

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

### “COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LAS PLANTAS UCHUPUCÚN Y MAHUARCAY DE LA CIUDAD DE AZOGUES”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**Bioquímico Farmacéutico**

**Autora:**

Rocío Filomena Calle Chimborazo

Cl.: 0302676549

**Directora:**

Dra. Silvia Johana Ortiz Ulloa, PhD.

Cl.: 0301082897

**CUENCA – ECUADOR**

**2017**



## RESUMEN

El presente trabajo de titulación es un estudio comparativo de los procesos de potabilización de dos plantas de tratamiento de agua de tipo convencional “Uchupucún” y “Mahuarcay” de la ciudad de Azogues mediante el análisis de parámetros físicos (turbiedad, conductividad y sólidos totales) y parámetros microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales).

Para los análisis de los diferentes parámetros se emplearon técnicas establecidas en normativas a nivel nacional e internacional. La determinación de la turbiedad se hizo en el equipo HACH 2100 AN USA, la conductividad y sólidos totales se analizaron en el equipo HACH - CONDUCTIVITY/ TDS METER USA. El recuento de coliformes totales y fecales se determinó por el método Colilert®. En total, se analizaron 120 muestras distribuidas en un periodo de siete semanas; cada semana se tomaron 3 muestras los días lunes, miércoles y jueves de cada punto de estudio de cada planta de tratamiento.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante pruebas T de Student de dos colas utilizando un nivel de significancia del 5%.

Únicamente el agua de entrada o cruda, presentó diferencias estadísticamente significativas en la medición de conductividad ( $<0,001$ ) y sólidos totales ( $<0,001$ ) pudiendo deberse a los diferentes caudales que alimentan las plantas. El resto de etapas analizadas tanto en parámetros físicos como microbiológicos, no presentaron diferencias estadísticamente significativas, demostrando que el proceso de tratamiento de estas dos plantas que abastecen al mayor porcentaje de la población es estadísticamente equiparable.

**Palabras clave:** agua potable, parámetros físicos, parámetros microbiológicos, Uchupucún, Mahuarcay.



## ABSTRACT

The present investigation is a comparative study of the purification processes of two conventional water treatment plants "Uchupucún" and "Mahuarcay" of the city of Azogues through the analysis of physical parameters (turbidity, conductivity and total solids) and Microbiological parameters (total coliforms and fecal coliforms).

For the analysis of the different parameters, techniques established in national and international regulations were used. The determination of turbidity was made in the HACH 2100 AN USA equipment, conductivity and total solids were analyzed in the HACH - CONDUCTIVITY / TDS METER USA equipment. Total and fecal coliform counts were determined by the Colilert® method. In total, 120 samples distributed over a period of seven weeks were analyzed; each week 3 samples were taken on Mondays, Wednesdays and Thursdays from each study point of each treatment plant.

The results were statistically evaluated using two-tailed Student's t-tests using a significance level of 5%.

Only incoming or raw water presented statistically significant differences in the conductivity ( $<0.001$ ) and total ( $<0.001$ ) measurements, which may be due to the different flow rates that feed the plants. The other stages analyzed in both physical and microbiological parameters did not present statistically significant differences, demonstrating that the treatment process of these two plants that supply the highest percentage of the population is statistically comparable.

**Key words:** potable water, physic parameters, microbiological parameters, Uchupucún, Mahuarcay.



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE GENERAL.....	4
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
INTRODUCCIÓN.....	13
MARCO TEÓRICO .....	15
1.1    Generalidades del agua potable.....	15
1.2    Procesos de tratamiento de agua potable .....	16
1.2.1    Entrada o captación del agua cruda.....	18
1.2.2    Procesos de coagulación .....	18
1.2.3    Proceso de floculación .....	20
1.2.4    Proceso de sedimentación .....	20
1.2.5    Proceso de filtración.....	21
1.2.6    Proceso de desinfección .....	22
1.3    Calidad del agua .....	22
1.3.1    Parámetros físicos .....	23
1.3.1.1    Turbiedad .....	23
1.3.1.2    Sólidos totales .....	24
1.3.1.2.1    Sólidos en suspensión .....	24
1.3.1.2.2    Sólidos disueltos .....	25
1.3.1.3    Conductividad.....	25
1.3.2    Parámetros químicos .....	26
1.3.3    Parámetros microbiológicos .....	26
1.3.3.1    Coliformes totales.....	29
1.3.3.2    Coliformes fecales.....	29
1.4    Reglamentación nacional.....	30
1.5    Generalidades de las plantas de tratamiento de agua del estudio.....	31
1.5.1    Planta de tratamiento de agua “Uchupucún” .....	31
1.5.2    Planta de tratamiento de agua “Mahuarcay” .....	35



<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
2.1 Tipo de estudio .....	38
2.2 Área de estudio .....	38
2.3 Muestreo .....	38
2.4 Análisis físico .....	38
2.4.1 Determinación de la turbiedad.....	38
2.4.1.1 Fundamento y procedimiento .....	38
2.4.1.2 Materiales y equipos.....	39
2.4.2 Determinación de la conductividad.....	39
2.4.2.1 Fundamento y procedimiento .....	39
2.4.3 Determinación de sólidos totales.....	39
2.4.3.1 Fundamento y procedimiento .....	39
2.4.3.2 Equipos .....	39
2.5 Análisis microbiológico: coliformes totales y fecales.....	39
2.5.1 Análisis Colilert .....	39
2.5.1.1 Fundamento .....	39
2.5.1.2 Materiales.....	40
2.5.1.3 Equipos .....	40
2.5.1.4 Procedimiento Quanti-Tray .....	40
2.5.1.5 Interpretación de resultados. ....	41
2.6 Análisis estadístico.....	42
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>43</b>
3.1 Parámetros físicos y microbiológicos del agua cruda, filtrada y de salida de las plantas de tratamiento “Uchupucún” y “Mahuarca” de la ciudad de Azogues....	43
3.2 Comparación de los parámetros físicos y microbiológicos del agua de entrada, de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarca” (PTM) de la ciudad de Azogues. ....	45
3.3 Comparación de parámetros físicos y microbiológicos del agua tras el proceso de filtración en las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarca” (PTM) de la ciudad de Azogues .....	47
3.4 Comparación de parámetros físicos y microbiológicos del agua de salida tras el proceso de desinfección en las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarca” (PTM) de la ciudad de Azogues .....	48
3.5 Cumplimiento de los requisitos de potabilización del agua establecidos en la normativa vigente del país. ....	49
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>51</b>



4.1. Conclusiones .....	51
4.2. Recomendaciones: .....	52
ABREVIATURAS .....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	57



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características físicas de agua potable.....	30
Tabla 2 Características microbiológicas del agua potable. ....	31
Tabla 3 Interpretación de resultados de la técnica Colilert para coliformes totales y fecales. ....	42
Tabla 4 Resultados del análisis físico y microbiológicos del agua cruda, filtrada y de salida de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuar cay” (PTM). ....	44
Tabla 5 Resultados del análisis físico y microbiológico del agua cruda que ingresa a las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuar cay” (PTM). ....	45
Tabla 6 Análisis de los resultados de los procesos de filtración de la Planta de tratamiento "Uchupucún" (PTU) y "Mahuar cay" (PTM) de la ciudad de Azogues. ....	47
Tabla 7 Análisis de los resultados de parámetros físicos y microbiológicos del agua de salida de las Plantas de tratamiento "Uchupucún" (PTU) y "Mahuar cay" (PTM) de la ciudad de Azogues. ....	48



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de tratamiento de agua cruda .....	17
Figura 2 Planta de tratamiento de agua "Uchupucún". .....	32
Figura 3 Ingreso de agua a la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún". ...	32
Figura 4 Floculadores de la Planta de tratamiento "Uchupucún". .....	33
Figura 5 Sedimentador de la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún" .....	33
Figura 6 Área de filtros de la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún" .....	34
Figura 7 Dosificador de cloro gaseoso empleado en la desinfección del agua en la Planta de tratamiento "Uchupucún". .....	34
Figura 8 Planta de tratamiento de agua "Mahuarcay" .....	35
Figura 9 Sedimentadores de la Planta de tratamiento de agua "Mahuarcay" ..	36





## CLAÚSULAS DE DERECHO DE AUTOR

Rocío Filomena Calle Chimborazo, autora de la tesis "COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LAS PLANTAS UCHUPUCÚN Y MAHUARCAY DE LA CIUDAD DE AZOGUES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Bioquímico Farmacéutico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, 17 de diciembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and numbers, positioned above a horizontal line.

Rocío Filomena Calle Chimborazo

C.I: 0302676549



## CLAÚSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Rocío Filomena Calle Chimborazo autora de la tesis "COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LAS PLANTAS UCHUPUCÚN Y MAHUARCAY DE LA CIUDAD DE AZOGUES" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 17 de diciembre de 2016



---

Rocío Filomena Calle Chimborazo

C.I: 0302676549



## Dedicatoria

Con tu corta edad, eres la persona más comprensiva del mundo, soportaste mi ausencia y me motivas a ser mejor, Angie Sofía para ti lo mejor de mí, te amo.



## Agradecimientos

Aurelio y Angelita... son la mano que me levanta y el hombro en el que me apoyo, gracias por no dejar de creer en mí, solo Dios podrá retribuirlos.

La sapiencia y la mística con la que ha sabido orientarme han dado resultado, gracias infinitas Dra. Silvia Johana Ortiz Ulloa, PhD, por su irrecuperable tiempo y compartir conmigo sin reserva sus conocimientos.

Varias manos, muchos amigos y colaboradores conocí al desarrollar este trabajo de titulación, agradezco a todo el personal que labora en las Plantas de tratamiento de agua “Uchupucún” y “Mahuarcay” de EMAPAL-EP de la ciudad de Azogues.



## INTRODUCCIÓN

Las plantas potabilizadoras de agua han ido incorporando paulatinamente mejores prácticas para el manejo y producción del agua potable, cumpliendo con los requisitos de calidad impuestos por los organismos de control. Así, el control de calidad de una planta potabilizadora inicia desde la llegada del agua cruda, la cual no presenta ningún tipo de tratamiento, pero de cuyo estado dependerá los procesos a los que será sometida. La mayoría de plantas potabilizadoras cumplen con el llamado “ciclo completo”, es decir, cuentan con los procesos de coagulación, sedimentación, filtración y cloración (Rojas, 2015).

La Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Azogues (EMAPAL-EP) es una entidad cuyo objetivo es la prestación de los servicios públicos de agua potable y alcantarillado y servicios afines. EMAPAL-EP cuenta con tres plantas de tratamiento de agua: Zhindilig, Uchupucún y Mahuarcay (EMAPAL-EP. 2009). Las plantas de tratamiento de agua Uchupucún y Mahuarcay son las plantas que abastecen de agua al mayor porcentaje de la población de la ciudad de Azogues. Estas dos plantas son de tipo convencional, su proceso de potabilización se basa en las mismas etapas y son plantas de ciclo completo. Considerando que las dos plantas abastecen la misma área, resulta importante evaluar cuan equiparable son los procesos de tratamiento de cada planta, atestiguando la veracidad y cumplimiento de la normativa de control, en el proceso de tratamiento de estas dos plantas importantes para la población de esta región.

Este trabajo de titulación constituye la primera etapa de la evaluación de la calidad de agua de EMAPAL-EP, la cual consta de los procesos de potabilización y el posterior análisis del sistema de distribución. Por lo tanto, la realización de este trabajo de titulación contribuirá a responder la necesidad puntual de la empresa con respecto a la etapa de potabilización.



## OBJETIVOS DE ESTUDIO

### Objetivo general

Comparar los procesos de tratamiento de agua en las plantas Uchupucún y Mahuarcay de la ciudad de Azogues

### Objetivos específicos

1. Comparar los procesos de tratamiento de agua de las plantas Uchupucún y Mahuarcay de la ciudad de Azogues mediante análisis físico-químicos (turbiedad, conductividad y sólidos totales) en los puntos de captación, filtración y salida.
2. Comparar los procesos de tratamiento de agua de las plantas Uchupucún y Mahuarcay de la ciudad de Azogues mediante análisis microbiológico (coliformes totales y coliformes fecales) en los puntos de captación, filtración y salida.
3. Evaluar el cumplimiento de los requisitos de potabilización del agua establecidos en la normativa vigente del país.



## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades del agua potable

El agua procedente de las precipitaciones, en su recorrido, va arrastrando una amplia gama de materiales inorgánicos como minerales, orgánicos como restos de animales o plantas y también microorganismos, que le confieren características inaceptables para el consumo directo por el hombre. Por otra parte, las diversas actividades del ser humano, sean éstas agrícolas, ganaderas, industriales, recreacionales, etc. han traído como consecuencia la alteración del agua, principalmente con sustancias químicas y microorganismos, además del deterioro de sus características estéticas. Algunas de estas características cuando están presentes en el agua, pueden ser percibidas organolépticamente (color, la turbiedad, el sabor, el olor, la temperatura). Sin embargo, otras características requieren de un análisis en laboratorio para su determinación y medida, como es la composición química del agua y la contaminación bacteriológica (Valencia, 2016).

Se llama agua potable al agua que tras ser sometida a un proceso de potabilización queda lista para el consumo humano como consecuencia del equilibrado valor que le imprimirán sus minerales. De esta manera, el agua de este tipo, podrá ser consumida sin ningún tipo de restricciones (OMS, 2010).

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, y constituye uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. En Ecuador, la NTE INEN 1108:2014 define al agua potable como el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

Cada vez es más frecuente que las enfermedades de origen hídrico, estén relacionadas con la presencia de microorganismos cuya incidencia en los seres



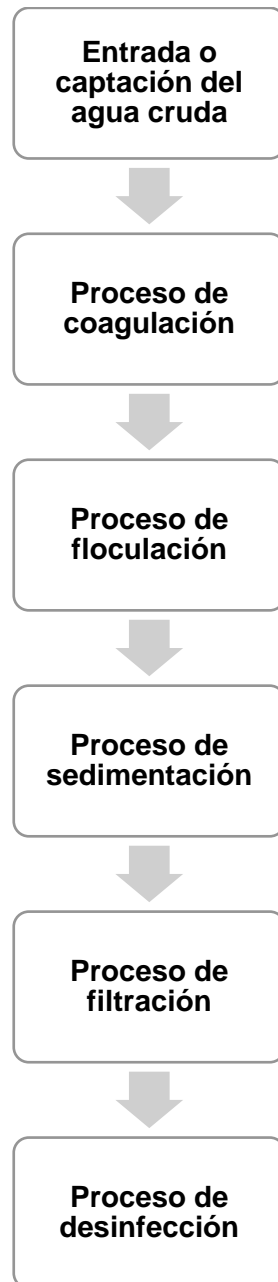
humanos ha aumentado en las dos últimas décadas, especialmente el dengue y la cólera. El aumento de este tipo de microorganismos está relacionado con cambios drásticos en el ambiente y en la población, aumentados por los procesos de urbanización, la expansión de la pobreza, la ocupación de regiones no habitadas anteriormente, las migraciones no controladas con gran número de refugiados y desplazados, la facilidad y rapidez en los desplazamientos y el movimiento creciente de animales y de productos de origen animal. A esto se suma que la resistencia a los agentes antimicrobianos continúa reduciendo la eficacia de los medicamentos incrementando los niveles de mortalidad y de costos sanitarios. Este grupo de microorganismos representa una amenaza general pues no está limitado a ninguna región en el mundo ni se circunscribe a países en desarrollo o desarrollados por lo que exige una respuesta coordinada de los servicios de salud de todos los países. Asimismo constituyen una carga financiera que obliga a gastos enormes para el control de brotes epidémicos y la atención médica y de salud pública (Pulido, de Navia, Torres, & Prieto, 2005).

El mayor impacto sobre la salud pública se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua. Particularmente, esto se da en el control de la calidad y proceso de potabilización, para lo que el control en cada etapa del proceso representa una acción muy importante para determinar futuras intervenciones que permitan mantener o mejorar estos procesos (Valencia, 2016).

## **1.2 Procesos de tratamiento de agua potable**

El proceso de tratamiento de agua a partir de agua cruda (agua en estado natural), básicamente consiste en la eliminación de turbiedad e impurezas de distinto tipo con el fin de obtener agua potable apta para el consumo humano. Este proceso se cumple en una serie de pasos, que se efectúan en una planta potabilizadora de agua, antes de que este líquido vital sea distribuido a la población (Figura 1). Este es un proceso continuo realizado las 24 horas del día, todos los días del año (SAMSA, 2016).





**Figura 1** Proceso de tratamiento de agua cruda

(López, 2007)



---

### **1.2.1 Entrada o captación del agua cruda**

El agua antes que se someta a ningún tratamiento se le conoce como agua cruda. Para hacerse potable requiere ser captada de dos formas distintas, a través de:

- Fuentes superficiales como lagunas, lagos, esteros, ríos y embalses.
- Fuentes subterráneas como pozos profundos, punteras, drenes y norias.

Generalmente, las aguas subterráneas están menos contaminadas que las fuentes superficiales. Sin embargo, sacarlas a la superficie puede ser muy costoso, por lo que la mayoría de plantas utiliza las fuentes superficiales.

La calidad del agua varía según diversos factores, su naturaleza, las actividades que se desarrollen en las riberas de los ríos y esteros o por los elementos naturales que pueden ser arrastrados. Todos estos componentes hacen que el proceso de potabilización sea más complejo en algunos casos que en otros. Por eso, en las grandes ciudades es más difícil convertirla en potable, pues las fuentes de donde se extraen se encuentran más contaminadas.

Las estructuras de captación deben estar ubicadas preferiblemente en los tramos rectos de los ríos con el fin de evitar erosiones y sedimentaciones. En el caso de lagos y lagunas, al igual que en embalses, la estructura de captación debe localizar de modo que pueda proporcionar agua de la mejor calidad posible (López, 2007).

### **1.2.2 Procesos de coagulación**

Coagulación es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad, es decir, las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas flóculos (Aguilar, 2016). Este proceso es de importancia para:



- a) Remoción de la turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente
- b) Eliminación de color verdadero y aparente.
- c) Destrucción de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d) Remoción de algas y plancton en general.
- e) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros. (Valencia, 2016)

La coagulación se refiere a la desestabilización producida por compresión de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, lo que a diferencia del siguiente proceso que es la coagulación que se refiere a la desestabilización por la adsorción de polímeros orgánicos y posterior formación de puentes partícula – polímero – partícula (Weber, 2016).

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de fenómenos químicos y fenómenos físicos. Es un proceso rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua.

La coagulación se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. A partir de ahí es necesaria una agitación relativamente lenta, la que se efectúa dentro del floculador donde las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos. Estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los posteriores procesos.

Este proceso va a depender principalmente de las características del agua cruda que será sometida a tratamiento y de las partículas que en ella se encuentren suspendidas, las mismas que serán evaluadas por parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etc. (Idrovo, 2010).



### **1.2.3 Proceso de floculación**

El objetivo principal de este proceso es promover la interrelación de las partículas para formar agregados mayores que puedan ser eficientemente removidos en procesos subsiguientes. Para que tenga lugar una floculación eficiente la suspensión debe estar desestabilizada (Letterman, 2000).

Existen dos tipos de floculación para promover el crecimiento de los flóculos:

- Floculación pericinética: la cual se basa en las colisiones a razón del movimiento de las moléculas e inducidas por la energía térmica. A este movimiento se denomina “Movimiento Browniano”.
- Floculación ortocinética: basada en las colisiones de las partículas debidas al movimiento del agua. Este movimiento es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico (Idrovo, 2010).

Los principales factores que van a intervenir en este proceso, son:

- a) Naturaleza del agua
- b) Variaciones de caudal
- c) Intensidad de agitación
- d) Tiempo de floculación

### **1.2.4 Proceso de sedimentación**

En este proceso las partículas más pesadas, que se encuentran aún presentes en el agua, son removidas únicamente por acción de la gravedad. El agua que presente materia particulada fluye con lentitud a través de un tanque de sedimentación y por esta razón se retiene el tiempo suficiente para que las partículas más grandes se depositen en el fondo antes que el agua clarificada salga del estanque por un vertedero en el extremo de salida (Pérez, 2005) .

El material que llega a sedimentarse en el fondo de los tanques, se extrae de forma manual o por medio de raspadores mecánicos para descargarse en una



alcantarilla, devolverse a la fuente de agua si ello es permisible, o almacenarse para un posterior tratamiento.

La sedimentación puede ser de dos clases:

- Simple: Utilizada para eliminar los sólidos más pesados sin necesidad de tratamiento especial, dependerá básicamente del tiempo, es decir, mientras mayor sea el tiempo de reposo, mayor será el asentamiento y consecuentemente la turbiedad, será menor haciendo el agua más transparente.
- Secundaria: Empleada para desprender aquellas partículas que no se depositan ni aún con reposo prolongado y son las causantes de la turbiedad en el agua (Innovación y Cualificación & Target Asesores, 2014).

### **1.2.5 Proceso de filtración**

Es el proceso en el que se retiene en un medio poroso la materia en suspensión contenida en un fluido. Cuando las partículas en suspensión tienen un tamaño suficiente, quedan retenidas en su superficie, recibiendo el nombre de filtración superficial. En cambio que si las partículas tienen un tamaño inferior, pueden quedar adsorbidas en el interior de la masa porosa, denominándose en este caso filtración en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante (Perez, 2016).

La filtración debe ser considerada como un proceso más de separación sólido/líquido, y en función de las características de la materia particulada presente en el agua se procederá a efectuarla. De acuerdo con las fuerzas que intervienen en el proceso de filtración, los filtros se clasifican en filtros de gravedad y filtros de presión.

Los filtros más frecuentemente utilizados en las plantas de tratamiento de agua son los granulares de arena, consistentes en un lecho de material poroso, compuestos por un manto sostén formado por grava, arena y antracita.



La filtración es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia.

Al principio las partículas por remover son transportadas por: cernido, sedimentación, intercepción, difusión, impacto inercial, acción hidrodinámica; de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante.

Los mecanismos de adherencia son los siguientes: fuerzas de Van der Waals, fuerzas electroquímicas o puente químico. No todas estas fuerzas tienen que actuar al mismo tiempo y que, en algunos casos, la contribución de uno o varios de ellos para retener el material suspendido es quizás mínimo (Idrovo, 2010).

### **1.2.6 Proceso de desinfección**

La desinfección es el proceso integrante de una estación de tratamiento de agua que tiene como objetivo la inactivación de microorganismos presentes en el medio, minimizando la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades, y el manejo del agua tratada. (Guimarães, 2001)

Entre los agentes químicos de desinfección más utilizados, se destacan el cloro elemental gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ), el hipoclorito ( $\text{ClO}$ ), la mezcla de cloro con amoníaco ( $\text{Cl}_2/\text{NH}_3$ ) que forman cloramina, el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ) y el permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ). También se utiliza extensamente la luz ultravioleta. Se han desarrollado también métodos modernos que se basan en la generación de oxígeno singulete por absorción de radiación por un colorante, la irradiación con rayos  $\gamma$  y la fotocátalisis heterogénea  $\text{UV}/\text{TiO}_2$  (Guimarães, 2001).

### **1.3 Calidad del agua**

Se entiende como “calidad del agua” a las condiciones en la que se encuentra este líquido vital con respecto a sus características físicas, químicas y microbiológicas tanto en su condición de agua cruda, así como después que haya sido sometida a los diferentes procesos que constituyen su tratamiento.



Un agua de calidad es aquella que puede ser usada para su fin, sin complicaciones y sin riesgos, es decir, se encuentra exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está libre de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad (Lenntech, 2006).

Es fundamental asegurar que el agua que se usa para consumo tenga una calidad adecuada. Las enfermedades ligadas al consumo de agua contaminada son numerosas; consumir agua potable permite reducir de forma significativa la exposición de las poblaciones a dichas enfermedades y los beneficios en la salud son considerables.

Cabe recalcar que la evaluación de la calidad del agua se efectúa usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo, a los métodos utilizados, a las unidades empleadas y sobre todo a la normativa nacional que rigen cada uno de estos aspectos (Olmos, Marqués, & Moreto, 2003).

### **1.3.1 Parámetros físicos**

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

A continuación se detallan tres de los parámetros que más relevancia tienen en el control de calidad de agua.

#### **1.3.1.1 Turbiedad**

La turbiedad es fenómeno óptico que se da por la dispersión y absorción de los rayos luminosos que pasan a través de un líquido que contiene pequeñas partículas en suspensión. En el agua, la turbiedad resulta por la presencia de materiales sólidos opacos que se mantienen en suspensión, por el grado de finura del material suspendido y la menor o mayor abundancia del mismo en el líquido transparente.



Las impurezas que se encuentran en suspensión en el agua, pueden ser de origen mineral como es el caso de partículas de arcilla, sílice, carbonato de calcio, azufre, hidróxido férrico, etc. También pueden ser de origen orgánico como por ejemplo materiales animales, o vegetales finamente divididos de tamaño microscópico como plancton, etc.

La consideración de la turbiedad es importante por tres aspectos fundamentales: 1) antiesteticidad y movilidad que revelan la presencia de material suspendido en el agua, 2) filtrabilidad de contaminantes y 3) eficacia de la desinfección, que es el proceso que elimina a los microorganismos contaminantes que influyen en la turbiedad del agua. Este último es uno de los más importantes, ya que en aguas turbias muchos organismos patógenos pueden quedar protegidos del desinfectante por el secuestro de éste en la materia sólida suspendida (Olmos et al., 2003).

Actualmente, se utiliza el método nefelométrico para determinar turbiedad, se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la luz dispersada por una solución patrón de referencia bajo las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor es la turbidez (Olmos et al., 2003).

### **1.3.1.2 Sólidos totales**

La cantidad de sólidos totales (ST) constituye la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión, y se trata de la materia que se consigue como residuo después de someter al agua a una temperatura entre 103°C y 105°C hasta que se evapore.

#### **1.3.1.2.1 Sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión (SS) son aquellos sedimentables, es decir, los sólidos no disueltos que pueden ser retenidos en un filtro. Se determinan pesando el residuo que queda en un filtro, después de secado. Son indeseables en aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones y equipos. Las aguas subterráneas poseen menos de 1 ppm,





pero en las superficiales varía mucho en función del origen y las circunstancias de captación (Lapeña, 1989).

#### 1.3.1.2.2 *Sólidos disueltos*

Los sólidos disueltos constituye es una medida de la cantidad de materia disuelta en al agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico tanto en aguas subterráneas como superficiales. El valor de los sólidos disueltos no es por sí sólo suficiente un parámetro que determine la calidad del agua (Delgadillo, 2010).

#### 1.3.1.3 **Conductividad**

La conductividad eléctrica se define como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es un parámetro que indica la cantidad de materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes.

La medida de la conductividad es una excelente forma de control de calidad de agua, siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura
- La composición del agua se mantenga relativamente constante. (Lapeña, 1989)

La conductividad se expresa en micromhos por centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ) o como decisiemens por metro (dS/m). La determinación in situ se realiza directamente mediante un instrumento llamado conductivímetro, el cual consta de un electrodo y un medidor digital (Delgadillo, 2010).



### **1.3.2 Parámetros químicos**

Los contaminantes químicos del agua pueden comprender sustancias orgánicas e inorgánicas. La contaminación por compuestos orgánicos da lugar a la disminución de oxígeno como resultado de su utilización en el proceso de degradación biológica de los compuestos orgánicos.

En el caso de contaminación por compuestos inorgánicos, el efecto es tóxico como es el caso de los iones metálicos de mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo, plomo, cadmio. Su presencia, aún en pequeñas cantidades, puede causar serios problemas en la salud de las personas que lo consumen (Campos Gomez, 2003).

Los principales parámetros que determinan la calidad del agua en el aspecto químico incluyen pH, materia orgánica (carbono orgánico total ,COT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno y compuestos derivados (amoníaco, nitratos, nitritos, etc.), fósforo y compuestos derivados (fosfatos), aceites y grasas, hidrocarburos, detergentes, cloro y cloruros, fluoruros, sulfatos y sulfuros, fenoles, cianuros, haloformos, metales y pesticidas (Campos Gomez, 2003).

### **1.3.3 Parámetros microbiológicos**

La presencia de microorganismos en el agua se convierte en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos que constituyen un problema de salud mundial. La contaminación fecal de las aguas superficiales que sirven como fuente de abastecimiento es uno de los problemas más preocupantes. Esta contaminación se debe al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento y a la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos.

El agua luego de recibir un tratamiento de potabilización también puede contaminarse cuando entra al sistema de distribución, a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos dañados y durante el



tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad. Existen además otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías (García, 2006).

Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas.

La determinación del tipo de 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 y el ambiente (Pulido et al., 2005).

No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costos elevados, tiempo y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores.

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia



de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador.

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos, siendo incapaz de reproducirse fuera del intestino de estos animales.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales también lo están.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- 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.
- No debe ser patógeno.

Las bacterias que se encuentran más frecuentemente en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Las bacterias coliformes son usadas como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla. Además, el grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias



patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (Pulido et al., 2005).

### **1.3.3.1 Coliformes totales**

Son bacterias de morfología bacilar, gramnegativas, aerobios o anaerobias facultativas, no son formadoras de endosporas, oxidasas negativas y fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas a 36°C. Los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes totales; *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales.

La definición de coliformes totales no está basada en criterios taxonómicos estrictos sino en reacciones bioquímicas específicas o en la apariencia de colonias características en medios selectivos o diferenciales. La presencia de estas bacterias en instalaciones de agua puede compararse con la de algunos patógenos acuáticos; sin embargo, los coliformes totales son menos persistentes que virus y protozoos. En fuentes de agua de origen natural estos microorganismos presentan una tasa de supervivencia inferior a la de los agentes patógenos (Olmos et al., 2003).

### **1.3.3.2 Coliformes fecales**

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Este es un mecanismo de adaptación a las temperaturas del tracto entérico de los animales lo que se basa en una superior estabilidad de las proteínas al calor. Actualmente, esta denominación se ha generalizado pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior. 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. (Pulido et al., 2005).



Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteremia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano.

Son los coliformes más próximamente relacionados con la contaminación fecal y cumplen todas las características definidas para los coliformes totales. Además estos microorganismos requieren lactosa para su crecimiento y la fermentan a  $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  produciendo ácido y gas en las primeras 48 horas de incubación. El grupo de coliformes fecales incluye cepas de los géneros de *Klebsiella* y *Escherichia* de los que se conoce que están relacionados con contaminación fecal procedente de animales de sangre caliente. *E. coli* es el más útil indicador de calidad de agua siendo el más específico de la presencia de contaminación fecal de todo el grupo de los coliformes fecales (García, 2006).

#### 1.4 Reglamentación nacional

En Ecuador, la NTE INEN 1108:2014 establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano. Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros (NTE INEN 1108, 2014).

Los requisitos físicos que se establece en esta norma se detallan en la Tabla 1.

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable

**Tabla 1** Características físicas de agua potable. Fuente(NTE INEN 1108, 2014)

Los requisitos microbiológicos establecidos en la NTE INEN 1108:2014 se presentan en la Tabla 2.



	<b>Máximo</b>
Coliformes fecales (1): Tubos múltiples NMP/100 ml ó Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1,1 * < 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo ** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

**Tabla 2** Características microbiológicas del agua potable.

Fuente(NTE INEN 1108, 2014)

Los requisitos para sólidos totales y conductividad no se establecen en esta normativa, por lo que se ha considerado como referencia a las normativas internacionales como la Organización Mundial de la Salud que determina que concentraciones de sólidos totales superiores a aproximadamente 1000 mg/litro puede generar un sabor del agua desagradable. Sin embargo, en lo que respecta a salud, no hay evidencia de fisiología adversa (OMS, 2010).

En cuanto a la conductividad tanto la OMS como estándares europeos establecen como valor máximo permitido 250  $\mu$ S/cm (Lenntech, 2006).

## 1.5 Generalidades de las plantas de tratamiento de agua del estudio

### 1.5.1 Planta de tratamiento de agua “Uchupucún”

La planta de tratamiento de agua “Uchupucún” es la segunda planta con la que cuenta el Sistema de agua de Azogues, en la provincia del Cañar. Está ubicada a 10 minutos del centro del cantón que lleva el mismo nombre, a 2639 m.s.n.m. con un caudal de ingreso aproximado de 94 L/s alimentado por los caudales de las captaciones de Condoryacu, El Rosario y Rubías.

Esta planta fue remodelada y equipada con el proyecto de ampliación del sistema de agua potable en el periodo 2001–2004 (Idrovo, 2010) .



**Figura 2** Planta de tratamiento de agua "Uchupucún". Fuente: Autora



**Figura 3** Ingreso de agua a la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún". Fuente: Autora

Esta planta consta de un sistema convencional formado por un cajón de ingreso, canal de dosificación de químicos, floculadores, sedimentadores filtros y desinfección. Está integrada por los procesos de coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección que se detallan a continuación:

**Unidades de floculación:** Compuestas de dos cámaras de floculación hidráulica horizontal.





**Figura 4** Floculadores de la Planta de tratamiento "Uchupucún". Fuente: Autora  
**Sedimentadores:** Se dispone de cuatro, de placas paralelas de flujo ascendente con una tasa superficial de diseño de  $130 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ .



**Figura 5** Sedimentador de la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún"  
Fuente: Autora

**Sistema de filtración:** Está compuesto por seis unidades, intercomunicadas tanto a la salida como a la entrada. Cada filtro tiene  $32 \text{ m}^2$  de área filtrante, con lechos dobles de arena y antracita.



**Figura 6** Área de filtros de la Planta de tratamiento de agua "Uchupucún"

Fuente: Autora

**Sistema de desinfección:** Compuesto de un dosificador de cloro gas que tienen una capacidad máxima de 10 Kg/h. La cámara de contacto tiene un tiempo de retención de 20 minutos, recibe agua que rebosa de cada vertedero de control de los filtros



**Figura 7** Dosificador de cloro gaseoso empleado en la desinfección del agua en la Planta de tratamiento "Uchupucún". Fuente: Autora

### **1.5.2 Planta de tratamiento de agua "Mahuarcay"**

La planta de tratamiento de Mahuarcay se encuentra al noreste de la ciudad de Azogues, provincia del Cañar, a 2810 m.s.n.m. y a unos 5 Km del centro de la ciudad (sector poblado). Esta planta está situada en la parroquia Bayas en el sector denominado como Legabuga en la comunidad de Mahuarcay (zona rural) y de ahí su nombre. Esta planta se ubica a 168 metros por encima de la planta de tratamiento "Uchupucún" e inició sus operaciones en el año 2005, y se espera que en el futuro sirva de receptor del caudal procedente de nuevas fuentes, pues fue diseñada para cubrir las necesidades de la población para un período de suficiente extensión como el año 2020 o 2230. Esta planta recibe aguas procedentes de Nudpud y Llaucay, alimentando los dos nuevos centros de reserva de 800 m<sup>3</sup> c/u ubicados en el mismo sector con capacidad de producción de mínimo 50 L/s y máximo 110 L/s.

Esta planta cuenta con edificios complementarios para almacenamiento y dosificación de químicos, laboratorio de control sala de comando, operación administración y guardianía, así como vías para circulación interna jardines y espacios verdes.



**Figura 8** Planta de tratamiento de agua "Mahuarcay".

Fuente: EMAPAL-EP

La planta de tratamiento de Mahuarcay es una planta convencional con operación a gravedad, integrada por las fases de coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección, procesos en los cuales se utiliza sulfato de aluminio, polímetros y cloro gas.

**Unidades de coagulación:** cuentan con una caja de entrada de flujo ascendente. El agua luego de pasar por el vertedero corre por unas gradas, generándose el resalto hidráulico en la base de la misma, punto en el que se aplica el coagulante. En esta unidad se realiza la mezcla completa del coagulante con el agua cruda.

**Unidades de floculación:** La planta posee dos módulos que contienen un floculador de tabiques de flujo horizontal (Rojas, 2015).



**Figura 9** Sedimentadores de la Planta de tratamiento de agua "Mahuarcay"

Fuente: autora

**Sedimentadores:** Posee dos unidades de sedimentadores de placas paralelas, de flujo ascendente que resulta en ocho secciones de sedimentación. Los sedimentadores se los ha proyectado de flujo laminar, compuestas de placas paralelas (Rojas, 2015).

**Sistema de filtración:** El sistema de filtración tiene dos baterías de filtros con cuatro unidades de filtración cada una, de tipo hidráulico de lecho dual antracita-arena, operación a taza declinante, lavado mutuo con flujo procedente de las otras unidades (Rojas, 2015).



**Sistema de desinfección:** La desinfección en la planta se realiza mediante la aplicación de gas cloro, envasado en cilindros a presión de una tonelada, esta operación se realiza mediante dosificadores al vacío y una alimentación del desinfectante en solución, la inyección se realiza en una zona de elevado gradiente de velocidad para que se produzca una dispersión instantánea y uniforme en toda la masa, inmediatamente antes de la cámara de contacto (Rojas, 2015).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Tipo de estudio

Estudio cuantitativo, analítico, descriptivo de tipo transversal

### 2.2 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las plantas de tratamiento de agua potable “Uchupucún” y “Mahuarcay” de la empresa EMAPAL-EP del cantón Azogues, Cañar-Ecuador.

### 2.3 Muestreo

Se llevó a cabo un muestreo probabilístico en las plantas de tratamiento de agua potable y alcantarillado Uchupucún y Mahuarcay del Cantón Azogues. Se tomaron en total 20 muestras en cada uno de los siguientes puntos del proceso de cada planta:

1. Agua de captación (agua de entrada no tratada)
2. Agua filtrada
3. Agua tratada de la salida de la planta

En total fueron 120 muestras. La recolección se realizó tomando 3 muestras por semana (lunes, miércoles y jueves) de cada punto de cada planta, por lo tanto la recolección de las muestras duró 7 semanas.

### 2.4 Análisis físico

#### 2.4.1 *Determinación de la turbiedad*

##### 2.4.1.1 *Fundamento y procedimiento*

Este parámetro se analizó por el método Nefelométrico utilizando el equipo HACH 2100AN. Este método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra, en condiciones definidas, y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.



La turbiedad se determinó mediante la lectura directa a través del turbidímetro (Anexo 1) que consistió en un nefelómetro con una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior, para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de la luz incidente (Palau, 1998).

#### **2.4.1.2 Materiales y equipos**

- Turbidímetro (HACH 2100 AN USA)
- Filtro de vidrio para lectura de turbiedad
- Celda para lectura de la muestra

#### **2.4.2 Determinación de la conductividad**

##### **2.4.2.1 Fundamento y procedimiento**

El método utilizado se basa en la medida eléctrica de la resistencia de paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de una prima rectangular comparada con la de una solución de KCl. La medición se realiza por lectura directa en un conductímetro (Anexo 2) (RWL-Water., 2016).

#### **2.4.3 Determinación de sólidos totales**

##### **2.4.3.1 Fundamento y procedimiento**

Se empleó el método electrométrico que se basa en la medición de la cantidad de sólidos totales disueltos influenciados por la cantidad de sales disueltas contenidos en una muestra de agua filtrada, se determina por una medición directa en un conductímetro (Anexo 2).

##### **2.4.3.2 Equipos**

1. Conductímetro (HACH - CONDUCTIVITY/ TDS METER USA)

#### **2.5 Análisis microbiológico: coliformes totales y fecales**

##### **2.5.1 Análisis Colilert**

###### **2.5.1.1 Fundamento**

La técnica de Colilert es una prueba rápida para determinación de coliformes basada en el método del número más probable (NMP). La técnica de Colilert utiliza la tecnología de sustrato definido (Defined Substrate Technology,



DST®) para detectar coliformes totales y *E. coli* en el agua. A medida que los coliformes proliferan en Colilert, utilizan la  $\beta$ -galactosidasa para metabolizar el nutriente indicador orto-nitrofenilgalactopiranosido (ONPG) cambiando de incoloro a amarillo. *E. coli* utiliza la  $\beta$ -glucuronidasa para metabolizar el 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronida (MUG) y crear fluorescencia. Como la mayoría de los microorganismos no coliformes no poseen estas enzimas, no pueden proliferar ni interferir. Los pocos gérmenes no coliformes que poseen estas enzimas son suprimidos selectivamente por la matriz específicamente formulada de Colilert. Este enfoque reduce al mínimo los falsos positivos y negativos (Laboratories, 2016).

#### **2.5.1.2 Materiales**

1. Recipiente estéril recolector de muestra de agua.
2. Reactivo de Colilert (IDEXX. USA.)
3. Bandejas de 97 pocillos Quanti-Tray

#### **2.5.1.3 Equipos**

1. Equipo Quanti -Tray Sealer. (IDEXX. USA.)
2. Incubadora

#### **2.5.1.4 Procedimiento Quanti-Tray**

- 1) En 100ml de muestra de agua añadir todo el contenido de un recipiente de reactivo Colilert ®.
- 2) Agitar hasta disolución completa del reactivo.
- 3) En cada bandeja Quanti-Tray correctamente marcada, verter el contenido del frasco sosteniendo en una mano el dispositivo Quanti-Tray en posición vertical, con el lado de las celdas orientado hacia la palma.
- 4) Apretar la parte superior del dispositivo Quanti-Tray de modo que se doble hacia la palma.
- 5) Abrir el dispositivo Quanti-Tray tirando de la lengüeta metálica del lado que contiene las celdas. Evitar tocar el interior de la lengüeta o del dispositivo.
- 6) Verter la mezcla de muestra/reactivo directamente dentro del dispositivo Quanti-Tray.








- 7) Colocar el dispositivo Quanti-Tray lleno de la muestra sobre el porta dispositivo de goma, orientando el lado de las celdas de plástico del dispositivo hacia abajo en el molde.
- 8) Sellar el dispositivo en la selladora IDEXX Quanta –Tray Sealer.
- 9) Colocar la bandeja sellada en una incubadora a  $35 \pm 0,5$  ° C durante 24 horas.
- 10) Buscar fluorescencia usando una luz UV de 6 vatios, 365 nm a distancia de 13cm de la muestra, en un entorno oscuro. Apuntar el haz de luz en dirección contraria a los ojos y hacia la muestra.
- 11) Leer los resultados de acuerdo con el cuadro de interpretación de resultados. Contar el número de pocillos positivos y referirse al cuadro NMP (Anexo 3).

#### **2.5.1.5 Interpretación de resultados.**

Luego de la incubación se debe proceder al conteo de celdas positivas que serán aquellas que presentan un color amarillo (Tabla 3) para coliformes totales. Con la ayuda de un equipo de fluorescencia se determinará los coliformes fecales mediante el conteo de las celdas que presentan fluorescencia.

La determinación del NMP se realizó mediante tablas de referencia (Anexo 4).

**Tabla 3** Interpretación de resultados de la técnica Colilert para coliformes totales y fecales. Fuente: (Laboratories, 2016)

		
Color: Transparente	Color: Amarillo	Color: Amarillo con fluorescencia
<b>Negativo</b>	<b>Positivo para coliformes totales</b>	<b>Positivo para coliformes fecales</b>

## 2.6 Análisis estadístico

Los resultados generales se presentaron usando estadística descriptiva para cada planta de tratamiento. Con la finalidad de evaluar que tan equiparables son los tratamientos de las dos plantas estudiadas y considerando que el agua de entrada a la planta proviene de fuentes distintas, se realizó un análisis comparativo entre las dos plantas para los puntos de entrada, filtración y salida por medio de pruebas t de Student de dos colas, para cada uno de los parámetros físicos y microbiológicos analizados. Todos los análisis se realizaron en el programa estadístico STATA 10.0, utilizando un nivel de significancia del 5%.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **3.1 Parámetros físicos y microbiológicos del agua cruda, filtrada y de salida de las plantas de tratamiento “Uchupucún” y “Mahuarcay” de la ciudad de Azogues**

Los resultados generales de la medición de los parámetros físicos (turbiedad, conductividad y sólidos totales) y microbiológicos (coliformes totales y fecales) en el agua cruda, filtrada y saliente de las dos plantas de tratamiento se presentan en la Tabla 4.



**Tabla 4** Resultados de los análisis físicos y microbiológicos del agua cruda, filtrada y de salida de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcaay” (PTM).

AGUA CRUDA	PTU			PTM		
	Media	± DE	Mín-Máx	Media	± DE	Mín-Máx
Turbiedad	12,7	± 9,3	5,8 - 45,2	13,5	± 13	6,4 - 51
Conductividad	170,3	± 14,8	120 - 187	141,3	± 8,6	126,4 - 157,2
Sólidos totales	85,1	± 7,4	60 - 93,4	70,6	± 4,3	63,2 - 78,6
Coliformes totales	2043,8	± 583,1	980,4 - 2419,6	1735,7	± 767,3	410,6 - 2419,6
Coliformes fecales	169,8	± 154,5	43,2 - 517,2	263	± 285,7	62 - 1299,7
AGUA FILTRADA	Media	± DE	Mín-Máx	Media	± DE	Mín-Máx
Turbiedad	1,1	± 0,3	0,6 - 2	1	± 0,4	0,4 - 1,9
Conductividad	176	± 7,8	160 - 189,9	149,5	± 6,3	136,7 - 161,3
Sólidos totales	87,8	± 4,2	80 - 94,9	74,7	± 3,1	68,3 - 80,6
Coliformes totales	22,8	± 10,7	10 - 48,9	30,7	± 33,1	8 - 167
Coliformes fecales	3,7	± 2,6	0 - 9,8	4,8	± 8,2	0 - 39,3
AGUA DE SALIDA	Media	± DE	Mín-Máx	Media	± DE	Mín-Máx
Turbiedad	0,5	± 0,1	0,3 - 0,8	0,4	± 0,1	0,3 - 0,8
Conductividad	179,9	± 7,5	162,4 - 193,3	151,3	± 6,3	140,8 - 162,3
Sólidos totales	89,9	± 3,8	81,2 - 96,6	75,5	± 3,2	70,4 - 81,1
Coliformes totales	<1,1	± 0	<1,1	<1,1	± 0	<1,1
Coliformes fecales	<1,1	± 0	<1,1	<1,1	± 0	<1,1



### 3.2 Comparación de los parámetros físicos y microbiológicos del agua de entrada, de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcay” (PTM) de la ciudad de Azogues.

Se realizó un estudio comparativo para evaluar que tan equiparables son los procesos de tratamiento en función de los parámetros físicos y microbiológicos analizados. Esta evaluación se realizó particularmente debido a que el agua de entrada al proceso de tratamiento de ambas plantas proviene de diferentes vertientes. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5** Resultados del análisis físico y microbiológico del agua cruda que ingresa a las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcay” (PTM).

	Media $\pm$ DE	Intervalo de Confianza	Valor de P
<b>Turbiedad</b>			
PTU	12,7 $\pm$ 9,3	8,438 ; 16,887	0,822
PTM	13,5 $\pm$ 13	7,535 ; 10,369	
<b>Conductividad</b>			
PTU	170,3 $\pm$ 14,8	163,552 ; 177,029	<0,001
PTM	141,3 $\pm$ 8,6	137,369 ; 145,212	
<b>Sólidos Totales</b>			
PTU	85,1 $\pm$ 7,4	81,770 ; 88,506	<0,001
PTM	70,6 $\pm$ 4,3	68,665 ; 72,592	
<b>Coliformes Totales</b>			
PTU	2043,8 $\pm$ 583,1	1778,357 ; 2309,196	0,1508
PTM	1735,7 $\pm$ 767,3	1386,424 ; 2084,986	
<b>Coliformes Fecales</b>			
PTU	169,8 $\pm$ 154,5	99,464 ; 240,079	0,1952
PTM	263 $\pm$ 285,2	133,201 ; 392,808	

En cuanto al agua de entrada o cruda, se encontraron diferencias estadísticamente significativas solamente en la medición de conductividad



( $P < 0,001$ ) y sólidos totales ( $P < 0,001$ ). La media de la conductividad de la PTU ( $170,3\mu\text{S}/\text{cm} \pm 14,8$ ), fue mayor a la media de la PTM ( $141,3\mu\text{S}/\text{cm} \pm 8,6$ ). Lo mismo se presentó para los sólidos totales la PTU evidenció una media mayor ( $85,1\text{mg}/\text{l} \pm 7,4$ ) a la PTM ( $70,6\text{mg}/\text{l} \pm 4,3$ ). Esta diferencia puede atribuirse al hecho de que las vertientes de agua que alimentan a estas plantas son diferentes y los lugares donde se encuentran también presentan material inorgánico diferente que intervendrá en la cantidad de materia ionizable, en especial en la cantidad de sólidos disueltos (Delgadillo, 2010).

Para el parámetro físico de turbiedad ( $P = 0,822$ ) y los parámetros microbiológicos de recuento de coliformes totales ( $P = 0,1508$ ) y coliformes fecales ( $P = 0,1952$ ) no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las 2 plantas de tratamiento.



### 3.3 Comparación de parámetros físicos y microbiológicos del agua tras el proceso de filtración en las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcay” (PTM) de la ciudad de Azogues

El agua cruda luego de pasar por los procesos de coagulación y floculación procede a la etapa de filtración, lo que se de manera similar en ambas plantas. El análisis para evaluar las diferencias entre las dos plantas en el proceso de filtración se realizó en base a la diferencia en los parámetros del agua filtrada y el agua cruda (“remoción neta”). Los resultados obtenidos de esta comparación se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6** Resultados comparativos de la remoción neta por el proceso de filtración (agua filtrada – agua cruda) de las plantas de tratamiento "Uchupucún" (PTU) y "Mahuarcay" (PTM) de la ciudad de Azogues.

	Media $\pm$ DE	Intervalo de Confianza	Valor de P
<b>Turbiedad</b>			
PTU	11,5 $\pm$ 2	7,344 ; 15,699	0,7978
PTM	12,4 $\pm$ 2,7	6,590 ; 18,223	
<b>Conductividad</b>			
PTU	-5,8 $\pm$ 2,5	-10,978 ; -0,536	0,3858
PTM	-8,2 $\pm$ 1,3	-10,933 ; -5,524	
<b>Sólidos Totales</b>			
PTU	-2,7 $\pm$ 5,5	-5,157 ; -0,157	0,2918
PTM	-4,1 $\pm$ 3	-5,474 ; -2755	
<b>Coliformes Totales</b>			
PTU	2021 $\pm$ 581,8	1756,117 ; 2285,807	0,1430
PTM	1705 $\pm$ 774,8	1352,358 ; 2057,69	
<b>Coliformes Fecales</b>			
PTU	166,1 $\pm$ 153,4	96,279 ; 235,902	0,1952
PTM	258,2 $\pm$ 285,2	128,347 ; 388,005	

Para todos los parámetros estudiados, tanto físicos como microbiológicos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) entre las 2 plantas de tratamiento en cuanto a la remoción neta por el proceso de filtración.



### 3.4 Comparación de parámetros físicos y microbiológicos del agua de salida tras el proceso de desinfección en las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcay” (PTM) de la ciudad de Azogues

Luego de cumplir con todos los procesos de potabilización, se efectuó el análisis de parámetros físicos (turbiedad, conductividad y sólidos totales) y microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales). El análisis para evaluar las diferencias entre las dos plantas de todo el proceso de tratamiento y la desinfección del agua producida, se realizó en base a la diferencia en los parámetros del agua salida y el agua filtrada (“remoción neta”). Los resultados obtenidos de esta comparación se presentan en Tabla 7.

**Tabla 7** Resultados comparativos de la remoción neta por el proceso de desinfección (agua salida – agua filtrada) de las plantas de tratamiento "Uchupucún" (PTU) y "Mahuarcay" (PTM) de la ciudad de Azogues.

	Media $\pm$ DE	Intervalo de Confianza	Valor de P
<b>Turbiedad</b>			
PTU	0,6 $\pm$ 0,4	0,471 ; 0,798	0,6389
PTM	0,6 $\pm$ 0,5	0,363 ; 0,785	
<b>Conductividad</b>			
PTU	-3,9 $\pm$ 3,1	-5,307 ; -2,474	0,2509
PTM	-1,8 $\pm$ 7,5	-5,247 ; 1,609	
<b>Sólidos Totales</b>			
PTU	-2,2 $\pm$ 2,1	-3,120 ; -1,185	0,1628
PTM	-0,8 $\pm$ 3,9	-2,548 ; -1	
<b>Coliformes Totales</b>			
PTU	22,8 $\pm$ 10,7	17,945 ; 27,684	0,3059
PTM	30,7 $\pm$ 33,1	15,627 ; 45,735	
<b>Coliformes Fecales</b>			
PTU	3,7 $\pm$ 2,6	2,480 ; 4,882	0,5469
PTM	4,8 $\pm$ 8,2	1,076 ; 8,581	

Al igual que lo observado en la remoción neta por el proceso de filtración, no encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) entre las 2 plantas de tratamiento para ninguno de los parámetros estudiados medidos al final del proceso de tratamiento de agua.





### **3.5 Cumplimiento de los requisitos de potabilización del agua establecidos en la normativa vigente del país.**

En la norma nacional vigente se establece parámetros físicos y microbiológicos que el agua debe cumplir para ser apta para el consumo humano. En la NTE INEN 1108: 2014, el límite máximo permisible respecto a la turbiedad es de 5 NTU. El agua saliente de las plantas de tratamiento estudiadas presentó una media de 0,6 NTU en el agua que se distribuye a la ciudad, por lo tanto cumplieron con este requisito.

En cuanto a la conductividad y sólidos totales, son parámetros que no se contemplan en esta norma, por lo que se tomó como referencia normativas internacionales. La Organización Mundial de la Salud y Estándares Europeos que establecen como límites máximos permitidos 1000 mg/litro para sólidos totales y 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para conductividad. La planta de tratamiento “Uchupucún” y la planta de tratamiento “Mahuarcay” cumplieron también con los requisitos establecidos en estas normativas.

Respecto a parámetros microbiológicos, la NTE INEN 1108: 2014 establece que por el método del NMP el recuento de coliformes fecales debe ser  $<1,1$ . Mediante este trabajo se constató también el cumplimiento de ambas plantas ante este requisito de la normativa.

Otros estudios respaldan la calidad de agua que proporciona la planta de tratamiento “Uchupucún” y la planta de tratamiento “Mahuarcay” que pertenecen a EMAPAL-EP de la ciudad de Azogues. Mediante un estudio comparativo del año 2013 sobre la calidad del agua de las redes de distribución de EMAPAL-EP, FISE y del Plan Internacional (PI), que abastecen a las diferentes comunidades de la parroquia Guapán del cantón Azogues, se pudo constatar que el agua de EMAPAL-EP cumplía con los límites establecidos por la normativa nacional, no así el agua que provenía de las otras redes (FISE y PI) cuyo valor de turbiedad sobrepasó el valor de referencia establecido. Respecto a los parámetros microbiológicos, este estudio reveló que las plantas de tratamiento de EMAPAL-EP realizaban una eficiente desinfección a razón



de la ausencia de coliformes totales y fecales, a diferencia del agua proveniente de las redes PI y FISE donde existió presencia de coliformes totales y en menor proporción de fecales incumpliendo así con la normativa nacional (Gutiérrez Sarmiento & Torres Siguenza, 2013)

Existe una tercera planta de EMAPAL-EP que es la planta de Zhindilig que cubre un menor porcentaje de distribución, como una parte de la comunidad de Guapán y la comunidad de Zhindilig. Un estudio realizado recientemente reveló que el agua de salida de esta planta presentó una carga bacteriana  $<1,1$  NMP/100 ml para coliformes totales y fecales, demostrando que el proceso de potabilización al igual que el de las plantas estudiadas en este trabajo, fue eficaz en el cumplimiento de los requisitos microbiológicos expuestos en la NTE INEN 1108:2014. En este estudio además se indicó una recontaminación del agua que se distribuye a la comunidad de Zhindilig atribuida a la presencia de un tanque reservorio o a una falla en la red de distribución (Urgilés Guiracocha & Viñansaca Huiracocha, 2016)

Por otro lado, en el cantón Paltas de la provincia de Loja se efectuó un análisis de 8 abastecimientos de agua potable, los cuales no presentaron cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa nacional atribuido a problemas por distribución no adecuada, destrucción de las tuberías, falta de control de los medidores, malas técnicas de tratamiento de agua, conexiones clandestinas, falta de colaboración en la limpieza, evidenciando la necesidad del control del sistema integral de distribución del servicio (Morocho Cuenca, Solano Carrión, & Correa Escudero, 2013).



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

El presente estudio estuvo enfocado a la comparación entre las plantas de tratamiento de agua “Uchupucún” y “Mahuarcay” de la ciudad de Azogues que proveen indistintamente de agua potable a la misma región. El estudio estuvo basado en el análisis de parámetros físicos (turbiedad, conductividad y sólidos totales) y microbiológicos (coliformes totales y fecales). En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el agua saliente o potable procedente de estas dos plantas de tratamiento presenta parámetros físicos y microbiológicos de calidad similar. Además ambos procesos de tratamiento cubren las exigencias para el agua potable apta para el consumo humano según la normativa vigente.



#### **4.2. Recomendaciones:**

Las plantas de tratamiento “Uchupucún” y “Mahuarcay” son las dos plantas que distribuyen agua a la mayor cantidad de la población en la ciudad de Azogues.

Mediante este trabajo se constató que el agua potable que proveen a los consumidores es equiparable y de buena calidad. Se recomienda realizar la continuidad de este estudio mediante el análisis del agua que llegan a los diferentes hogares de estas dos plantas, que evidenciaría las similitudes y diferencias en los sistemas de sistemas de distribución.



## ABREVIATURAS

- $\mu\text{S}$ : microsienms
- $\mu\text{mho/cm}$ : micromhos por centímetro
- $\text{dS/m}$ : decisiemens por metro
- NMP/100ml: número más probable sobre cien mililitros de muestra
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización
- NTE: Norma Técnica Ecuatoriana
- NTU: Unidades Nefelométricas de turbiedad
- PTU: Planta de Tratamiento de agua “Uchupucún”
- PTM: : Planta de Tratamiento de agua “Mahuarcay”
- DE: Desviación estándar
- ONPG: orto-nitrofenilgalactopiranosido
- MUG: 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronida
- UV: ultra violeta



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. I. (2016). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales*.
- Campos Gomez, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (E. U. E. a. D. S. José Ed.). Costa Rica.
- Delgadillo, O. C., Alan. Pérez, Luis. Andrade, Mauricio. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia.
- García, M. M., F. Utrilla, A. Morillo, R. Ania, J. Cardeñosa, M., et al. (2006). *Ats/duo Vol. II Personal Laboral de la Comunidad Autonoma de Extremadura. Temario Especifico* (S. L. Editorial Mad Ed.).
- Gutiérrez Sarmiento, D., & Torres Siguenza, M. (2013). *Estudio comparativo y estadístico de la calidad del agua potable en las redes de distribución de la parroquia Guapán del cantón Azogues*. Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4750/3/TESIS.pdf>
- Idrovo, C. (2010). *Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucún*. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>
- Innovación y Cualificación, S. L., & Target Asesores, S. L. (2014). *Experto en gestión medioambiental*: IC Editorial.
- Laboratories, I. (2016). Información sobre el producto Colilert de análisis de aguas.
- Lapeña, M. R. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*: Marcombo.
- Lenntech. (2006). Agua residual & purificación del aire. Retrieved from [http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3\\_Calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf)
- Letterman, R. (2000). *Coagulación y floculación en: Calidad y tratamiento del agua*. (M. G. Hill Ed.). Madrid.



- López, A. L. T. (2007). *Principios básicos de calidad y tratamiento de agua potable*: Editorial Universidad de Caldas.
- Morocho Cuenca, J. R., Solano Carrión, A. V., & Correa Escudero, V. A. (2013). "Estudio del estado actual de las principales fuentes abastecedoras de agua de consumo humano de las principales poblaciones del cantón Paltas". doi:<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/6561>
- Agua potable. Requisitos, (2014).
- Olmos, R. R., Marqués, R. S., & Moreto, F. V. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*: Universidad Autónoma de Baja California.
- OMS. (2010). OMS | Agua potable. WHO. doi:topics/drinking\_water/es/index.html
- Palau, A. (1998). *LIMNETICA Revista de la Asociacion Espanola de Limnologia*.
- Perez, J. (2016). Estudio sanitario del agua - filtracion.pdf. Retrieved from <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/filtracion.pdf>
- Pulido, M. d. P. A., de Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4).
- Pérez, L. E. (2005). Teoría de la Sedimentación. Retrieved from [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_teoria\\_sedimentacion.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf)
- Rojas, J. (2015). *Modelamiento de los sistemas de potabilización de agua, orientado al diseño de los sistemas de control supervisorio, caso EMAPAL EP - Azogues - UPS-CT005251.pdf*. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8970/1/UPS-CT005251.pdf>
- RWL-Water. (2016). Soluciones de Tratamiento de Aguas, Aguas Residuales y Reúso. Retrieved from <http://www.unitek.com.ar/>
- SAMSA. (2016). (Proceso De Potabilización Del Agua SAMSA 2008.) - proceso\_agua\_potable.pdf. Retrieved from [http://www.samsa.com.ar/explotacion/proceso\\_agua\\_potable.pdf](http://www.samsa.com.ar/explotacion/proceso_agua_potable.pdf)



- Urgilés Guiracocha, D., & Viñansaca Huiracocha, A. (2016). *Evaluación de la calidad microbiológica del agua en la planta de potabilización EMAPAL - EP en la comunidad de Zhindilig*. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25992/1/TESIS.pdf>
- Valencia, J. A. (2016). Teoría y práctica de la Purificación del agua. Retrieved from <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/teoria.pdf>
- Weber, W. J. (2016). *Control de la calidad del agua*.



## ANEXOS

**ANEXO 1:** Determinación de la turbiedad con el equipo HACH 2100AN.

1.



2.



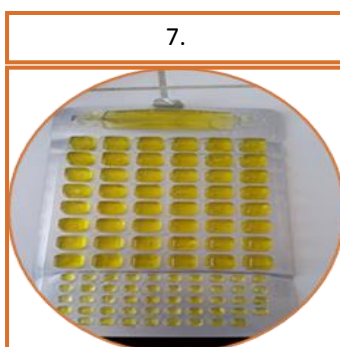
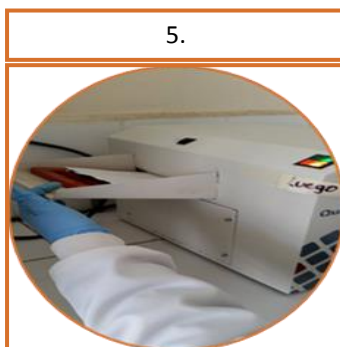
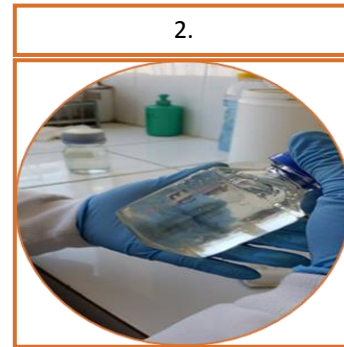
3.



**ANEXO 2: Determinación de la conductividad y sólidos totales en el equipo HACH - CONDUCTIVITY/ TDS METER**



**ANEXO 3: Procedimiento QUANTI-TRAY:** 1. Contacto del reactivo con la muestra. 2. Agitación hasta disolución completa. 3. Adición en una bandeja Quanti-Tray. 4. Uso del dispositivo Quanti-Tray. 5. Sellado del dispositivo en la selladora IDEXX Quanti – Tray Sealer. 6. Incubación durante 24 horas. 7 y 8. Lectura de coliformes totales y fecales.



**ANEXO 4: Tabla NMP IDEXX QUANTI –TRAY**

**IDEXX Quanti-Tray/2000 Tabla, número más probable**

# Pocillos pequeños positivos

# Pocillos Grandes Positivos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.8	16.0	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.5	8.5	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.3	29.4	30.5	31.6	32.8	33.9
8	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.4	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.8	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.2	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.6	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.1	25.3	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.9	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.5	47.8	49.2	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.5	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	44.9	46.3	47.7	49.1	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.9	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.8	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.8	62.3
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.5	36.8	38.3	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.1	61.6	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.7	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.6	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.3	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.4	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	42.0	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.3	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.9	58.5	60.2	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.7	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.4
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.9	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.5	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.6	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.8	56.5	58.3	60.2	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.6	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	67.0	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.2	102.4
35	56.6	58.6	60.5	62.4	64.4	66.4	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.6	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	105.9	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	70.0	72.2	74.4	76.7	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.8	93.4	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.6	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.6	93.1	95.6	98.1	100.7	103.3	106.0	108.7	111.4	114.2	117.0	119.8	122.6	125.4	128.4	131.3	134.3	137.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.4	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.4	126.7	130.1	133.6	137.2	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	98.9	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.2	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.6	111.9	115.3	118.7	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.9	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.4	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	178.0	183.5	189.1	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	166.9	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	130.9	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.4	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.4	133.1	137.9	143.0	148.3	153.9	159.7	165.8	172.2	178.9	186.0	193.4	201.2	209.8	218.7	228.2	238.2	248.9	260.3	272.3	285.1	298.7	313.0	328.2
49	135.5	140.8	146.4	152.3	158.5	165.0	172.0	179.3	187.2	195.6	204.6	214.3	224.7	235.9	248.1	261.3	275.5	290.9							



IDEXX Quanti-Tray/2000 Tabla, número más probable

# Pocillos Grandes Positivos	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
0	25.3	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	33.6	34.7	35.7	36.8	37.8	38.9	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
1	26.6	27.7	28.8	30.8	31.9	32.9	34.0	35.0	36.1	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.7	45.7	46.8	47.9	49.0	50.1	51.2	52.8	
2	27.9	29.0	30.0	31.1	32.2	33.2	34.3	35.5	36.6	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5	45.6	46.7	47.8	48.9	50.0	51.2	52.3	53.4	54.5
3	29.3	30.4	31.4	32.5	33.6	34.7	35.8	36.8	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5	45.6	46.7	47.8	48.9	50.0	51.2	52.3	53.5	54.6	55.1
4	30.7	31.8	32.8	33.9	35.0	36.1	37.2	38.3	39.4	40.5	41.6	42.8	43.9	45.0	46.1	47.2	48.3	49.5	50.6	51.7	52.9	54.0	55.1	56.3	58.1
5	32.1	33.2	34.3	35.4	36.5	37.6	38.7	39.9	41.0	42.1	43.2	44.4	45.5	46.6	47.7	48.9	50.0	51.2	52.3	53.5	54.6	55.8	56.9	58.1	59.9
6	33.5	34.7	35.8	36.9	38.0	39.2	40.3	41.4	42.6	43.7	44.8	46.0	47.1	48.3	49.4	50.6	51.7	52.9	54.1	55.2	56.4	57.6	58.7	59.9	61.8
7	35.0	36.2	37.3	38.4	39.6	40.7	41.9	43.0	44.2	45.3	46.5	47.7	48.8	50.0	51.2	52.3	53.5	54.7	55.9	57.1	58.3	59.4	60.6	61.8	63.8
8	36.6	37.7	38.9	40.0	41.2	42.3	43.5	44.7	45.9	47.0	48.2	49.4	50.6	51.8	53.0	54.1	55.3	56.5	57.7	59.0	60.2	61.4	62.6	63.8	65.8
9	38.1	39.3	40.5	41.6	42.8	44.0	45.2	46.4	47.6	48.8	50.0	51.2	52.4	53.6	54.8	56.0	57.2	58.4	59.7	60.9	62.1	63.4	64.6	65.8	67.9
10	39.7	40.9	42.1	43.3	44.5	45.7	46.9	48.1	49.3	50.6	51.8	53.0	54.2	55.5	56.7	57.9	59.2	60.4	61.7	62.9	64.2	65.4	66.7	67.9	70.1
11	41.4	42.6	43.8	45.0	46.3	47.5	48.7	49.9	51.2	52.4	53.7	54.9	56.1	57.4	58.6	59.9	61.2	62.4	63.7	65.0	66.3	67.5	68.8	70.1	72.4
12	43.1	44.3	45.6	46.8	48.1	49.3	50.6	51.8	53.1	54.3	55.6	56.8	58.1	59.4	60.7	62.0	63.2	64.5	65.8	67.1	68.4	69.7	71.0	72.4	74.7
13	44.9	46.1	47.4	48.6	49.9	51.2	52.5	53.7	55.0	56.3	57.6	58.9	60.2	61.5	62.8	64.1	65.4	66.7	68.0	69.3	70.7	72.0	73.3	74.7	77.1
14	46.7	48.0	49.3	50.6	51.8	53.1	54.4	55.7	57.0	58.3	59.6	60.9	62.3	63.6	64.9	66.3	67.6	68.9	70.3	71.6	73.0	74.4	75.7	77.1	79.5
15	48.6	49.9	51.2	52.5	53.8	55.1	56.4	57.8	59.1	60.4	61.8	63.1	64.5	65.8	67.2	68.5	69.9	71.3	72.6	74.0	75.4	76.8	78.2	79.6	82.0
16	50.5	51.8	53.2	54.5	55.8	57.2	58.5	59.9	61.2	62.6	64.0	65.3	66.7	68.1	69.5	70.9	72.3	73.7	75.1	76.5	77.9	79.3	80.8	82.2	84.9
17	52.5	53.9	55.2	56.6	58.0	59.3	60.7	62.1	63.5	64.9	66.3	67.7	69.1	70.5	71.9	73.3	74.7	76.2	77.6	79.1	80.5	82.0	83.5	84.9	87.8
18	54.6	56.0	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0	64.4	65.8	67.2	68.6	70.1	71.5	73.0	74.4	75.9	77.3	78.8	80.3	81.8	83.3	84.8	86.3	87.8	90.7
19	56.8	58.2	59.6	61.0	62.4	63.9	65.3	66.8	68.2	69.7	71.1	72.6	74.1	75.5	77.0	78.5	80.0	81.5	83.1	84.6	86.1	87.6	89.2	90.7	93.8
20	59.0	60.4	61.9	63.3	64.8	66.3	67.7	69.2	70.7	72.2	73.7	75.2	76.7	78.2	79.8	81.3	82.8	84.4	85.9	87.5	89.1	90.7	92.2	93.8	97.1
21	61.3	62.8	64.3	65.8	67.3	68.8	70.3	71.8	73.3	74.9	76.4	77.9	79.5	81.1	82.6	84.2	85.8	87.4	89.0	90.6	92.2	93.8	95.4	97.1	100.5
22	63.8	65.3	66.8	68.3	69.8	71.4	72.9	74.5	76.1	77.6	79.2	80.8	82.4	84.0	85.6	87.2	88.9	90.5	92.1	93.8	95.5	97.1	98.8	100.5	104.1
23	66.3	67.8	69.4	71.0	72.5	74.1	75.7	77.3	78.9	80.5	82.2	83.8	85.4	87.1	88.7	90.4	92.1	93.8	95.5	97.2	99.0	100.7	102.5	104.3	107.9
24	68.9	70.5	72.1	73.7	75.3	77.0	78.6	80.3	81.9	83.6	85.2	86.9	88.6	90.3	92.0	93.8	95.5	97.2	99.0	100.7	102.5	104.3	106.1	107.9	111.9
25	71.7	73.3	75.0	76.6	78.3	80.0	81.7	83.3	85.1	86.8	88.5	90.2	92.0	93.7	95.5	97.3	99.1	100.9	102.7	104.5	106.3	108.2	110.0	111.9	116.2
26	74.6	76.3	78.0	79.7	81.4	83.1	84.8	86.5	88.4	90.1	91.9	93.7	95.5	97.3	99.2	101.0	102.9	104.7	106.6	108.5	110.4	112.3	114.2	116.2	120.7
27	77.6	79.4	81.1	82.9	84.6	86.4	88.2	90.0	91.9	93.7	95.5	97.4	99.3	101.2	103.1	105.0	106.9	108.8	110.8	112.7	114.7	116.7	118.7	120.7	125.6
28	80.6	82.6	84.4	86.3	88.1	89.9	91.8	93.7	95.6	97.5	99.4	101.3	103.3	105.2	107.2	109.2	111.2	113.2	115.2	117.3	119.3	121.4	123.5	125.6	130.8
29	84.2	86.1	87.9	89.8	91.7	93.7	95.6	97.5	99.5	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5	111.6	113.7	115.7	117.8	120.0	122.1	124.2	126.4	128.6	130.8	136.4
30	87.8	89.7	91.7	93.6	95.6	97.6	99.6	101.6	103.7	105.7	107.8	109.9	112.0	114.2	116.3	118.5	120.6	122.8	125.1	127.3	129.5	131.8	134.1	136.4	142.5
31	91.6	93.6	95.6	97.7	99.7	101.8	103.9	106.0	108.2	110.3	112.5	114.7	116.9	119.1	121.4	123.6	125.8	128.2	130.5	132.9	135.3	137.7	140.1	142.5	148.6
32	95.7	97.8	99.9	102.0	104.2	106.3	108.5	110.7	113.0	115.2	117.5	119.8	122.1	124.5	126.8	129.2	131.6	134.0	136.5	139.0	141.5	144.0	146.6	149.1	155.4
33	100.0	102.2	104.4	106.6	108.9	111.2	113.5	115.8	118.2	120.5	122.9	125.4	127.8	130.3	132.8	135.3	137.8	140.4	143.0	145.6	148.3	150.9	153.7	156.4	162.9
34	104.7	107.0	109.3	111.7	114.0	116.4	118.9	121.3	123.8	126.3	128.8	131.4	134.0	136.6	139.2	141.9	144.6	147.4	150.1	152.9	155.7	158.6	161.5	164.4	171.1
35	109.7	112.2	114.6	117.1	119.6	122.2	124.7	127.3	129.9	132.6	135.3	138.0	140.8	143.6	146.4	149.2	152.1	155.0	158.0	161.0	164.0	167.1	170.2	173.3	180.2
36	115.2	117.8	120.4	123.0	125.7	128.4	131.1	133.9	136.7	139.5	142.4	145.3	148.3	151.3	154.3	157.3	160.3	163.4	166.5	170.0	173.3	176.6	179.9	183.3	190.4
37	121.3	124.0	126.8	129.6	132.4	135.3	138.2	141.2	144.2	147.3	150.3	153.5	156.7	159.9	163.1	166.5	169.8	173.2	176.7	180.2	183.7	187.3	191.0	194.7	202.0
38	127.9	130.8	133.8	136.8	139.9	143.0	146.2	149.4	152.6	155.9	159.2	162.6	166.0	169.4	172.8	176.2	179.6	183.0	186.4	190.0	193.6	197.2	200.7	204.3	211.8
39	135.3	138.5	141.7	145.0	148.3	151.7	155.1	158.6	162.1	165.7	169.4	173.1	176.9	180.7	184.6	188.5	192.4	196.4	200.5	204.6	208.6	212.7	216.8	220.9	228.6
40	143.7	147.1	150.6	154.2	157.8	161.5	165.3	169.1	173.0	177.0	181.1	185.2	189.4	193.7	198.1	202.5	207.1	211.7	216.4	221.1	225.8	230.6	235.4	240.3	248.2
41	153.2	157.0	160.9	164.8	168.9	173.0	177.2	181.5	185.8	190.3	194.8	199.5	204.2	209.1	214.0	219.1	224.2	229.4	234.8	240.2	245.8	251.5	257.2	263.1	271.2
42	164.3	168.6	172.9	177.3	181.9	186.5	191.3	196.1	201.1	206.2	211.4	216.7	222.2	227.7	233.4	239.2	245.2	251.3	257.5	263.8	270.3	276.8	283.6	290.5	300.0
43	177.5	182.3	187.3	192.4	197.6	202.9	208.4	214.0	219.8	225.8	231.8	238.1	244.5	251.0	257.6	264.4	271.3	278.3	285.3	292.5	300.0	307.4	31		



**ANEXO 5:** Tablas de resultados del análisis de parámetros físicos de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarcay” (PTM).

**TURBIEDAD (NTU)**

		ENTRADA		FILTRO		SALIDA	
		PTU	PTM	PTU	PTM	PTU	PTM
SEMANA 1	22/08/2016	45,2	44,3	1,37	1,88	0,369	0,309
	24/08/2016	10,8	8,81	1,16	1,86	0,381	0,506
	25/08/2016	9,91	7,56	1,99	1,74	0,371	0,437
SEMANA 2	29/08/2016	10,3	7,28	0,595	1,32	0,352	0,404
	31/08/2016	6,67	8,47	1,16	1,06	0,56	0,379
	01/09/2016	14,8	19,3	1,37	0,918	0,48	0,426
SEMANA 3	05/09/2016	6,05	6,4	1,08	1,1	0,599	0,495
	07/09/2016	6,86	7,44	1,39	0,979	0,694	0,434
	08/09/2016	5,83	6,71	1,27	1,04	0,615	0,453
SEMANA 4	12/09/2016	21,5	34	1,49	0,876	0,607	0,373
	14/09/2016	10,5	7,32	1,1	1,2	0,346	0,317
	15/09/2016	15,7	11,1	1,07	0,844	0,608	0,378
SEMANA 5	19/09/2016	11,9	9,21	1,6	0,505	0,39	0,469
	21/09/2016	15,1	10,1	0,791	0,555	0,338	0,366
	22/09/2016	11,6	7,47	0,711	0,42	0,37	0,32
SEMANA 6	26/09/2016	10,4	9,71	0,954	0,507	0,322	0,401
	28/09/2016	6,44	6,8	0,698	0,608	0,484	0,541
	29/09/2016	7,11	6,6	0,803	0,696	0,626	0,6
SEMANA 7	03/10/2016	6,07	6,51	0,965	0,977	0,615	0,703
	05/10/2016	5,77	6,4	0,903	0,975	0,703	0,807
	06/10/2016	27,4	51	1,49	1,89	0,806	0,779



**CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )**

		ENTRADA		FILTRO		SALIDA	
		PTU	PTM	PTU	PTM	PTU	PTM
SEMANA 1	22/08/2016	150,4	126,4	160	140,8	162,4	140,8
	24/08/2016	120	157,2	171,2	161,3	174	144,4
	25/08/2016	176,6	133,6	172,2	145	179,2	150,8
SEMANA 2	29/08/2016	173,3	145,5	173,8	148,8	178,6	148
	31/08/2016	174,2	141,4	173,4	149,5	175,8	153,2
	01/09/2016	167,5	142,2	166,2	152	175,6	150,5
SEMANA 3	05/09/2016	174,2	142,2	178,5	143,3	178,6	155,8
	07/09/2016	172,8	142,3	178,6	156,6	183,4	151,6
	08/09/2016	180,2	146,3	182,3	147,2	189,6	157,2
SEMANA 4	12/09/2016	158,4	129,3	176,1	148,8	179,3	159,6
	14/09/2016	180,6	146,2	180,5	151,1	190,4	155,8
	15/09/2016	160	133	169,8	150,7	176,2	151,4
SEMANA 5	19/09/2016	176,6	136,3	178,5	153,8	180,1	141,6
	21/09/2016	169,6	139,4	168	145	172	154
	22/09/2016	170,8	140,6	172	146,8	176,8	144,9
SEMANA 6	26/09/2016	166,8	142,3	171,4	148,6	171,2	147
	28/09/2016	182,6	135,4	187	136,7	188,5	150,4
	29/09/2016	182,6	153,8	186,6	155,8	185	156
SEMANA 7	03/10/2016	186,9	150,8	188,6	158	189,4	160,4
	05/10/2016	186,4	154,8	189,9	158,1	193,3	162,3
	06/10/2016	165,6	128,1	172,4	142	179,3	142,4



**SÓLIDOS TOTALES (mg/l)**

		ENTRADA		FILTRO		SALIDA	
		PTU	PTM	PTU	PTM	PTU	PTM
SEMANA 1	22/08/2016	75,2	63,2	80	70,4	81,2	70,4
	24/08/2016	60	78,6	85,6	80,6	87	72,2
	25/08/2016	88,3	66,8	88,6	72,5	89,6	75,4
SEMANA 2	29/08/2016	86,6	72,7	86,9	74,4	89,3	74
	31/08/2016	87,1	70,7	86,7	74,7	87,9	76,6
	01/09/2016	83,7	71,1	83,1	76	87,8	72,2
SEMANA 3	05/09/2016	87,1	71,1	89,2	71,6	89,3	77,9
	07/09/2016	86,4	71,1	89,3	78,3	91,7	75,8
	08/09/2016	90,1	73,1	91,1	73,6	94,8	78,6
SEMANA 4	12/09/2016	79,2	64,6	81	74,4	89,6	79,8
	14/09/2016	90,3	73,1	90,2	75,5	95,2	77,9
	15/09/2016	80	66,5	84,9	75,3	88,1	75,7
SEMANA 5	19/09/2016	88,3	68,1	89,2	76,9	90	70,8
	21/09/2016	84,8	69,7	84	72,5	86	77
	22/09/2016	85,4	70,3	86	73,4	88,2	72,4
SEMANA 6	26/09/2016	83,4	71,1	85,7	74,3	85,6	73,5
	28/09/2016	91,3	67,7	93,5	68,3	94,2	75,2
	29/09/2016	91,3	76,9	93,3	77,9	92,5	78
SEMANA 7	03/10/2016	93,4	75,4	94,3	79	94,7	80,2
	05/10/2016	93,2	77,4	94,9	79	96,6	81,1
	06/10/2016	82,8	64	86,2	71	89,6	71,2





**ANEXO 6:** Tablas de resultados del análisis microbiológico de las plantas de tratamiento “Uchupucún” (PTU) y “Mahuarca” (PTM).

COLIFORMES (NMP/100ml)								
	FECHA		AGUA CRUDA		AGUA FILTRADA		AGUA DE SALIDA	
			PTU	PTM	PTU	PTM	PTU	PTM
Semana 1	22/08/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	39,9	30,5	<1	<1
		C. FECALES	113,7	613,1	2	3,1	<1	<1
	24/08/2016	C. TOTALES	1553,1	1413,6	16	167	<1	<1
		C. FECALES	114,5	275,5	3,1	39,3	<1	<1
	25/08/2016	C. TOTALES	1413,6	613,1	29,2	62	<1	<1
		C. FECALES	108,1	101,7	4,1	9	<1	<1
Semana 2	29/08/2016	C. TOTALES	1986,3	1119,9	14,5	30,3	<1	<1
		C. FECALES	46,4	62	2	6	<1	<1
	31/08/2016	C. TOTALES	>2419,6	1299,7	19,5	22,3	<1	<1
		C. FECALES	290,9	172,3	9,8	6	<1	<1
	01/09/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	48,9	28,7	<1	<1
		C. FECALES	517,2	488,4	5,1	5	<1	<1
Semana 3	05/09/2016	C. TOTALES	2419,6	410,6	14,8	30	<1	<1
		C. FECALES	86	118,7	1	7	<1	<1
	07/09/2016	C. TOTALES	980,4	1119,9	15,4	19,9	<1	<1
		C. FECALES	53,8	110	5	3	<1	<1
	08/09/2016	C. TOTALES	1119,9	517,2	16,9	22,8	<1	<1



		C. FECALES	152,9	307,6	3	4	<1	<1
Semana 4	12/09/2016	C. TOTALES	1011,2	>2419,6	22,6	8	<1	<1
		C. FECALES	118,7	152,9	3	2	<1	<1
	14/09/2016	C. TOTALES	>2419,6	1986,3	20,9	24,1	<1	<1
		C. FECALES	139,6	142,1	4,1	<1	<1	<1
	15/09/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	22,6	20,9	<1	<1
		C. FECALES	517,2	547,5	3	2	<1	<1
Semana 5	19/09/2016	C. TOTALES	980,4	920,8	26,9	25,9	<1	<1
		C. FECALES	48	101,4	4	3	<1	<1
	21/09/2016	C. TOTALES	2419,6	>2419,6	19,3	17,4	<1	<1
		C. FECALES	139,6	143,9	4	1	<1	<1
	22/09/2016	C. TOTALES	2419,6	1986,3	11,1	13,2	<1	<1
		C. FECALES	127,4	110,6	1	2	<1	<1
Semana 6	26/09/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	10	28,1	<1	<1
		C. FECALES	135,4	209,8	<1	2	<1	<1
	28/09/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	22,8	26,6	<1	<1
		C. FECALES	107,1	103,6	7,1	2	<1	<1
	29/09/2016	C. TOTALES	2419,6	>2419,6	14,5	14,4	<1	<1
		C. FECALES	74,9	98,8	1	<1	<1	<1
Semana 7	03/10/2016	C. TOTALES	>2419,6	866,4	43,5	10	<1	<1
		C. FECALES	43,2	88	<1	<1	<1	<1
	05/10/2016	C. TOTALES	2419,6	>2419,6	33,7	21,1	<1	<1
		C. FECALES	113,4	275,5	7	2	<1	<1
	06/10/2016	C. TOTALES	>2419,6	>2419,6	16,1	21,1	<1	<1
		C. FECALES	517,2	1299,7	8	3	<1	<1

