



## RESUMEN

El agua constituye uno de los recursos imprescindibles para la vida, por lo cual es indispensable mantener la calidad tanto físico-química como microbiológica, para así asegurar que su distribución no conlleve la presencia de contaminantes patógenos que puedan generar la transmisión de enfermedades de transmisión hídrica.

Teniendo en cuenta que los sistemas de tratamiento y distribución de agua potable pueden presentar puntos críticos a lo largo de su trayecto hasta la llegada del agua al público, es importante saber que microorganismos pueden estar presentes en la red de distribución, para así tomar las debidas acciones correctivas que puedan a su vez asegurar la inocuidad del recurso.

El presente estudio tuvo como objetivo reforzar el control microbiológico del agua potable, a través de la adición de indicadores a los ya existentes en normas de calidad; así como evaluar la calidad microbiológica del agua potable de uno de los sistemas de abastecimiento del cantón Cuenca de la provincia del Azuay.

El análisis se realizó entre los meses de Junio y Agosto del año 2011, se estudiaron un total de 82 muestras entre agua cruda, agua tratada y agua en inmuebles. Se encontró de acuerdo a los requisitos microbiológicos establecidos en la Norma NTE INEN 1108: 2006, un total de 100% de muestras aptas para su consumo, así como un 98,54% de idoneidad de acuerdo a los indicadores estudiados según los *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales* de la APHA, AWWA, WPCF; presentándose únicamente la presencia de *Bacterias heterotróficas*.

**PALABRAS CLAVE:** Heterotróficas, Coliformes, *Pseudomona aeruginosa*, agua de consumo humano.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## ABSTRACT

Water is an essential resource for life, which is why it is essential to maintain the quality physicochemical and biological, to thereby ensure that its distribution does not imply the presence of pathogenic contaminants which may generate future large scale transmission of waterborne diseases.

Given that the treatment systems and water distribution may have critical points along its path until the arrival of water to the public, it is important to know what microorganisms may be present in the distribution network in order to take appropriate corrective actions that may in turn ensure the safety of the resource.

The present study aimed to reinforce the microbiological control of water through the addition of indicators to the existing quality standards, as well as evaluating the microbiological quality of drinking water from a supply system of the canton Cuenca in the province of Azuay.

The analysis was conducted between the months of June and August of 2011, studying a total of 82 samples from raw water, treated water and water in buildings. It was found according to microbiological criteria established in the Standard NTE INEN 1108: 2006, a total of 100% of samples unfit for consumption, as well as suitability 98.54% according to the indicators studied according to *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* of the APHA, AWWA, WPCF, presenting only the presence of *Heterotrophic bacteria*.

**KEY WORDS:** Heterotrophic, Coliforms, *Pseudomonas aeruginosa*, water of human consumption.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	9
OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	11
HIPÓTESIS .....	11
I.- ANTECEDENTES.....	12
<b>1.1. GENERALIDADES</b> .....	12
1.1.1. EL AGUA.....	12
1.1.2. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS .....	13
1.1.2.1. <b>Bacterias</b> .....	15
1.1.2.1.1. <i>Bacterias heterotróficas</i> .....	15
1.1.2.1.2. <i>Coliformes totales y fecales</i> .....	16
1.1.2.1.3. <i>Pseudomona aeruginosa</i> .....	17
1.1.2.2. <b>Virus</b> .....	19
1.1.2.3. <b>Parásitos</b> .....	20
1.1.3. PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS.....	21
1.1.3.1. <b>Cloro Libre Residual</b> .....	21
1.1.3.2. <b>pH</b> .....	21
1.1.4. ANÁLISIS .....	22
1.1.4.1. <b>Colorimetría</b> .....	22
1.1.4.1.1. <i>Método colorimétrico de la Dietil-fenilen-diamina (DFD)</i> .....	22
1.1.4.2. <b>Medición de pH (Potenciometría)</b> .....	23
1.1.4.3. <b>Recuento Estándar en Placa. (REP)</b> .....	23
1.1.4.4. <b>Técnica de fermentación de los tubos múltiples. (NMP)</b> .....	24
<b>1.2. TRATAMIENTO DEL AGUA.</b> .....	24
1.2.1. PROCESO DE TRATAMIENTO .....	25
1.2.1.1. <b>Aeración del agua</b> .....	25
1.2.1.2. <b>Coagulación</b> .....	26
1.2.1.3. <b>Floculación</b> .....	28
1.2.1.4. <b>Decantación (Sedimentación)</b> .....	28
1.2.1.5. <b>Filtración</b> .....	29
1.2.1.6. <b>Desinfección (Cloración)</b> .....	29
1.2.2. EFECTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO .....	31

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



<b>II.- METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>34</b>
<b>2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>34</b>
2.1.1. MUESTREO .....	34
2.1.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	35
2.1.2.1. <b>Toma de muestra.</b> .....	35
2.1.2.1.1. <i>Toma de muestra en planta de tratamiento.</i> .....	36
2.1.2.1.2. <i>Toma de muestra en inmuebles.</i> .....	36
2.1.2.2. <b>Análisis físico químico.</b> .....	36
2.1.2.2.1. <i>Determinación de Cloro Residual</i> .....	36
2.1.2.2.2. <i>Determinación de pH</i> .....	37
2.1.2.3. <b>Análisis microbiológico.</b> .....	37
2.1.2.3.1. <i>Recuento de Bacterias heterotróficas.</i> .....	37
2.1.2.3.2. <i>Numeración de Coliformes totales y fecales (NMP).</i> .....	38
2.1.2.3.3. <i>Numeración de Pseudomona aeruginosa (NMP).</i> .....	38
<b>2.2. FORMAS DE CONTROL .....</b>	<b>39</b>
2.2.1. CONTROLES POSITIVOS .....	39
2.2.2. CONTROLES NEGATIVOS .....	40
<b>III.- RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO .....</b>	<b>41</b>
3.1.1. AGUA CRUDA .....	41
3.1.2. AGUA TRATADA .....	41
<b>3.2. AGUA DE INMUEBLES .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3. GRÁFICAS DE DATOS EN RELACIÓN A LOS LÍMITES MÁXIMOS Y</b>	
<b>MÍNIMOS PERMISIBLES. ....</b>	<b>43</b>
<b>3.4. TABLAS DE RESULTADOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO. ....</b>	<b>46</b>
<b>IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....</b>	<b>48</b>
<b>V.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>VI.- RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO 1: SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE RECURSOS PARA LA TOMA</b>	
<b>DE MUESTRA. ....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO 2: TOMA DE MUESTRA. ....</b>	<b>64</b>

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



<i>ANEXO 3: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO.....</i>	<i>67</i>
<i>ANEXO 4: MARCHA ANALÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE CONTROLES POSITIVOS.....</i>	<i>69</i>
<i>ANEXO 5: TABLAS DE TABULACIÓN DE RESULTADOS.....</i>	<i>73</i>
<i>ANEXO 6: TABLA DE RESULTADOS PARA EL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP).....</i>	<i>79</i>
<i>ANEXO 7: REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS DE ACUERDO A LA NORMA NTE INEN 1108: 2006 DE AGUA POTABLE.....</i>	<i>80</i>
<i>ANEXO 8: REGLAMENTOS DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA. ....</i>	<i>81</i>
<i>ANEXO 9: PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS UTILIZADOS.....</i>	<i>82</i>
<i>ANEXO 10: HOJA DE REGISTRO DE DATOS. ....</i>	<i>84</i>
<i>ANEXO 11: FLUJOGRAMA DE TRABAJO.....</i>	<i>85</i>
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>86</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>88</b>

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**CONTROL MICROBIOLÓGICO DEL AGUA POTABLE DE UNO DE LOS  
SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DEL CANTÓN CUENCA, A TRAVÉS DE  
MICROORGANISMOS INDICADORES.**

Tesis previa a la obtención del Título de  
Bioquímico Farmacéutico.

**AUTORES**

BYRON EDUARDO CAJAMARCA BERREZUETA

LUIS ALBERTO CONTRERAS ÁLVAREZ

**DIRECTOR**

DRA. ADELINA ASTUDILLO M. MSC.

**ASESOR**

ING. FRANCISCO ZALDUMBIDE O. MSC.

**CUENCA – ECUADOR**

**2011**

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

**DEDICATORIA:**

*A mis padres Luis Alberto y Bertha pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, para mí, y mis hermanos.*

*A mis Hermanos Paul, Jheymi, Soraya; Dayana, Juan, mis sobrinos Joel y Juan diego, que han depositando su entera confianza en cada reto que se me presenta sin dudar ni un solo momento de mi. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.*

*A toda mi familia por brindarme siempre su apoyo.*

**BETO.**

*Al ser inquebrantable, de espíritu luchador, y calidad humana, que nunca da su brazo a torcer; a ti madre querida, por ser el ejemplo de vida, para seguir adelante y nunca desfallecer.*

**BYRON.**

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

**AGRADECIMIENTOS:**

*A nuestra querida directora de tesis Dra. Adelina Astudillo; por su inestimable conocimiento, enseñanzas y apoyo desinteresado.*

*A nuestro asesor y amigo Ing. Francisco Zaldumbide; por su tiempo, paciencia y confianza.*

*Al Directorio del Proyecto Nero y de manera especial a su presidente Sr. Luis Quinde, por el apoyo brindado.*

*Al personal laboral y en especial a Agustín, Marcelo, Carlos, Ángel, Kleber y Diana, por su valiosa colaboración.*



## INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta está geográficamente conformado por agua y tierra, en donde la masa hídrica ocupa aproximadamente el 70%; de la cuál una parte está contaminada con agentes infecciosos, desechos industriales y agroquímicos. De igual manera, la cantidad de agua que podría encontrarse como potable puede ser infectada con excretas humanas y de animales, que llegan a través de filtraciones desde la superficie o por contacto directo haciéndola no apta para el consumo; es por ello que este elemento vital puede ser portador de agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos que podrían estar presentes en el agua de consumo.<sup>1</sup>

Según las Guías de Calidad del Agua de Bebida de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua de consumo ha sido definida como “*adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual incluida la higiene personal*”, de modo que el agua no debe presentar ningún tipo de riesgo que pueda perjudicar la salud humana. Esta inocuidad se puede lograr seleccionando fuentes de agua de buena calidad, tratando y descontaminando eficazmente el agua contaminada y protegiéndola para que no haya contaminación durante la distribución al usuario.<sup>2</sup>

La contaminación microbiana del agua constituye uno de los peligros más representativos, la cual puede generarse por contaminación de aguas servidas y excretas del hombre y animales; siendo el riesgo mayor si encontramos microorganismos patógenos que se encuentren viables y con capacidad de producir enfermedad. Del agente patógeno, forma en que se presenta, condiciones de exposición así como susceptibilidad y estado de inmunidad del huésped, dependerá la dosis mínima infecciosa para producir la enfermedad.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> VERCELLONE, E.; ZDERO, M. *Agua de consumo como coadyuvante de parasitosis intestinales en poblaciones vulnerables de la ciudad de Villa Constitución*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario, 2001. p. 1-2.

<sup>2</sup> OMS. *Guías para la calidad del agua de potable*. Tercera Edición. Volumen 1. Ginebra: OMS, 2004. p. 13-14.

<sup>3</sup> FEWTRELL, L., et al. *Pathogens in surface temperate waters*. Reino Unido: Samara Press, 1993. 262 p.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



El agua que pasa por las plantas de tratamiento, al entrar en la red de distribución, puede contaminarse a través de: conexiones cruzadas, rotura de tuberías, conexiones domiciliarias, cisternas, reservorios; y factores secundarios que permiten la viabilidad de microorganismos como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de la tubería.

El control microbiológico a través de microorganismos indicadores, es un principio indispensable en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana en los sistemas de abastecimiento de agua. Es por este motivo que se establecen distintos criterios para determinar si el agua es apta para su uso y normar su calidad; así estas guías y estándares establecen requisitos que deben cumplir las aguas para ser consideradas óptimas para el consumo humano.<sup>4</sup>

En la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 del año 2006<sup>5</sup>, se establecen límites permisibles para *Coliformes totales* y *fecales*; sin embargo estos indicadores no garantizan la ausencia de contaminación microbiana, debido a que otros patógenos pueden encontrarse aún cuando no se detecta la presencia de los mencionados. La prevalencia de otros microorganismos en la red de distribución, puede deberse a una mayor capacidad de supervivencia, por factores como: mayor resistencia a las concentraciones de Cloro Libre Residual comúnmente utilizadas para desinfectar, o a una interferencia en el crecimiento de los microorganismos indicadores.<sup>6</sup>

De modo que el presente estudio tiene como propósito evaluar la presencia o ausencia de microorganismos indicadores de contaminación microbiológica establecidos en la Norma NTE INEN 1108; y establecer indicadores complementarios para la evaluación de la calidad microbiológica del agua potable.

<sup>4</sup> GALARRAGA, E. "Algunos aspectos relacionados con microorganismos en agua potable". 1984. p. 135-143.

<sup>5</sup> INEN. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 - Agua Potable Requisitos*. Quito, Ecuador: s.n., 2006.

<sup>6</sup> ONTIVEROS, M. *Pseudomona aeruginosa como indicador de la calidad bacteriológica del agua para su uso recreacional*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos. México: 1983.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

### Objetivo General

Realizar el control microbiológico del agua potable de una de las plantas de tratamiento de agua del cantón Cuenca, a través de microorganismos indicadores (*Bacterias heterotróficas*, *Coliformes totales*, *Coliformes fecales*, y *Pseudomona aeruginosa*), según los *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales* de la APHA, AWWA, WPCF.

### Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad microbiológica del agua potable de abastecimiento para el consumo humano y relacionar con los valores de cloro libre residual y pH.
- Proponer el análisis de *Pseudomona aeruginosa* como indicador microbiológico complementario para reforzar el control de calidad del agua potable.
- Correlacionar la presencia y recuento de los indicadores aislados, con los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2006 para agua potable y Normas Internacionales descritas por el OMS-CEPIS para el agua de bebida.

## HIPÓTESIS

Es necesario añadir el análisis de *Pseudomona aeruginosa* como indicador complementario para el control de la calidad microbiológica del agua potable a los requisitos de la Norma NTE INEN 1108, debido a que constituye un parámetro que exige mayor seguridad; sabiendo que el agua potable de uno de los sistemas de abastecimiento del cantón Cuenca, analizada mediante microorganismos indicadores es apta para el consumo humano.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## I.- ANTECEDENTES

### 1.1. GENERALIDADES

#### 1.1.1. EL AGUA

El agua constituye el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Está formado por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, y su fórmula química es H<sub>2</sub>O. En la naturaleza se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso. Es un recurso imprescindible para la supervivencia del ser humano y es empleada en diferentes actividades como la agricultura, la industria, como fuente de energía y para consumo doméstico ya sea en la limpieza, higiene o como bebida.

El agua potable es definida en la NTE INEN 1108: 2006 como *“aquella cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas, a fin de garantizar su aptitud para consumo humano”*.<sup>7</sup> La OMS define al agua de consumo inocua o agua potable de acuerdo con las Guías para la calidad del agua potable, como *“aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida”*.<sup>8</sup> Esto quiere decir que el agua debe encontrarse dentro de ciertos rangos permisibles de contaminación que aseguren que no es perjudicial para la salud del hombre.

La contaminación microbiana del agua constituye uno de los peligros más representativos, alterando la calidad del agua y provocando que la comunidad quede expuesta al riesgo de enfermedades intestinales y otras enfermedades infecciosas.

---

<sup>7</sup> INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Norma NTE INEN 1 108 Agua Potable - Requisitos*. Revisión 2006.

<sup>8</sup> OMS. *Guías para la calidad del agua de potable*. Tercera Edición. Volumen 1. Ginebra: OMS, 2004. p. 13-14.

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Los excrementos pueden ser fuente de microorganismos patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea, entre otras.<sup>9</sup>

La determinación de los microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas.

Los microorganismos patógenos sin embargo son difíciles de detectar debido a que estos llegan al agua de modo esporádico y normalmente no sobreviven mucho en ella, por lo que pueden no estar presentes en una muestra que llegue al laboratorio a pesar de que estén saliendo por el grifo de las viviendas, además su identificación es laboriosa y costosa.<sup>10</sup>

Por esta razón se realiza la determinación y estudio de microorganismos que engloben características similares de diferentes patógenos; permitiendo un análisis efectivo, eficaz, y que disminuya el costo y tiempo de trabajo.

### 1.1.2. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Los indicadores microbiológicos son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, tales como: concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales; cuya particularidad es ser más rápidos, económicos y fáciles de identificar.

<sup>9</sup> VERGARAY, G.; MÉNDEZ, C. *Eficacia de un programa para proteger la calidad del agua proveniente de plantas de tratamiento*. Perú: Revista peruana de Epidemiología, 1994, 7(2), p. 5-11.

<sup>10</sup> GOEZ, M; VASQUEZ, M.J. *"Determinación y diferenciación de E. coli y Coliformes totales usando un mismo sustrato cromogénico"*. Textos completos CEPIS. 1999

---

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Parte de la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiológica en los sistemas o redes de distribución para el abastecimiento de agua potable, se basa en el principio de la determinación de microorganismos intestinales normales, como indicadores de contaminación.<sup>11</sup>

Cuando se ha evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede deducir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores es similar a la del indicador.

Un indicador microbiológico debe reunir características como:

- Ser específico de contaminación fecal
- Hallarse en forma constante en las heces y estar asociado a las aguas residuales
- Ser fácilmente aislable, identificable y enumerable en el menor tiempo posible y con el menor costo
- Ser un constituyente de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).<sup>12</sup>

A continuación se describen los grupos patógenos y los microorganismos que se han propuesto como principales indicadores.

<sup>11</sup> GALARRAGA, E. "Algunos aspectos relacionados con microorganismos en agua potable". Revista de Información técnica científica. 1984. 9(3). p. 135-143.

<sup>12</sup> ALLEN, M. "La importancia para la salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable". Reunión sobre la calidad del Agua Potable. CEPIS. OPS. OMS. Lima, Perú: 1996.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



### 1.1.2.1. Bacterias

Son organismos unicelulares con un tamaño entre 0,1 y 10  $\mu\text{m}$ . De acuerdo a su forma, componentes, tamaño y la manera a la cual crecen, pueden caracterizar la estructura de la célula; pudiendo clasificarse en cuatro categorías: cocos, bacilos, espirilos y otros.

En el agua podemos encontrar con mayor frecuencia bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de las heces fecales. Al introducirse en el agua, por las condiciones ambientales variadas hace que su capacidad de reproducirse y de sobrevivir, sean limitadas.

#### 1.1.2.1.1. Bacterias heterotróficas

También conocidas como heterótrofas son aquellas bacterias aerobias o facultativas que usan el carbono orgánico en lugar del anhídrido carbónico como fuente de energía y para su crecimiento, en contraposición con las bacterias autotróficas que utilizan los compuestos inorgánicos como fuente de energía y el  $\text{CO}_2$ , como fuente de carbono. Esta definición de bacteria heterótrofa es amplia e incluye tanto a las bacterias saprofitas como a las patógenas. Por lo tanto, las bacterias que causan como las que no causan enfermedades son heterótrofas.

Las *Bacterias heterotróficas* constituyen un indicador sensible y práctico de la eficacia de los procesos de desinfección, así como de la formación de biofilms en las tuberías.<sup>13</sup> Además aportan información acerca de la calidad microbiológica general del agua de bebida tratada.

Algunos patógenos oportunistas englobados dentro de las *Bacterias heterotróficas* incluyen: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Legionella*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Serratia*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas*.

<sup>13</sup> CAMPOS, C. *Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Facultad de Biología. 1999. 250 p.

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Estos microorganismos pueden estar presentes naturalmente en el ambiente y la exposición a los mismos, puede llevar a generar enfermedades como: gastroenteritis, infecciones de la piel, y de membrana de mucosa en personas inmunodeprimidas.<sup>14</sup>

#### 1.1.2.1.2. Coliformes totales y fecales

Son un grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común: son bacilos gramnegativos, dotados de motilidad por flagelos, son anaerobios facultativos. Abarca los géneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*. Su uso como indicador de contaminación bacteriana se debe a que:

- Son patógenos comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en grandes cantidades en el tracto gastrointestinal.
- Tienen mayor viabilidad en el agua que las bacterias patógenas.
- Poseen un comportamiento igual a los patógenos en los sistemas de desinfección.

Su presencia en el agua indica un mal tratamiento o que hubo una contaminación posterior a su tratamiento. La determinación de coliformes totales en el agua se usa como indicador de que el proceso de tratamiento fue efectivo.<sup>15</sup>

Los coliformes termorresistentes o también conocidos como fecales, son microorganismos que tiene la característica de fermentar la lactosa de 44 a 45°C. En este grupo podemos encontrar los géneros: *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

<sup>14</sup> OMS. Guías OMS para la Calidad de Agua de Bebida. "Recomendaciones". Segunda edición. Volúmen I. 1995.

<sup>15</sup> CÁCERES, O. *Desinfección del Agua*. Ministerio de Salud - OPS. Lima-Perú: 1990.

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Los coliformes fecales y en particular *Escherichia coli* (*E. coli*), se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras.<sup>16</sup>

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros también pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable.<sup>17</sup>

Este grupo se transmite principalmente por la vía fecal-oral. Los alimentos, el agua potable y de recreación pueden ser la principal vía de transmisión; causando enfermedad principalmente en niños en países en desarrollo, provocando diarreas; y es una importante causa de la “diarrea del viajero”.<sup>18</sup>

#### 1.1.2.1.3. *Pseudomona aeruginosa*

El género *Pseudomona* lo constituyen especies de bacilos gramnegativos, que pueden aparecer aislados, en pares o en cadenas, con un diámetro de 0,6 a 2 µm, dotados de motilidad y aerobios estrictos (algunas especies pueden emplear el nitrógeno como aceptor alternativo), algunos de los cuales producen pigmentos hidrosolubles.

Sus cultivos pueden presentar varios tipos de colonias: lisas, rugosas, mucoides, redondas, con pigmento verde metálico y olor dulzón. Se desarrollan entre temperaturas de 10 a 42 °C, aunque su temperatura óptima de crecimiento es de 35 a 37°C. Se distribuyen ampliamente sobre suelo, agua, plantas y animales.

<sup>16</sup> MADIGAN, M., et al. *Biología de los microorganismos*. Octava edición. Madrid: Prentice Hall, 1997. 986 p.

<sup>17</sup> ROLIM, S. *Sistemas de lagunas de estabilización*. Primera edición. Bogotá: Mc Graw Hill, 2000. 370 p.

<sup>18</sup> RICE, E. *Waterborne pathogens, Section II: Introduction to bacterial pathogenic agents, Escherichia coli*. Capítulo 8. American Water Works Association: 1999. p. 75-78.

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



*Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) o bacilo piocianico, es un patógeno oportunista, puede causar enfermedades principalmente a niños, ancianos y personas inmunodeprimidas, si está presente en el agua que estas personas utilizan para su uso diario, pueden causar diversas infecciones cutáneas y de las membranas mucosas del ojo, oído, nariz y garganta.

*Pseudomonas aeruginosa*, no se presenta comúnmente en la flora intestinal normal y sobre la piel de los seres humanos, pero es el principal patógeno de este grupo.

La importancia de remitirse al análisis complementario de éste microorganismo, se debe a que se ha demostrado que *P. aeruginosa* es capaz de sobrevivir y multiplicarse en aguas tratadas; esto es debido a su estructura, ya que presenta una densa capa polisacárida la cual establece una barrera no solo física sino química capaz de proteger a la bacteria de las moléculas e iones de Cloro Libre Residual.<sup>19</sup>

La estructura de la pared celular de *P. aeruginosa* es compleja, constituida por una estructura de péptidoglicano y la membrana externa conformada por fosfolípidos, proteínas y el lipopolisacárido (LPS). Este LPS está compuesto por polisacáridos centrales comunes en todas las cepas y polisacáridos de cadena lateral específicos de cada cepa.

*P. aeruginosa* posee una endotoxina de pared celular, tal como otros bacilos gramnegativos, cuyo componente, el Lípido A es el responsable de los efectos biológicos de la septicemia.

---

<sup>19</sup> TORRES, Y. *Resistencia de Pseudomonas aeruginosa al cloro libre residual*. Revista AINSA. 1991. 11(1). pp. 21-25.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



El pigmento sintetizado por *P. aeruginosa*, la *Piocianina*, químicamente derivada de la  $\alpha$ -oxifenazona, cataliza la producción de peróxido de hidrógeno y superóxido (radicales libres), que son compuestos tóxicos del oxígeno; lo cual le da su acción bactericida, retrasando el crecimiento de otras poblaciones bacterianas tales como: *E. coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella sp.*<sup>20</sup>

Las bacteriocinas o *piocinas* tienen un gran interés en el tipado epidemiológico, son generadas por todas las cepas de *Pseudomona*; unas estructuras son fágicas defectivas y otras no corpusculares, proteicas de acción análoga a los antibióticos polipeptídicos; inhibiendo el crecimiento de coliformes como: *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* y *Enterobacter agglomerans.*<sup>21 22</sup>

Por estas razones aún cuando el agua esté libre de coliformes no se puede asegurar que sea apta para el consumo humano.<sup>23</sup>

#### 1.1.2.2. Virus.

En contraste con las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes solamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido infectados. Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Estos son los virus entéricos eliminados a través de las heces de personas infectadas.

<sup>20</sup> PUMAROLA, A; et al. Microbiología y parasitología médica. "*Pseudomonas y bacilos gramnegativos no fermentadores*". Segunda edición. Salvat Editores S.A. 2000. pp. 478-483

<sup>21</sup> MURRAY, P; et al. Microbiología Médica. "*Pseudomonas y microorganismos relacionados*". Quinta edición. Madrid: Editorial Elsevier S.A. 2007. pp. 357 - 363

<sup>22</sup> CONTRERAS, G.J., et al. "*Efecto bactericida de catabolitos de Pseudomona aeruginosa sobre Coliformes fecales en Agua de Consumo*". IV Congreso Latinoamericano de Higiene y Microbiología de Alimentos. Lima: 1996.

<sup>23</sup> ROBERTS, N.C. "*Pseudomona inhibition of coliform group*". Abstract of the annual meeting of the American Society for Microbiology. 1982.

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (*Rotavirus*, *virus Norwalk*) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida.<sup>24</sup>

### 1.1.2.3. Parásitos.

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos.

Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual; tal como sucede con los quistes del género *Giardia*.

Los helmintos o gusanos son organismos pluricelulares muy complejos con tejidos y órganos diferenciados. Su tamaño puede variar, pudiendo llegar hasta alcanzar varios metros de longitud. Se dividen en dos grandes grupos: *Platelmintos* (gusanos de cuerpo aplanado) y *Nematelmintos* (gusanos de cuerpo cilíndrico). Estos parásitos no generan infección por consumo de agua por el hombre, sino que ésta contaminación se produce por contacto directo de agua parasitada con la piel.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> ENRIQUEZ, C. "Waterborne pathogens, Section 4: Introduction to viral pathogenic agents". American Water Works Associations. 1999. pp. 221-222

<sup>25</sup> OMS. "The world health report 1996: Fighting disease, fostering development". Genova: WHO. 1996. pp. 143

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



### 1.1.3. PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS

#### 1.1.3.1. **Cloro Libre Residual.**

El cloro ofrece varias ventajas como desinfectante, entre ellas su costo relativamente bajo, su eficacia y su facilidad de medición; además el cloro tiene la propiedad de dejar un residuo desinfectante que contribuye a prevenir la nueva contaminación durante la distribución, el transporte y el almacenamiento del agua.

La cloración del agua sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades; a su vez puede producir efectos adversos, como, intensificar el sabor y olor característicos de los fenoles y otros compuestos presentes en el agua de suministro, pueden formarse compuestos organoclorados, potencialmente carcinogénicos como cloroformo.

El cloro aplicado al agua en su forma molecular o de hipoclorito, sufre una hidrólisis inicial para producir cloro libre consistente en: cloro molecular acuoso, ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Su proporción relativa de cloro libre dependerá del pH y la temperatura; al pH de la mayoría de aguas predominara el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito.<sup>26</sup>

#### 1.1.3.2. **pH.**

Este parámetro se utiliza para la medición de la intensidad de la acidez y alcalinidad del agua. La importancia radica en realizar una medición de pH al mismo tiempo que el cloro residual, ya que la eficacia de la desinfección con cloro depende en alto grado del pH.<sup>27</sup>

Los desinfectantes son fuertemente influenciados por el pH del agua, debido a que cada desinfectante tiene un rango de pH en el que se determina su máxima efectividad. En general, cuanto más alcalina sea el agua se requieren mayores dosis para una misma temperatura y tiempo de contacto.

<sup>26</sup> CÁCERES, O. *Desinfección del Agua*. Ministerio de Salud - OPS. Lima-Perú: 1990.

<sup>27</sup> OPS. "Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades". Guías para la calidad del agua potable. Publicación científica 508. Vol. 3. Washington D.C.: 1988.

---

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



De igual manera el pH del agua es de suma importancia, ya que valores muy altos o muy bajos, impiden la viabilidad de microorganismos; a excepción de los quistes de amebas que soportan un pH tan alto como 13 o muy bajos como 1.<sup>28</sup>

#### 1.1.4. ANÁLISIS

Para la determinación de la calidad del agua potable se realiza análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, los cuales deben realizarse con procedimientos normalizados con el objetivo de que los resultados obtenidos puedan ser comparables. Las determinaciones indicadas, se deben realizar de manera fácil y con el uso de equipos sencillos, debido a que algunas pruebas se deben hacer directamente en el campo.

A continuación se describen algunos métodos para evaluar los aspectos físicos, químicos y bacteriológicos que determinan la calidad del agua para consumo de la población

##### 1.1.4.1. **Colorimetría.**

###### 1.1.4.1.1. *Método colorimétrico de la Dietil-fenilen-diamina (DFD)*

Se trata de un método colorimétrico para la determinación de concentraciones de mono y dicloramina separadas, y fracciones combinadas. Está basado en medir la intensidad de color, al usar el N,N-Dietil-p-Fenilenodiamina (DFD) como indicador y comparar en forma visual con una escala de estándares.

El cloro presente en la muestra como ácido hipocloroso o ión hipoclorito, al reaccionar inmediatamente con el indicador DFD, forma un color magenta el cual es proporcional a la concentración de cloro.

---

<sup>28</sup> CÁCERES, O. *Desinfección del Agua*. Ministerio de Salud - OPS. Lima-Perú: 1990.

---

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Todos los métodos DFD están sujetos a interferencias por las formas oxidantes de manganeso, para lo cual se compensa con un blanco.<sup>29</sup>

#### 1.1.4.2. Medición de pH (Potenciometría)

La medición de pH debe efectuarse en el campo; así se evita la alteración de la muestra, para lo cual existen sencillos medidores de pH que facilitan la tarea.

Para su análisis se aplica el método electrométrico, que se fundamenta en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medio de una medición potenciométrica, con el uso de un electrodo de vidrio y uno de referencia combinados.

Se emplea un equipo portátil y, antes de proceder al análisis, se deben verificar las condiciones del equipo, porque puede haber errores de medición por una batería baja o por electrodos deteriorados o con restos de materiales aceitosos, grasos o precipitados.<sup>30</sup>

#### 1.1.4.3. Recuento Estándar en Placa. (REP)

Es un método cuantitativo que consiste en calcular el número de microorganismos viables que existen en el agua, y medir los cambios que se producen a raíz del tratamiento y distribución de las aguas.

Las colonias pueden presentarse en pares, cadenas, grupos o células únicas, todas ellas englobadas bajo el término de Unidades Formadoras de Colonias (UFC). El número final depende de la interrelación entre las colonias en desarrollo, de modo que se elige la combinación del método y el medio que produzca el mayor crecimiento de colonias en un tiempo determinado de incubación.

<sup>29</sup> OPS. "Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades". Guías para la calidad del agua potable. Publicación científica 508. Vol. 3. Washington D.C.: 1988.

<sup>30</sup> APHA; WEF; AWWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995.

---

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



El método de placa fluida puede usar volúmenes entre 0,1 y 2,0 mL, las colonias que se producen son relativamente pequeñas, compactas y presentan menor tendencia a agruparse entre sí, a diferencia de las colonias que se producen en los métodos de crecimiento en superficie; sin embargo puede producirse choques de calor al momento de verter el agar a la muestra a la temperatura de 45°C.<sup>31</sup>

#### 1.1.4.4. Técnica de fermentación de los tubos múltiples. (NMP)

Es un método cualitativo y cuantitativo, que consiste en identificar todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido de 24 a 48 horas a 35°C.

En este método los resultados del análisis de tubos y sus diluciones se expresan en términos de Número Más Probable (NMP) de microorganismos existentes. Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de los coliformes en la muestra; de modo que la precisión del análisis dependerá del número de tubos utilizados. Se obtiene un mejor resultado cuando el inóculo de la muestra, presenta gas en uno o en todos los tubos.

Es importante agitar adecuadamente la muestra, para evitar un posible agrupamiento de las bacterias, puesto que el valor del NMP podría resultar menor que el número real de densidad bacteriana.<sup>32</sup>

## 1.2. TRATAMIENTO DEL AGUA.

Este proceso nace como consecuencia del descubrimiento de que a través del agua se puede transmitir patógenos y sustancias nocivas que puedan producir enfermedades.

<sup>31</sup> APHA; WEF; AWWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995.

<sup>32</sup> APHA; WEF; AWWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995. p. 9/64 - 9/78.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



El tratamiento de las aguas naturales tiene como propósito eliminar los microorganismos, sustancias químicas, caracteres físicos y radiológicos que sean nocivos para la salud humana. Su objetivo se enfoca a los siguientes aspectos:

- **Higiénico:** Eliminar elementos contaminantes y nocivos, como bacterias; y corregir concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, protozoarios, etc.
- **Estético:** Corregir color, olor, turbidez y sabor.

Dentro de las fuentes de abastecimiento de agua para las plantas de tratamiento podemos encontrar: fuentes subterráneas y superficiales; siendo las más comunes para la captación las superficiales. Estas pueden ser:

- Ríos
- Lagos
- Lagunas
- Arroyos

Para el diseño de una planta de tratamiento se requiere conocer la composición físico-química y microbiológica del agua a tratar; así se sabrá cuales elementos debemos eliminar y cuales eventualmente adicionar.<sup>33</sup>

### 1.2.1. PROCESO DE TRATAMIENTO

#### 1.2.1.1. **Aeración del agua.**

Es el proceso mediante el cual se permite ampliar el área de contacto del agua con el aire para coaccionar el intercambio de sustancias volátiles. Su objetivo consiste en:

---

<sup>33</sup> FREDERICO, E.; et. al. “*Remoção de compostos orgânicos naturais no processo convencional de tratamento de água: influência do ph e da dosagem de coagulante na eficiência do processo*”. 20° Congreso Brasileiro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ABES). Río de Janeiro: 1999



- Remoción de gases: Como gas carbónico (presente de forma natural), gas sulfhídrico (producto de putrefacción o fermentación de desechos orgánicos), etc.
- Introducción de oxígeno: Para oxidar compuestos como el hierro y manganeso y posteriormente lograr su remoción mediante la decantación y filtración.
- Eliminar causantes de malos olores y sabores: gas sulfhídrico, hierro, manganeso, etc.

Para su correcta aplicación, se debe tomar en cuenta diversos criterios y cálculos para el diseño de los aireadores.

En el caso de aireadores de cascadas, el diseño consiste en escalones concéntricos; en donde, se debe establecer el tiempo de contacto, la altura de cada escalón, así como la altura total del aireador y el número de plataformas o escalones.<sup>34</sup>

Es de gran utilidad construir los aireadores acompañados de difusores, con el objetivo de mejorar la velocidad de reacción.

Este procedimiento es de gran utilidad por las ventajas que presenta, sin embargo puede limitarse su aplicación para la remoción de malos olores, sobre todo cuando ciertas sustancias causantes no son lo suficientemente volátiles; tal como sucede con los aceites esenciales de las algas.

#### 1.2.1.2. **Coagulación.**

Se entiende como el proceso de desestabilización eléctrica (anulación de las cargas) de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes, alcalinizantes, coadyuvantes de la coagulación: polímeros), para transformar las impurezas en suspensiones finas o coloides que posteriormente serán removidas por decantación y filtración.

---

<sup>34</sup> VILLEGAS, M. *Purificación de aguas*. Segunda edición. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007. p. 112.



Esta operación se efectúa a través de una mezcla rápida, sometiendo al agua a una agitación intensa para formar una solución homogénea con los coagulantes en el menor tiempo posible.<sup>35</sup> Este procedimiento tiene como propósito:

- Remoción de turbiedad, color y sustancias productoras de sabor y olor.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.

Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis, concentración y punto de aplicación del coagulante; así como la intensidad, tiempo de mezcla y tipo de dispositivo para la mezcla.<sup>36</sup>

La alcalinidad propia del agua puede disminuirse usando compuestos de hierro y aluminio como coagulantes, lo cual genera distintas reacciones, teniendo por ejemplo:<sup>37</sup>



Como se puede observar, estas reacciones generan  $\text{CO}_2$  como producto final, lo cual representa principalmente el incremento de la acidez y por consiguiente la disminución del pH; en cuyo caso, si el agua no posee suficiente alcalinidad, se puede aumentarla aplicando al tratamiento cal o soda-ash.

<sup>35</sup> RODRÍGUEZ, C. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115 p.

<sup>36</sup> ARBOLEDA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá: Mc Graw Hill y ACODAL, 2000. 362 p.

<sup>37</sup> VILLEGAS, M. *Purificación de aguas*. Segunda edición. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007. p. 83-85

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



### 1.2.1.3. **Floculación.**

Es el proceso mediante el cual se logra la aglomeración de las partículas producto de la coagulación, mediante la agitación moderada del agua, formando otras de mayor tamaño y peso específico; llamado: floculo.

El objetivo consiste en reunir microfloculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactarlas disminuyendo su grado de hidratación y producir una concentración volumétrica baja; lo cual mejorará la eficacia de los procesos de sedimentación y filtración.

Tomando en cuenta que los parámetros para el diseño siguen siendo el tiempo de mezcla y el gradiente de velocidad; la combinación de fases permitirá la mejor formación del floculo, de modo que la mezcla rápida dispersará de manera uniforme e instantánea los productos químicos y la mezcla lenta permitirá el desarrollo del floculo.<sup>38</sup>

### 1.2.1.4. **Decantación (Sedimentación).**

Es el mecanismo mediante el cual se promueve por acción de la gravedad, el depósito del material en suspensión en tanques o decantadores.

La remoción del material en suspensión y materia floculante, se conseguirá al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas se depositen en un tiempo determinado.

Este paso consiste en una preparación del agua para la filtración, de modo que su eficiencia será proporcional al proceso de filtración.

---

<sup>38</sup> RODRÍGUEZ, C. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115 p.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



#### 1.2.1.5. **Filtración.**

Consiste en hacer pasar el agua a través de superficies porosas que puedan retener o remover cualquier impureza que haya quedado presente. Un medio útil consiste en usar la arena soportada por capas de piedras bajo las cuales se tendrá un sistema de drenaje. El paso del agua por este sistema poroso generará:

- Remoción de material en suspensión y sustancias coloidales.
- Reducción de bacterias presentes.
- Alteración de las características físicas e incluso químicas del agua.

#### 1.2.1.6. **Desinfección (Cloración).**

El proceso de desinfección del agua se realiza por lo general para una planta de tratamiento con cloro; de allí que comúnmente se conoce a este método como cloración. Este método es seguro, práctico y efectivo para destruir eficientemente la mayoría de organismos patógenos.

Los procesos comunes de potabilización combinados con la desinfección con cloro han logrado combatir eficientemente enfermedades de transmisión hídrica, tales como: cólera, disentería y fiebre tifoidea entre otras.

La cloración se la puede realizar con los siguientes elementos:

- Cloro gaseoso
- Cloro líquido
- Hipocloritos
- Cloraminas

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



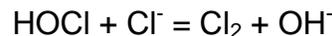
Los criterios básicos para aconsejar el uso de cloro y sus derivados como desinfectante, son principalmente:

- Poseer un amplio espectro germicida a temperatura ambiente y en corto tiempo.
- Su grado de concentración en el agua se puede determinar de forma sencilla.
- En dosis usadas para desinfección, es inocuo para el hombre y animales.
- Deja un efecto residual que representará un método de protección continua en caso de posteriores contaminaciones.
- Son de fácil adquisición, por ser económicos y eficaces.

Este paso se debe realizar en todos los sistemas de abastecimiento, ya sea que no se tome como medida correctiva, se debe optar como medida preventiva; esto es, debido a que el agua tratada debe atravesar un largo trayecto antes de ser consumida.<sup>39</sup>

#### 1.2.1.6.1. *Química de la cloración (Hidrólisis del cloro gaseoso)*

Al entrar en contacto el cloro con el agua, se produce la hidrólisis del mismo, formando ácido hipocloroso (HOCl):



La propiedad antioxidante se mantiene por acción del ácido hipocloroso formado durante la hidrólisis, el cual ejerce el efecto germicida. Este ácido débil se ioniza a su vez en iones hidrogeno e hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ):



<sup>39</sup> CÁCERES, O. *Desinfección del Agua*. Ministerio de Salud - OPS. Lima-Perú: 1990. p. 6-7.



El ácido hipocloroso y el ión hipoclorito forman lo que se denomina Cloro Libre Residual. Al tener aguas con un rango de pH entre 6,5 y 8,5 la reacción es incompleta lo cual provoca que ambas especies se encuentren en distinto porcentaje en función del pH.

pH	OCI <sup>-</sup> (%)	HOCl (%)
5,5	0,23	99,77
6	0,46	99,54
6,5	1,45	98,55
7	4,46	95,54
7,5	12,86	87,14
8	31,82	68,18
8,5	59,61	40,39
9	82,36	17,64
9,5	93,65	6,35

**Tabla 1:** Distribución de OCI<sup>-</sup> y HOCl en función del pH del agua.

Por lo tanto en la cloración es recomendable que el pH se encuentre por debajo de 7,5; debido a que la eficacia del ácido hipocloroso es mayor por lo menos 80 veces que la del ión hipoclorito.<sup>40</sup>

### 1.2.2. EFFECTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

Los procesos comunes de potabilización como: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, presentan gran eficiencia para la remoción física de patógenos, hasta un 99,9% de los patógenos presentes en el agua. Sin embargo se requiere de la desinfección para la producción de agua microbiológicamente apta para su consumo.

#### 1.2.2.1. **Mecanismos de reducción de riesgos biológicos**

La concentración de los contaminantes microbiológicos puede ser reducida por los procesos de tratamiento a través de dos mecanismos complementarios que son:

<sup>40</sup> ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA(ENOHSA). "Guías para la presentación de proyectos de agua potable". Fundamentaciones. Cap. 10: Desinfección. 2000. pp. 243

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



- Mecanismos de remoción: La reducción se logra a través de mecanismos físicos, como: coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
- Mecanismos de inactivación: Consiste en inactivar el contaminante a través de los desinfectantes físicos (calor, luz solar, luz UV, etc.) o químicos (cloro, permanganato de potasio, etc.). A este proceso también se lo conoce como desinfección.

#### 1.2.2.2. Eficacia del cloro como desinfectante del agua.

La cloración es el método más usado de desinfección en plantas de tratamiento desde el siglo pasado, sin embargo su modo de acción en los patógenos no está completamente esclarecido.

Se acepta que el ácido hipocloroso penetra en la pared celular alterando la permeabilidad e integridad de la misma, luego de lo cual puede reaccionar con las enzimas esenciales que intervienen en los procesos respiratorios de la célula, provocando su destrucción.<sup>41</sup>

Se puede explicar el mayor poder desinfectante del ácido hipocloroso que el ión hipoclorito, debido a que el HOCl es una molécula neutra y de reducido tamaño, razón por la cual se cree que podría atravesar con mayor facilidad la pared celular que la molécula de OCl<sup>-</sup>.

Para el caso de bacterias heterotróficas, los procesos de coagulación y filtración son capaces de reducir más del 99,5 % de las bacterias y luego de la desinfección ésta puede aumentar al 99,9 %.

<sup>41</sup> PUMAROLA, A; et al. Microbiología y parasitología médica. “*Pseudomonas y bacilos gramnegativos no fermentadores*”. Segunda edición. Salvat Editores S.A. 2000. pp. 107-119



En el caso de *Escherichia coli* los procesos previos a la desinfección pueden remover más del 99,5 % de las bacterias y luego de la desinfección, se puede reducir hasta el 99,9 %. Se prevé que para inactivar el 99 % de *E. coli* se necesita solamente una concentración de 2 mg/L de cloro libre durante un tiempo de contacto de 1 minuto.<sup>42</sup>

En cuanto a *Pseudomona aeruginosa* los procesos de coagulación y filtración son capaces de remover más del 99,5 % de las bacterias y posterior a la desinfección se puede reducir a niveles más altos del 99,99 %. Debido a que las *Pseudomonas* pueden crecer en la interface agua-aire de sedimentadores y filtros, filtros de carbón activado y en los sistemas de distribución, es recomendable mantener una concentración de Cloro Libre Residual por encima de 0,5 mg/L.

Los virus poseen una mayor resistencia que las bacterias al cloro y a la mayoría de desinfectantes químicos, lo cual depende del organismo específico. Es por este motivo que se requiere en los sistemas de distribución, mantener un residual de cloro que se encuentre entre 0,5 – 0,7 mg/L para reducir las enfermedades producidas por virus.<sup>43</sup>

De igual manera el cloro como algunos desinfectantes químicos son menos eficientes para inactivar quistes de protozoarios a comparación de la inactivación de virus y bacterias. Por ejemplo, de acuerdo a los estudios realizados por la Environmental Protection Agency (EPA), se necesita un tiempo de contacto de 75 minutos si la concentración de cloro libre es de 1,0 mg/L, para la inactivación de *Giardia* con cloro libre.<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> RICE, E. "Waterborne pathogens, Section II: Introduction to bacterial pathogenic agents, *Escherichia coli*". Capítulo 8. American Water Works Association: 1999. p. 75-78.

<sup>43</sup> GELDREICH, E. "Waterborne Pathogens, Section II: Introduction to Viral Pathogenic Agents, Enteroviruses". Cap. 42. s.l.: American Water Works Association. 1999. pp. 235-239

<sup>44</sup> ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). "Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual". EEUU: EPA. 1999.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## II.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El trabajo de investigación se realizó en una de las plantas de tratamiento de agua del cantón de Cuenca de la provincia del Azuay, entre los meses de Junio y Agosto del año 2011.

Para el estudio, se tomó en cuenta el agua previa al tratamiento (agua cruda), el agua de abastecimiento tratada mediante procesos físicos y químicos en la planta de potabilización (agua tratada), así como los lugares abastecidos en las distintas comunidades (agua de inmuebles).

#### 2.1.1. MUESTREO

Con el afán de verificar la calidad microbiológica del agua potable de la planta de tratamiento, se utilizó como pauta datos de relevancia que constan en un estudio previo realizado en dicho lugar. Para el estudio se tomó como puntos críticos aquellos inmuebles en los cuales se encontró una concentración de Cloro Libre Residual baja y para completar el número de muestras se hizo una selección aleatoria de viviendas de acuerdo a la población en cada comunidad.

Se realizó la determinación de Cloro Residual in situ mediante la técnica del DFD con el equipo marca HACH-DR 890 ®; así como pH in situ con potenciómetro marca BOECO modelo PT-370 ®. Se hizo la toma de muestra para el análisis microbiológico en frascos estériles de tapa rosca de 500 mL marca BOECO ®, a los cuales se adicionó 0,1 mL (2 gotas) de Tiosulfato de sodio al 3 % por cada 100 mL de agua.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



### 2.1.1.1. Tamaño de la muestra.

Se realizó el cálculo del tamaño de la muestra mediante fórmula estadística:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{NE^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

- $n$  = Tamaño de la muestra.
- $Z$  = Nivel de confianza.
- $p$  = Variabilidad positiva.
- $q$  = Variabilidad negativa.
- $N$  = Tamaño de la población.
- $E$  = Precisión o Error.

Como resultado se obtuvo un total de 76 muestras a analizar, sin embargo para un mayor nivel de confianza de resultados se realizó un total de 82 muestras distribuidas de la siguiente manera: 11 muestras de agua cruda, 11 muestras de agua tratada y 60 muestras de agua de lugares abastecidos en las comunidades. De modo que se hizo el análisis de 82 muestras por duplicado, de acuerdo al cronograma de trabajo.

### 2.1.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 2.1.2.1. Toma de muestra.

La toma de muestra se realizó de acuerdo a los *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (SMEWW)* de la APHA, AWWA, WPCF.<sup>45</sup> (véase ANEXOS 1 y 2).

<sup>45</sup> APHA; WEF; AWWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995. p. 9/38 – 9/41.



#### 2.1.2.1.1. *Toma de muestra en planta de tratamiento.*

Para la toma de muestra en agua cruda: se rotuló los frascos estériles y uno limpio. Se desinfectaron los puntos de descarga con alcohol, y se dejó correr el agua por un lapso de 3 a 5 minutos. Se sanitizó la tapa y boca de los frascos recolectores y se procedió a la recolección.

Para la toma de muestra en agua tratada: se rotuló los frascos estériles y uno limpio. Se sanitizó la tapa y boca de los frascos recolectores y se procedió a la recolección de la muestra del tanque de almacenamiento de agua potable.

#### 2.1.2.1.2. *Toma de muestra en inmuebles.*

Se tomaron muestras de la red de distribución que se descargan en grifos ubicados en los inmuebles. Se etiquetó los frascos estériles y un frasco recolector limpio. Se desinfectó el grifo de descarga y se dejó correr el agua de la llave durante 3 a 5 minutos. Se sanitizó la tapa y boca de los frascos estériles y se procedió a la recolección de la muestra.

#### 2.1.2.2. **Análisis físico químico.**

Las muestras recolectadas en los frascos de vidrio limpios, fue analizada inmediatamente, midiendo los siguientes parámetros: (véase ANEXO 3).

##### 2.1.2.2.1. *Determinación de Cloro Residual*

Se utilizó el método colorimétrico de la DFD en el equipo marca HACH modelo DR/890, el cuál consistió en: homogenizar la muestra en el recipiente y posteriormente transferir 10 mL a la celda limpia y seca. Se enciende el equipo y se ingresa el número de programa (Cód. 9) para la prueba de cloro residual.

Se enceró el equipo utilizando los mismos 10 mL de agua colocados en la celda. Se añadió un sobre del reactivo DFD en la celda, y una vez homogenizada la muestra se procedió a realizar la lectura, cuidando limpiar previamente por fuera la celda para evitar errores de lectura.

---

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Se anota la lectura que vendrá expresada en concentración de mg/L de cloro residual.<sup>46</sup>

#### 2.1.2.2.2. *Determinación de pH*

Se utilizó el método potenciométrico en el equipo de marca BOECO modelo PT- 370, para lo cual se homogenizo la muestra; una vez encendido el equipo, se retiró el protector plástico del electrodo y se lavó con agua destilada.

Al sumergir ambos electrodos (el de pH y el de temperatura), se agitó ligeramente la muestra y se espero un lapso de 30 segundos hasta estabilización de los marcadores de lectura. Se anota la lectura observada en el equipo.

Eventualmente se procedió a calibrar el equipo con buffer de pH  $7,00 \pm 0,02$  a  $25^{\circ}\text{C}$ .<sup>47</sup>

#### 2.1.2.3. **Análisis microbiológico.**

Las muestras recolectadas en frascos estériles de tapa rosca, fueron transportadas en recipiente Cooler a  $4^{\circ}\text{C}$ , siguiendo las recomendaciones de los *SMEWW* de la APHA para la determinación de los siguientes parámetros:

##### 2.1.2.3.1. *Recuento de Bacterias heterotróficas*

Se utilizó la técnica de incorporación (siembra por profundidad). El método consistió en adicionar volúmenes de 1mL de la muestra ( $10^0$ ) y su dilución ( $10^{-1}$ ) a cada caja petri estéril para luego verter Agar Plate Count licuado y temperado (entre  $40^{\circ}\text{C}$  –  $45^{\circ}\text{C}$ ) a la placa, homogenizar cuidadosamente de acuerdo a los métodos de rotación, dejar solidificar e incubar las placas invertidas en estufa a  $35^{\circ}\text{C}$  durante 24 a 48 horas.

Luego se realizó la lectura de colonias en las cajas petri positivas, y se calculó mediante fórmula para expresar el resultado en UFC/mL de *Bacterias Heterotróficas*

<sup>46</sup> HACH. *Manual de procedimiento del equipo DR/890*. Pg. 141.

<sup>47</sup> BOECO. *Manual de Operación del Equipo PT-370 pH/mV Meter*.

---

#### **AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



#### 2.1.2.3.2. Numeración de Coliformes totales y fecales (NMP).

La técnica consistió en utilizar como medio cultivo, Caldo LMX Fluorocult modificado según MANAFI y OSSMER, distribuido en una serie de 5 tubos de vidrio con tapa rosca para inóculos de 10 mL de la muestra.

Luego de inoculada la muestra, se incubó en estufa 35°C por 24 horas, considerándose como tubos positivos para *Coliformes totales*, aquellos que presentaron cambio de coloración de amarillo a verde fluorescente.

A los tubos positivos se añadió dos a tres gotas del reactivo de Kovacs, tomando como prueba positiva para *Coliformes fecales*, aquellos en cuya superficie presentó un anillo de color rosado a rojo.

Luego se realizó la lectura del Número Más Probable (NMP) en la tabla correspondiente (véase TABLA 2), para estimar el resultado en valores de NMP/100 mL de *Coliformes totales* y NMP/100mL de *Coliformes fecales*. (véase ANEXO 8)

#### 2.1.2.3.3. Numeración de *Pseudomona aeruginosa* (NMP).

El método consistió en utilizar como medio de cultivo para la prueba presuntiva, Caldo Nutritivo de doble concentración distribuido en una serie de 5 tubos tapa rosca para inóculos de 10 mL.

Una vez inoculadas las muestras, se incubaron en estufa a 35°C por 24 a 48 horas, considerándose como positivos los tubos con presencia de turbidez.

De los tubos positivos se transfirió con ayuda de un asa el contenido de los mismos para sembrar por estría en cajas petri con Agar Cetrimide, luego se incubó a la placa invertida en estufa a 35°C durante 24 a 48 horas.

Se observaron las colonias típicas (verde azuladas y fluorescentes a luz UV), para luego ser transferidas a un cepario con Agar Tripticasa de Soya (TSA), e incubar la placa invertida en estufa a 35°C durante 24 horas.

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



De cada cepario se aislaron colonias para realizar las pruebas de catalasa y oxidasa, seleccionándose las colonias que dieron reacción positiva a ambas pruebas. Con las colonias de los ceparios positivos a oxidasa y catalasa, se realizaron las siguientes pruebas bioquímicas: reducción de nitratos y producción de Píocianina, para lo cual se inoculó las colonias en los respectivos medios y se incubó a 35°C durante 24 a 48 horas.

Se realizó la lectura de las pruebas bioquímicas y se hizo el cálculo de los tubos positivos a *P. aeruginosa* en Caldo Nutritivo mediante la tabla correspondiente (véase TABLA 2), para expresar el resultado como NMP/100 mL de *Pseudomona aeruginosa*. (véase ANEXO 8)

N° de tubos que presentan reacción positiva, a partir de 5 tubos de 10 mL	Índice de NMP/100mL	Límites de confianza en el 95%	
		Inferior	Superior
0	< 2.2	0	6.0
1	2.2	0.1	12.6
2	5.1	0.5	19.2
3	9.2	1.6	29.4
4	16.0	3.3	52.9
5	> 16.0	8.0	Infinito

Tabla 2: Tabla de resultados del Número Más Probable (NMP).

## 2.2. FORMAS DE CONTROL

Como método complementario para el control de resultados, se utilizó Agar EMB, en el cuál se sembró por estría con la ayuda de un asa las muestras de agua inoculadas en el Caldo Nutritivo de doble concentración que resultaron positivos; y se incubó las placas invertidas en estufa a 35°C durante 24 a 48 horas. Se observó y anotó el crecimiento de colonias típicas en el medio.

### 2.2.1. CONTROLES POSITIVOS

Se realizó la marcha analítica para el control de métodos y técnicas, con cepas de bacterias correspondientes al estudio. De modo que se trabajó para la Numeración de Coliformes totales y fecales con cepa de *Escherichia coli* ATCC 25922. Para la Numeración de *Pseudomona aeruginosa* se trabajó con muestra clínica de *P. aeruginosa spp.* De igual manera se sembró por estría ambas cepas en Agar EMB para su diferenciación. (véase ANEXO 4)

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



### 2.2.2. CONTROLES NEGATIVOS

Se trabajó en cada marcha analítica para todos los muestreos con tubos con los respectivos caldos de cultivo sin inóculo, así como con cajas petri con los respectivos medios sin sembrar, como método de control negativo de todos los medios.



### III.- RESULTADOS

De los datos obtenidos del análisis de las distintas muestras tanto de agua cruda, tratada, como de inmuebles (véase Anexo 5), se obtuvo la representación gráfica en relación a los niveles permisibles, mínimos y máximos tolerables (véase Ilustraciones 1, 2, 3, 4, 5, 6), obteniendo los resultados descritos a continuación:

#### 3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO

##### 3.1.1. AGUA CRUDA

Del análisis de las muestras de agua cruda se encontró contaminación microbiológica en un 95,45%, siendo principalmente por *Bacterias heterotróficas*, en las cuáles se presentó un 100% de contaminación con valores superiores a 100 UFC/mL, de acuerdo a los parámetros estudiados en el SMEWW. (véase TABLA 3 y ANEXO 8).

También hubo contaminación por *Coliformes totales y fecales* en donde el 90,91% de las muestras superó el valor de 2,2 NMP/mL. (véase TABLAS 4 y 5).

En cuanto al análisis de pH el 81,82% de las muestras estuvo dentro del rango de 6,5 – 8,5 UpH y el 18,18% presentó un valor inferior a 6,5 UpH. (véase TABLA 8).

##### 3.1.2. AGUA TRATADA

El análisis de las muestras de agua después de su tratamiento demostró idoneidad en un 98,86%, siendo no apta para su consumo en un 1,14%, de acuerdo a los parámetros estudiados en el SMEWW; presentando contaminación en el 4,55% de las muestras por *Bacterias heterotróficas* con valor superior a 100 UFC/mL. (véase TABLA 3 y ANEXO 8).

Con relación al análisis de la concentración de Cloro Libre Residual el 81,82% de las muestras estuvieron dentro del rango entre 0,3 – 1,5 mg/L, y el 18,18% con un valor ubicado en el rango entre 1,5 – 1,6 mg/L. (véase TABLA 7).

---

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



Del análisis de pH se encontró que el 72,73% de las muestras estuvieron dentro del rango entre 6,5 – 8,5 UpH, el 9,09% en el rango entre 6,4 – 6,5 UpH, el 9,09% en el rango entre 6,3 – 6,4 UpH y el 9,09% con un valor inferior a 6,0 UpH. (véase TABLA 8).

### 3.2. AGUA DE INMUEBLES.

El análisis de las muestras obtenidas en inmuebles demostró que al llegar a los hogares existe un 98.54% de agua apta para el consumo humano de acuerdo a los parámetros estudiados en el SMEWW. Se encontró contaminación microbiológica por *Bacterias heterotróficas* en el 5.83% de las muestras con un valor superior a 100 UFC/mL, así como de *Coliformes totales y fecales* en el 0.83% de las mismas con un valor de 2,2 NMP/100mL. (véase TABLAS 3, 4 y 5).

Con relación al análisis de Cloro Libre Residual el 96,67% de las muestras estuvieron dentro del rango entre 0,3 – 1,5 mg/L, mientras que el 3,33% de las muestras estuvieron por debajo de los 0,1 mg/L. (véase TABLA 7).

Para el análisis de pH se encontró que el 78,33% de las muestras estaban dentro del rango entre 6,5 – 8,5 UpH, el 16,67% de estuvo entre el rango de 6,4 – 6,5 UpH, mientras que el 5,0% restante estuvo en el rango entre 6,0 – 6,4 UpH. (véase TABLA 8).

En el estudio de las 82 muestras analizadas por duplicado, tanto de agua cruda, agua tratada y agua de inmuebles, no se encontró contaminación microbiológica por *P. aeruginosa*. (véase TABLA 6).



### 3.3. GRÁFICAS DE DATOS EN RELACIÓN A LOS LÍMITES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PERMISIBLES.

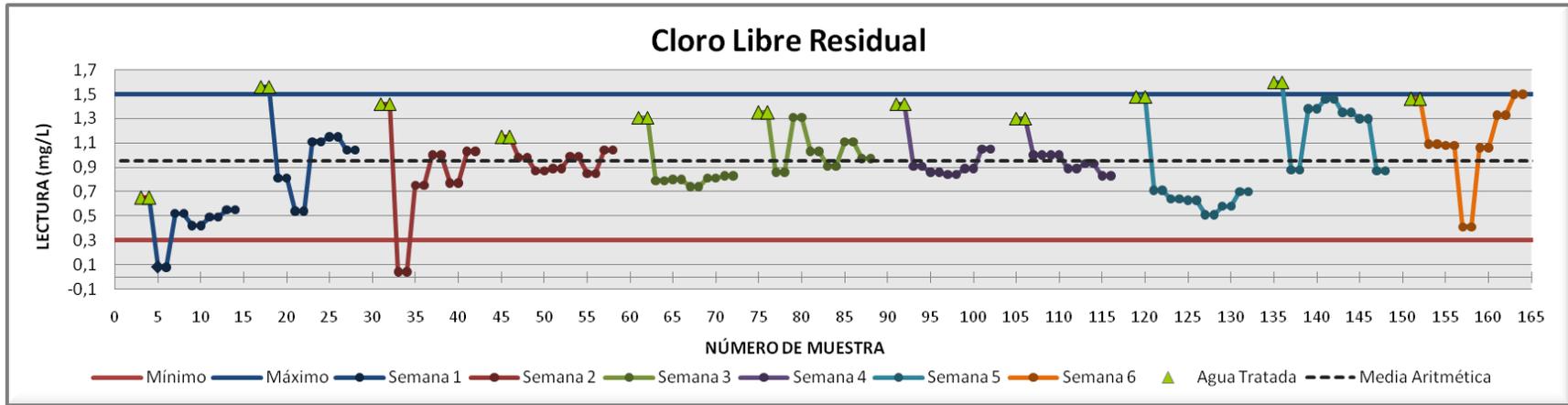


Ilustración 1: Gráfico en dispersión lineal para resultados de Cloro Libre Residual.

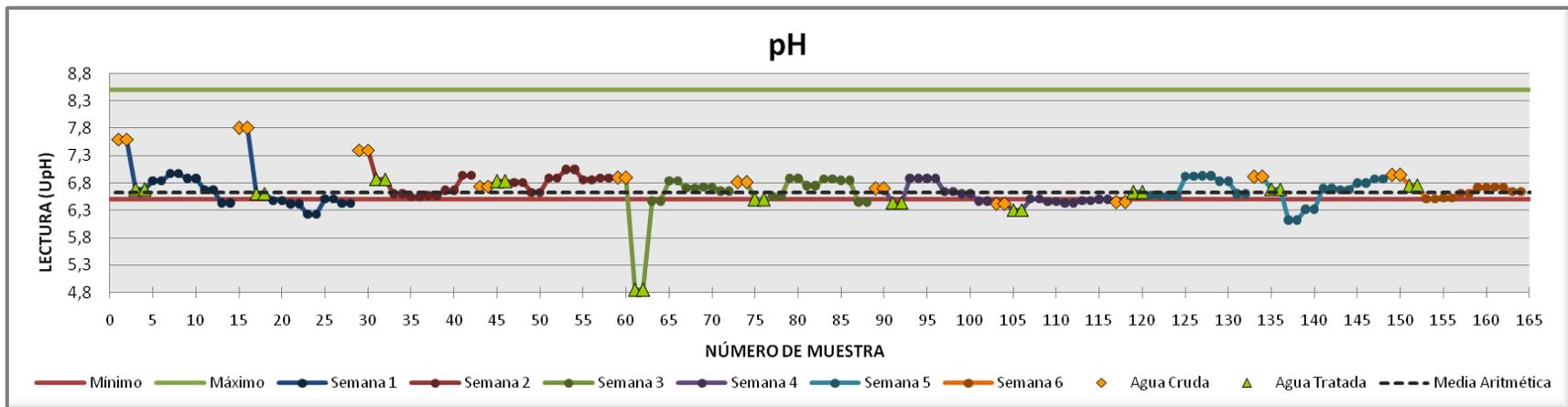


Ilustración 2: Gráfico en dispersión lineal para resultados de pH.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

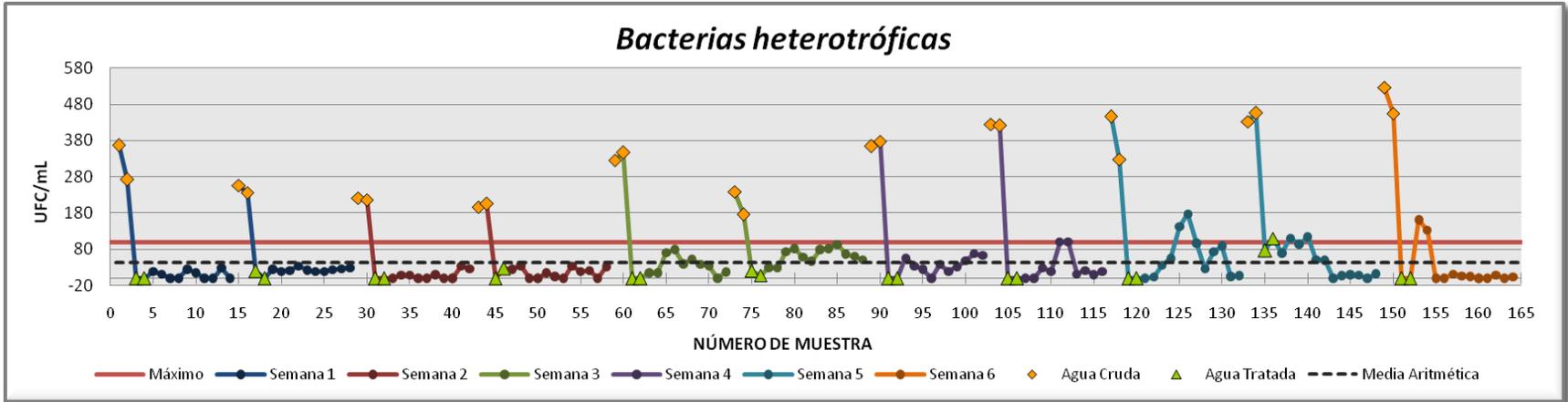


Ilustración 3: Gráfico en dispersión lineal para resultados de *Bacterias heterotróficas*.

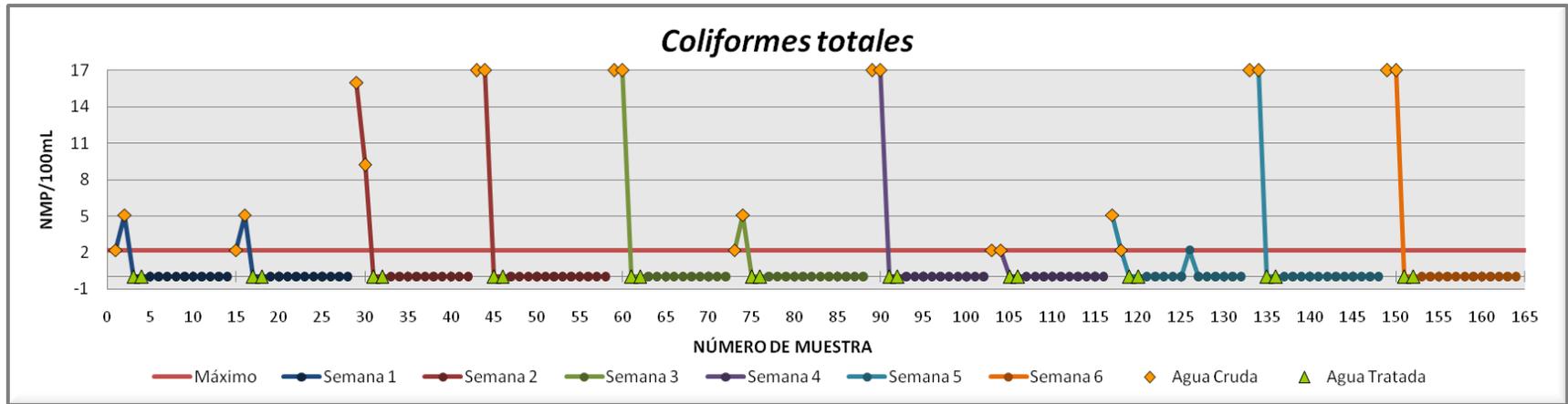


Ilustración 4: Gráfico en dispersión lineal para resultados de *Coliformes totales*.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

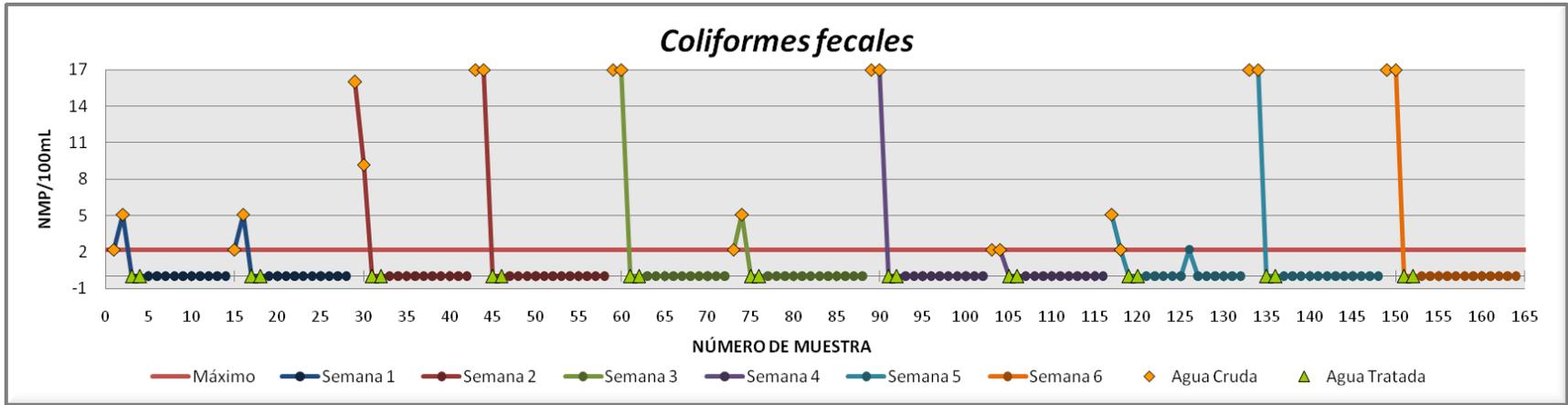


Ilustración 5: Gráfico en dispersión lineal para resultados de *Coliformes fecales*.

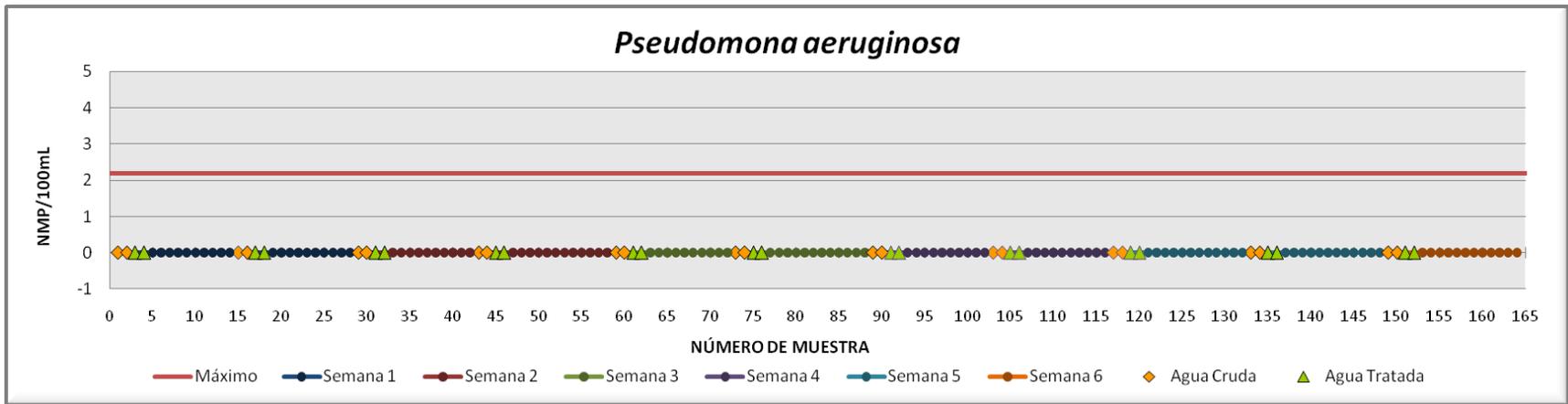


Ilustración 6: Gráfico en dispersión lineal para resultados de *Pseudomona aeruginosa*.



### 3.4. TABLAS DE RESULTADOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

BACTERIAS HETEROTRÓFICAS							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
<i>Bacterias heterotróficas</i> UFC/mL	< 100	0	0,00%	21	95,45%	113	94,17%
	> 100	22	100,00%	1	4,55%	7	5,83%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Tabla 3: Análisis estadístico para *Bacterias heterotróficas*.

COLIFORMES TOTALES							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
<i>Coliformes totales</i> NMP/mL	< 2,2	2	9,09%	22	100,00%	120	100,00%
	> 2,2	20	90,91%	0	0,00%	0	0,00%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Tabla 4: Análisis estadístico para *Coliformes totales*.

COLIFORMES FECALES							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
<i>Coliformes fecales</i> NMP/mL	< 2,2	2	9,09%	22	100,00%	120	100,00%
	> 2,2	20	90,91%	0	0,00%	0	0,00%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Tabla 5: Análisis estadístico para *Coliformes fecales*.

PSEUDOMONA AERUGINOSA							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
<i>Pseudomona aeruginosa</i> NMP/mL	< 2,2	22	100,00%	22	100,00%	120	100,00%
	> 2,2	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Tabla 6: Gráfica para el análisis estadístico de *Pseudomona aeruginosa*.

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



CLORO LIBRE RESIDUAL							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Cloro Residual mg /L	1,5 - 1,6	-	-	4	18,18%	0	0,00%
	<b>0,3 - 1,5</b>	-	-	18	81,82%	116	96,67%
	0,1 - 0,3	-	-	0	0,00%	0	0,00%
	< 0,1	-	-	0	0,00%	4	3,33%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

**Tabla 7:** Análisis estadístico para Cloro Libre Residual.

pH							
PARÁMETRO	REFERENCIA	AGUA CRUDA		AGUA TRATADA		INMUEBLES	
		FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
pH UpH	> 8,5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	<b>6,5 - 8,5</b>	18	81,82%	16	72,73%	94	78,33%
	6,4 - 6,5	4	18,18%	2	9,09%	20	16,67%
	6,0 - 6,4	0	0,00%	2	9,09%	6	5,00%
	< 6,0	0	0,00%	2	9,09%	0	0,00%
	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>100%</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

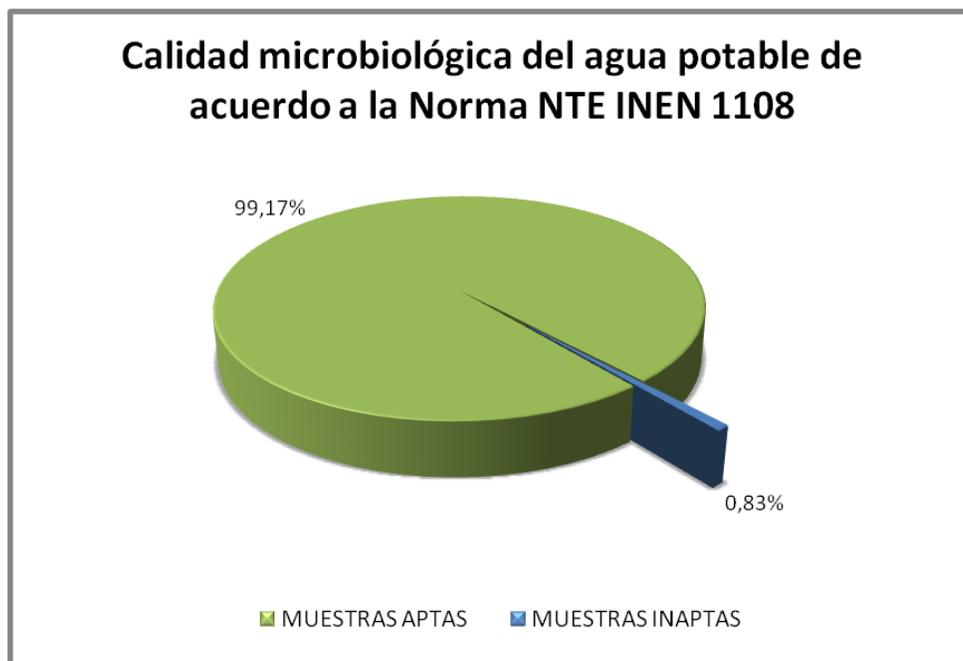
**Tabla 8:** Análisis Estadístico para pH.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

#### IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados respecto a la calidad microbiológica del agua potable de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108 (Coliformes totales y fecales), que es suministrada a los inmuebles en las distintas comunidades no presentaron contaminación microbiana significativa, encontrándose como apta para su consumo el 99,17% de las muestras, y el 0,83% presentó contaminación por *Coliformes totales y fecales*, siendo éste valor correspondiente a una de las muestras de inmuebles, cuyo valor fue de 2,2 NMP/100mL.



**Ilustración 7:** Gráfico en pastel seccionado para la relación en porcentajes de agua apta e inapta para su consumo de acuerdo a los parámetros según la Norma NTE INEN 1108, previo al estudio confirmatorio.

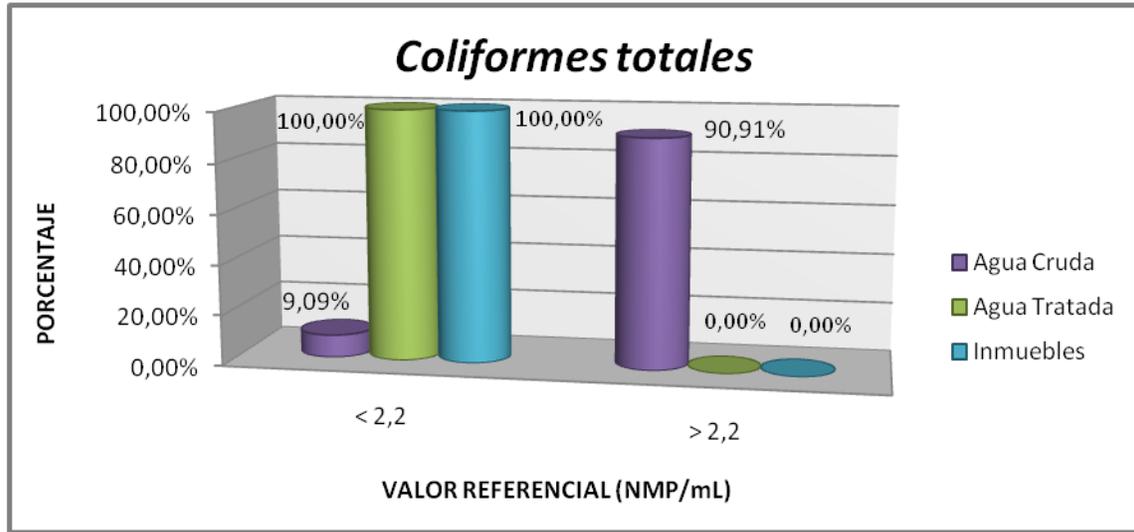
Debido a encontrarse la presencia de *Coliformes fecales* en la muestra de inmuebles se tomó como pauta para su análisis realizar un nuevo muestreo del lugar de contaminación, así como de las viviendas aledañas para un análisis de las mismas.

---

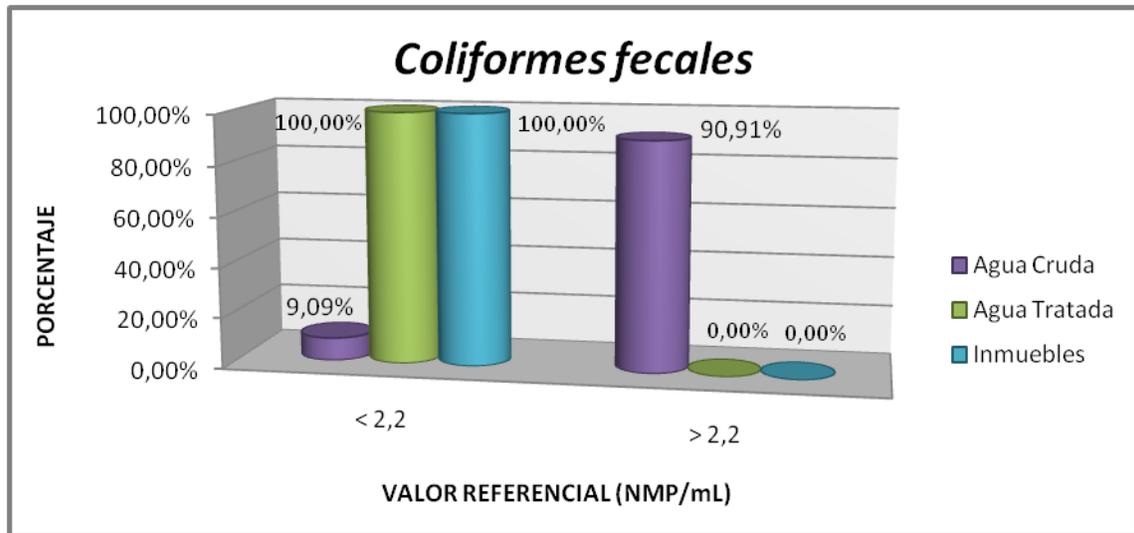
**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

Estos nuevos estudios demostraron la ausencia de *Coliformes totales* y *fecales*, deduciendo que la contaminación hallada con anterioridad se debía a la presencia de excretas de animales domésticos y de granja alrededor del punto de descarga.

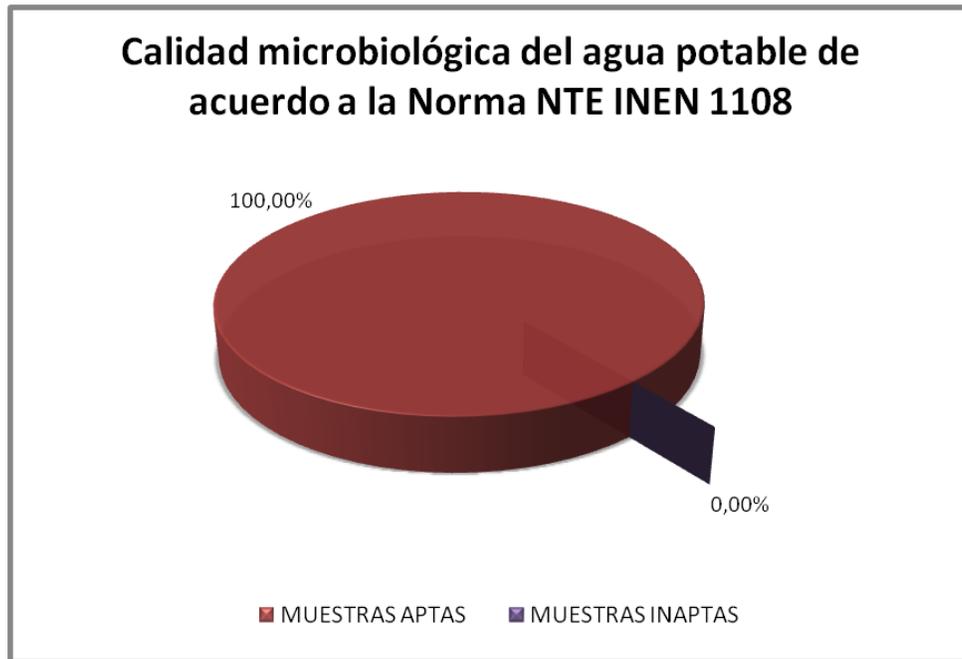


**Ilustración 8:** Gráfico de barras verticales para el análisis estadístico de *Coliformes totales*.



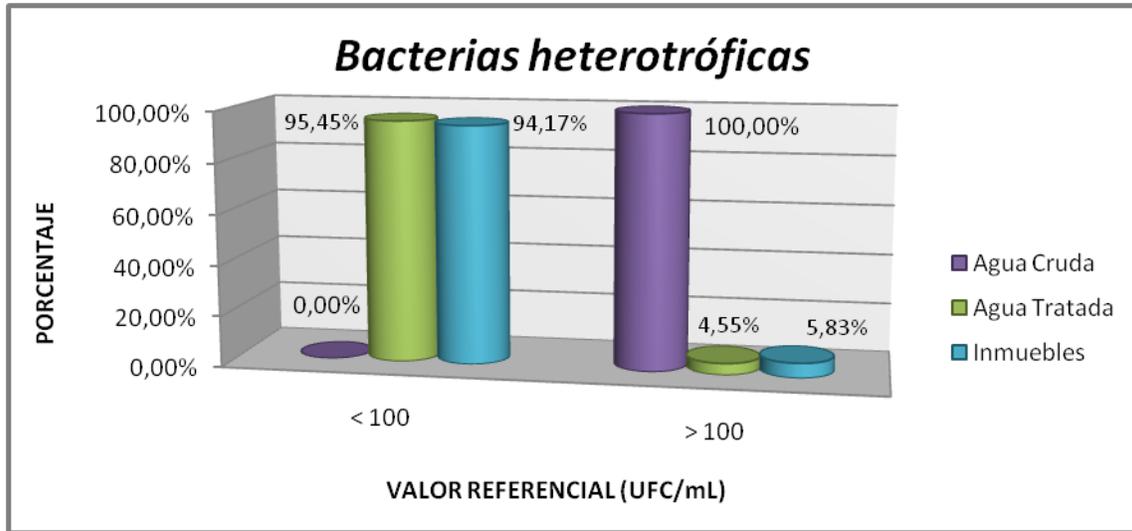
**Ilustración 9:** Gráfica de barras verticales para el análisis estadístico de *Coliformes fecales*.

Del nuevo análisis confirmatorio para los parámetros de *Coliformes totales y fecales*, se demostró que el 100% de las muestras de agua de inmuebles es apta para su consumo, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108.



**Ilustración 10:** Gráfico en pastel seccionado para la relación en porcentajes de agua apta e inapta para su consumo de acuerdo a los parámetros según la Norma NTE INEN 1108, de acuerdo al estudio confirmatorio.

Analizando los resultados de acuerdo al parámetro de *Bacterias heterotróficas* en relación a las normas, NTE INEN 1108 e Internacionales para el agua de consumo (véase ANEXOS 7 y 8), se encontró un conteo mayor a 100 UFC/mL en 1 muestra de agua potable de la planta de tratamiento equivalente al 4,55%, así como 7 muestras de agua de inmuebles equivalente a un 5,83%.



**Ilustración 11:** Gráfico de barras verticales para el análisis estadístico de *Bacterias heterotróficas*.

La presencia de *Bacterias heterotróficas* encontrada en la muestra de agua potable en la planta de tratamiento, presentó un conteo de  $1,10 \times 10^2$  UFC/mL valor que no sobrepasa significativamente el límite permisible en las normas, sin embargo su contaminación se pudo deber principalmente a la condición de la toma de muestra; para lo cual se requería sumergir el frasco recolector desde una altura aproximada de 3 metros, pudiendo haberse contaminado el momento de la extracción del frasco desde el tanque de almacenamiento para su sellado. (véase ANEXO 2)

La contaminación encontrada por *Bacterias heterotróficas* en las muestras de los inmuebles puede deberse a la precaria condición de limpieza del entorno de los distintos puntos de descarga de agua, observándose principalmente alrededor de las llaves de agua animales tanto domésticos, como de granja y sus excretas, charcas de agua estancada y maleza, entre otros; pudiendo permitir la contaminación de las muestras con bacterias propias del entorno.<sup>48</sup>

<sup>48</sup> OMS. Guías OMS para la Calidad de Agua de Bebida. "Recomendaciones". Segunda edición. Volúmen I. 1995.

A pesar de encontrar contaminación por *Bacterias heterotróficas* en el agua de inmuebles, de acuerdo al análisis estadístico para este parámetro se tiene una media de  $0,40 \times 10^2$  UFC/mL, demostrándose que se mantiene un nivel aceptable que cumpla con las normas para el agua de consumo. (véase ILUSTRACIÓN 3)

El total de muestras analizadas tanto de agua potable en planta de tratamiento y de inmuebles, no presentó contaminación microbiológica por *Pseudomona aeruginosa*, siendo el agua potable apta para su consumo de acuerdo a las normas internacionales para el agua de bebida. (véase ANEXO 8).

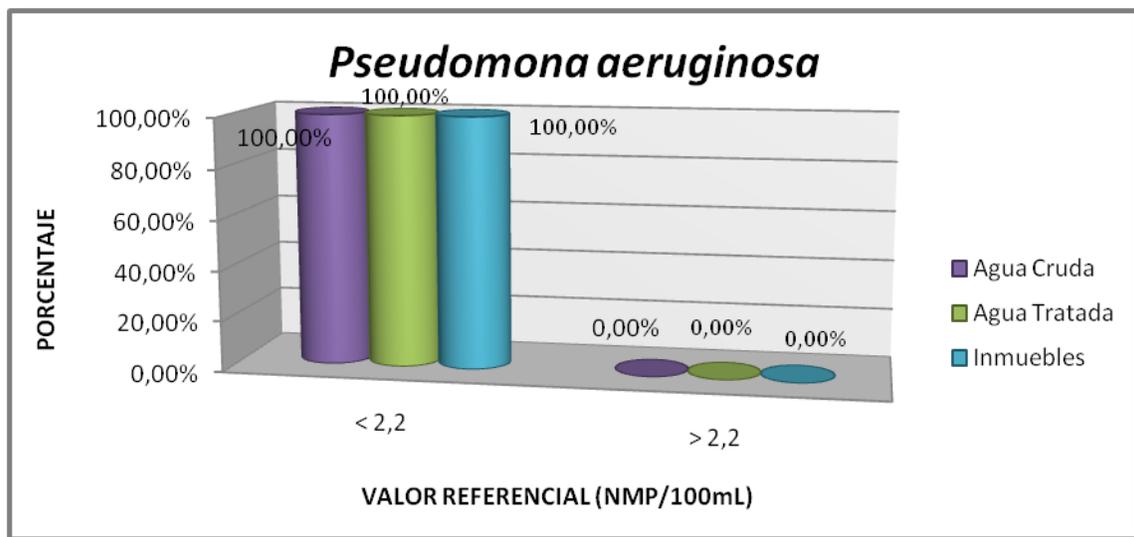
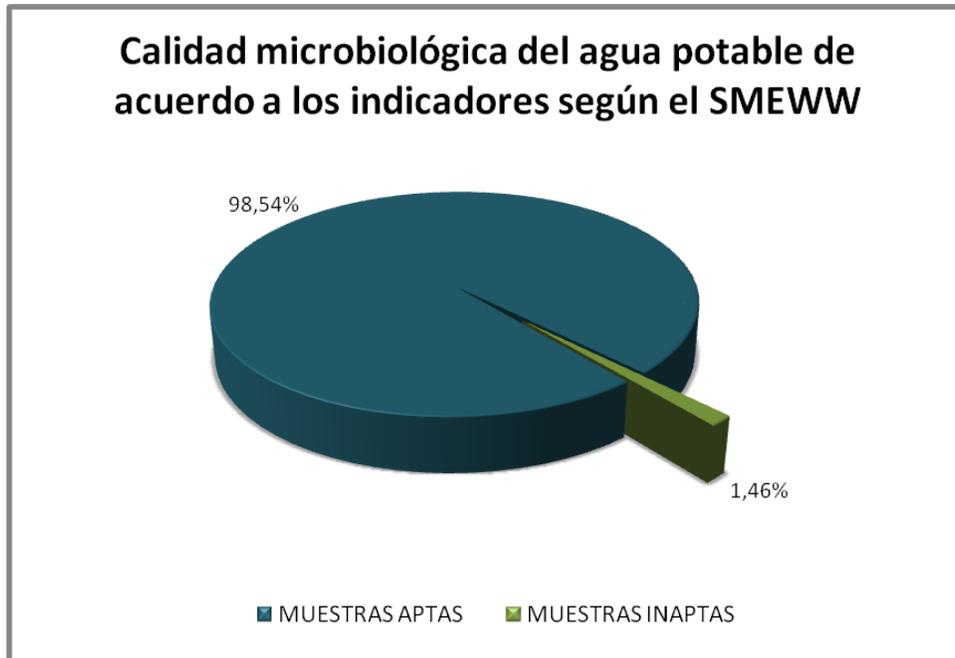


Ilustración 12: Gráfica de barras verticales para el análisis estadístico de *Pseudomona aeruginosa*.

Vale mencionar que la calidad microbiológica del agua potable en la planta de tratamiento de acuerdo a la Norma NTE INEN 1108 y Normas Internacionales para el agua de bebida descritas por la OMS-CEPIS estudiados en relación al SMEWW, es óptima para su consumo, de lo cual podemos decir que la contaminación se produce después de su distribución a través de la red pública y almacenamiento en las viviendas.



**Ilustración 13:** Gráfico en pastel seccionado para la relación en porcentajes de agua apta e inapta para su consumo de acuerdo a los parámetros según SMEWW.

Demostrándose de este modo, que uno de los puntos críticos en los sistemas de agua potable es la distribución.<sup>49</sup>

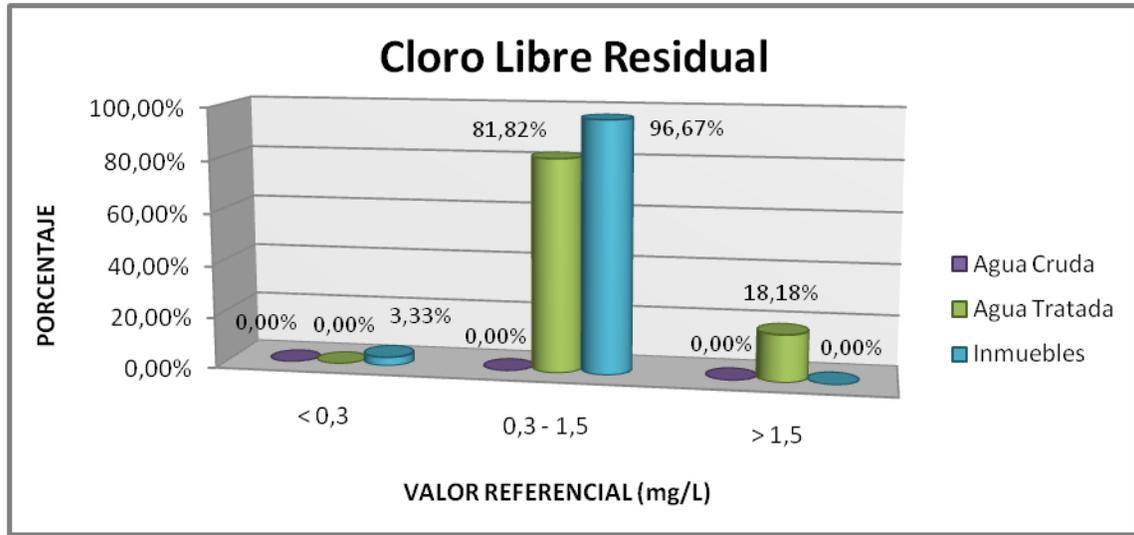
El análisis respecto al Cloro Libre Residual indica que un 81,82% de las muestras de agua potable en la planta de tratamiento cumple con los requisitos de la Norma NTE INEN 1108 y un 18,18% que estuvo por encima del requisito en un rango de 1,5 – 1,6 mg/L. Sin encontrar muestras por debajo de lo establecido en la norma.

Con respecto al análisis de Cloro Libre Residual de agua potable de inmuebles, se encontró un 96,67% de las muestras están dentro de los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108, y un 3,33% por debajo de 0,1 mg/L.

<sup>49</sup> TORRES, Y. *Resistencia de Pseudomona aeruginosa al cloro libre residual*. Revista AINSA. 1991. 11(1). pp. 21-25.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



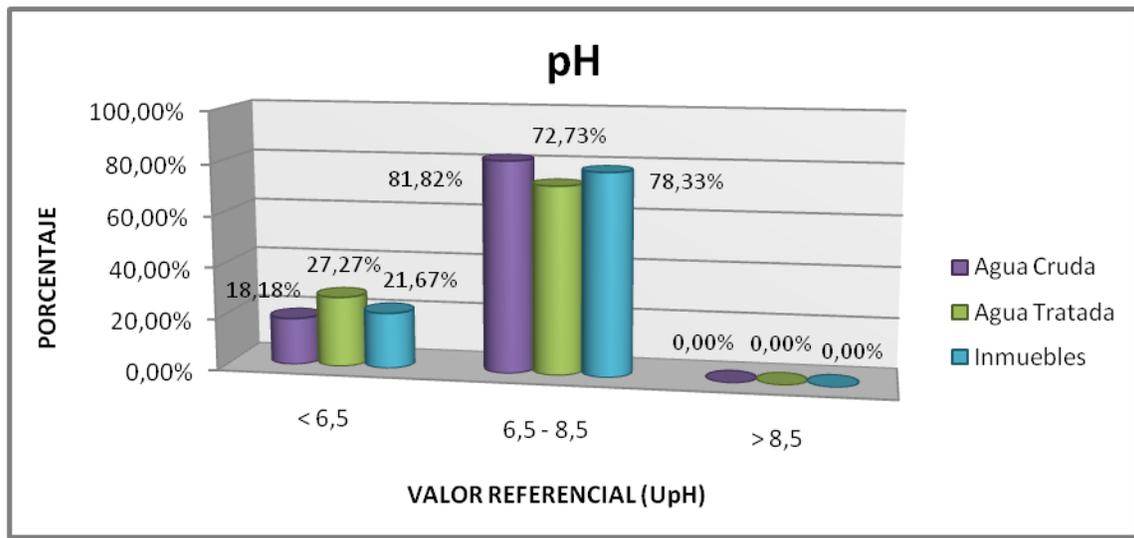
**Ilustración 14:** Gráfico de barras verticales para el análisis estadístico de Cloro Libre Residual.

El problema de baja concentración de cloro residual se suscitó principalmente por dos posibles causas analizadas: 1) en los inmuebles existía una falta de circulación de agua a través de la red de distribución interna de las viviendas, debido a que las llaves de paso permanecen cerradas durante todo el día, lo que ocasiona que la cantidad de cloro enviada en condiciones óptimas desde la planta de tratamiento se consuma; y 2) para los muestreos en las comunidades, se requería de llevar con una tarde de anticipo los equipos de medición, quedando los laboratorios con equipos de apreciación visual para los operadores de planta, lo que podría haber ocasionado una dosificación baja de cloro.

De acuerdo al análisis estadístico para el Cloro Libre Residual, se obtuvo una media de 0,95 mg/L para este parámetro, demostrándose que se mantiene una concentración adecuada a nivel de la red de distribución. (véase ILUSTRACIÓN 1)

El análisis de muestras de agua potable en la planta de tratamiento para pH, demostró que el 72,73% estuvo dentro de los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108, habiendo un 9,09% en un rango entre 6,4 – 6,5 UpH, un 9,09% en un rango entre 6,0 – 6,4 UpH y un 9,09% en un rango inferior a 6,0 UpH.

Para el agua potable de inmuebles se encontró que el 78,33% de las muestras estuvieron dentro de lo establecido en la norma, un 16,67% entre 6,4 – 6,5 UpH y un 5,00% entre 6,0 – 6,4 UpH.



**Ilustración 15:** Gráfico de barras verticales para el análisis estadístico de pH.

El hecho de encontrar un total de 27,27% de muestras de agua potable en la planta de tratamiento, así como de un total de 21,67% de muestras de inmuebles que se encuentran por debajo de lo establecido en la norma, se debió al uso del equipo potenciométrico para los muestreos, lo que pudo haber generado una dosificación del regulante de pH inexacta.



Del mismo modo se realizó nuevos muestreos en los inmuebles donde se encontró valores preocupantes de Cloro Libre Residual, así como de las viviendas aledañas, encontrándose valores de este parámetro dentro de lo que exige la norma; deduciendo que el problema se presentó a una falta de circulación del recurso a través de la red de distribución y al ser los inmuebles dos de los puntos más lejanos de abastecimiento, el cloro llega dentro de norma pero en menor cantidad, con lo cual su consumo es más rápido.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> OMS. *Guías para la calidad del agua de potable*. Tercera Edición. Volumen 1. Ginebra: OMS, 2004.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## V.- CONCLUSIONES

1. Se demostró que para el control de la calidad microbiológica del agua potable de este sistema de abastecimiento, no es necesario el análisis complementario basado en los *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA, AWWA, WPCF)* de *Pseudomona aeruginosa* como indicador para el control de rutina, debido a su ausencia en el 100% de las muestras tanto de agua cruda, como de agua tratada.
2. Del mismo modo se demostró que el agua potable suministrada de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108, es apta para su consumo en un 100%.
3. Tomando en cuenta los indicadores de acuerdo a los *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (Bacterias heterotróficas, Coliformes totales, Coliformes fecales, y Pseudomona aeruginosa)* el agua potable en la planta de tratamiento presentó una idoneidad del 98,86% y el agua potable suministrada en inmuebles presentó un 98,54% de aptitud, viéndose afectada en ambos casos por la presencia de *Bacterias heterotróficas*; teniendo valores superiores a lo exigido en las normas internacionales para agua de consumo en un 1,14% y 1,46% respectivamente.
4. Del análisis de la concentración de Cloro Libre Residual, se demostró que el 98,33% del agua de abastecimiento es apta para su consumo, estableciendo que la concentración de cloro en agua es óptima para evitar la contaminación microbiológica a lo largo de la red de distribución.
5. De acuerdo a los valores de pH en agua de inmuebles, se encontró un 78,33% dentro del rango permitido en la Norma NTE INEN 1108, teniendo una media de 6,63 UpH, lo que favorece la presencia del ácido hipocloroso con mayor poder germicida.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



6. De lo descrito anteriormente podemos concluir que teniéndose un tratamiento efectivo, la contaminación del agua de inmuebles se debe principalmente a las condiciones precarias de higiene del entorno.



## VI.- RECOMENDACIONES.

1. Concientizar a la población sobre la importancia de mantener un entorno saludable en las viviendas para evitar la propagación de enfermedades de transmisión hídrica.
2. Establecer un plan de recloración en puntos estratégicos a lo largo de la red de distribución para mantener cantidades óptimas de cloro libre residual en sitios alejados.
3. Hacer un seguimiento periódico a futuro de *Pseudomona aeruginosa* y *Bacterias heterotróficas* en la planta de tratamiento, así como de inmuebles, debido a su importancia como verificadores de la calidad del recurso; ya que como se ha descrito *Pseudomona aeruginosa* puede provocar la ausencia de *Coliformes totales* y *fecales*, haciéndose insuficiente el análisis de los parámetros descritos en la Norma NTE INEN 1108.
4. Hacer un seguimiento periódico de la concentración de Cloro Libre Residual en agua de inmuebles, y establecer puntos críticos a lo largo de la red de distribución; con lo cual se puede evitar la ausencia de desinfectante y así mantener la idoneidad de este recurso.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## BIBLIOGRAFÍA

1. **ALLEN, M. 1996.** *La importancia para la salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable.* Lima : CEPIS. OPS. OMS., 1996. Reunión sobre la calidad del Agua Potable.
2. **APHA, WEF, AWWA. 1995.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 19th Edition. Washington D.C. : American Public Health Association, 1995.
3. **ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. 2000.** *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Bogotá : Mc Graw Hill y ACODAL, 2000. pág. 362. Vol. Tomo I.
4. **BOECO.** Manual de Operación del Equipo PT-370 pH/mV Meter.
5. **CÁCERES LOPEZ, Oscar. 1990.** *Desinfección del Agua.* Lima : Ministerio de Salud-OPS, 1990.
6. **CALDERÓN, E. y DE BENEDETTI, R. 1976.** *Comportamiento de Pseudomona aeruginosa en distintos tipos de agua.* s.l. : AIDIS, 1976. XV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria.
7. **CAMPOS, C. 1999.** *Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola.* Barcelona : Facultad de Biología, 1999. pág. 250.
8. **CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, (CEPIS).** BVSA. [En línea] [Citado el: 05 de Agosto de 2011.] Extraído de: RÍOS, Danilo. "Riesgos biológicos y subproductos de la desinfección en el agua de bebida". [www.cepis.ops-oms.org/](http://www.cepis.ops-oms.org/).
9. **CONTRERAS, G.J., y otros. 1996.** *Efecto Bactericida de Catabolitos de Pseudomona aeruginosa sobre Coliformes fecales en Agua de Consumo.* Lima, Perú : s.n., 1996. IV Congreso Latinoamericano de Higiene y Microbiología de Alimentos.
10. **ENOHSA. 2000.** *Guías para la presentación de proyectos de agua potable".* *Fundamentaciones. Cap. 10: Desinfección.* 2000. pág. 243.
11. **ENRIQUEZ, Carlos. 1999.** *Waterborne pathogens, Section 4: Introduction to viral pathogenic agents.* s.l. : American Water Works Associations, 1999.
12. **EPA. 1999.** *Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual.* s.l. : EPA, 1999.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



13. **ESPINOSA BERNAL, José. 2011.** Scribd Inc. [En línea] 2011. [Citado el: 1 de Agosto de 2011.] <http://es.scribd.com/doc/2404173/u-t-11-microorganismos-marcadores>.
14. **FEWTRELL, L., y otros. 1993.** *Pathogens in surfacetemperate waters*. Samara Press : s.n., 1993.
15. **FREDERICO, Erich Alexandre, y otros. 1999.** *Remoção de compostos orgânicos naturais no processo convencional de tratamento de água: influência do ph e da dosagem de coagulante na eficiência do proceso*. Río de Janeiro : ABES, 1999. 20° Congreso Brasileiro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
16. **GALARRAGA SOTO, Efrén. 1984.** *Algunos aspectos relacionados con microrganismos en agua potable*. s.l. : Revista Politécnica de Información Técnica y Científica, 1984. págs. 135-143.
17. **GELDREICH, Edwin. 1999.** *Waterborne Pathogens, Section II: Introduction to Viral Pathogenic Agents, Enteroviruses*. s.l. : American Water Works Asociation, 1999.
18. **GOEZ, Mario y VASQUEZ, María José. 1999.** *Determinación y diferenciación de E. coli y Coliformes totales usando un mismo sustrato cromogénico*. s.l. : Textos Completos CEPIS, 1999.
19. **HACH.** Manual de procedimiento del equipo DR/890. *HACH - DR/890*. pág. 141.
20. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, INEN. 2006.** *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 - Agua Potable Requisitos*. Quito, Ecuador : s.n., 2006.
21. **MADIGAN, M., MARTINKU, J y PARKER, J. 1997.** *Biología de los microorganismos*. Octava edición. Madrid : Prentice Hall, 1997. pág. 986.
22. **MURRAY, Patrick, ROSENTHAL, Ken y PFAÜER, Michael. 2007.** *Microbiología Médica. "Pseudomonas y microorganismos relacionados"*. Quinta edición. Madrid : Editorial Elsevier S.A., 2007. págs. 357-363.
23. **OMS. 1985.** *Guías OMS para la Calidad del Agua de Bebida*. Ginebra : Publicación Científica OPS, 1985. pág. 481. Vol. Volumen I.
24. —. **1995.** *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra : OMS, 1995.
25. —. **1996.** *The world health report 1996: Fighting disease, fostering development*. Génova : WHO, 1996. pág. 143.
26. **ONTIVEROS ARREOLA, M.E. 1983.** *Pseudomona aeruginosa como indicador de la calidad bacteriológica del agua para uso recreacional*. México : Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, 1983.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



27. **OPS. 1988.** *Guías para la calidad del agua potable "Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades"*. Washington D. C. : s.n., 1988. Vol. III, Publicación Científica 508.
28. **PUMAROLA, A, y otros. 2000.** *Microbiología y Parasitología Médica*. Segunda edición. Barcelona : Salvat Editores S.A., 2000.
29. **RICE, Eugene. 1999.** Introduction to bacterial pathogenic agents, Escherichia coli. *Waterborne Pathogens*. s.l. : American Water Works Association, 1999, Cap. 8, págs. 75-78.
30. **ROBERTS, N.C. 1982.** *Pseudomona inhibition of coliform group*. s.l. : Abstract of the annual meeting of the American Society for Microbiology, 1982.
31. **RODRÍGUEZ, Carlos. 1995.** *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. pág. 115.
32. **ROLIM, S. 2000.** *Sistemas de lagunas de estabilización*. Primera edición. Bogotá : Mc Graw. Hill, 2000. pág. 370.
33. **SOARES, Paulo, SILVA, Carlos y DA CRUZ, Odir. 1996.** *Pseudomona aeruginosa como indicador en análisis bacteriológico de aguas de abastecimiento público*. s.l. : Associacao Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental, 1996. II-014.
34. **TORRES, Y. 1991.** *Resistencia de Pseudomona aeruginosa al Cloro libre residual*. s.l. : AINSA, 1991. págs. 21-25.
35. —. **1991.** Utilización de Pseudomona aeruginosa como indicador de contaminación en el agua de tanques y cisternas. *Boletín de Lima*. 1991, 78, págs. 27-28.
36. **VARGAS GARCÍA, Carmen. 1996.** *Control de calidad del agua en la red de distribución*. s.l. : CEPIS, 1996. pág. 6.
37. **VERCELLONE, E. y ZDERO, M. 2001.** *Agua de consumo como coadyuvante de parasitosis intestinales en poblaciones vulnerables de la ciudad de Villa Constitución*. Santa Fé : Universidad Nacional de Rosario, 2001. págs. 1-2.
38. **VERGARAY, Germán y MÉNDEZ, Carmen Rosa. 1994.** *Eficacia de un programa para proteger la calidad del agua proveniente de plantas de tratamiento*. Perú : s.n., 1994. págs. 5-11. Revista peruana de Epidemiología.
39. **VILLEGAS, María. 2007.** *Purificación de aguas*. Segunda edición. Colombia : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007. págs. 83-112.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

## ANEXOS

### ANEXO 1: SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE RECURSOS PARA LA TOMA DE MUESTRA.



**Ilustración 16:** Selección de puntos de muestreo.



**Ilustración 17:** Preparación de material de laboratorio.



**Ilustración 18:** Preparación de material y equipo para análisis in situ en los lugares de muestreo.



**Ilustración 19:** Preparación de Cooler con frascos estériles para recolección y transporte de muestras.

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

## ANEXO 2: TOMA DE MUESTRA

### 1. TOMA DE MUESTRA EN PLANTA DE TRATAMIENTO.

#### ➤ Toma de muestra en agua cruda.



**Ilustración 20:** Gasa con alcohol al 70%.



**Ilustración 21:** Sanitización de frascos recolectores.



**Ilustración 22:** Sanitización de grifo.



**Ilustración 23:** Corrida de agua.



**Ilustración 24:** Recolección de muestra en frasco limpio para determinación de Cloro Residual y pH.



**Ilustración 25:** Recolección de muestra en frasco estéril para análisis microbiológico

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

➤ Toma de muestra en agua tratada.



**Ilustración 26:** Sanitización de frascos recolectores.



**Ilustración 27:** Toma de muestra en frasco limpio para determinación de Cloro Residual y pH.



**Ilustración 28:** Toma de muestra en frasco estéril para análisis microbiológico.



**Ilustración 29:** Muestras recogidas en tanque de reserva de agua tratada.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

## 2. TOMA DE MUESTRA EN AGUA DE INMUEBLES.



**Ilustración 30:** Gasa con alcohol al 70%.



**Ilustración 31:** Sanitización de frascos recolectores.



**Ilustración 32:** Sanitización de llave de agua.



**Ilustración 33:** Corrida de agua.



**Ilustración 34:** Recolección de muestra para análisis de Cloro Residual y pH.



**Ilustración 35:** Recolección de muestra para análisis microbiológico.

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

**ANEXO 3: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO.****➤ Determinación de Cloro Residual.**

**Ilustración 36:** Programación del equipo HACH para lectura de Cloro Residual.



**Ilustración 37:** Colocación de 10ml muestra en celda.



**Ilustración 38:** Colocación de celda en el equipo para encendido.



**Ilustración 39:** Equipo encendido.



**Ilustración 40:** Adición de reactivo DPD a la muestra.



**Ilustración 41:** Reacción de DPD con el cloro residual de la muestra.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

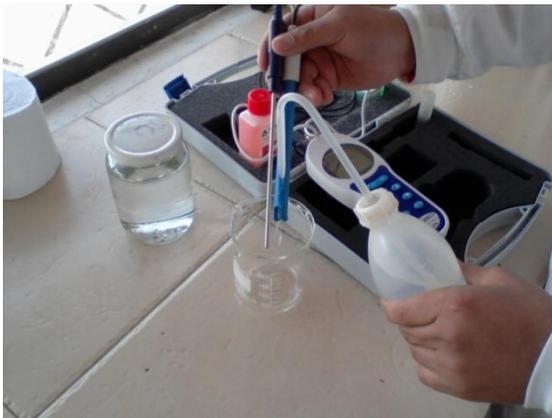


**Ilustración 42:** Colocación de celda para lectura.



**Ilustración 43:** Lectura de resultado.

➤ **Determinación de pH.**



**Ilustración 44:** Lavado de electrodos con agua destilada.



**Ilustración 45:** Calibración de potenciómetro con buffer.



**Ilustración 46:** Introducción de electrodos en muestra.



**Ilustración 47:** Lectura de resultados.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

## ANEXO 4: MARCHA ANALÍTICA PARA EL ANÁLISIS DE CONTROLES POSITIVOS.

- Cultivo de *P. aeruginosa* y *E. coli* en Agar EMB, para diferenciación.



Ilustración 48: *P. aeruginosa* en Agar EMB



Ilustración 49: *E. coli* en Agar EMB.

- Control para *Bacterias heterotróficas* en Agar Plate Count.



Ilustración 50: *Bacterias heterotróficas* en Agar Plate Count – Control Negativo y Positivo.

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berzuetta  
Luis Alberto Contreras Álvarez

➤ Control de *Coliformes totales* y *fecales* en Caldo LMX Fluorocult.

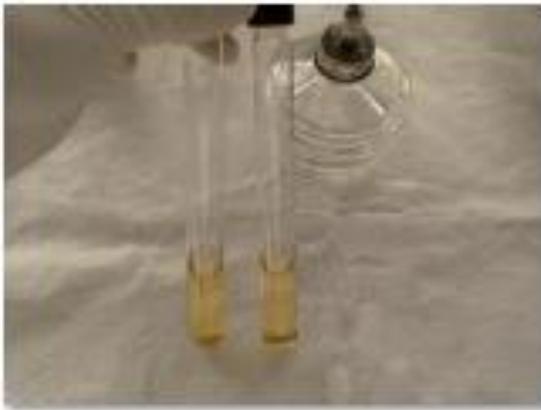


**Ilustración 51:** *Coliformes totales* en Caldo LMX Fluorocult – Control Negativo y Positivo.



**Ilustración 52:** *Coliformes fecales*, prueba con el Reactivo de Kovacs

➤ Control para *Pseudomona aeruginosa* en los distintos medios de trabajo.



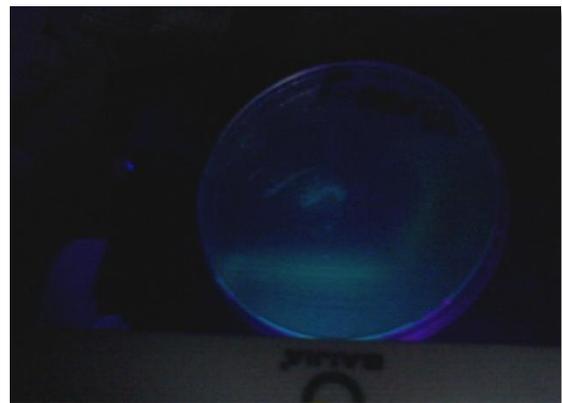
**Ilustración 53:** Controles Negativos - Caldo Nutritivo simple y doble concentración.



**Ilustración 54:** *Pseudomona aeruginosa* en caldo nutritivo de simple y doble concentración



**Ilustración 55:** *Pseudomona aeruginosa* en Agar Cetrimide - Control Negativo y Positivos.



**Ilustración 56:** *Pseudomona aeruginosa* en Agar Cetrimide, observado bajo luz UV.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



**Ilustración 57:** *Pseudomonas aeruginosa* en cepario de Agar TSA



**Ilustración 58:** Procedimiento para prueba de Catalasa



**Ilustración 59:** Prueba de Catalasa Positiva



**Ilustración 60:** Procedimiento para prueba de Oxidasa



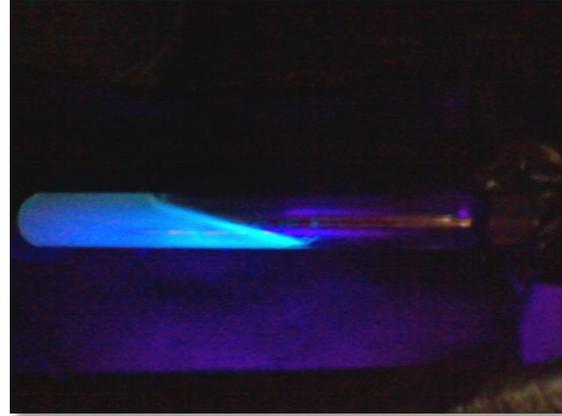
**Ilustración 61:** Prueba de Oxidasa Positiva

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



**Ilustración 62:** *Pseudomona aeruginosa* en medio para producción de Píocianina.



**Ilustración 63:** Producción de Píocianina, observada bajo luz UV.



**Ilustración 64:** *Pseudomona aeruginosa* en Caldo Nitrato



**Ilustración 65:** Caldo Nitrato adicionado el Reactivo A.



**Ilustración 66:** Caldo Nitrato adicionado el Reactivo B.



**Ilustración 67:** Prueba positiva para reducción de nitratos.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## ANEXO 5: TABLAS DE TABULACIÓN DE RESULTADOS.

REGISTRO DE RESULTADOS										
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa		
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL		
PRIMERA SEMANA	MARTES 14 DE JUNIO DE 2011	AC	1		7,60	3,66E+02	2,2	2,2	< 2,2	
			2		7,60	2,72E+02	5,1	5,1	< 2,2	
		AT	3	0,65	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			4	0,65	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
		AI	5	0,08	6,84	1,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			6	0,08	6,84	1,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			7	0,52	6,97	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			8	0,52	6,97	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			9	0,42	6,88	2,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			10	0,42	6,88	1,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			11	0,49	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			12	0,49	6,68	< 1,0x10 <sup>0</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			13	0,55	6,44	2,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			14	0,55	6,44	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
	VIERNES 17 DE JUNIO DE 2011		AC	15		7,80	2,56E+02	2,2	2,2	< 2,2
				16		7,80	2,36E+02	5,1	5,1	< 2,2
		AT	17	1,56	6,61	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			18	1,56	6,61	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
		AI	19	0,81	6,48	2,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			20	0,81	6,48	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			21	0,54	6,42	2,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			22	0,54	6,42	3,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			23	1,11	6,23	2,27E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			24	1,11	6,23	1,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			25	1,15	6,51	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			26	1,15	6,51	2,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			27	1,04	6,43	2,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
			28	1,04	6,43	2,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	

Tabla 9: Resultados obtenidos en la primera semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

## AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



REGISTRO DE RESULTADOS									
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa	
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	
SEGUNDA SEMANA	MARTES 21 DE JUNIO DE 2011	AC	29		7,40	2,22E+02	16	16	< 2,2
			30		7,40	2,16E+02	9,2	9,2	< 2,2
		AT	31	1,42	6,87	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			32	1,42	6,87	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	33	0,04	6,60	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			34	0,04	6,60	8,18E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			35	0,75	6,54	8,18E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			36	0,75	6,54	< 1,0x10 <sup>0</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			37	1,00	6,57	< 1,0x10 <sup>0</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			38	1,00	6,57	1,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			39	0,77	6,67	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			40	0,77	6,67	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
	41		1,03	6,94	3,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
	42		1,03	6,94	2,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
	VIERNES 24 DE JUNIO DE 2011	AC	43		6,74	1,97E+02	> 16	> 16	< 2,2
			44		6,74	2,05E+02	> 16	> 16	< 2,2
		AT	45	1,15	6,83	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			46	1,15	6,83	2,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	47	0,98	6,81	2,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			48	0,98	6,81	3,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			49	0,87	6,63	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			50	0,87	6,63	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			51	0,89	6,89	1,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			52	0,89	6,89	5,45E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
53			0,99	7,05	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
54			0,99	7,05	3,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	
55	0,85		6,86	1,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
56	0,85		6,86	2,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
57	1,04	6,89	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
58	1,04	6,89	3,27E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			

Tabla 10: Resultados obtenidos en la segunda semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



REGISTRO DE RESULTADOS									
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa	
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	
TERCERA SEMANA	MARTES 05 DE JULIO DE 2011	AC	59	6,90	3,25E+02	> 16	> 16	< 2,2	
			60	6,90	3,46E+02	> 16	> 16	< 2,2	
		AT	61	1,31	4,85	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			62	1,31	4,85	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	63	0,79	6,47	1,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			64	0,79	6,47	1,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			65	0,80	6,84	7,09E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			66	0,80	6,84	7,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			67	0,74	6,71	4,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			68	0,74	6,71	5,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			69	0,81	6,73	3,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			70	0,81	6,73	3,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			71	0,83	6,65	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			72	0,83	6,65	1,73E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
	VIERNES 08 DE JULIO DE 2011		AC	73	6,81	2,39E+02	2,2	2,2	< 2,2
				74	6,81	1,75E+02	5,1	5,1	< 2,2
		AT	75	1,35	6,50	2,09E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			76	1,35	6,50	8,18E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	77	0,86	6,56	3,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			78	0,86	6,56	2,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			79	1,31	6,88	7,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			80	1,31	6,88	8,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			81	1,03	6,75	5,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			82	1,03	6,75	4,73E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			83	0,91	6,87	8,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			84	0,91	6,87	8,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			85	1,11	6,85	9,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			86	1,11	6,85	6,73E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
87	0,97	6,45	6,09E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
88	0,97	6,45	5,09E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			

Tabla 11: Resultados obtenidos en la tercera semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



REGISTRO DE RESULTADOS									
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa	
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL	
PRIMERA SEMANA	MARTES 14 DE JUNIO DE 2011	AC	1		7,60	3,66E+02	2,2	2,2	< 2,2
			2		7,60	2,72E+02	5,1	5,1	< 2,2
		AT	3	0,65	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			4	0,65	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	5	0,08	6,84	1,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			6	0,08	6,84	1,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			7	0,52	6,97	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			8	0,52	6,97	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			9	0,42	6,88	2,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			10	0,42	6,88	1,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			11	0,49	6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			12	0,49	6,68	< 1,0x10 <sup>0</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			13	0,55	6,44	2,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			14	0,55	6,44	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
	VIERNES 17 DE JUNIO DE 2011	AC	15		7,80	2,56E+02	2,2	2,2	< 2,2
			16		7,80	2,36E+02	5,1	5,1	< 2,2
		AT	17	1,56	6,61	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			18	1,56	6,61	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		AI	19	0,81	6,48	2,55E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			20	0,81	6,48	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			21	0,54	6,42	2,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			22	0,54	6,42	3,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			23	1,11	6,23	2,27E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			24	1,11	6,23	1,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			25	1,15	6,51	1,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			26	1,15	6,51	2,36E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			27	1,04	6,43	2,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
			28	1,04	6,43	2,82E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2

Tabla 12: Resultados obtenidos en la cuarta semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



REGISTRO DE RESULTADOS											
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa			
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL			
QUINTA SEMANA	MARTES 19 DE JULIO DE 2011	AC	117		6,45	4,45E+02	5,1	5,1	< 2,2		
			118		6,45	3,28E+02	2,2	2,2	< 2,2		
		AT	119	1,48	6,63	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			120	1,48	6,63	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
		AI	121	0,71	6,58	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			122	0,71	6,58	3,64E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			123	0,64	6,57	3,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			124	0,64	6,57	5,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			125	0,63	6,92	1,43E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			126	0,63	6,92	1,78E+02	2,2	2,2	< 2,2		
			127	0,51	6,93	9,73E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			128	0,51	6,93	2,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			129	0,58	6,83	7,27E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			130	0,58	6,83	8,91E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			131	0,70	6,60	5,45E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			132	0,70	6,60	7,27E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2		
			VIERNES 22 DE JULIO DE 2011	AC	133		6,91	4,33E+02	> 16	> 16	< 2,2
					134		6,91	4,55E+02	> 16	> 16	< 2,2
AT	135	1,60		6,69	7,64E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	136	1,60		6,69	1,10E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
AI	137	0,88		6,12	7,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	138	0,88		6,12	1,11E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	139	1,38		6,32	9,45E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	140	1,38		6,32	1,15E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	141	1,46		6,70	5,09E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	142	1,46		6,70	5,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	143	1,35		6,68	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	144	1,35		6,68	7,27E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	145	1,30		6,80	1,00E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	146	1,30		6,80	8,18E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	147	0,87		6,87	< 1,0x10 <sup>1</sup>	< 2,2	< 2,2	< 2,2			
	148	0,87		6,87	1,27E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2			

Tabla 13: Resultados obtenidos en la quinta semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



REGISTRO DE RESULTADOS								
FECHA	LUGAR	N°	Cloro Residual	pH	Bacterias heterotróficas	Coliformes totales	Coliformes fecales	Pseudomona aeruginosa
			mg/L	UpH	UFC/mL	NMP/100mL	NMP/100mL	NMP/100mL
SEXTA SEMANA MARTES 26 DE JULIO DE 2011	AC	149	-	6,95	5,26E+02	> 16	16	< 2,2
		150	-	6,95	4,55E+02	> 16	16	< 2,2
	AT	151	1,46	6,75	< 1,0x10^0	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		152	1,46	6,75	< 1,0x10^0	< 2,2	< 2,2	< 2,2
	AI	153	1,09	6,51	1,62E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		154	1,09	6,51	1,33E+02	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		155	1,08	6,53	< 1,0x10^1	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		156	1,08	6,53	< 1,0x10^1	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		157	0,41	6,61	1,18E+01	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		158	0,41	6,61	6,36E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		159	1,06	6,72	5,45E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		160	1,06	6,72	< 1,0x10^1	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		161	1,33	6,73	< 1,0x10^1	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		162	1,33	6,73	8,18E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		163	1,50	6,64	< 1,0x10^1	< 2,2	< 2,2	< 2,2
		164	1,50	6,64	3,64E+00	< 2,2	< 2,2	< 2,2

Tabla 14: Resultados obtenidos en la sexta semana de trabajo.

AC: Agua Cruda en Planta de Tratamiento.

AT: Agua Tratada en Planta de Tratamiento.

AI: Agua recolectada de Inmuebles.

**AUTORES:**

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



**ANEXO 6: TABLA DE RESULTADOS PARA EL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP).<sup>51</sup>**

**ÍNDICE DEL NMP Y LÍMITES DE CONFIANZA DE 95% PARA VARIAS COMBINACIONES DE RESULTADOS POSITIVOS Y NEGATIVOS CUANDO SON INOCULADOS 5 PORCIONES DE 10mL DE MUESTRA.**

N° de tubos que presentan reacción positiva, a partir de 5 tubos de 10 mL	Índice de NMP/100mL	Límites de confianza en el 95%	
		Inferior	Superior
0	< 2.2	0	6.0
1	2.2	0.1	12.6
2	5.1	0.5	19.2
3	9.2	1.6	29.4
4	16.0	3.3	52.9
5	> 16.0	8.0	Infinito

<sup>51</sup> APHA; WEF; AWWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. Washington D.C.: American Public Health Association, 1995



## ANEXO 7: REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS DE ACUERDO A LA NORMA NTE INEN 1108: 2006 DE AGUA POTABLE.<sup>52</sup>

**OBJETO:** Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para su consumo humano.

**ALCANCE:** Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados, a través de redes de distribución y tanqueos.

### DISPOSICIONES GENERALES.

Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos no deberá ser superior a 100 UFC/mL.

### REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS.

PARÁMETRO	UNIDADES	MÁXIMO
Coliformes totales (1)	NMP/100mL	< 2 *
Coliformes fecales	NMP/100mL	< 2 *
Criptosporidium	Número de quistes/100L	<b>Ausencia</b>
Giardia lamblia	Número de quistes/100L	<b>Ausencia</b>

\* <2 significa que el ensayo del NMP utilizado en una serie de 5 tubos por dilución, ninguno es positivo.

(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento como cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95% de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

<sup>52</sup> INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, INEN. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 - Agua Potable Requisitos*. Quito, Ecuador: s.n., 2006.

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## ANEXO 8: REGLAMENTOS DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA.

En la siguiente tabla se resumen los reglamentos de algunos países de América Latina en cuanto a los aspectos microbiológicos, según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS):<sup>53</sup>

PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	URU	BOL	BRA	COL	CRI	MEX	SLV
<b>AÑO:</b>		2003	1996	1997	2000	1988	1997	1994 (*)	1997
<b>ORIGEN:</b>		Valores Guía	Dto. 27335	IBNORCA NB512	Portaria 1459	MS 475/- 98	Dto. 25991- S	NOM- 127- SSA1	NSO 130701
<b>Coli fecales o E. coli</b>	UFC/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Coliformes totales</b>	UFC/100 mL	0	5	0	0	1	-	0	0
<b>Bacterias heterotróficas</b>	UFC/mL	-	500	-	-	-	-	-	100

**URU:** Uruguay

**BOL:** Bolivia

**BRA:** Brasil

**COL:** Colombia

**CRI:** Costa Rica

**MEX:** México

**SLV:** El Salvador

(\*) *La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994,» Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización», fue modificada en el año 2000, fijándose los parámetros que se incluyen en la tabla.*

*“En ningún caso podrá aceptarse la presencia de Pseudomonas aeruginosa en muestras de agua destinadas al consumo humano y se llamara la atención sobre la presencia de otras especies del genero Pseudomonas.”*

<sup>53</sup> CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS). “Normas internacionales para la calidad del agua de bebida”. [En línea] 2011. Citado: [05 de Agosto de 2011]. [www.cepis.ps-oms.org/](http://www.cepis.ps-oms.org/)

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta

Luis Alberto Contreras Álvarez



## ANEXO 9: PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS UTILIZADOS.

### ➤ Agar Plate Count (Agar peptona de caseína-glucosa-extracto de levadura).

COMPOSICIÓN	g/L
Peptona de Caseína	5 g
Extracto de levadura	2.5 g
D (+) glucosa	1 g
Agar	15 g

**Preparación:** Suspender 23.5 g en 1000 mL de agua destilada. Llevar a ebullición para disolver para la disolución total del medio. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos. Mezclar bien y verter en cajas Petri estériles.

### ➤ Caldo LMX Fluorocult modificado según MANAFI y OSSMER.

COMPOSICIÓN	g/L
Triptosa	5 g
Cloruro sódico	5 g
Sorbitol	1 g
Triptófano	1 g
Hidrógeno fosfato dipotásico	2.7 g
Dihidrógeno fosfato potásico	2 g
Sulfato de laurilo y sodio	0.1 g
5-Bromo-4-cloro-3-indolil-β-D-galactopiranosido (X-Gal)	0.08 g
4-metillumbeliferil-β-D-glucorónido (MUG)	0.05 g
1-isopropil-β-D-tiogalacto-piranosido	0.1 g

**PREPARACIÓN:** Suspender 17 g en 1000 mL de agua destilada. Mezclar bien y verter en tubos de vidrio con tapa de rosca. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos.

### ➤ Caldo Nutritivo.

COMPOSICIÓN	g/L
Extracto de carne	3 g
Peptona	5 g

**PREPARACIÓN:** Suspender 8 g en 1000 mL de agua destilada. Mezclar bien y verter en tubos de vidrio con tapa de rosca. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos.

### ➤ Agar Cetrimide.

COMPOSICIÓN	g/L
Peptona de gelatina	20.0
Cloruro de magnesio	1.40
Sulfato de potasio	10.0
Cetrimide (N-cetil-N,N,N-trimetiamoniobromuro)	0.30
Agar	15.0

**PREPARACIÓN:** Suspender 46.7 g en 1000 mL de agua destilada que contiene 10 mL de glicerol. Llevar a ebullición para disolver para la disolución total del medio. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos. Mezclar bien y verter en cajas Petri estériles.

#### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



➤ **Agar Trypticasa de Soya (TSA).**

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>g/L</b>
Triptona	15.0
Peptona de soya	5.00
Cloruro de sodio	5.00
Agar	15.0

**PREPARACIÓN:** Suspender 40 g en 1000 mL de agua destilada que contiene 10 mL de glicerol. Llevar a ebullición para disolver para la disolución total del medio. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos. Mezclar bien y verter en cajas Petri estériles.

➤ **Caldo Nitrato.**

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>g/L</b>
Peptona de carne	8.60
Cloruro de sodio	6.40
Nitrato de potasio	1.50

**PREPARACIÓN:** Suspender 16.5 g en 1000 mL de agua destilada. Mezclar bien y verter en tubos de vidrio con tapa de rosca. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos.

➤ **Medio para la determinación de Piocianina.**

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>g/L</b>
Peptona	20.0
Glicerina	10.0
Sulfato de potasio anhidro	10.0
Cloruro de magnesio anhidro	1.40
Agar	13.6

**PREPARACIÓN:** Suspender 55 g en 1000 mL de agua destilada que contiene 10 mL de glicerol. Llevar a ebullición para disolver para la disolución total del medio. Esterilizar en autoclave a 15 lbs de presión (121°C) por 15 minutos. Mezclar bien y verter tubos de vidrio con tapa rosca estériles.



ANEXO 10: HOJA DE REGISTRO DE DATOS.

HOJA DE REGISTRO													
CONTROL MICROBIOLÓGICO DEL AGUA POTABLE A TRAVÉS DE MICROORGANISMOS INDICADORES SEGÚN SMEWW DE LA APHA													
TABLA 1													
FECHA	PARÁMETRO		Cl RESIDUAL	pH		B. HETEROTRÓFICAS				COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES	
	VALOR REFERENCIAL		0,3-1,5 mg/l	6.5 - 8.5 UpH		< 100 UFC/100ml				< 2.2 NMP/100ml		< 2.2 NMP/100ml	
	LUGAR DE MUESTREO		Nº	TEMP °C	VALOR	24H	48H	24H	48H	RESULTADO	TUBOS + -	RESULTADO	TUBOS + -
SEMANA 1 MARTES 14 DE JUNIO DE 2011			1										
			2										
			3										
			4										
			5										
			6										
			7										
			8										
			9										
			10										
			11										
			12										
			13										
			14										
SEMANA 1 VIERNES 17 DE JUNIO DE 2011			15										
			16										
			17										
			18										
			19										
			20										
			21										
			22										
			23										
			24										
			25										
			26										
			27										
			28										

Ilustración 68: Hoja de registro de datos (Tabla 1).

HOJA DE REGISTRO													
CONTROL MICROBIOLÓGICO DEL AGUA POTABLE A TRAVÉS DE MICROORGANISMOS INDICADORES SEGÚN SMEWW DE LA APHA													
TABLA 2													
PARÁMETRO		<i>Pseudomona aeruginosa</i>											
FECHA	Nº	0 NMP/100ml				CONFIRMATORIA	PRUEBAS BIOQUÍMICAS				EMB		OBSERVACIONES:
		SIMPLE CONCENTRACIÓN		DOBLE CONCENTRACIÓN		A. CETRIMIDE	OXIDASA	CATALASA	REDUCCIÓN NITRATOS	PRODUCCIÓN PIOCIANINA	24H	48H	
		+	-	RESULTADO	+								
SEMANA 1 MARTES 14 DE JUNIO DE 2011		1											
			2										
			3										
			4										
			5										
			6										
			7										
			8										
			9										
			10										
			11										
			12										
			13										
			14										
SEMANA 1 VIERNES 17 DE JUNIO DE 2011			15										
			16										
			17										
			18										
			19										
			20										
			21										
			22										
			23										
			24										
			25										
			26										
			27										
			28										

Ilustración 69: Hoja de registro de datos (Tabla 2).

AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez





## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- **AC:** Agua Cruda.
- **AI:** Agua recolectada de Inmuebles BH: *Bacterias heterotróficas*.
- **APHA:** American Public Health Association.
- **AT:** Agua Tratada.
- **ATCC:** American Type Culture Collection.
- **AWWA:** American Water Works Association.
- **CEPIS:** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- **CF:** *Coliformes fecales*.
- **CT:** *Coliformes totales*.
- **DFD:** Dietil – Fenilen – Diamina.
- ***E. coli:*** *Escherichia coli*
- **EPA:** Environmental Protection Agency.
- **HOCl:** Ácido hipocloroso.
- **LPS:** Lipopolisacárido.
- **NTE INEN:** Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- **OCI:** Ión hipoclorito.
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- **OPS:** Organización Panamericana de la Salud.
- **PA:** *Pseudomona aeruginosa*.
- ***P. aeruginosa:*** *Pseudomona aeruginosa*.
- **SMEWW:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- **TSA:** Agar Tripticasa de Soya.
- **WPCF:** Water Pollution Control Facilities.



## UNIDADES DE MEDIDA

- **°C:** Grados Centígrados
- **μm:** Micrómetros
- **g:** Gramos
- **L:** Litros
- **mg:** Miligramos
- **mL:** Mililitros
- **NMP:** Número Más Probable
- **REP:** Recuento Estándar en Placa
- **UFC:** Unidades Formadoras de Colonias
- **UpH:** Unidades de pH

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



## GLOSARIO

- **Agar:** Polisacárido que se obtiene de algas de los géneros *Gelidium*, *Gracillaria*, *Gelidiella* y *Pterocladia*, por sus propiedades gelificantes
- **Biofilm:** O biopelícula, es un ecosistema microbiano organizado, conformado por microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructura complejas.
- **Cepario:** Lugar donde se alberga una colección de microorganismos, lo que permite facilitar su aislamiento y mantenimiento.
- **Cultivo:** Métodos para la multiplicación de microorganismos tales como bacterias, hongos y parásitos, en el que se prepara un medio óptimo para favorecer el proceso deseado.
- **Disentería:** Enfermedad infecciosa asociada a dolor abdominal, fiebre, diarrea, e inflamación y ulceración.
- **Entérico:** Relativo al intestino.
- **Enzima:** Moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles.
- **Floculo:** Es un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.
- **Heterotrófico:** Organismo que deben alimentarse con las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismo, bien autótrofos o heterótrofos a la vez.
- **Homeotermia:** O endotermia, es el proceso mediante el cual un grupo de seres vivos denominados homeotermos mantienen su temperatura corporal dentro de unos límites, independientemente de la temperatura ambiental.
- **Inmunodeprimido:** Describe un sistema inmunológico que funciona por debajo del índice de normalidad, debido a que los mecanismos de defensa son limitados en pacientes.
- **Inocuo:** Que no hace daño
- **Idoneidad:** Reunión de condiciones necesarias para desempeñar una función.
- **Nocivo:** Dañino, pernicioso o perjudicial.

---

### AUTORES:

Byron Eduardo Cajamarca Berrezueta  
Luis Alberto Contreras Álvarez



- **Patógeno:** Es cualquier microorganismo capaz de producir una enfermedad infecciosa.
- **Piocianina:** Pigmento azul o verde azulado que puede ser extraído de cultivos de *Pseudomonas aeruginosa*
- **Prueba de la Catalasa:** Prueba bioquímica que se utiliza para comprobar la presencia de la enzima Catalasa (enzima que descompone al peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua), que se encuentra en la mayoría de las bacterias aerobias y anaerobias facultativas.
- **Prueba de la Oxidasa:** Prueba bioquímica que consiste en determinar la presencia de enzimas oxidasa. La reacción de la oxidasa se debe a la presencia del sistema citocromooxidasa, que se encuentra en organismos aerobios y algunos anaerobios facultativos.
- **Quiste:** Estadío del ciclo de vida de algunos protozoarios y algunos protistas, es decir la forma morfológica de protección del microorganismo, en el que se recubre por una cubierta resistente tanto a factores químicos y físicos de modo que permanece inmóvil e inactivo hasta que se reanuden las condiciones favorables para su supervivencia.
- **Sanitizar:** Reducción de microorganismos a un nivel seguro.
- **Saprófito:** Microorganismo que emplea la materia orgánica producida por otros seres vivos como fuente de materia y energía.
- **Septicemia:** Infección generalizada por la presencia de bacterias en la sangre, procedentes de cualquier foco de infección y que se multiplican incontroladamente en el torrente sanguíneo. Es una complicación grave y potencialmente mortal que empeora en forma rápida
- **Trofozoíto:** Es la forma vegetativa activada que se alimenta generalmente por fagocitosis y se reproduce en el ciclo de vida de los protozoarios.
- **Volátil:** Se aplica a la sustancia que se transforma fácilmente en vapor o gas cuando es expuesta al aire.