que bebe el agua directamente de la red de suministro. Kish et al (2004) discuten la relación que existe entre el mal manejo de los recursos naturales y la existencia y prevalencia de enfermedades y de pobreza que se viven en las zonas rurales de Egipto. Brick et al. (2004) discute sobre las enfermedades gastrointestinales, producto de la presencia de microorganismos entéricos en el agua que se utiliza para consumo humano, ya sea desde el consumo directo del agua tratada o desde los tanques de almacenamiento ubicado en los hogares.

Crabbe, S. (2004) discute la falta de vigilancia y control en términos de calidad física, química y microbiológica por parte de las entidades gubernamentales que se le realiza a las empresas que producen agua a las poblaciones de México que no cuentan con sistemas de tratamiento de agua dadas por el gobierno.

En los estudios realizados para el análisis de la calidad de agua para consumo humano en las zonas rurales, se han utilizado diferentes métodos. Ince et al. (2010) y Taddesse et al. (2010) utilizaron la misma metodología para el análisis de la calidad del agua en Nigeria y Etiopia respectivamente, donde se utilizó la metodología propuesta por la RADWQ, donde se tomaban muestras de un grupo seleccionado y se le medían parámetros físicos, químicos y microbiológicos. También se realizaron encuestas pre-concebidas acordes al tipo de suministro, para determinar un puntaje, donde finalmente, se correlacionaban los resultados de las muestras con los resultados de la inspección sanitaria, para conocer el nivel de riesgo al que clasificaban, Abu-Amr & Yassin (2002) realizaron un cuestionario a 210 pobladores de la zona y tomaron muestras de agua cada año, durante un periodo de siete años, en los pozos de abastecimiento

utilizados por la comunidad, mientras que Khan et al. (2012) utilizaron la misma metodología, con la diferencia que tomaron una muestra de 4740 habitantes, esto debido a que el tamaño de población era considerablemente más grande y repartida, mientras que en el estudio realizado por Abu-Amr & Yassin (2002) la población era más pequeña y estaba concentrada en un sitio determinado. Kish et al. (2004), se basó principalmente en desarrollar un estudio por medio de métodos participativos de la comunidad, más allá de las encuestas, como la observación participante y la información que brinda las autoridades locales sobre la calidad del agua que se tiene en la comunidad, en este estudio sólo se tomó como referencia la información de las personas cabezas de familia.

En México, Arroyo Currás, T. (2006), realizó un estudio de la efectividad de un producto biotecnológico comercial en la degradación de materia orgánica presentes en aguas residuales domésticas, siendo uno de los pioneros en la utilización de éstos productos amigables con el medio ambiente (Arroyo Curras, T, 2006).

En Colombia, a través de estudios realizados por la Contraloría General de la República, anuncia en su informe “Estado de los recursos naturales y del Ambiente, Capítulo 17: La calidad del agua para consumo humano en Colombia”, que el estado de las fuentes de agua presentan deficientes características dada a la falta de tratamiento de las aguas servidas en las ciudades de Colombia, dando como resultado el deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua.<sup>44</sup> Otro estudio realizado por la Universidad de la Guajira (2010), reafirma lo dicho anteriormente, ya que evalúan la calidad del agua en la zona rural del municipio de Riohacha, donde se miden parámetros físico-químicos y microbiológicos para analizar el estado de las fuentes hídricas,

encontrándose presencia de coliformes fecales y totales, altos niveles de turbiedad, color, alcalinidad, hierro y manganeso, microorganismos como *Pseudomonas*, bacterias como Mesofitos, generado principalmente por los malos hábitos de higiene (no lavar adecuada y frecuentemente los recipientes, albercas, tuberías y tanques de almacenamiento), realización de necesidades fisiológicas a campo abierto cerca de las fuentes de agua; y la falta de aplicación de tratamientos previos al agua antes de su uso y consumo.

Similarmente, en el municipio de El Dovio, Brown y Roa (2005) realizaron un estudio sobre las relaciones entre disponibilidad del agua, múltiples usos del agua y usos del suelo en la microcuenca Los Sainos, donde se encontró que la calidad del agua disminuía a medida que se realizaban muestreos a lo largo de la microcuenca, esto en términos microbiológicos y físicos, ya que presentaban un aumento en la presencia de coliformes fecales y sólidos suspendidos respectivamente. Según el estudio, estas alteraciones estaban relacionadas principalmente a descargas de excretas de cocheras, descargas de pozo séptico debido a falta de mantenimiento y al acceso que tienen los animales a las quebradas, sobre todo en la parte baja de la microcuenca. A pesar que se encontró buena disponibilidad de agua, el sistema de abastecimiento no contaba con tratamiento para el riesgo agudo (contaminación microbiológica), lo que vuelve necesario la implementación de sistemas de tratamiento individuales en los hogares de la microcuenca.

Como se puede observar, en los diferentes estudios realizados a nivel internacional y nacional, la caracterización de la calidad del agua para consumo humano evidencia que es una de las herramientas principales para evaluar el estado en que se encuentran las diferentes fuentes de abastecimiento en las comunidades, con el propósito de generar información actualizada del estado de estas para establecer intervenciones de mejoramiento a diferentes niveles como acompañamiento y asesoramiento en el manejo del recurso hídrico y buenas prácticas sanitarias,

logrando así, prevenir y/o mejorar el riesgo en la salud pública de las comunidades, principalmente las más vulnerables como lo es las zonas rurales.

#### 1.4 Marco legal

En el Decreto 3930 de 2010 se puede apreciar la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas en el capítulo IV (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2010, pág. 29). En el Art. 9 se definen los usos del agua entre los cuales se encuentra el denominado como “Consumo humano y doméstico”. Este uso está definido en el Art. 10 de este decreto que lo define como “Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como:

- 1) Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato.
- 2) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios y
- 3) Preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.” (MADT, 2010, pág. 29).

El Decreto 1594 de 1984 está actualmente vigente en lo que respecta a los criterios de calidad para la destinación del recurso agua. En los Art. 38 y 39 establecen los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico (Ministerio de Agricultura, 1984), esto se consigna en la Tabla 1:

Tabla 1.

*Criterios de calidad admisibles para aguas de consumo humano.*

<i>Parámetro</i>	<i>Expresado como</i>	<i>Valor máximo aceptable</i>
------------------	-----------------------	-------------------------------

<i>Parámetro</i>	<i>Expresado como</i>	<i>Valor máximo aceptable</i>
Amoniaco	N	1.0
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0 (mg/L)
Cadmio	Cd	0.01 (mg/L)
Cianuro	CN-	0.2 (mg/L)
Cinc	Zn	15.0 (mg/L)
Cloruros	Cl-	250.0 (mg/L)
Cobre	Cu	1.0 (mg/L)
Color	Platino-cobalto	20 (UPC)
Mercurio	Hg	0.002 (mg/L)
Nitritos	N	10 (mg/L)
pH	Unidades	6.5-8.5
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	400.0 (mg/L)
Turbiedad	Unidades Jackson de Turbiedad, UJT	10 (UNT)
Coliformes Totales	NMP*	1.000 (NMP)

*Nota:* \*Donde NMP es Número Más Probable. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico. Adaptado de el “Decreto 1594 de 1984” Ministerio de Agricultura, 1984.

En la Resolución 2115 de 2007 se pueden observar las medidas aplicables para el agua de consumo humano, está actualmente vigente en lo que respecta a los criterios de calidad (Ministerio de la Protección Social, 2010). En los Art. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 11 se enuncian los valores aceptables para cada característica o parámetro físico, químico y microbiológico, como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2.

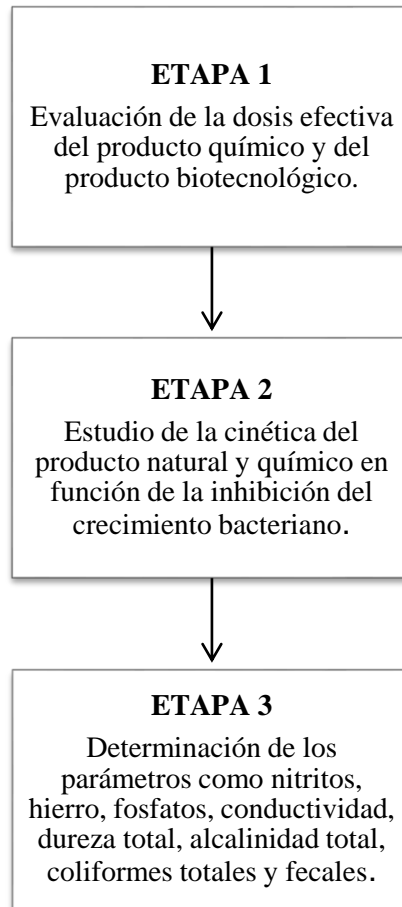
Parámetros generales fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano.

<i>Parámetro</i>	<i>Expresada como</i>	<i>Valor aceptable</i>
Color	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
Conductividad	µS/cm	1000
pH	Unidades de pH	6.5-9.0

<i>Parámetro</i>	<i>Expresada como</i>	<i>Valor aceptable</i>
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	300
Hierro total	mg Fe/L	0.3
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L <sup>-</sup>	0.1
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	0.5
Coliformes totales	Microorganismos o UFC*/100mL	0
Coliformes fecales	Microorganismos o UFC/100mL	0

Nota: \*Donde UFC es Unidades Formadoras de Colonias. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua de consumo humano. Adaptada de los Art. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 11 de la “Resolución 2115 de 2007” Ministerio de la Protección Social, 2007.

## 2. Metodología



## 2.1 Descripción Metodológica

Los puntos y áreas de muestreo fueron seleccionados conforme al criterio del Laboratorio Departamental de Salud Pública de Santander. Se analizaron 5 muestras provenientes de acueductos rurales, ubicados en las veredas: Vijagual, El Nogal, San Pedro Bajo, San Pedro Alto y San Cayetano, ubicadas en Bucaramanga, en los cuales no hay ningún tipo de tratamiento de desinfección, solo realizan captación de las fuentes hídricas y distribución de las mismas.

**2.1.1 Etapa 1. Determinación de la dosis efectiva del producto biotecnológico comercial y el producto químico (hipoclorito de calcio) para el tratamiento de desinfección de agua potable.** Para la evaluación de la efectividad del producto biotecnológico comercial y de los productos químicos seleccionados se realizó una variación de concentraciones en un tiempo determinado, con el fin de definir la concentración óptima para cada producto, evaluando la cantidad de coliformes totales y fecales presentes al final de cada experimento.

El estudio para la determinación de la dosis efectiva de cada producto comercial para el tratamiento de desinfección de agua potable, se realizó por triplicado; mediante la ejecución de ensayos (cuatro para el producto biotecnológico y cinco para el producto químico), teniendo en cuenta la variación en la concentración de cada producto.

Esto consistió en tomar 10mL de diferentes concentraciones del producto biotecnológico (1%; 2%; 5% y 10%), y adicionarlas en un 1L de la matriz de estudio, manteniendo la solución en agitación por 120 minutos. Luego se determinó la ausencia o disminución de microorganismos (coliformes totales y fecales, a través del método de filtración de membrana con agar Chromocult).

Las alícuotas definidas para el hipoclorito de calcio fueron 0,02%; 0,04%; 0,1%; 0,2% y 0,4% (para este producto químico comercial los distribuidores manifiestan en la etiqueta que la dosis recomendada debe ser de 4g (0,4%) por 1000mL de agua).

**2.1.2 Etapa 2. Estudio de la cinética de los productos comerciales, en función de la inhibición del crecimiento bacteriano** Para el estudio de la cinética del producto biotecnológico comercial y del producto químico seleccionado, se trabajó con las dosificaciones y condiciones

óptimas de cada uno, en función de la inhibición del crecimiento bacteriano a intervalos de tiempo cortos (cada 15min por 2h)

**2.1.2.1 Estudio del comportamiento de los productos comerciales seleccionados.** Una vez determinadas las dosificaciones óptimas de cada producto, se realizó un experimento con cada producto manteniendo las dosificaciones ideales. Posteriormente, se tomó una alícuota de 100mL del ensayo, se filtró por membrana, se sembró en agar Chromocult para coliformes totales y se llevó a incubación por un periodo de 24 horas, con el fin de observar la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano a través del recuento en placa.

**2.1.3 Etapa 3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento.** En esta etapa se observó la variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento, como son: la conductividad, turbiedad, pH, concentración de nitritos, hierro y fosfatos, dureza, alcalinidad total, disminución de coliformes totales y coliformes fecales en las matrices de estudio con cada producto comercial.

**2.1.3.1 Determinación de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) por medio del Método Colorimétrico. (SM 4500- $\text{NO}_2^-$ - B).** El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) se determina mediante la formación de un colorante azo de color purpura mediante el acoplamiento de la sulfanilamida diazotizada con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina a pH entre 2.0 y 2.5 como se puede observar en la Figura 3 (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. Ed, 2005; Snoeyink et al., 1987, págs. 234-238)

Se elaboró una curva de calibración de nitritos partiendo de un standard trazable de 304,35  $\text{mgNO}_2^- \text{N/L}$  empleando las siguientes concentraciones (0,01; 0,05; 0,1; 0,15 y 0,2  $\text{mgNO}_2^-$

N/L), y para determinar la concentración de nitritos presentes en las muestras de estudio se aplicó la Ecuación de la recta.

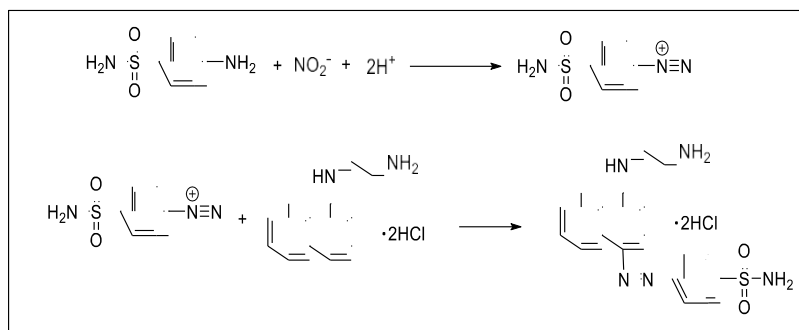


Figura 3. Reacción de nitritos empleando el método colorimétrico.

Adaptada de “Química ambiental, y Química del agua”, por Baird C. , 2001; Snoeyink et al., 1987.

**2.1.3.2 Medición del pH.** El pH es un parámetro in situ, el cual se realizará con un pHmetro y un electrodo calibrado.

**2.1.3.3 Medición de la alcalinidad total por medio del método titulométrico. (SM 2320B).**

El método titulométrico se basa en la reacción entre un ácido estándar adicionado a la muestra y los iones hidroxilos formados, como resultado de procesos de hidrólisis y/o disociación; por lo tanto, la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado durante la adición del ácido; este pH recomendado es de 4.5, por debajo de este valor ya no existen iones carbonatos ni bicarbonatos, como se puede observar en la Figura 4. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. Ed, 2005, págs. 2.27-2.29)

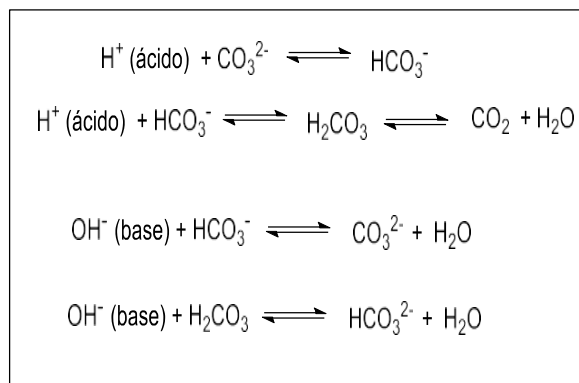


Figura 4. Reacción química para la alcalinidad.

Adaptado de “Environmental chemistry, y Química del agua”, por Baird & Cann, 2008; Snoeyink et al., 1987.

Para calcular la alcalinidad total en las muestras de estudio se empleó la siguiente formula:

**Ecuación 1.** Determinación de la alcalinidad

$$\text{Alcalinidad total, como } \frac{\text{mgCaCO}_3}{L} = \frac{V_H * N * 50000}{V_m}$$

Donde:

$V_H$ : volumen del ácido (mL) empleado en la titulación

$N$ : normalidad del ácido utilizado para la determinación

$V_m$ : volumen de la muestra (mL)

**2.1.3.4 Dureza total por medio del método titulométrico con EDTA (SM 2340 C).** Este método se basa en la formación de un quelato complejo soluble entre la sal sódica del ácido etilendiaminotetra-acético (EDTA) y los iones calcio y magnesio presentes en solución a pH 10 y 0,1. El procedimiento es una valoración en la cual se utiliza el EDTA como titulante y el negro de eriocromo como indicador del punto final, la titulación se considera terminada cuando se

produce un cambio de color violeta a azul marino, como se observa en la Figura 5 (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. Ed, 2005, págs. 2.27-2.29)

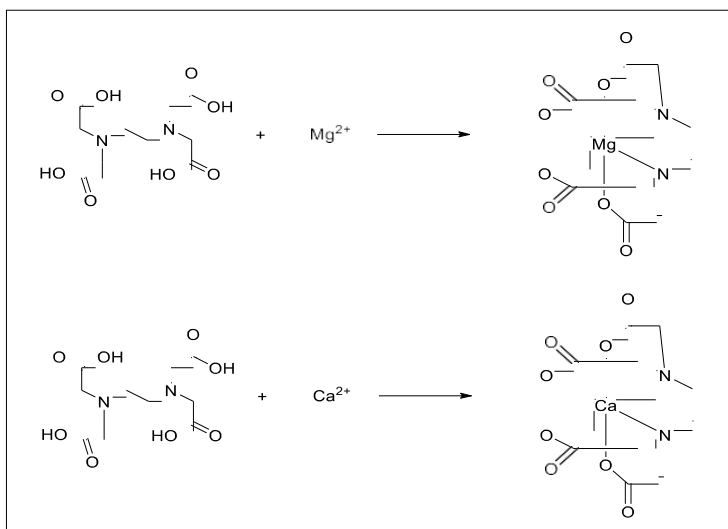


Figura 5. Reacción química para la determinación de dureza total.

Adaptado de “Química del agua”, por Snoeyink et al., 1987.

Para calcular la dureza total en las muestras de estudio se empleó la siguiente formula:

**Ecuación 2.** Determinación de la dureza total

$$Dureza\ total\ (EDTA),\ como\ \frac{mgCaCO_3}{L} = \frac{V * M}{V_m} * 100091$$

Donde:

V: volumen consumido de EDTA (mL)

M: molaridad del EDTA (mol/L)

V<sub>m</sub>: volumen de la muestra (mL)

**2.1.3.5 Conductividad (SM 2510B).** Se realizó la medida de la conductancia teniendo en cuenta las instrucciones de manejo del conductímetro. Para cada muestra se repitió todo el tratamiento anterior. (Eaton & Andrew D., 2005, pág. 2.45)

Después de cada serie de medidas se recomienda recalibrar con solución de KCl 0.005 N. Esta operación se debe efectuar cada semana con las soluciones 0.1, 0.005 y 0.001 N, que deben dar lecturas entre 890.2, 717.5 y 146.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente.

**2.1.3.6 Turbidez (SM 2130B).** El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra, bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia (formacina) bajo las mismas condiciones. A mayor intensidad de la luz dispersada hay mayor turbiedad de la muestra. La suspensión del polímero de formacina se utiliza como estándar de referencia para la turbiedad, ya que sus propiedades ópticas son reproducibles (Eaton & Andrew D., 2005, pág. 2.9).

**2.1.3.7 Determinación de coliformes fecales y coliformes totales en agua por el Método de filtración por membrana en agar Chromocult (SM 9222H).** El medio de cultivo contiene el sustrato Salmón GAL-6Cloro-3indol y  $\beta\text{D}$  galactopiranosido es un sustrato cromogénico que es usado para la detección de la enzima galactosidasa de colonias bacterianas en un ensayo colorimétrico; que da como resultado el cambio de la colonia a un color rojo salmón. Esta reacción se observa cuando hay Coliformes Totales.

Para diferenciar la E. Coli de los Coliformes Totales se hace por medio del sustrato cromogénico X-Glucorósido, que reacciona con la enzima glucoronidasa pero estas también

reaccionan con el sustrato salmón-GAL produciendo un color azul-violeta en la colonia (Eaton & Andrew D., 2005, pág. 9.71).

El análisis estadístico fue realizado empleando una hoja de cálculo del software Microsoft Excel (promedio, desviación estándar, porcentaje de error, coeficiente de variación), igualmente se obtuvieron las curvas de calibración para cada método. Finalmente, se evaluó la actividad bactericida de los productos y se comparó la calidad del agua (uso consumo humano) con la normatividad Colombiana vigente, identificando el producto que presentó una mejor efectividad para la desinfección.

### **3. Resultados y análisis de resultados**

#### **3.1 Etapa 1. Determinación de la dosis efectiva del producto biotecnológico comercial (Ecoactive) y el producto químico (hipoclorito de calcio) para el tratamiento de desinfección de agua potable.**

Se empleó el método de filtración por membrana en agar Chromocult (SM 9222H), para determinar coliformes totales y fecales con cada producto, obteniendo los resultados expresados en las tablas presentes a continuación (ver Tabla 3 y 4).

La respuesta del hipoclorito de calcio frente a la desinfección de la muestra fue efectiva, se evidencia que al aumentar la cantidad de hipoclorito de calcio hubo una mayor desinfección. Los distribuidores sugieren emplear 4g de hipoclorito de calcio en 1000mL de agua (0,4%)

permitiendo emplear un exceso para la desinfección de ésta. Como se puede observar en la Tabla 3, se trabajó con cantidades inferiores a lo sugerido por los distribuidores, donde 0,4% fue la dosis efectiva, obteniendo como resultado en cada ensayo 0UFC/100mL para coliformes totales y fecales.

Tabla 3.

*Determinación de la dosis efectiva para el hipoclorito de calcio*

Concentración (%)	Coliformes totales (UFC/100mL)			Coliformes fecales (UFC/100mL)		
	I	II	III	I	II	III
Inicial	183	181	180	5	4	5
0,02	132	134	130	3	2	3
0,04	84	82	80	0	1	0
0,1	29	32	34	0	0	1
0,2	8	5	4	0	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0

Nota: Resultados obtenidos de microbiología por triplicado para hipoclorito, por Autor.

Antes de definir la dosis efectiva para el producto biotecnológico se realizó un ensayo microbiológico a través del método de siembra en profundidad para conteo de colonias de coliformes totales (agar Cromocult), donde se determinó la presencia de bacterias en el producto biotecnológico (Ver Tabla 4).

Tabla 4.

*Ensayo microbiológico en el producto biotecnológico*

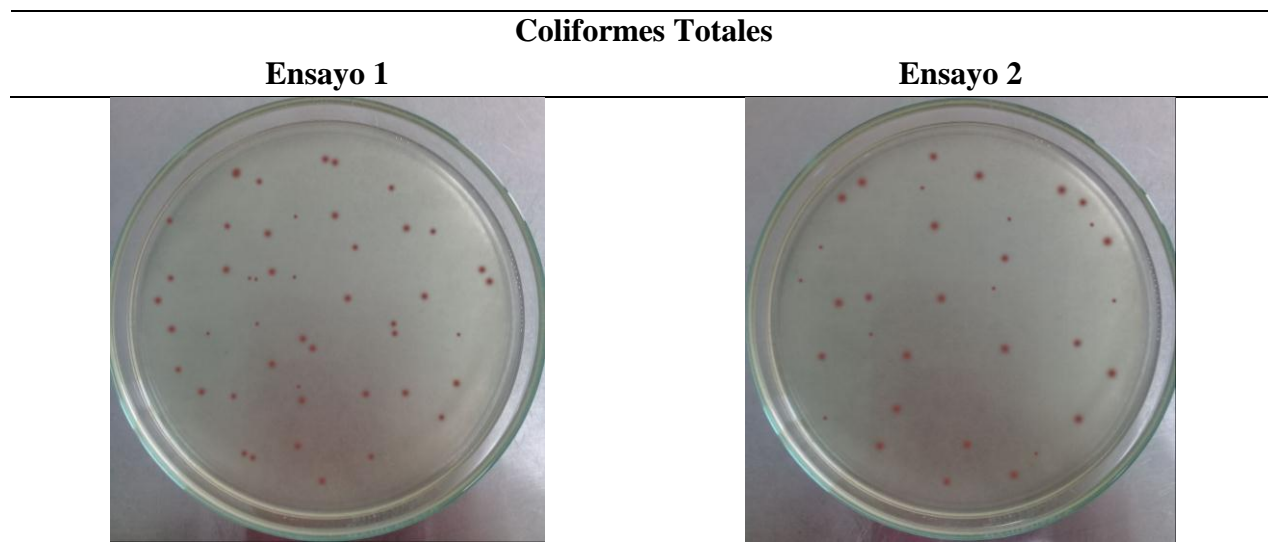


Tabla 5.

*Determinación de la dosis efectiva para el producto biotecnológico*

<b>Concentración (%)</b>	<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>			<b>Coliformes Fecales (UFC/100mL)</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Inicial</b>	183	181	180	5	4	5
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	1	1	1	1	0	1
<b>5</b>	21	20	21	0	0	0
<b>10</b>	>200	>200	>200	0	0	1

Nota: Resultados obtenidos de microbiología por triplicado para el producto biotecnológico, por Autor.

En el momento de emplear el producto biotecnológico se pudo observar que, a mayor concentración, se presentaba una menor actividad de desinfección presentando un incremento en cuanto a coliformes totales (ver Tabla 8). La dosis efectiva fue de 1%/L, presentando 0 UFC/100mL de coliformes fecales, y 0 UFC/100mL en los ensayos realizados para coliformes totales. De acuerdo con lo mencionado anteriormente se puede concluir que el producto biotecnológico al cabo de 2 horas reacciona directamente con un grupo de bacterias que entran

en la clasificación de coliformes totales. El ensayo microbiológico realizado al producto biotecnológico demostró tener una carga bacteriana, por lo que se puede afirmar que a medida que aumenta la concentración del producto hay un incremento significativo de bacterias y éstas consumirían los nutrientes existentes en la matriz de estudio, generando una aceleración en el crecimiento bacteriano (conocida como fase exponencial de las bacterias), obteniendo una respuesta totalmente diferente a la que se tenía contemplada inicialmente. Por esta razón la dosis recomendada para el producto deber ser controlada en pequeñas concentraciones (de la Rosa, Prieto & Navarro, 2011, págs. 16-17).

### **3.2 Etapa 2. Estudio del comportamiento de los productos comerciales, en función de la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano**

En esta etapa se trabajó con las dosis efectivas determinadas para el producto biotecnológico y el hipoclorito de calcio (1% y 0,4%, respectivamente), en donde se verificó la disminución de la carga bacteriana con respecto al tiempo con cada producto.

#### **3.2.1 Estudio de la evolución con la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano.**

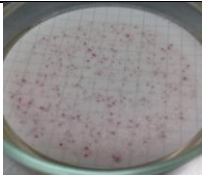
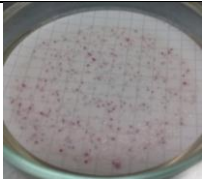
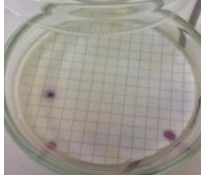
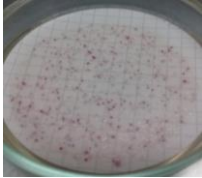
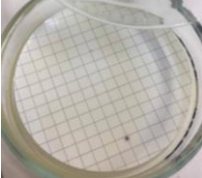
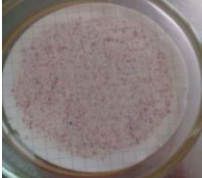
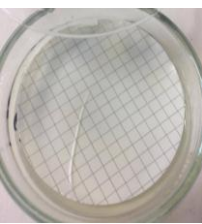
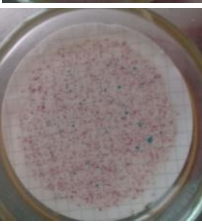
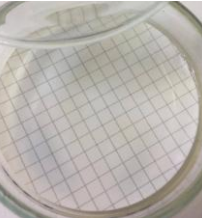

En esta parte del proyecto se observó la disminución del crecimiento bacteriano con respecto al tiempo, evaluando la presencia de coliformes totales (UFC/100mL) a intervalos de 15 minutos hasta cumplir un periodo de 2 horas y finalmente se realizó una última prueba transcurridas 3 horas, para cada producto como se puede observar en la Tabla 6.

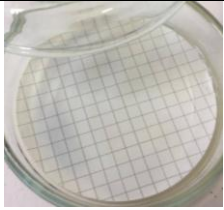
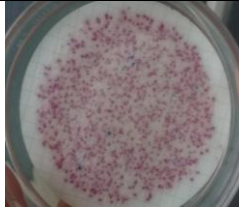
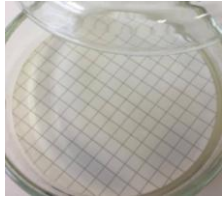
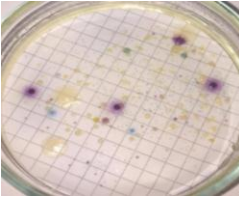
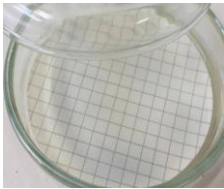
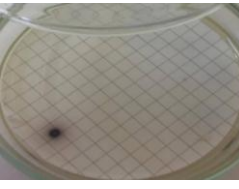
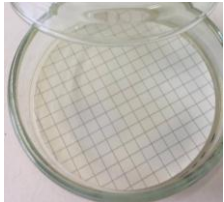
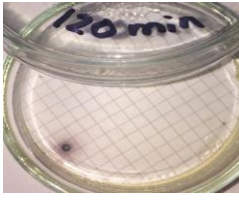
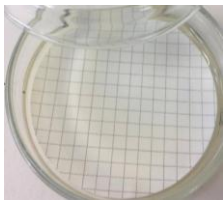
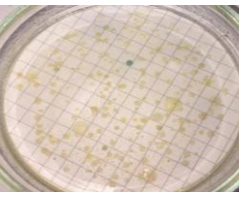
El tiempo de desinfección óptimo para el hipoclorito de calcio fue de 45 minutos, presentando un decrecimiento de la presencia de coliformes totales. Por otra parte, el producto

biotecnológico mostró una respuesta particular, donde se evidenció un crecimiento de coliformes totales hasta cumplir 75 minutos, presentándose una saturación del medio hasta llegar a un equilibrio o fase estacionaria, lo que significaría que las bacterias consumieron todos los nutrientes presentes en el medio, impidiendo su crecimiento hasta alcanzar una fase de declive o muerte a los 90 minutos y generando una disminución de bacterias hasta llegar a 0 UFC/100mL al cabo de 180 minutos (ver Tabla 6).

Tabla 6.

*Evidencia Fotográfica de la evolución de los productos*

Tiempo (min)	Hipoclorito de Calcio	Producto biotecnológico
0		
15		
30		
45		
60		

Tiempo (min)	Hipoclorito de Calcio	Producto biotecnológico
75		
90		
105		
120		
180		

Esto indica que el producto biotecnológico en el ensayo arrojó una respuesta positiva frente a la desinfección, mostrando tener una mejor actividad biocida hacia los microorganismos.

Los estudios realizados para sistemas de tratamiento con hipoclorito de calcio como agente desinfectante son muy antiguos, publicados del año 1967 hacia atrás. Los ensayos ejecutados para el tratamiento con el compuesto clorado presentaron resultados similares con estudios previos, como el de Robinton & Mood (1967), donde se determinó la actividad antibacteriana frente a dos bacterias conocidas en agua estéril, evidenciando que al cumplir 1 minuto del contacto con el hipoclorito de calcio, la presencia de *E. coli*, y de *Streptococcus fecalis* fue igual

a cero; en comparación a este producto no se evidenció presencia de coliformes fecales al cabo de 15 minutos, por el contrario mostró la presencia de 0UFC/100mL (coliformes totales) en un tiempo de 45 minutos.

Se estudió la evolución de cada producto frente a la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano, donde se evidenció que el hipoclorito de calcio presentó una alta actividad de desinfección en menor tiempo, en comparación al producto biotecnológico

### **3.3 Etapa 3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento.**

En esta etapa se determinó la presencia de nitritos, hierro, fosfatos, dureza total, alcalinidad, turbiedad, pH, conductividad, coliformes totales y fecales a cinco muestras provenientes de acueductos veredales de Bucaramanga, antes y después del tratamiento realizado con cada producto, comparando los resultados obtenidos con la normatividad colombiana.

**3.3.1 Análisis estadístico para la determinación de nitritos** Se elaboró una curva de calibración de nitritos partiendo de un standard trazable de  $304,35 \text{ mgNO}_2^-/\text{N/L}$  empleando las siguientes concentraciones (0,01; 0,05; 0,1; 0,15 y 0,2  $\text{mgNO}_2^-/\text{N/L}$ ).

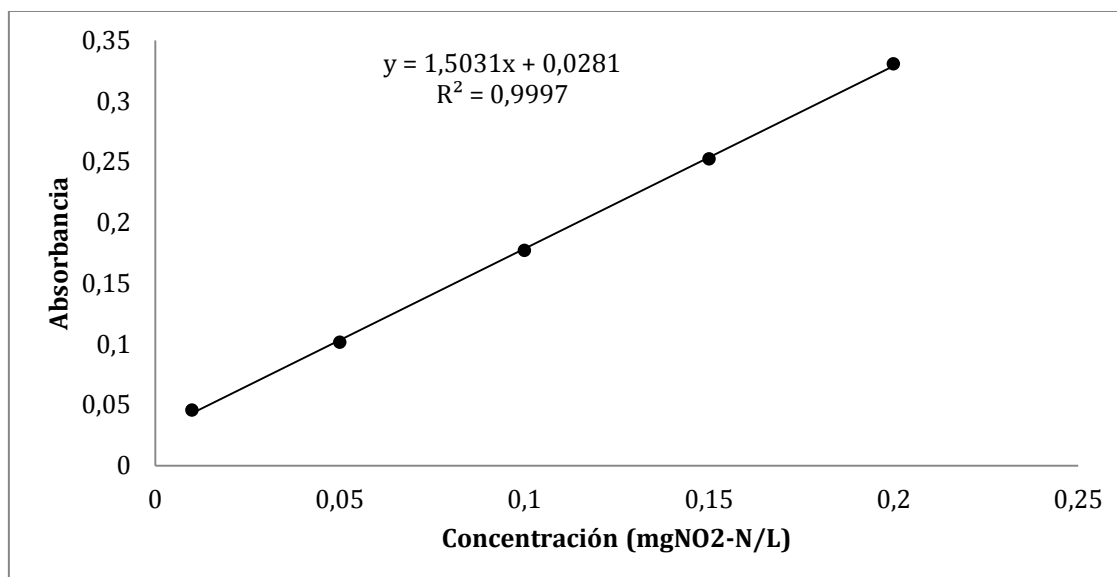


Figura 6. Curva de calibración de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), por Autor.

Para calcular la concentración de nitritos en cada muestra de estudio se empleó la ecuación de la recta presente en la Figura 6, se tomaron las absorbancias promediadas presentes en la Tabla 7 y se realizó el cálculo presente a continuación:

$$y = 1.5031x + 0.0281$$

$$x = \frac{0.187 - (0.0281)}{1.5031}$$

$$x = 0.106 \text{ mgNO}_2^- \text{N/L}$$

De acuerdo con el Standard Methods, las unidades empleadas para la curva de calibración está dado en  $\text{mgNO}_2^- \text{N/L}$ , algunos libros reportan estas unidades en  $\text{mgNO}_2^- \text{/L}$ , y para la conversión de unidades se emplea el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{mgNO}_2^-}{L} = \frac{\text{mgNO}_2^- \text{N}}{L} * \frac{PMNO_2}{PMN}$$

$$0.348 \frac{\text{mgNO}_2^-}{L} = 0.106 \frac{\text{mgNO}_2^- \text{N}}{L} * \frac{46}{14}$$

Tabla 7.

*Resultados obtenidos para nitritos*

	Absorbancias a 543nm			Promedio	Concentración mgNO <sub>2</sub> -N/L	Concentración mgNO <sub>2</sub> -L
	I	II	III			
<b>Muestra 1</b>	0,187	0,186	0,188	0,187	0.106	0.348
<b>Hipoclorito de calcio 1</b>	0.179	0.179	0.178	0.179	0.100	0.329
<b>Producto Biotec. 1</b>	0.068	0.067	0.066	0.068	0.026	0.087
<b>Muestra 2</b>	0.216	0.217	0.218	0.217	0.126	0.217
<b>Hipoclorito de Calcio 2</b>	0.202	0.203	0.204	0.203	0.116	0.098
<b>Producto Biotec. 2</b>	0.069	0.069	0.068	0.069	0.027	0.089
<b>Muestra 3</b>	0.224	0.222	0.225	0.224	0.130	0.427
<b>Hipoclorito de Calcio 3</b>	0.209	0.213	0.211	0.211	0.122	0.400
<b>Producto Biotec. 3</b>	0.070	0.071	0.069	0.070	0.027	0.092
<b>Muestra 4</b>	0.327	0.326	0.328	0.327	0.199	0.653
<b>Hipoclorito de Calcio 4</b>	0.267	0.266	0.266	0.266	0.158	0.520
<b>Producto Biotec. 4</b>	0.074	0.072	0.073	0.073	0.029	0.098
<b>Muestra 5</b>	0.166	0.165	0.165	0.165	0.091	0.299
<b>Hipoclorito de Calcio 5</b>	0.159	0.159	0.158	0.159	0.087	0.286
<b>Producto Biotec. 5</b>	0.088	0.087	0.089	0.088	0.039	0.085

**3.3.2 Análisis estadístico para la determinación de hierro** Se elaboró una curva de calibración de hierro, partiendo de una solución intermedia de 100 mg Fe /L de, empleando las siguientes concentraciones (0,2; 0,3; 0,5; 0,7 y 1,0 mgFe/L).

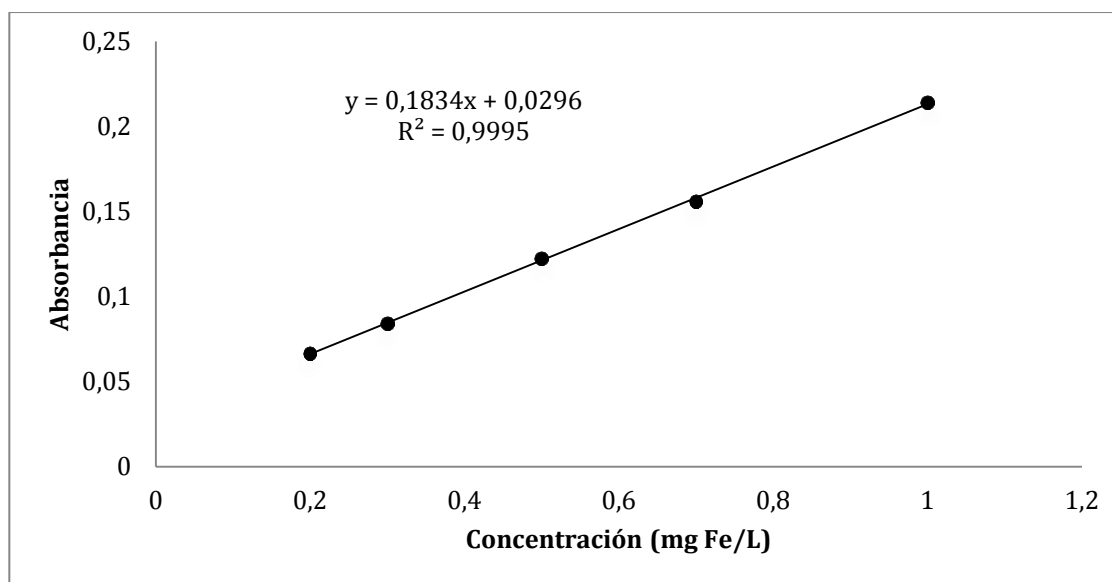


Figura 7. Curva de calibración del hierro, por Autor

Para calcular la concentración de hierro en cada muestra de estudio se empleó la ecuación de la recta presente en la Figura 7, se tomaron las absorbancias promediadas presentes en la Tabla 8 y se realizó el cálculo presente a continuación:

$$y = 0.1834x + 0.0296$$

$$x = \frac{0.145 - (0.0281)}{1.5031}$$

$$x = 0.629 \text{ mg Fe/L}$$

Tabla 8.

*Resultados obtenidos para hierro.*

	Absorbancias a 510nm			Promedio	Concentración mg Fe/L
	I	II	III		
<b>Muestra 1</b>	0.147	0.145	0.143	0.145	0.629
<b>Hipoclorito de calcio 1</b>	0.083	0.084	0.085	0.084	0.373
<b>Producto Biotec. 1</b>	0.078	0.080	0.079	0.079	0.269
<b>Muestra 2</b>	0.123	0.125	0.124	0.123	0.913
<b>Hipoclorito de Calcio 2</b>	0.083	0.081	0.082	0.081	0.596
<b>Producto Biotec. 2</b>	0.067	0.067	0.066	0.067	0.307
<b>Muestra 3</b>	0.232	0.231	0.232	0.232	1.103
<b>Hipoclorito de Calcio 3</b>	0.080	0.081	0.081	0.081	0.940
<b>Producto Biotec. 3</b>	0.084	0.083	0.082	0.082	0.389
<b>Muestra 4</b>	0.104	0.105	0.105	0.105	0.411
<b>Hipoclorito de Calcio 4</b>	0.080	0.087	0.085	0.084	0.318
<b>Producto Biotec. 4</b>	0.062	0.061	0.062	0.062	0.177
<b>Muestra 5</b>	0.097	0.098	0.099	0.098	0.373
<b>Hipoclorito de Calcio 5</b>	0.065	0.064	0.066	0.065	0.193
<b>Producto Biotec. 5</b>	0.044	0.045	0.045	0.045	0.084

**3.3.3 Análisis estadístico para la determinación de fosfatos** Se elaboró una curva de calibración de fosfatos, partiendo de una solución intermedia de 5 mgPO<sub>4</sub>P/L, empleando las siguientes concentraciones (0,1; 0,25; 0,5; 0,75 y 1,0 mgPO<sub>4</sub>P/L).

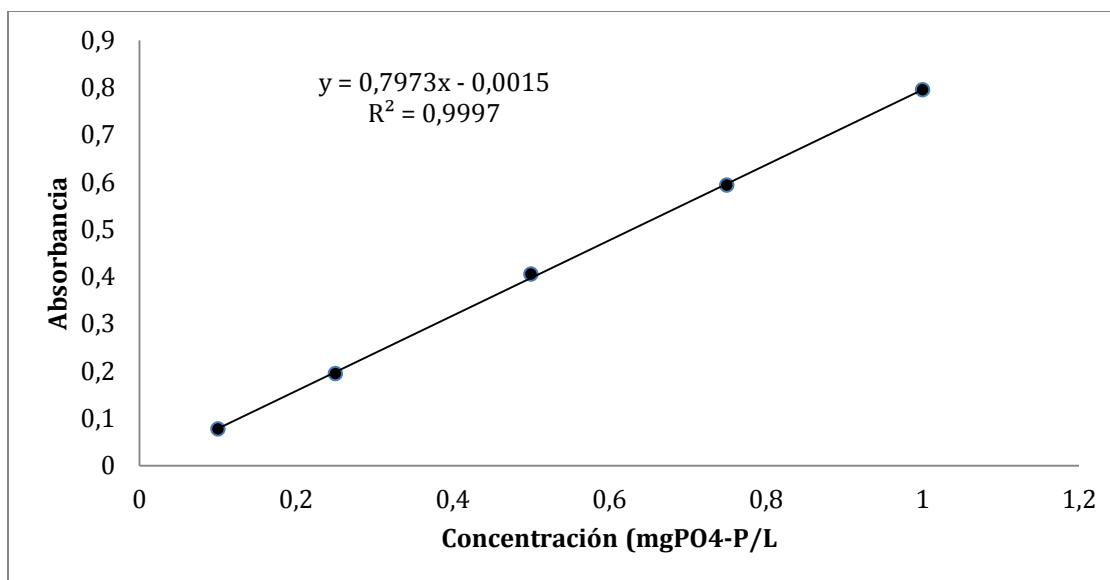


Figura 8. Curva de calibración de fosfatos, por Autor.

Para calcular la concentración de fosfatos en cada muestra de estudio se empleó la ecuación de la recta presente en la Figura 8, se tomaron las absorbancias promediadas presentes en la Tabla 9 y se realizó el cálculo presente a continuación:

$$y = 0.7973x - 0.0015$$

$$x = \frac{0.569 + (0.0015)}{0.9773}$$

$$x = 0.715 \text{ mgPO}_4\text{P/L}$$

De acuerdo con el Standard Methods las unidades empleadas para curva de calibración está dado en mgPO<sub>4</sub>P/L, algunos libros reportan estas unidades en mgPO<sub>4</sub>/L, y para la conversión de unidades se emplea el siguiente cálculo:

$$\frac{\text{mgPO}_4}{L} = \frac{\text{mgPO}_4\text{-P}}{L} * \frac{\text{PMPO}_4}{\text{PMP}}$$

$$2.19 \frac{\text{mgPO}_4}{L} = 0.715 \frac{\text{mgPO}_4\text{-P}}{L} * \frac{94.97}{30.97}$$

Tabla 9.

*Resultados obtenidos para Fosfatos*

	Absorbancias 690nm			Promedio	Concentración mgPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> P/L	Concentración mgPO <sub>4</sub> /L
	I	II	III			
<b>Muestra 1</b>	0.569	0.568	0.568	0.569	0.715	2.19
<b>Hipoclorito de calcio 1</b>	0.332	0.333	0.331	0.332	0.418	1.28
<b>Producto Biotec. 1</b>	0.124	0.123	0.123	0.122	0.154	0.475
<b>Muestra 2</b>	0.587	0.588	0.586	0.587	0.738	2.26
<b>Hipoclorito de Calcio 2</b>	0.358	0.357	0.357	0.358	0.450	0.55
<b>Producto Biotec. 2</b>	0.139	0.138	0.139	0.139	0.176	0.501
<b>Muestra 3</b>	0.484	0.483	0.484	0.484	0.608	1.87
<b>Hipoclorito de Calcio 3</b>	0.408	0.407	0.406	0.408	0.513	1.57
<b>Producto Biotec. 3</b>	0.141	0.142	0.143	0.141	0.178	0.448
<b>Muestra 4</b>	0.398	0.399	0.398	0.398	0.501	1.54
<b>Hipoclorito de Calcio 4</b>	0.354	0.353	0.352	0.353	0.444	1.36
<b>Producto Biotec. 4</b>	0.111	0.110	0.110	0.111	0.141	0.432
<b>Muestra 5</b>	0.376	0.377	0.375	0.376	0.473	1.45
<b>Hipoclorito de Calcio 5</b>	0.255	0.255	0.254	0.255	0.321	0.986
<b>Producto Biotec. 5</b>	0.098	0.099	0.099	0.099	0.126	0.386

**3.3.4 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con cada producto de estudio.** En esta sección se determinaron las características mencionadas anteriormente, se compararon los resultados obtenidos antes y después del tratamiento con cada producto y se identificaron las posibles variaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (ver Tabla 10 y 11).

Tabla 10.

*Resultados obtenidos de las muestras de agua antes y después del tratamiento con hipoclorito de calcio.*

Parámetros	Hipoclorito de Calcio									
	Muestra 1*		Muestra 2*		Muestra 3*		Muestra 4*		Muestra 5*	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
<b>Color (UPC)</b>	7.0	6.5	8.0	7.3	6.0	5.3	1.0	0.09	4.0	3.2
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2.3	2.0	2.0	1.9	0.41	0.38	0.63	0.62	0.70	0.68
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	98	350	198	261	58	105	66	139	57	98
<b>pH</b>	7.6	4.25	7.6	4.52	7.9	4.12	7.9	3.98	7.4	3.86
<b>Alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	26	15	50	21	32	13	22	09	24	11
<b>Dureza total (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	260	297	450	535	290	358	270	297	200	277
<b>Hierro (mgFe/L)</b>	0.629	0.301	0.513	0.285	1.103	0.284	0.411	0.301	0.373	0.193
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub>-/L)</b>	0.349	0.329	0.217	0.098	0.428	0.400	0.653	0.520	0.299	0.286
<b>Fosfatos (mgPO<sub>4</sub><sup>-</sup>/L)</b>	2.19	1.28	2.26	0.55	1.87	1.57	1.54	1.36	1.45	0.986
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	196	0	244	0	183	0	196	0	268	0
<b>Coliformes fecales (UC/100mL)</b>	11	0	12	0	5	0	28	0	20	0

*Nota:* \*Promedios de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos en la muestra de estudio.

La presencia del hipoclorito de calcio a pesar de obtener una desinfección eficaz generó una disminución del pH acidificando el agua, igualmente una disminución de los nitritos, hierro y fosfatos presentes y un aumento significativo en la conductividad y dureza total. (Ver Tabla 10). De acuerdo con Kebabjian (1995) la presencia de ácido hipocloroso (formado por parte de la disociación de hipoclorito de calcio al ser añadido en el agua) es uno de los primeros agentes encargados en la oxidación de la materia orgánica y la destrucción de virus y bacterias.

Tabla 11.

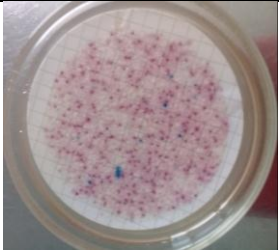
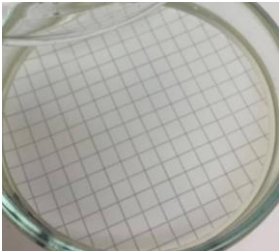
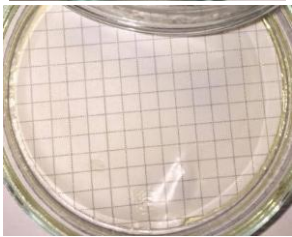
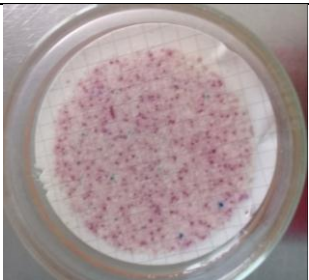
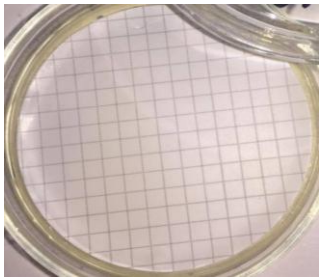
*Resultados obtenidos de las muestras de agua antes y después del tratamiento con el producto biotecnológico.*

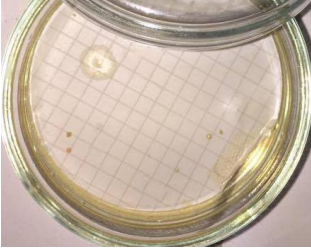
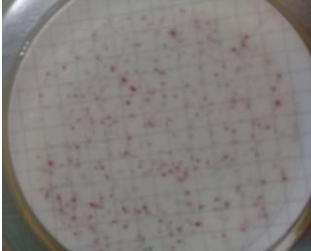


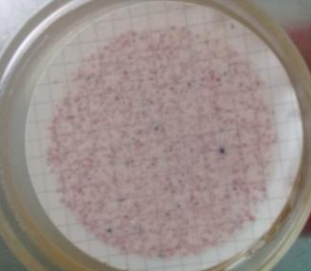
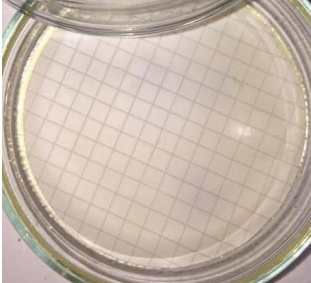
Parámetros	Producto biotecnológico									
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
<b>Color (UPC)</b>	7.0	6.2	8.0	7.0	6.0	5.1	1.0	0.09	4.0	3.1
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2.3	2.0	2.0	1.7	0.41	0.36	0.63	0.61	0.70	0.67
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	98	102	198	201	58	62.3	66	71.2	57	63.2
<b>pH</b>	7.6	7.5	7.6	7.4	7.9	7.6	7.9	7.9	7.4	7.1
<b>Alcalinidad (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	26	37	50	63	32	43	22	34	24	36
<b>Dureza total (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	260	280	450	465	290	200	270	281	200	215
<b>Hierro (<math>\text{mgFe}/\text{L}</math>)</b>	0.629	0.269	0.513	0.207	1.103	0.289	0.411	0.177	0.373	0.084
<b>Nitritos (<math>\text{mgNO}_2^-/\text{L}</math>)</b>	0.349	0.087	0.217	0.089	0.428	0.092	0.653	0.098	0.299	0.085
<b>Fosfatos (<math>\text{mgPO}_4^-/\text{L}</math>)</b>	2.19	0.475	2.26	0.501	1.87	0.448	1.54	0.432	1.45	0.386
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	196	0	244	0	183	0	196	0	268	0
<b>Coliformes fecales (UFC/100mL)</b>	12	0	12	0	5	0	28	0	20	0

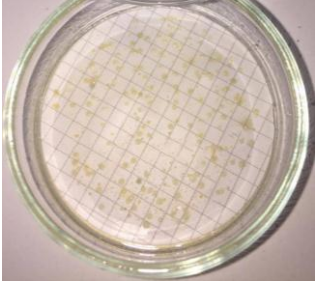
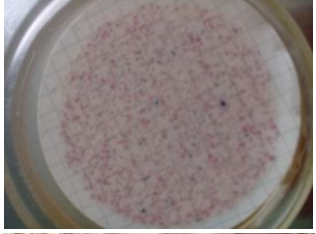
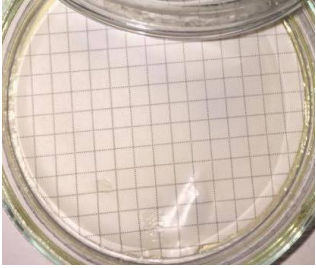
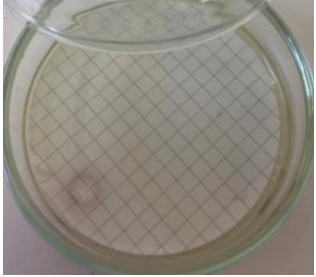
En cuanto al producto biotecnológico se pudo evidenciar que sus propiedades fisicoquímicas presentaron un aumento poco significativo para el caso de la conductividad, dureza total y cálcica (ver Tabla 11). Por el contrario, el contenido de nitritos, hierro y fosfatos mostraron un cambio significativo (disminuyendo su concentración, reportando niveles aceptables por la normatividad colombiana), esto se debe a la posible presencia de bacterias nitrobacter, las cuales se encargan de oxidar los nitritos presentes transformándolos en nitratos, causando un proceso de nitrificación en el transcurso de la desinfección (Gray, 2004, pág. 60; Tortora et al., 2007, pág. 318).

Tabla 12.

*Evidencia fotográfica del ensayo microbiológico con las muestras de estudio*

Acueducto Rural	Antes y después del tratamiento de desinfección	Coliformes Totales
<p><b>Muestra 1</b> <b>Vereda Vijagual</b></p>	<p>Antes del tratamiento de desinfección</p>	
	<p>Tratamiento con hipoclorito de Calcio</p>	
	<p>Tratamiento con producto biotecnológico</p>	
<p><b>Muestra 2</b> <b>Vereda El Nogal 2</b></p>	<p>Antes del tratamiento de desinfección</p>	
	<p>Tratamiento con hipoclorito de Calcio</p>	

Acueducto Rural	Antes y después del tratamiento de desinfección	Coliformes Totales
<p><b>Muestra 3</b> Vereda San Pedro Bajo</p>	Tratamiento con producto biotecnológico	
	Antes del tratamiento de desinfección	
	Tratamiento con hipoclorito de Calcio	
<p><b>Muestra 4</b> Vereda San Pedro Alto</p>	Tratamiento con producto biotecnológico	
	Antes del tratamiento de desinfección	
Tratamiento con hipoclorito de Calcio		

Acueducto Rural	Antes y después del tratamiento de desinfección	Coliformes Totales
<b>Muestra 5 Vereda San Cayetano</b>	Tratamiento con producto biotecnológico	
	Antes del tratamiento de desinfección	
	Tratamiento con hipoclorito de Calcio	
	Tratamiento con producto biotecnológico	

Para el producto biotecnológico se obtuvo una respuesta similar en las cinco muestras analizadas, demostrando que su uso como desinfectante no afecta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua y cumple con los valores aceptables descritos en la Resolución 2115 de 2007 para cada parámetro. Este producto garantiza la calidad del agua para uso de consumo humano, cumpliendo con una alta efectividad en cada uno de los parámetros evaluados. La reducción de la carga bacteriana es uno de los principales factores que inciden en el poder de

remoción y/o eliminación. Por consiguiente, se puede asegurar un balance correcto del agua en estos acueductos veredales, con la utilización de éste producto biotecnológico.

**3.3.5 Análisis de cumplimiento normativo.** En este fragmento se compararon los resultados registrados en las Tablas 10 y 11, para cada muestra problema con la normatividad Colombiana vigente, empleando como referencia la Resolución 2115 de 2007 (ver Tablas 13, 14, 15, 16 y 17) y el Decreto 1594 de 1984 (ver Tablas 18, 19, 20, 21 y 22)

**3.3.5.1 Análisis del cumplimiento resolución 2115 de 2007.** Se analizan los resultados obtenidos para los cinco acueductos veredales de Bucaramanga y la aplicación de los dos productos (hipoclorito de calcio y producto biotecnológico), bajo los criterios establecidos en la Resolución 2115 de 2007, la cual adopta las medidas aplicables a las aguas para consumo humano. (Ver Tabla 13, 14, 15, 16 y 17).

Tabla 13.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de Vijagual y la Resolución 2115 de 2007*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	15	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Conductividad (µS/cm)</b>	1000	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-9.0	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	200	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Dureza total (mgCaCO<sub>3</sub>/L)</b>	300	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Hierro (mgFe/L)</b>	0.3	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L)</b>	0.1	No Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Fosfatos (mgPO<sub>4</sub><sup>-</sup>/L)</b>	0.5	No Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes fecales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple

Nota: La muestra de Agua es No Cumple para consumo humano, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico según la Resolución 2115 de 2007.

En la Tabla 13, se pueden observar los parámetros que no cumplen con los Art. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 11 de la Resolución 2115 de 2007 para la muestra tomada del acueducto rural, ubicado en la vereda Vijagual de Bucaramanga, antes y después del tratamiento de desinfección con cada producto. A su vez, se observó que el comportamiento para la mayoría de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes del tratamiento fueron no aceptables, lo cual puede generar un riesgo microbiológico a los usuarios que hagan uso de este acueducto.

Después del tratamiento, la muestra presentó variaciones en sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, al compararse con la Resolución 2115 de 2007, se identificó que el uso de hipoclorito de calcio a pesar de presentar una respuesta positiva en cuanto a la carga bacteriana mostró una diferencia en dos parámetros fisicoquímicos (pH) los cuales se encuentran fuera del rango, de los valores aceptables por la normatividad colombiana. Para mantener el balance químico del agua con este tratamiento de acuerdo con el protocolo realizado por la empresa de Andesia Group se recomienda la aplicación de carbonato de sodio con el fin de neutralizar el pH, e igualmente esto permitirá aumentar la concentración de la alcalinidad (Andesia Group, 2017).

Tabla 14.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de El Nogal y la Resolución 2115 de 2007.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	15	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	1000	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-9.0	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Alcalinidad (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	200	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Dureza total (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	300	No Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Hierro (<math>\text{mgFe}/\text{L}</math>)</b>	0.3	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Nitritos (<math>\text{mgNO}_2^-/\text{L}</math>)</b>	0.1	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Fosfatos (<math>\text{mgPO}_4^-/\text{L}</math>)</b>	0.5	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes fecales</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple

Parámetro	Valores aceptables	Muestra 2	Hipoclorito de calcio	Producto biotecnológico
-----------	--------------------	-----------	-----------------------	-------------------------

(UFC/100mL)

Nota: La muestra de Agua es No Cumple para consumo humano, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico según la Resolución 2115 de 2007.

En la Tabla 14 se identifican los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que no cumplen con los valores aceptables descritos en la Resolución 2115 de 2007 para la muestra tomada en el acueducto rural, ubicado en la vereda El Nogal de Bucaramanga, antes y después del tratamiento de desinfección con cada producto. Antes del tratamiento de desinfección, se evidenció que el comportamiento para la mayoría de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, fueron no aceptables, es decir, que algunas características fisicoquímicas (dureza total, hierro, nitritos y fosfatos), se encontraban fuera del rango de los valores aceptables, según la normatividad colombiana. En el ámbito microbiológico, también se obtuvieron resultados fuera de los valores aceptables respecto a la normatividad, lo cual puede generar un riesgo microbiológico a los usuarios que hagan uso de este acueducto.

Después del tratamiento de desinfección con hipoclorito de calcio, los parámetros pH y dureza total están fuera del rango permisible en la Resolución 2115 de 2007. Según el protocolo descrito por Andesia Group para el tratamiento de agua se propone neutralizar los niveles de pH con carbonato de sodio.

Tabla 15.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Bajo y la Resolución 2115 de 2007.*

Parámetro	Valores aceptables	Muestra 3	Hipoclorito de calcio	Producto biotecnológico
Color (UPC)	15	Cumple	Cumple	Cumple
Turbiedad (UNT)	2	Cumple	Cumple	Cumple
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1000	Cumple	Cumple	Cumple
pH	6.5-9.0	Cumple	No Cumple	Cumple

Parámetro	Valores aceptables	Muestra 3	Hipoclorito de calcio	Producto biotecnológico
Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	200	Cumple	Cumple	Cumple
Dureza total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	300	Cumple	No Cumple	Cumple
Hierro (mgFe/L)	0.3	No Cumple	Cumple	Cumple
Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	0.1	No Cumple	No Cumple	Cumple
Fosfatos (mgPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /L)	0.5	No Cumple	No Cumple	Cumple
Coliformes totales (UFC/100mL)	0	No Cumple	Cumple	Cumple
Coliformes fecales (UFC/100mL)	0	No Cumple	Cumple	Cumple

Nota: La muestra de Agua es No Cumple para consumo humano, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico según la Resolución 2115 de 2007.

En la Tabla 15 se pueden observar los distintos parámetros que no cumplen con los valores aceptables descritos en la Resolución 2115 de 2007 para la muestra tomada en el acueducto rural, ubicado en la vereda San Pedro Bajo de Bucaramanga, antes y después del tratamiento de desinfección con cada producto.

Antes del tratamiento se evidencio que la mayoría de sus parámetros fisicoquímicos no cumplieron con los valores aceptables, a excepción del pH; en relación con la parte microbiológica los resultados para coliformes totales y coliformes fecales, no cumplieron con los valores aceptables de la norma, lo que indica que puede generar un riesgo físico y microbiológico para los usuarios que hagan uso de este acueducto rural.

Después del tratamiento de desinfección, mediante el uso de hipoclorito de calcio en el ensayo, se presentó una variación de pH.

Tabla 16.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Alto y la Resolución 2115 de 2007.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	15	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	1000	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-9.0	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Alcalinidad (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	200	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Dureza total (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	300	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Hierro (<math>\text{mgFe/L}</math>)</b>	0.3	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Nitritos (<math>\text{mgNO}_2/\text{L}</math>)</b>	0.1	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Fosfatos (<math>\text{mgPO}_4/\text{L}</math>)</b>	0.5	No Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes fecales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple

Nota: La muestra de Agua es No Cumple para consumo humano, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico según la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 17.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto rural de la vereda San Cayetano y la Resolución 2115 de 2007.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 5</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	15	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	2	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Conductividad (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	1000	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-9.0	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Alcalinidad (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	200	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Dureza total (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	300	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Hierro (<math>\text{mgFe/L}</math>)</b>	0.3	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Nitritos (<math>\text{mgNO}_2/\text{L}</math>)</b>	0.1	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Fosfatos (<math>\text{mgPO}_4/\text{L}</math>)</b>	0.5	No Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes fecales (UFC/100mL)</b>	0	No Cumple	Cumple	Cumple

Nota: La muestra de Agua es No Cumple para consumo humano, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico según la Resolución 2115 de 2007.

En la Tabla 17, se pueden observar los distintos parámetros que no cumplen con los valores aceptables descritos en la Resolución 2115 de 2007 para la muestra tomada en el acueducto rural, ubicado en la vereda San Cayetano de Bucaramanga, antes y después del tratamiento con cada producto.

Antes del tratamiento se evidencio que la mayoría de sus parámetros fisicoquímicos cumplieron con los valores aceptables, a excepción del pH; en relación con la parte microbiológica los resultados para coliformes totales no cumplieron con los valores aceptables de la norma, lo que indica que puede generar un riesgo físico y microbiológico para los usuarios de este acueducto rural.

Mediante el uso de hipoclorito de calcio en el ensayo, se presentó una variación de pH, como ya se mencionó anteriormente para conseguir neutralizar el pH.

Al igual que en las muestras anteriores, el uso del producto químico se evidenció que algunos parámetros no cumplen con la normatividad. Para hipoclorito de calcio se presentó una variación de pH.

Para el producto biotecnológico se obtuvo una respuesta similar en las cinco muestras analizadas, demostrando que su uso como desinfectante no afecta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua y cumple con los valores aceptables descritos en la Resolución 2115 de 2007 para cada parámetro. Este producto garantiza la calidad del agua para uso de consumo humano, cumpliendo con una alta efectividad en cada uno de los parámetros evaluados. La reducción de la carga bacteriana es uno de los principales factores que inciden en el poder de remoción y/o eliminación. Por consiguiente, se puede asegurar un balance correcto del agua en estos acueductos veredales.

**3.3.5.2 Análisis del cumplimiento Decreto 1594 de 1984.** Se analizan los resultados obtenidos para los cinco acueductos veredales de Bucaramanga y la aplicación de los dos productos comerciales bajo los criterios establecidos en la Decreto 1594 de 1984, la cual adopta los criterios de calidad para la destinación del recurso agua (ver Tabla 18, 19, 20, 21 y 22).

Tabla 18

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de Vijagual y el decreto 1594 de 1984.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	20	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	400	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-8.5	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub>/L)</b>	10	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	1.000	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 19.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de El Nogal y el decreto 1594 de 1984.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	20	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	400	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-8.5	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub>/L)</b>	10	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	1.000	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 20.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Bajo y el decreto 1594 de 1984.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	20	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	400	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-8.5	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L)</b>	10	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	1.000	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 21.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Pedro Alto y el decreto 1594 de 1984.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	20	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	400	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-8.5	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L)</b>	10	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	1.000	Cumple	Cumple	Cumple

Tabla 22.

*Evaluación de la efectividad en el acueducto veredal de San Cayetano y el decreto 1594 de 1984.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Hipoclorito de calcio</b>	<b>Producto biotecnológico</b>
<b>Color (UPC)</b>	20	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Turbiedad (UNT)</b>	400	Cumple	Cumple	Cumple
<b>pH</b>	6.5-8.5	Cumple	No Cumple	Cumple
<b>Nitritos (mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L)</b>	10	Cumple	Cumple	Cumple
<b>Coliformes totales (UFC/100mL)</b>	1.000	Cumple	Cumple	Cumple

Al comparar los resultados obtenidos de la muestra tomada en el acueducto veredal de Vijagual de Bucaramanga, antes y después del tratamiento con los parámetros descritos en el Art.

39 del Decreto 1594/84 como se puede ver en la Tabla 18, se identificó que la destinación del recurso antes del tratamiento es aceptable para agua de consumo humano y doméstica.

Al comparar los resultados obtenidos de la muestra tomada en el acueducto veredal del Nogal, ubicada en Bucaramanga, antes y después del tratamiento con los parámetros descritos en el Art. 39 del Decreto 1594/84 como se puede ver en la Tabla 19, se identificó que la destinación del recurso antes del tratamiento es aceptable para agua de consumo humano y doméstica., debido a que presenta una carga bacteriana superior 1000NMP/100mL.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la muestra tomada en el acueducto veredal de San Pedro Bajo de Bucaramanga, antes y después del tratamiento con los parámetros descritos en el Art.39 del Decreto 1594/84 como se puede ver en la Tabla 20, se identificó que la destinación del recurso antes del tratamiento es aceptable para agua de consumo humano y doméstica.

Al comparar los resultados obtenidos de la muestra tomada en el acueducto veredal de San Pedro Alto de Bucaramanga, antes y después del tratamiento con los parámetros descritos en el Art.39 del Decreto 1594/84 como se puede ver en la Tabla 21, se identificó que la destinación del recurso antes del tratamiento es aceptable para agua de consumo humano y doméstica.

Al comparar los resultados obtenidos de la muestra tomada en el acueducto veredal de San Cayetano de Bucaramanga, antes y después del tratamiento con los parámetros descritos en el Art.39 del Decreto 1594/84 como se puede ver en la Tabla 22, se identificó que la destinación del recurso antes del tratamiento es aceptable para agua de consumo humano y doméstica.

Para las muestras analizadas después del tratamiento con los tres productos de estudio se identificó que el producto biotecnológico cumple con todos los parámetros descritos en la norma, esto quiere decir que, el uso de este producto puede ser empleado para el control de microorganismos sin que afecte la destinación del uso consumo humano y doméstico En cuanto

al hipoclorito de calcio se recomienda realizar un tratamiento adicional para la neutralización del pH.

**3.3.6 Evaluación de la efectividad de los productos estudiados.** Para evaluar la efectividad de cada producto comercial como agente desinfectante, se usaron los parámetros descritos en las Resolución 2115 de 2007 como criterios de evaluación, en donde cada parámetro que cumpliera con la norma tomaría un valor de “1”, y el parámetro que no cumpliera sería valorado con “0”. Se realizó una sumatoria de las características y se calculó el porcentaje de efectividad para cada producto. Para esto se tomaron los datos presentes en las Tablas 13, 14, 15, 16 y 17. Finalmente se registraron los valores totales de la evaluación y sus correspondientes porcentajes en la Tabla 23.

Para evaluar la efectividad de cada producto comercial como agente desinfectante, se usaron los parámetros descritos en las Resolución 2115 de 2007 como criterios de evaluación, en donde cada parámetro que cumpliera con la norma tomaría un valor de “1”, y el parámetro que no cumpliera sería valorado con “0”. Se realizó una sumatoria de las características y se calculó el porcentaje de efectividad para cada producto. Para esto se tomaron los datos presentes en las Tablas 10, 11, 12, 13 y 14. Finalmente se registraron los porcentajes en la Tabla 23

Tabla 23.

*Evaluación de la efectividad de cada producto comercial estudiado*

Producto comercial	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Promedio (%)
	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	
Hipoclorito de calcio	8/11	72.7%	9/11	81.8%	7/11	63.6%	8/11	72.7%	9/11	81.8%	74.5%

Producto comercial	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		Promedio (%)
	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	Criterios que cumplen	Porcentaje de efectividad	
Producto Biotecnológico	11/11	100%	11/11	100%	11/11	100%	11/11	100%	11/11	100%	100%

Nota: Los criterios con los que se evaluó la efectividad del producto fue de acuerdo con la resolución 2115 de 2007, donde se tomaron en cuenta 11 criterios en total.

En la Tabla 23, se evidencia la efectividad del producto comercial como agente desinfectante en los acueductos veredales estudiados, obteniendo como resultado un 74.5% de efectividad para el hipoclorito de calcio. En relación al producto biotecnológico su efectividad fue de un 100%, por consiguiente se afirma que el producto biotecnológico como agente desinfectante es amigable al ambiente y no genera ningún tipo de riesgo a los usuarios en comparación con el producto químico.

Para las muestras analizadas después del tratamiento con los dos productos de estudio, se identificó que para el producto biotecnológico cumple con todos los parámetros descritos en la norma, esto quiere decir que el uso de este producto puede ser empleado para el control de microorganismos sin que afecte la destinación del uso de consumo humano y doméstico. En cuanto al hipoclorito de calcio se recomienda realizar un tratamiento adicional para la neutralización del pH con el fin de emplear este método de desinfección para aguas de uso consumo humano.

Los estudios realizados para sistemas de tratamiento con hipoclorito de calcio como agente desinfectante son muy antiguos, publicados del año 67 hacia atrás. Los ensayos ejecutados para el tratamiento con el compuesto clorado presentaron resultados similares con estudios previos, como el de Robinton & Mood (1967), donde se determinó la actividad antibacteriana frente a una

bacteria conocida en agua, evidenciando que al cumplir 1 minuto del contacto con el hipoclorito de calcio, la presencia de E. coli, fue igual a cero; en comparación a este proyecto no se evidencio presencia de coliformes fecales al cabo de 15 minutos, por el contrario mostró la presencia de 0UFC/100mL (coliformes totales) en un tiempo de 45 minutos.

En cuanto a los resultados obtenidos con el tratamiento con el producto biotecnológico no se puede discutir debido a que no hay estudios científicos reportados o publicados en esta área en especial.

#### **4. Conclusiones**

- Se determinó que la efectividad del producto biotecnológico como agente activo de desinfección es del 100%, teniendo en cuenta los criterios de calidad fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la Resolución 2115 de 2007, siendo el de mejor efectividad en relación con los el producto convencional evaluado para la desinfección de aguas para consumo humano; 74.5% de hipoclorito de calcio.
- Se utilizó el método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y fecales para agua potable, utilizando agar chromocult en el Laboratorio Departamental de Salud Pública de Santander.
- Mediante la evaluación y monitoreo de la efectividad de los procesos de tratamiento analizados y seleccionados en este proyecto, se comprobó que el producto biotecnológico

fue quien arrojó los mejores resultados de acuerdo con las características fisicoquímicas y microbiológicas obtenidas.

- Se comprobó que cada agente desinfectante presentó una eliminación total de bacterias del 100% en cada muestra de agua para consumo humano, obteniendo una dosis efectiva del 0,4% para el hipoclorito de calcio y 1% para el producto biotecnológico.
- Se estudió la evolución de cada producto frente a la ausencia o disminución del crecimiento bacteriano, donde se evidenció que el hipoclorito de calcio presentó una alta actividad de desinfección en menor tiempo, en comparación al producto biotecnológico.
- Se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de agua de acueductos veredales ubicados en Bucaramanga, antes y después del tratamiento con cada producto seleccionado. Se evidenció que el producto biotecnológico fue quien mostró un mejor comportamiento en el ensayo realizado al obtener menor variación en las propiedades fisicoquímicas en las aguas de estudio, en comparación con el hipoclorito de calcio.
- Se compararon los resultados obtenidos en los acueductos rurales ubicados en las veredas Vijagual, EL Nogal, San Pedro Bajo, San Pedro Alto y San Cayetano, de Bucaramanga, antes y después del tratamiento de desinfección, con la Resolución 2115 de 2007, en este contexto se afirma que el producto biotecnológico fue quien presentó un cumplimiento total a todos los parámetros evaluados en la norma, mejorando la calidad del agua tratada. En cuanto al hipoclorito de calcio, hubo inconformidad debido a que algunos parámetros se encontraron por fuera de los rangos descritos en la norma.

## 5. Recomendaciones

- Existe la necesidad de ampliar el estudio de este producto mediante un proyecto piloto en acueductos veredales, con el fin de corroborar su aplicabilidad en la desinfección, específicamente en lo concerniente con aguas para consumo humano, debido a que el uso de éste producto, conlleva a la minimización de carga química y menores impactos ambientales en relación con los generados por los productos convencionales.
- Se recomienda continuar esta investigación mediante el desarrollo de bioensayos evaluando la toxicidad del producto biotecnológico y del producto convencional estudiado, ya que no se cuenta con investigaciones que reporten afectación por el uso de estos desinfectantes.
- Antes de realizar un tratamiento con el producto biotecnológico, Ecoactive, se recomienda ensayo de coliformes totales para determinar la correcta dosificación del producto a analizar.
- Se recomienda efectuar de manera constante ciertas actividades para asegurar la calidad de los resultados, entre las que figuran: capacitación del personal, control de las condiciones ambientales, calibración y verificación periódica del material volumétrico e instrumentos usados en el Laboratorio Departamental de Salud Pública de Santander.



### Referencias Bibliográficas

- Aleman, E.; Guerrero, E. Evaluación de la calidad del agua en el lago de Coatepeque en el periodo de junio-agosto de 2006. Proyecto de grado, Universidad de el Salvador, Centro America: San Salvador, 2007.
- Alvarenga, G.; Aragon, E. Determinación de la calidad microbiológica del agua de piscinas ubicadas en el complejo deportivo de ciudad Merliot y el polideportivo de la Universidad de el Salvador durante tres meses del año 2011. Proyecto de grado, Universidad de el Salvador, Centro America: San Salvador, 2012.
- Arroyo Currás, T. Estudio de la efectividad de un producto biotecnológico comercial en la degradación de materia orgánica presentes en aguas residuales domésticas. Proyecto de grado, Universidad de las Américas Puebla: México, 2006.
- Baird, C. Química ambiental; Reverté: Barcelona, 2001, p. 438-439.
- Barón, S. Documento Técnico “Línea de intervención calidad de agua y saneamiento básico”; política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C.; Secretaría Distrital de Salud: Bogotá; p. 84.
- Brick, T., Primrose, B., Chandrasekhar, R., Roy, S., Muliyl, J., Y Kang, G. (2004).”Water contamination in urban south India: household storage practices and their implications for water safety and enteric infecciones”. EN: International Journal of Hygiene and Environmental Health Julio-2004 Vol. 207, No. 5, páginas 473-480
- Bu’loc, J.; Kristiansen, B.; Liras Padín, P. Biotecnología básica; Acribia: Zaragoza, 1991, p. 3-12, 21-25, 44-50.
- Contraloría General De La República (2009). “Capitulo IV: La calidad del agua para consumo humano.”
- Cornejo, K.; Esquivel, I. Determinación de la contaminación microbiológica del agua del manantial el Paterno ubicado en el municipio de Sensuntepeque, departamento de

- Cabañas. Proyecto de grado, Universidad de el Salvador, Centro América: San Salvador, 2008.
- Crabbe, S. (2004). “An Analysis of Water Quality in Small Water Treatment Plants and Households in the Yucatán Peninsula, Mexico.
- Darrigran, G. & Damborenea, C. (2001). Concentraciones letales de un biocida para adultos del molusco invasor *Limnoperna fortunei*. ACTAS Seminario Internacional sobre Gestion Ambiental e Hidroelectricidad, (págs. 119-123).
- De la Paz, J., Guiamet, P. & Gómez, S. (2009). Evaluación fitoquímica de extractos naturales de *Eucalyptus citriodora* y *Pinus caribaea* con actividad biocida. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas, 8(5), 445-448.
- De La Rosa, C.; Cano-Rodríguez, I.; RUBIO-CAMPOS, B. Análisis Físicoquímico Y Microbiológico Del Agua de La Piscina de La Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato. Jovenes En Cienc. Rev. Divulg. Cient. 2015, 1 (2), p. 1990–1994.
- Decreto 1575 De 2007. Resolución 2115 articulo 7 Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control de vigilancia para la calidad del agua para consume humano.
- Fernández Luna, A.; Burillo, P.; Plaza, M.; Sánchez Sánchez, J.; Gallardo, L. Percepción de problemas de salud en piscinas cubiertas con tratamiento químico por cloración. J. Sport Health Res. 2011, 3 (3), p. 203–210.
- Figueruelo, J. & Marino, M. (2004). Química Física del medio ambiente y de los procesos medioambientales . Barcelona: Reverté.
- Forbes, B., Sahm, D., Weissfeld, A. & Trevino, E. (2009). Diagnostico Microbiologico. Buenos Aires, Argentina: Medica Panamericana.
- Fuentes Colmeiro, R. Agro-sistemas Sostenibles Y Ecológicos: La Reconversión Agropecuaria; Universidad de Santiago de Compostela: Santiago de Compostela, 2007, p. 50, 55.
- Galvis, A. (2010). “Curso Selección de tecnología –SELTEC-”. Notas de Clase. Santiago de Cali, Colombia.

Gliessman, S. R. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible; CATIE: Turriabla, C.R., 2002, p. 33, 37.

González Bedoya, Maria Alejandra. Estandarización de las metodologías para el análisis de pH, alcalinidad y turbidez en muestras de agua potable en el laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios de Dosquebradas (AMAC). 2015. Trabajo de grado (Tecnóloga Química). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química.

García, J. A. (1996). Microbiología médica. Madrid, España: Harcourt Brace.

García, P., Fernández, M. & Paredes, F. (1997). Microbiología clínica aplicada (3a ed.). Madrid, España: Díaz Santos.

Gray, N. F. Biology of Wastewater Treatment, 2. ed.; Series on environmental science and management; Imperial College Press: London, 2004, p. 1-3,133- 138, 191-195, 643.

Gomella, C., Guerrée, H. & Cantó, J. (1977). Tratamiento de aguas para abastecimiento público. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.

Hoko, Z (2005). “An assessment of the water quality of drinking water in rural districts in Zimbabwe. The case of Gokwe South, Nkayi, Lupane, and Mwenez i districts”. EN: Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C Septiembre-2005 Vol. 30, No. 11-16, páginas 859-866

<http://www.lenntech.es/agua-subterranea/hierro.htm> Fecha de consulta 05 de mayo de 2017.

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/n.htm#ixzz4nfacExfW>. Fecha de consulta 06 de mayo de 2017.

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm>. Fecha de consulta 05 de mayo de 2017.

Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Agua para todos, agua para la vida, Versión Española, UNESCO. París, Francia, 2003.

Ingeniería Sanitaria A4 Capitulo 03 Características del Agua Potable.pdf

Ingeniería y Soluciones Ambientales PROISA SAS. (2016). Ficha técnica catalizador natural Ecoactive. Santander: Jonathan Roa.

Ingraham, J., Ingraham, C., Prentiss, H., Nieto, J., Quesada, E. & Ventosa, A. (1998). Introducción a la microbiología. Barcelona, España: Reverté.

Junta De Castilla Y León. Manual de tratamientos del agua de consumo humano, Consejería de Sanidad, España.

Khan, S., Shahnaz, M., Jehan, N., Rehman, S., Shah, M., Din, I. (2012). “Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan” Marzo-2012

Lescano, A., Oswald, W Bern, C., Calderon, M., Cabrera, L. Y Gilman, R. (2007). “Fecal Contamination of Drinking Water within Peri-Urban Households, Lima, Peru”. EN: Tropical Medicine and Hygiene. Enero-2007. Volumen 14. No. 6. Paginas 699-704

Mac Faddin, J. F.; Rondinone, S.; Giovannello, O. Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica; Médica Panamericana: Buenos Aires; México, D.F., 2003, p. 764.

Male, D. (2007). Inmunología. Madrid: Elsevier.

Mendoza Gomez, Mónica Marcela; Ibañez Pinedo, William. Módulo Recurso del agua III. Tratamiento de agua potable, operación, procesos, talleres y monitoreo. 2006. Trabajo de Grado (Especialista en Ingeniería Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química.

Ministerio de agricultura. (6 de Junio de 1984). Decreto 1594 de 1984- Norma de vertimiento de residuos líquidos. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: La Republica de Colombia.

- Ministerio de Agricultura del Perú. (1983). Normas legales de sanidad agrícola del Perú. Lima: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Programa de Sanidad.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. (25 de Octubre de 2010). Decreto 3930 de 2010. Usos y ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos al recurso. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia: MAVDT.
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 Del 22 De Junio De 2007. Bogotá, Colombia.
- Moreno, B. (2006). Higiene e inspección de carnes, volumen I: procedimientos recomendados e interpretación de la normativa legal II. Madrid: Díaz de Santos.
- OMS. (2004). Informe sobre la salud en el mundo. Obtenido de <http://www.who.int/whr/2004/es/>
- OMS. (Noviembre de 2016). Agua. (O. M. Salud, Editor) Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Osorio, F., Torres, J. & Sánchez, M. (2000). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes, aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. Barcelona: Días de Santos.
- Osorio Vélez, Francy Julieth; Sandino Vargas, Daniela. Validación de una metodología analítica para la determinación de fenoles y fosfatos en agua cruda, tratada y residual por el método de espectrofotometría de absorción para el Laboratorio de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira. 2012. Trabajo de grado (Tecnóloga Química). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química.
- Osorio Zapata, Gina; Picado Peñalba, Edwin. Estudio preliminar para el desarrollo del método “Determinación de aniones en aguas naturales por cromatografía de intercambio iónico”. 2005. Trabajo de Grado (Licenciado en Química). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Facultad de Ciencias, Departamento de Química.
- Parés, R. & Juárez, A. (1997). Bioquímica de los microorganismos. Barcelona: Reverté.
- Pérez Parra, Jorge Arturo, Manual de potabilización del agua, 3ed Medellín, 1997, 3-20p.

- Ramos, R. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis (1a ed.). Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California; Plaza y Valdés.
- Ruiz Carrillo Blanca F. Validación de técnicas analíticas, elaboración de manual de muestreo de aguas y formatos de captura de información de análisis como requisito al proceso de acreditación en el laboratorio de aguas de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). Trabajo de grado. Universidad del Quindío. Armenia 2003. Pág. 5-11.
- Ruiz Pimiento, Lyda Paola. Validación por espectrometría de absorción atómica de cobre, hierro, mercurio y arsénico usando las metodologías de llama y generación de hidruros en aguas residuales, en el laboratorio de análisis químico de aguas residuales de La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Bucaramanga, 2015. Trabajo de Grado (Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.
- S.S. Abu Amr; M.M. Yassin (2002). "Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health in Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: Seven years of monitoring (2000–2006)" EN: Public Health. Noviembre 2008. Volumen 122. No. 11. Páginas 1275-1283
- Sabater, S.; Elosegui, A.; Fundación BBVA. Conceptos y técnicas en ecología fluvial; Fundación BBVA: Bilbao, 2009, p. 98.
- Sanchez Salazar, Andrés Felipe. Validación de las técnicas de hierro total y fosfatos en agua en el Laboratorio Aliscca Ltda. 2011. Trabajo de grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Química Industrial.
- Segura-Campos, M.; Guerrero, L. C.; ANCONA, D. B. Bioactividad De Péptidos Derivados De Proteínas Alimentarias; OmniaScience, 2013, p. 143.
- Silva, M. Del C.; García, M. J.; Desongles, J.; Ponce, E. Técnico Especialista En Laboratorio Del Servicio Gallego de Salud; MAD: España, 2006; Vol. 2, p. 167.
- Siripattanakul-Ratpukdi, S.; Fürhacker, M. Review: Issues of Silver Nanoparticles in Engineered Environmental Treatment Systems. Water. Air. Soil Pollut. 2014, 225 (4).

Snoeyink, V. L.; Jenkins, D.; Sanginés Franchini, M. C. Química del agua; Editorial Limusa : Noriega Editores: México, 1987, p. 234-238.

Stainer, R. & Villanueva, J. (1996). Microbiología. Barcelona: Reverté

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. ed., centennial ed.; Eaton, A. D., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Eds.; American Public Health Assoc: Washington, DC, 2005.

Tadesse, D., Desta, A., Geyid, A., Girma, W., Fisseha, S. & Schmoll, O. (2010) “Rapid assessment of drinkingwater quality in the federal democratic republic of Ethiopia” [online]. Disponible en: [http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/RADWQ\\_Ethiopia.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/RADWQ_Ethiopia.pdf).

Tortora, G. J.; Funke, B. R.; Case, C. L. Introducción a la microbiología; Médica Panamericana: Buenos Aires [etc., 2007, p. 318.

United Nations. (2005). Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). New York, Ginebra: Naciones Unidas.

Valverde, Teresa; Meae, Jorge E.; Carabias, Julia; Cano Santana, ZENÓN: Ecología y medio ambiente. Ed Guillermo Trujano Mendoza. Pearson educación, Mexico. 2005, cap. 7.

Versalovic, J. Manual of Clinical Microbiology, 10th ed.; American Society for Microbiology, Ed.; ASM Press: Washington, DC, 2011, p. 277.

Voet, D.; Voet, J. G.; Pratt, C. W.; Gismondi, M. I. Fundamentos de bioquímica: la vida a nivel molecular; médica Panamericana: Buenos Aires, Argentina, 2007, p. 96.