



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA**

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA  
DE LA PLANTA “PATAMARCA-SAN ANDRÉS”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención  
del Título de Bioquímico Farmacéutico**

**AUTORAS:**

**MARÍA FERNANDA GARCÍA MOSCOSO**

**C.I. 0104551544**

**MARINA BRÍGIDA MARCA SINCHI**

**C.I. 0105832596**

**TUTORA:**

**DRA. SILVANA PATRICIA DONOSO MOSCOSO**

**C.I. 0102590569**

**ASESORES:**

**DRA. SILVIA JOHANA ORTIZ ULLOA**

**C.I. 0301082897**

**DR. WILSON GIOVANNI LARRIVA**

**C.I. 0102194248**

**CUENCA – ECUADOR**

**2016.**



## RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la eficiencia del proceso de potabilización de agua potable de “Patamarca-San Andrés” mediante la medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos a lo largo del proceso. Este estudio fue de tipo cuantitativo, analítico, no experimental descriptivo de corte transversal.

Las muestras analíticas fueron tomadas de puntos de control: desarenador, sedimentador, filtros, y unidad de desinfección. Se realizó en total 14 muestreos.

Los parámetros evaluados fueron: físicos (pH, color, turbidez, sólidos totales disueltos), químicos (nitratos nitritos, cloro residual) y microbiológicos (coliformes totales y fecales).

La eficiencia fue evaluada en las etapas de sedimentación, filtración y desinfección, para conocer el grado de remoción en cada etapa. Además se verificó si el agua tratada cumple con lo establecido en la Norma INEN 1108:2014.

Los resultados generales se presentaron usando estadística descriptiva y gráficas de cajas y bigotes. Para el análisis de resultados se realizaron comparaciones entre el agua entrante y saliente de cada etapa del proceso de potabilización por medio de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Scheffe (post-hoc ANOVA) para los parámetros físicos y microbiológicos. Para los parámetros químicos se aplicaron pruebas t de Student de dos colas, pues las mediciones se realizaron solamente en dos puntos de control (desarenador y desinfección). El cloro residual solo fue medido en el proceso de desinfección, por lo tanto no fue comparado con otros procesos.

Se encontró que la eficiencia fue regular <70% en las etapas de sedimentación y filtración, y buena (70-80%) en la etapa de desinfección.

**Palabras claves:** agua potable, eficiencia, norma INEN 1108, desarenador, sedimentador, filtración, desinfección.



## ABSTRACT

This study aims to assess the efficiency of the purification of drinking water Patamarca-San Andrés by measuring physical, chemical and microbiological parameters throughout the process.

This study is descriptive, quantitative, analytical and non-experimental cross-sectional. The analytical samples were taken treatment from checkpoint process: Desarenador (raw water), Sedimentation (settled water), Filtration (filtered water) y disinfection unit (treated water) . 14 samples were analyzed. The evaluated parameters are: Physical (pH, color, turbidez, total dissolved solids), chemical ( nitrates, nitrites, residual chlorine) and microbiological ( total and fecal coliforms).

The efficiency was evaluated in stages of sedimentation, filtration and disinfecting to know the degree of removal at each stage. In addition verified if treated water meets the requirements standard INEN 1108:2014. The overall results were presented using descriptive statistics and box graphic and whisker graphic.

For the analysis, results in each point the water treatment (desarenador, sedimentation, filtration and disinfection) was comparisons incoming water and outgoing water, through variance analysis (ANOVA) and *Scheffé's* method (post-hoc ANOVA) for physical and microbiological parameters analyzed. For analysis of chemical parameters was used *Student's t-test* the two tailed test because the measurements was only in two points the water treatment (desarenador and disinfection). The chlorine, free was measure in the disinfection process, consequently it wasn't compare with other process.

To evaluate the efficiency in stages of process purification: sedimentation, filtration and disinfection is found that the efficiency was regular < 70 % in stages of sedimentation and filtration and good (70-80%) on the stage disinfection.

**Key words:** potable water, efficiency, INEN 1108 standard, desarenador, sedimentation, filtration, disinfection.



## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>10</b>
<b>CLAÚSULAS DE DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>11</b>
<b>CLAUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL</b> .....	<b>13</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>15</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>17</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>18</b>
<b>ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS</b> .....	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
<b>1.1 El Agua y Agua Potable</b> .....	<b>22</b>
<b>1.2 Principales parámetros físicos y químicos</b> .....	<b>22</b>
<b>1.2.1 Sólidos o residuos</b> .....	<b>22</b>
<b>1.2.2 Color</b> .....	<b>23</b>
<b>1.2.3 Turbidez</b> .....	<b>23</b>
<b>1.2.4 pH</b> .....	<b>23</b>
<b>1.2.5 Nitritos</b> .....	<b>24</b>
<b>1.2.6 Nitratos</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3 Aspectos microbiológicos</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3.1 Microorganismos indicadores</b> .....	<b>25</b>
1.3.1.1 Bacterias .....	25
1.3.1.2 Virus .....	26
1.3.1.3 Parásitos .....	26
<b>1.4 Contaminación del agua</b> .....	<b>26</b>
<b>1.4.1 Contaminación natural</b> .....	<b>27</b>
<b>1.4.2 Contaminación artificial</b> .....	<b>27</b>
<b>1.5 Etapas de Potabilización del agua</b> .....	<b>27</b>
<b>1.5.1 Desarenador</b> .....	<b>27</b>



<b>1.5.2</b>	<b>Coagulación</b> .....	<b>28</b>
1.5.2.1	Sustancias químicas utilizadas en la coagulación .....	28
1.5.2.2	Unidades de mezcla rápida .....	28
<b>1.5.3</b>	<b>Floculación</b> .....	<b>29</b>
-	<b>Floculación Pericinéctica</b> .....	<b>30</b>
-	<b>Floculación Ortocinéctica</b> .....	<b>30</b>
<b>1.5.4</b>	<b>Sedimentación</b> .....	<b>30</b>
1.5.4.1	Principales factores que influyen en la sedimentación .....	30
<b>1.5.5</b>	<b>Filtración</b> .....	<b>31</b>
1.5.5.1	Principales factores que influyen en la filtración .....	31
1.5.5.1.1	<b>Características de la suspensión</b> .....	<b>31</b>
-	Tipos de partículas suspendidas: .....	31
-	Tamaño de las partículas suspendidas: .....	31
-	Densidad de las partículas suspendidas: .....	32
-	Resistencia o dureza de los flóculos: .....	32
-	Temperatura del agua por filtrar: .....	32
-	Potencial zeta de la suspensión .....	32
1.5.5.1.2	<b>Características del medio filtrante</b> .....	<b>32</b>
<b>1.5.6</b>	<b>Desinfección</b> .....	<b>33</b>
1.5.6.1	Utilidad de la desinfección .....	33
1.5.6.2	Factores que influyen en la eficiencia de la desinfección .....	34
-	Características físico-químicas del agua .....	34
-	El pH del agua: .....	35
-	Naturaleza de los organismos a ser destruidos .....	35
1.5.6.3	Clasificación de los desinfectantes en función de su mecanismo de destrucción .....	35
1.5.6.3.1	<b>Agentes físicos</b> .....	<b>35</b>
	Su mecanismo de destrucción se realiza mediante la aplicación directa de energía en forma de calor o luz (ebullición y luz ultravioleta).....	35
1.5.6.3.2	<b>Agentes químicos</b> .....	<b>36</b>
1.5.6.3.2.1	<b>Cloro</b> .....	<b>36</b>
<b>1.6</b>	<b>Plantas de tratamiento de agua potable</b> .....	<b>38</b>
<b>1.6.1</b>	<b>Tipos de plantas de tratamiento</b> .....	<b>39</b>
1.6.1.1	Según la tasa o velocidad de filtración .....	39
1.6.1.2	Plantas de filtración rápida .....	39
1.6.1.3	Plantas de filtración lenta.....	39
1.6.1.4	Según la presión .....	40
<b>1.7</b>	<b>Eficiencia de la planta de tratamiento</b> .....	<b>40</b>
<b>1.7.1</b>	<b>Eficiencia de los sedimentadores</b> .....	<b>41</b>
<b>1.7.2</b>	<b>Eficiencia de la filtración</b> .....	<b>42</b>
<b>1.7.3</b>	<b>Eficiencia de la desinfección</b> .....	<b>43</b>
<b>1.7.4</b>	<b>Requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2014</b> .....	<b>43</b>



<b>1.8</b>	<b>Generalidades y etapas de potabilización de agua de la planta “Patamarca-San Andrés”</b> .....	<b>43</b>
<b>1.8.1</b>	<b>Antecedentes</b> .....	<b>43</b>
<b>1.8.2</b>	<b>Infraestructura</b> .....	<b>44</b>
<b>1.8.3</b>	<b>Servicios</b> .....	<b>44</b>
<b>1.8.4</b>	<b>Proceso de potabilización</b> .....	<b>45</b>
1.8.4.1	Captación .....	45
1.8.4.2	Desarenador .....	45
1.8.4.3	Coagulación .....	45
1.8.4.4	Floculación .....	46
1.8.4.5	Sedimentación .....	46
1.8.4.6	Filtración .....	47
1.8.4.7	Desinfección.....	47
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>49</b>
<b>2.1</b>	<b>Tipo de diseño</b> .....	<b>49</b>
<b>2.2</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	<b>49</b>
<b>2.3</b>	<b>Muestreo y tamaño de la muestra</b> .....	<b>49</b>
<b>2.4</b>	<b>Método analítico</b> .....	<b>51</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Equipos, reactivos y materiales</b> .....	<b>51</b>
<b>2.5</b>	<b>Determinación de color</b> .....	<b>51</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>51</b>
<b>2.6</b>	<b>Determinación de nitritos</b> .....	<b>52</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>52</b>
<b>2.7</b>	<b>Determinación de nitratos</b> .....	<b>52</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>52</b>
<b>2.8</b>	<b>Determinación de cloro residual</b> .....	<b>52</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>52</b>
<b>2.9</b>	<b>Determinación de sólidos totales disueltos</b> .....	<b>53</b>
<b>2.9.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>53</b>
<b>2.10</b>	<b>Determinación de turbidez</b> .....	<b>53</b>
<b>2.10.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>53</b>
<b>2.11</b>	<b>Determinación de pH</b> .....	<b>54</b>
<b>2.11.1</b>	<b>Fundamento y medición</b> .....	<b>54</b>
<b>2.12</b>	<b>Determinación de coliformes totales y fecales por el método de filtración por membrana</b> .....	<b>54</b>
<b>2.12.1</b>	<b>Fundamento</b> .....	<b>54</b>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

2.12.2	Procedimiento .....	54
3	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	56
3.1	Descripción general del análisis del proceso de potabilización de Patamarca-San Andrés .....	56
3.2	Comparación de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés .....	64
3.3.	Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización.....	67
4.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	70
5.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	71
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	72
	<b>ANEXOS</b> .....	78



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros que garantizan la eficiencia de la desinfección .	<b>38</b>
<b>Tabla 2.</b> Grado de eficiencia de la filtración y sedimentación	<b>43</b>
<b>Tabla 3.</b> Requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2014	<b>43</b>
<b>Tabla 4.</b> Cronograma del muestreo para el análisis	<b>50</b>
<b>Tabla 5.</b> Equipos, reactivos y materiales	<b>51</b>
<b>Tabla 6.</b> Número de análisis en el proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés	<b>56</b>
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis físicos, químicos y microbiológicos del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés, expresados en valores de media (X), desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max)	<b>57</b>
<b>Tabla 8.</b> Comparaciones de los parámetros físicos y microbiológicos de cada una de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés	<b>65</b>
<b>Tabla 9.</b> Comparación de los parámetros químicos del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés	<b>67</b>
<b>Tabla 10.</b> Grado de Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés	<b>69</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sedimentadores .....	46
<b>Figura 2.</b> Floculadores .....	47
<b>Figura 3.</b> Unidades de Filtración .....	47
<b>Figura 4.</b> Variación del color en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	59
<b>Figura 5.</b> Variación de la turbidez en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	59
<b>Figura 6.</b> Variación de los sólidos totales disueltos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés .....	59
<b>Figura 7.</b> Variación del pH en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés .....	59
<b>Figura 8.</b> Variación de nitratos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	62
<b>Figura 9.</b> Variación de nitritos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	62
<b>Figura 10.</b> Variación de coliformes fecales en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	62
<b>Figura 11.</b> Variación de coliformes totales en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	62
<b>Figura 12.</b> Variación de cloro residual en las etapas del proceso del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés.....	63



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Flujograma del proceso de potabilización .....	79
<b>Anexo 2.</b> Registro Fotográfico .....	80
<b>Anexo 3.</b> Resultados del análisis físico- químico y microbiológico .....	83



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

---



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusulas de derecho de autor.

María Fernanda García Moscoso, autora del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA "PATAMARCA-SAN ANDRÉS", 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 hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 9 de Noviembre del 2016

María Fernanda García Moscoso

C.I.: 0104551544



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Cláusulas de derecho de autor.

Marina Brigída Marca Sinchi, autora del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA "PATAMARCA-SAN ANDRÉS", 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 hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 9 de Noviembre del 2016

Marina Brigída Marca Sinchi

C.I: 0105832596



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

---



Universidad de Cuenca  
Cláusulas de propiedad intelectual

---

María Fernanda García Moscoso, autora del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA "PATAMARCA-SAN ANDRÉS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 9 de Noviembre del 2016.

María Fernanda García Moscoso.  
C.I:0104551544



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca  
Cláusulas de propiedad intelectual

Marina Brígida Marca Sinchi, autora del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA “PATAMARCA-SAN ANDRÉS”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 9 de Noviembre del 2016.

Marina Brígida Marca Sinchi.  
C.I.:0105832596



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## **DEDICATORIA**

A Dios mi guía espiritual, a mi esposo Eduardo Quiroz que siempre me apoyo y creyó en mi dándome fuerzas día a día para culminar con mi tesis, a mi hijo Joel Quiroz que fue mi fortaleza y ganas de seguir luchando por mis metas propuestas, a mis padres Marco García y Cecilia Moscoso que nunca dejaron de apoyarme y guiarme.

De manera especial a mi suegra Cecilia Pardo quien fue mi mano derecha durante este tiempo la que me apoyó incondicionalmente y con ayuda de ella permitiéndome culminar con mi carrera universitaria.

María Fernanda García Moscoso



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a Dios Yavé, por brindarme la vida, permitirme seguir avanzando, por ser mi guía, ser el más grande testigo y confidente en mi vida.

A mis padres Pilar y Manuel, que por su apoyo, esfuerzo y cariño me han impulsado día a día para no dejarme vencer frente a las diferentes adversidades que se han presentado durante este largo trayecto, pues han sido testigos de cada paso, cada caída, cada esfuerzo que se ha tenido que dar. Gracias por creer en mí.

A mis hermanas Wendy y Carolina, porque aunque cada una tomó un trayecto diferente, y por ende con problemas y circunstancias diferentes, no han dejado de ser un apoyo, pues ya sea con sus locuras, alegrías y tristezas me han dado ese impulso para continuar.

Marina Brígida Marca Sinchi





UNIVERSIDAD DE CUENCA

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por permitirnos alcanzar una meta más en nuestra vida

A la prestigiosa Universidad de Cuenca, que abrió las puertas para nuestra formación académica profesional.

A la Dra. Silvana Patricia Donoso Moscoso, por la ayuda brindada ya que con su experiencia y sabiduría supo encaminarnos en la ejecución de tan importante proyecto para nuestra vida profesional.

Un profundo agradecimiento a la Dra. Johana Ortiz Ulloa, quién con sus conocimientos nos brindó asesoría en distintas ocasiones para el desarrollo del presente estudio.

Al Dr. Segundo Chica, por brindarnos ayuda incondicional y asesorarnos para concluir el presente estudio.

Al Dr. Wilson Giovanni Larriva por su ayuda en la realización de este trabajo.

Fernanda García y Marina Marca



## GLOSARIO

**Bactericida:** Dícese de la sustancia o del agente físico que es capaz de destruir las bacterias.

**Caudal:** cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

**Coefficiente de uniformidad:** Describe y permite evaluar la uniformidad de una variable.

**Características granulométricas:** refiere a la medida de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis.

**Flóculo:** grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.

**Homeotérmico:** Relativo a la capacidad de los animales de sangre caliente para mantener una temperatura interna suficientemente estable, con independencia de la temperatura ambiente

**Polielectrolitos:** son polímeros cuyas unidades de repetición soportan un grupo electrolito.

**Protozario:** organismo microscópico, unicelular, sin pared celular, heterótrofo, no fotosintético, móvil y capaz de ingerir partículas de alimento.

**Tampón:** tienen la propiedad de mantener estable el pH de una disolución frente a la adición de cantidades relativamente pequeñas de ácidos o bases fuertes.

**Termodinámica:** parte de la física que estudia la acción mecánica del calor y las restantes formas de energía.



## **ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS**

**APHA:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales

**CEPIS:** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

**CT:** coliformes totales

**CF:** coliformes fecales

**DE:** desviación estándar

**DPD:** (N, N-dietil-p fenilendiamina)

**ETAPA EP:** Empresa Pública Municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca

**HOCI:** ácido hipocloroso

**NTU:** unidad nefelométrica de turbidez

**OCI:** ión hipoclorito

**Pt-Co:** platino-cobalto

**SAPP:** Sistema de agua potable Patamarca-San Andrés

**STD:** sólidos totales disueltos

**SENAGUA:** Secretaría Nacional del Agua

**UFC:** unidad formadora de colonias

$\bar{X}$  = media aritmética



## INTRODUCCIÓN

El agua, tal como se encuentra en la naturaleza, no se puede usar en forma directa para consumo humano o para la industria. A su paso por el suelo, el subsuelo o el aire, el agua recoge materia en suspensión o solución como arcillas, organismos vivos como plantas, bacterias, virus y huevos de parásitos, sales disueltas, materias orgánicas y gases (Pacheco, V, 2005).

Según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), la calidad del agua se altera por el vertimiento de aguas residuales, por la disposición final de residuos sólidos, por agroquímicos y nutrientes que por escorrentía se desplazan hacia los cuerpos de agua; así como también por asentamientos poblacionales, las actividades industriales y agropecuarias (SENAGUA, 2012). Un informe realizado por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua potable Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), en el año 2011 señala que el índice de calidad de agua WQI-NSF (Water Quality Index-The National Sanitation Fundation) en los tramos bajos de los ríos: Tomebamba, Yanucay, Machángara, Tarqui, y la quebrada de Milchichig, el agua está dentro de un rango de calidad de medio a bueno por lo que no deberá presentar riesgo para la salud pública. No obstante de acuerdo a índices biológicos, las aguas de los ríos de Cuenca varían en términos generales dentro de las categorías IV y V, es decir entre aguas fuertemente contaminadas y aguas muy contaminadas, que en determinadas circunstancias de contacto directo con la población puede ocasionar daños a la salud pública por lo que la presencia de todas estas sustancias obliga a efectuar el tratamiento de las aguas antes de su empleo por los seres humanos (Pacheco, V, 2005) (ETAPA-EP, 2012).

Para obtener agua de calidad aceptable para el consumo humano es necesario la eliminación o reducción de impurezas mediante el tratamiento eficiente del agua en las plantas de potabilización. Sin embargo, las amenazas naturales (lluvias, inundaciones, deslizamientos), así como el deterioro de las unidades de las plantas y el mal manejo pueden afectar la eficiencia de la misma. En el Cantón Cuenca existe una diversificación de sistemas de abastecimiento de agua con diferentes



tipos de tratamiento, estando registrado 174 proyectos de abastecimiento de agua distribuidos en las 21 parroquias rurales, siendo las plantas de filtración rápida las más comunes, encontrándose dentro de las mismas la planta del Sistema de Agua Potable “Patamarca-San Andrés” misma que brinda sus servicios a 11 sectores, con un total de 3500 usuarios.

Para que una planta de tratamiento sea considerada eficiente se debe cumplir adecuadamente los estándares de calidad del agua, que en el caso del Ecuador son aquellos descritos en la Norma “INEN 1108-2014: Agua Potable. Requisitos”. Esta norma indica los parámetros necesarios a medir para corroborar la eliminación de características indeseables, impurezas y agentes patógenos del agua a fin de proporcionar agua segura, aceptable y agradable para los consumidores.

En la planta de tratamiento de agua potable de Patamarca-“San Andrés” no se ha realizado ningún tipo de estudios en las diferentes unidades de tratamiento que permitan evaluar la eficiencia de la planta. Por lo tanto, este proyecto tiene la finalidad de evaluar la mencionada eficiencia particularmente en los puntos de control de la planta (unidades de filtración, unidad de sedimentación y unidad de desinfección) mediante el análisis de parámetros físicos (color, pH, turbidez, sólidos totales disueltos), químicos (cloro residual, nitratos, nitritos) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), y verificar de esta forma si el agua potable de la misma cumple con los requisitos establecidos en la Norma INEN 1108-2014”



## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 El Agua y Agua Potable

El agua es una sustancia de características tan excepcionales y únicas que sin ella sería imposible la vida, siendo fundamental para prácticamente todas las funciones del organismo. Sin embargo, a pesar de tal importancia, el organismo no tiene la capacidad de sintetizarla en cantidades suficientes ni de almacenarla, por lo que para el bienestar del hombre es fundamental que se disponga de agua de calidad para la ingesta (Carbajal & Gónzales, 2012) (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2010).

La calidad de agua de consumo se puede controlar mediante una combinación de medidas de protección de las fuentes de agua, control de las operaciones de tratamiento, y gestión de la distribución y la manipulación del agua (Organización mundial de la Salud, 2006).

Se denomina agua potable al agua que ha recibido un tratamiento destinado a hacerla apta para el consumo humano, para lo cual se toman en cuenta todos sus usos domésticos (Orellana, 2005).

### 1.2 Principales parámetros físicos y químicos

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. Los parámetros que se deben controlar son: turbidez, sólidos totales disueltos, color y pH ( Barrenechea, 2016).

#### 1.2.1 Sólidos o residuos

La determinación de los sólidos permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que tiene el agua. Son la materia residual que queda cuando una muestra de agua se deseca a una temperatura estable. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos ( Barrenechea, 2016).



- Sólidos disueltos: son los sólidos filtrantes, los que pasaron en el proceso de filtración, son sales y sólidos en estado coloidal menores a un micrómetro (Orellana, 2005).
- Sólidos en suspensión: corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio ( Barrenechea, 2016).

### 1.2.2 Color

El término “color” se refiere al color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez.

Suele medirse junto con el pH, pues la intensidad del color depende de éste (mayor pH: color aumenta) (Ortiz, 2015).

Las causas más comunes del color del agua son:

- Presencia de Fe y Mn coloidal o en solución
- Contacto del agua con desechos orgánicos en diferentes estados de descomposición (hojas, raíces, madera, etc.) (Ortiz, 2015).

### 1.2.3 Turbidez

Es originada por la presencia de partículas en suspensión o coloidales (arcilla, partículas de sílice y materia orgánica). Se requiere de uso de coagulantes para la eliminación de la turbidez ( Barrenechea, 2016).

La turbidez no genera problemas de salud, pero reduce la acción del cloro, pues los microorganismos se protegen con la presencia de estas partículas (Orellana, 2005).

### 1.2.4 pH

Es un factor que mide el grado de acidez, no tiene un efecto directo sobre la salud, pero sí influye en los procesos de tratamiento del agua. Cuando se trata de agua muy ácida se añade un álcali para mejorar el proceso de coagulación (Ortiz, 2015).



### 1.2.5 Nitritos

Su presencia indica procesos biológicos activos en el agua, son indicadores de contaminación fecal a medio o corto plazo. Se oxidan rápida y fácilmente a nitratos, constituyen un paso intermedio en el proceso de oxidación de la materia fecal, por lo que el contenido es variable (Ortiz, 2015).

### 1.2.6 Nitratos

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo que son movilizados con facilidad de los sedimentos por las aguas superficiales y subterráneas. Pueden considerarse como indicadores de contaminación fecal a largo plazo, pues es el estado más oxidado del amonio. Sin embargo su uso como abono agrícola, hace que hayan perdido gran parte de su valor como indicadores de contaminación fecal ( Barrenechea, 2016) (Ortiz, 2015). Al presentarse los nitratos en agua potable se relaciona con los efectos tóxicos (metahemoglobinemia) producidos por un exceso de nitrato en la dieta, y pueden causar la formación endógena de nitro-compuestos, de efectos cancerígenos, como las nitrosaminas (Ortiz, 2015).

## 1.3 Aspectos microbiológicos

Conocer la calidad microbiológica del agua resulta de gran relevancia, dado el riesgo asociado con la ingesta de agua contaminada con bacterias patógenas, virus, protozoarios y helmintos provenientes de las heces fecales de humanos y animales (Organización mundial de la Salud, 2006).

El agua es un vehículo importante de agentes patógenos causales de enfermedades diversas en el humano, por lo que determinar el tipo de microorganismo patógeno y su concentración en el agua proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma. 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, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores (Arcos, Ávila, Estupiñán, & Gómez , 2005).

### **1.3.1 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. 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.
- 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).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno (Arcos, Ávila, Estupiñán, & Gómez , 2005) (CYTED, 2016).

A continuación se describen algunos grupos recomendados como indicadores de la calidad del agua:

#### **1.3.1.1 Bacterias**

Las que se encuentran con mayor frecuencia 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 consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas (CYTED, 2016).



El grupo más utilizado es el de las bacterias coliformes 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. 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 (Arcos, Ávila, Estupiñán, & Gómez , 2005).

**Coliformes fecales:** 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 (Arcos, Ávila, Estupiñán, & Gómez , 2005).

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, 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 (CYTED, 2016).

#### 1.3.1.2 Virus

Los virus entéricos son el grupo de organismos patógenos más críticos, debido a que la dosis mínima infecciosa es muy baja, son muy resistentes a los sistemas de desinfección y el control a nivel de laboratorio es costoso (CYTED, 2016).

#### 1.3.1.3 Parásitos

Las formas infecciosas de muchos helmintos y protozoos, pueden transmitirse a las personas por medio del agua de consumo. El agua de consumo no debe contener larvas maduras ni huevos fertilizados, ya que un único ejemplar puede ocasionar una infección (Organización mundial de la Salud, 2006).

### 1.4 Contaminación del agua

Se la define como la modificación generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua haciéndola agua peligrosa o inapropiada para el consumo



humano, industrial, agricultura, pesca y vida natural (Calvo & Flores, 2009). Básicamente existen dos tipos de contaminación: natural y artificial.

#### **1.4.1 Contaminación natural**

El agua a través de su ciclo natural puede entrar en contacto con sustancias minerales o sustancias disueltas (bacterias, cadmio y arsénico) que se vierte en las aguas atmosféricas y en la corteza terrestre (Calvo & Flores, 2009).

Algunos componentes del agua como es el hierro, cobre y el fluoruro en concentraciones grandes pueden ser dañinos ocasionando ciertas enfermedades (Owen I. Q., 2014).

#### **1.4.2 Contaminación artificial**

Aparece a medida que el hombre comienza a interactuar con el medio ambiente y surge con la inadecuada aglomeración de las poblaciones, y como consecuencia del aumento desmesurado y sin control alguno, de industrias, desarrollo y progreso (Owen J. D., 2010). Es preocupante el uso del agua para fines tales como: higiene, limpieza, alimentación y procesos industriales, ya que si no son debidamente tratados retornan al ciclo con distintos niveles de contaminación (Owen J. D., 2010).

### **1.5 Etapas de Potabilización del agua**

#### **1.5.1 Desarenador**

Esta unidad evita el ingreso de partículas más pesadas que trae el agua como gravas, arenas, arenillas y piedras, que por la fuerza de gravedad se sedimentan (SENA, 2016).

Las metas principales de su diseño son:

- Remover partículas discretas superiores a 0,2 mm.
- Evitar que se produzcan sedimentos en la conducción desde la fuente de provisión del agua cruda.
- Proteger contra la abrasión los equipos de impulsión y otras instalaciones de la planta de potabilización.
- Evitar sobrecargas en las fases siguientes del tratamiento (ENOHSA, 2013).



### 1.5.2 Coagulación

Tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la sedimentación y la filtración. Los aglomerados gelatinosos que se forman se agrupan y producen los flóculos.

Los procesos que deben llevarse a cabo en esta etapa del tratamiento del agua potable son la dosificación de los coagulantes y auxiliares de la coagulación y la mezcla rápida (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015) (Ministerio de Desarrollo económico de Colombia, 2000).

#### 1.5.2.1 Sustancias químicas utilizadas en la coagulación

Se pueden clasificar en tres categorías:

- **Coagulantes:** compuestos de aluminio o de hierro que generalmente pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas.
- **Alcalinizantes:** óxido de calcio, hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, carbonato de sodio, que pueden proporcionar la alcalinidad necesaria para la coagulación.
- **Coadyuvantes de la coagulación:** compuestos (arcilla, sílice activada, polielectrolitos, polímeros inorgánicos, etc.) que se pueden convertir en partículas más densas y hacer que los flóculos sean más firmes. (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015) (Ministerio de Desarrollo económico de Colombia, 2000).

#### 1.5.2.2 Unidades de mezcla rápida

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. En esta unidad se realiza la dosificación; por lo tanto, estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso (Vargas L., 2010).



Estos equipos pueden ser hidráulicos o mecánicos. Entre las unidades hidráulicas de mezcla rápida que pueden usarse se encuentra:

- **El resalto hidráulico:** es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad y pasa a una zona de baja velocidad (Moros, 2002).
- **Vertederos:** generan un resalto hidráulico aguas debajo de su altitud después del punto de impacto del chorro con el canal, el cual puede ser aprovechado como unidad de mezcla hidráulica para la disolución apropiada de reactivos sin gasto de energía externa o mecánica (Moros, 2002).
- **Difusores:** pueden producir una mezcla extremadamente rápida de los coagulantes. Se basa en el empleo de múltiples puntos de aplicación (Moros, 2002).

Entre las unidades mecánicas de mezcla rápida el más utilizado son los mezcladores hidráulicos, mismos que pueden emplearse cuando se dispone de suficiente energía en el flujo de entrada. (Ministerio de Desarrollo económico de Colombia, 2000).

### 1.5.3 Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación. Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse, aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Andía, 2000).

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos. Para que esto suceda se produce primero la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética (Andía, 2000).



#### - **Floculación Pericinéctica**

Es producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano. (Andía, 2000).

#### - **Floculación Ortocinéctica**

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico (Andía, 2000).

### **1.5.4 Sedimentación**

Por lo general, las aguas en movimiento arrastran partículas granulares y materia floculenta que, por su carácter liviano, se mantienen en suspensión. El sedimentador o clarificador mediante la reducción de la velocidad de agua permitirá la eliminación por sedimentación de los sólidos más densos que el agua y que tiene una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo aceptable. (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015) (Romero, 2016) (Arboleda J. , 2000).

#### **1.5.4.1 Principales factores que influyen en la sedimentación**

##### - **Calidad de agua**

En el agua a ser tratada la forma de sedimentación de las partículas va a variar dependiendo de la concentración de las materias en suspensión, así como también de las propiedades de las partículas (Maldonado, 2011).

##### - **Factores externos**

Los factores externos que más tienen influencia en la eficiencia de un sedimentador o decantador son el acondicionamiento previo (procesos previos a la sedimentación), prácticas operacionales y factores ambientales (Maldonado, 2011). En el caso del acondicionamiento previo, una inadecuada coagulación y floculación pueden ocasionar bajas eficiencias en los decantadores, de igual manera la operación y el estado de la unidad. A la vez, el viento, al soplar sobre la superficie de los sedimentadores, puede producir corrientes de suficiente intensidad como



para inducir cambios en la dirección del flujo y alterar el precario equilibrio de las masas de agua (Maldonado, 2011).

### 1.5.5 Filtración

Consiste en hacer pasar el agua que todavía contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros. El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte (Romero, 2016). En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (Maldonado, 2014).

En el filtro, hasta el 99,5% de los sólidos suspendidos en el agua se puede eliminar, incluyendo: minerales, flóculos y microorganismos (SENA, 2016).

#### 1.5.5.1 Principales factores que influyen en la filtración

##### 1.5.5.1.1 Características de la suspensión

- **Tipos de partículas suspendidas:** la filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de ablandamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de un pretratamiento con un coagulante de una sal de hierro o aluminio (Maldonado, 2014).
- **Tamaño de las partículas suspendidas:** existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de 1  $\mu\text{m}$ , el cual genera menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Algunos productos químicos, como los coagulantes tradicionales y los polímeros, pueden usarse para ajustar el tamaño de las partículas suspendidas de modo de obtener una eficiencia mayor. Las partículas menores que el tamaño crítico serán removidas eficientemente, debido, principalmente, a la difusión; mientras que las mayores también serán removidas eficientemente debido a la acción de otros mecanismos, como la intercepción y la sedimentación (Maldonado, 2014).



- **Densidad de las partículas suspendidas:** cuanto mayor sea la densidad de las partículas suspendidas, mayor será la eficiencia de remoción de las partículas de tamaño superior al tamaño crítico, mencionado anteriormente (Maldonado, 2014).
- **Resistencia o dureza de los flóculos:** la dureza de los flóculos es otro factor importante, pues los flóculos débiles tienden a fragmentarse y penetrar fácilmente en el interior del medio filtrante, lo que favorece el traspaso final de la turbidez límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor (Maldonado, 2014).
- **Temperatura del agua por filtrar:** en general, el aumento de temperatura conduce a una eficiencia mayor, pues se tiene un aumento de energía termodinámica en las partículas del agua y, consecuentemente, la difusión se vuelve un mecanismo importante cuando se tienen partículas suspendidas menores de un micrómetro. Por otro lado, la disminución de la viscosidad facilita la acción del mecanismo de sedimentación de partículas mayores de un micrómetro (Maldonado, 2014).
- **Potencial zeta de la suspensión:** describe la intensidad del campo eléctrico estático de la capa doble en el límite entre el grano y el fluido. Cuando las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante tienen potencial zeta del mismo signo, la interacción entre las capas dificulta la adherencia lo cual reduce la eficiencia de remoción. Como los materiales filtrantes usuales presentan potenciales zeta negativos, sería conveniente que las partículas suspendidas tuviesen potencial zeta neutro o positivo (Maldonado, 2014).

#### 1.5.5.1.2 Características del medio filtrante

Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, se destacan:

- **Tipo del medio filtrante**

La elección del medio filtrante depende de innumerables factores. Entre los más importantes figuran la calidad deseada para el efluente, los costos y la facilidad de adquisición de los materiales en el mercado. Un medio filtrante ideal es aquel de





granulometría determinada y cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad. La filtración en medios filtrantes dobles, constituidos por antracita y arena es, desde todo punto de vista, superior a la filtración en medios constituidos únicamente por arena (Maldonado, 2014) (Urania, 2001).

#### - **Características granulométricas del material filtrante**

Las características granulométricas de los materiales filtrantes deben ser claramente especificadas, normalmente, la antracita se prepara entre las mallas de aberturas 0,59 y 1,68 o 2,00 mm, con un tamaño efectivo que varía entre 0,80 y 1,10 mm, y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,5 mm. La arena normalmente es preparada entre las mallas de aberturas entre 0,42 y 1,19 mm, con un tamaño efectivo que varía entre 0,50 y 0,60 mm y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,5 (Maldonado, 2014) (Urania, 2001).

#### **1.5.6 Desinfección**

Es un proceso de tratamiento que tiene como objetivo garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos. Se considera fundamental este proceso de tratamiento, debido a que es conocido que los procesos previos (sedimentación, filtración) no remueven el 100 % de los microorganismos patógenos presentes en las aguas sujetas a tratamiento (Vargas L. , 2015). Además, las aguas de consumo pueden sufrir recontaminación al ser distribuidas a la población, a causa de deterioro en tanques de almacenamiento y redes de distribución, por lo que la desinfección también puede actuar como seguro contra estas situaciones posteriores (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015) (Urania, 2001).

##### **1.5.6.1 Utilidad de la desinfección**

En la planta de tratamiento el uso de la desinfección normalmente se basa en los siguientes criterios:



**Predesinfección:** para reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda. Este proceso se efectúa únicamente en casos especiales, tales como en ciertos períodos del año cuando la calidad del agua cruda que ingresa a las unidades disminuye notablemente pudiendo ocasionar lechos contaminados y por ende, una baja eficiencia operativa de las unidades (Urania, 2001) (Mateo, 2012).

**Postdesinfección:** como desinfectante final, luego del tratamiento principal efectuado al agua (Urania, 2001).

Es recomendable que las aguas sujetas a desinfección, estén libres de partículas coloidales causantes de turbidez y color que pueden convertirse en obstáculos para la acción de agente desinfectante. Por esto, la desinfección alcanza mayor eficiencia en aguas claras. De aquí la importancia de lograr altas eficiencias en los procesos de clarificación (Urania, 2001).

#### 1.5.6.2 Factores que influyen en la eficiencia de la desinfección

La eficiencia de la desinfección depende básicamente de los siguientes factores:

- **Naturaleza del desinfectante:** existen desinfectantes más eficientes que otros. Para desinfección en abastecimientos públicos de agua, los agentes más utilizados en orden de frecuencia son: cloro, ozono, luz ultravioleta y los iones de plata (Urania, 2001).
- **Concentración del desinfectante:** la concentración del desinfectante y el tiempo de contacto están relacionados y son interdependientes para una determinada condición de desinfección, menores dosis de desinfectantes, requieren mayores tiempos de contacto y viceversa. En el caso del cloro se requiere un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos con el agua antes de su consumo (Urania, 2001) (Organización Panamericana de la Salud, 1999).
- **Características físico-químicas del agua:** de estas va a depender la cantidad y el tiempo de contacto del desinfectante a emplear, esto debido a que pueden interferir en las reacciones del desinfectante, tal es el caso de las impurezas del agua (Urania, 2001).



- **El pH del agua:** la proporción de ion hipoclorito y ácido hipocloroso depende del pH, A pH 6 y pH 9, ambas especies coexisten, mientras que a pH inferiores a 6 y superiores a 9 se considera la existencia de una única especie: de ácido hipocloroso e ion hipoclorito respectivamente. Esto es de gran importancia ya que la eficiencia de la desinfección depende de la concentración de ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Por su naturaleza, el HOCl tiene un potencial de oxidación mayor que del ión hipoclorito y por lo tanto su poder microbicida es mucho mayor (ITC, 2015) (Vargas & Barrenechea, 2015).
- **Naturaleza de los organismos a ser destruidos:** los microorganismos se comportan de manera diferente frente a la acción de un desinfectante. El análisis bacteriológico frecuente demuestra la eficacia de la desinfección (Urania, 2001). En los puntos de red de distribución de agua es muy importante asegurar que exista cloro libre, pues el hecho de encontrarlo demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, y por lo tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

### **1.5.6.3 Clasificación de los desinfectantes en función de su mecanismo de destrucción**

#### **1.5.6.3.1 Agentes físicos**

Su mecanismo de destrucción se realiza mediante la aplicación directa de energía en forma de calor o luz (ebullición y luz ultravioleta).

La desinfección por ebullición se produce mediante la acción del calor por un tiempo prolongado, lo que causa la muerte de todo tipo de agentes microbianos, pero el alto costo requerido para hacer hervir el agua es prohibitivo en la industria y en los servicios (Vargas & Barrenechea, 2015) (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

En cambio la luz ultravioleta realiza su acción desinfectante debido a que su longitud de onda de 254 nm tiene acción microbicida pues daña irreversiblemente la estructura celular al descomponer fotoquímicamente el ácido ribonucleico RNA y



desoxirribonucleico DNA. La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara (Vargas & Barrenechea, 2015) (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

#### **1.5.6.3.2 Agentes químicos**

Son los más empleados en los sistemas de abastecimientos de agua de bebida, siendo los reactivos químicos más comunes el cloro y sus derivados y el ozono junto con el bióxido de cloro (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

La acción de los compuestos químicos usados en la desinfección del agua es, por lo general por su fuerte capacidad oxidante. Los microorganismos contienen enzimas que son catalizadores biológicos esenciales. Estas enzimas son muy vulnerables a la acción de agentes oxidantes fuertes, que puedan traspasar las paredes de la célula. Los agentes químicos oxidan las enzimas y provocan la muerte de las bacterias (Vargas & Barrenechea, 2015).

##### **1.5.6.3.2.1 Cloro**

De todos los agentes químicos empleados el cloro en forma de cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio o de hipoclorito de calcio es el biocida más empleado y el más antiguo para la desinfección de agua de consumo (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

##### **Ventajas de la desinfección con cloro**

- Capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor, corrosión y deterioro del agua.
- Acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y en menor medida virucida.
- Capacidad de mejorar los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.
- Bajo costo y es bastante seguro.
- El equipo que requiere para su dosificación no es sofisticado ni complejo (Romero, 2016).
-



### **Desventajas de la desinfección con cloro**

- Eficacia limitada frente a protozoos patógenos en particular *Cryptosporidium* y frente a algunos virus.
- Eficacia limitada frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante.
- Turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.
- Reacciona con materia orgánica y da lugar a trihalometanos (THM) muchos de los cuales se ha demostrado son tóxicos o carcinogénicos (Organización Panamericana de la Salud, 1999) (Organización Mundial de la Salud., 2004).

### **Eficiencia de la cloración en la destrucción de bacterias**

Es bastante conocido la eficiencia del cloro para la destrucción de bacterias tanto coliformes como patógenas, de hecho según estudios de Tonney y otros la destrucción de las bacterias coliformes es seguro indicio de la eliminación de las bacterias patógenas, siendo el ácido hipocloroso (HOCl) en comparación con el ión hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) el desinfectante más eficiente esto debido a que el HOCl posee un tamaño molecular pequeño y su neutralidad eléctrica puede atravesar la membrana bacteriana más fácilmente que otros compuestos (Valencia, 1992).

Respecto al mecanismo de acción del cloro sobre las bacterias, diferentes estudios indican que la desinfección se realiza en dos etapas:

1. Penetración de la membrana celular por el compuesto.
2. Producción de reacciones con las enzimas de la célula de manera de producir un daño irreversible en su sistema enzimático (Valencia, 1992).

### **Eficiencia de la cloración en la destrucción de protozoarios**

Los protozoarios *Giardia lamblia* y *Criptosporidium* principalmente, pueden estar como quistes o en forma vegetativa. En el primer caso son más resistentes a la desinfección que en el segundo, pero en ambos son más difíciles de destruir que las bacterias, Afortunadamente debido a su tamaño pueden ser eficientemente



removidas en los procesos de filtración, cuando se obtienen efluentes de baja turbidez inferiores a 0.5 UNT, por ello es indispensable desplegar los esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes (Valencia, 1992) (Vargas & Barrenechea, 2015).

### **Eficiencia de la cloración en la destrucción de virus**

La forma como el cloro actúa sobre las partículas virales no ha sido investigada suficientemente. Se cree que el HOCl ataca la envoltura proteínica de los virus reaccionando con ella. Esto explicaría la relativa lentitud con que se hace la desinfección, además los virus se hacen más resistentes al cloro cuando van asociados con células o partículas orgánicas como lo determinaron Subsey y colaboradores (1991), por fortuna la concentración de virus en el agua es baja en comparación de la concentración de bacterias coliformes (Arboleda J. , 1992)

Sin embargo cabe recalcar que la coagulación-floculación, sedimentación y filtración, procesos previos a la desinfección son claves para la reducción viral, de tal forma que se complementen para obtener agua de mejor calidad (Arboleda J. , 1992). Desde un punto de vista general la eficiencia de la desinfección se verificará cuando se cumplan los siguientes parámetros:

Turbidez	<0,5 NTU
pH	<8
Cloro residual	>0,5 mg/l

**Tabla 1. Parámetros que garantizan la eficiencia de la desinfección**

(Organización Panamericana de la Salud, 1999).

### **1.6 Plantas de tratamiento de agua potable**

Las plantas de tratamiento de agua potable son una secuencia de operaciones o procesos unitarios convenientemente seleccionados con el fin de remover



totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las normas. De ahí que las plantas de tratamiento no sean todas iguales, pues el diseño depende de las necesidades específicas (SENA, 2016) (Vargas L. , 2015).

### 1.6.1 Tipos de plantas de tratamiento

#### 1.6.1.1 Según la tasa o velocidad de filtración

##### 1.6.1.2 Plantas de filtración rápida

Se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, y depende de las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones (Vargas L. , 2015)

De acuerdo con la calidad del agua por tratar se clasifican en:

- **Plantas de filtración rápida completa:** normalmente está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. Puede tratarse agua de turbidez <1000 UNT (Vargas L. , 2015).
- **Plantas de filtración directa:** constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras como las aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes pre-sedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas (Vargas L. , 2015).

##### 1.6.1.3 Plantas de filtración lenta

Operan con tasas como 100 veces menores que las tasas promedio empleadas en los filtros rápidos. Simulan los procesos de tratamiento que se efectúan en la naturaleza en forma espontánea. Puede estar constituida solo por filtros lentos, pero dependiendo de la calidad del agua, puede comprender los procesos de desarenado, pre-sedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava y filtración lenta. Se utilizan para la remoción de concentraciones poco



elevadas de color y turbidez sin ayuda de la coagulación (Vargas L. , 2015) (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015).

#### 1.6.1.4 Según la presión

- **Filtros de presión:** Son cerrados y metálicos. En estos el agua que va a ser tratada se aplica a presión, generalmente estos filtros son usados en piscinas e industrias. El medio filtrante puede ser arena fina y grava (SENA, 2016) (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015).
- **Filtros de gravedad:** Son los más comunes, se utilizan en las plantas de tratamiento para la filtración de grandes volúmenes de agua previamente coagulada. Tienen forma rectangular y se lavan con agua tratada que se introduce de abajo hacia arriba, sistema que se denomina de retrolavado. El medio filtrante empleado en estos filtros puede ser antracita, arena y grava (SENA, 2016) (Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), 2015).

### 1.7 Eficiencia de la planta de tratamiento

Los diferentes procesos utilizados en el tratamiento del agua y las eficiencias que pueden obtenerse dependen principalmente de los constituyentes presentes en las aguas crudas y las concentraciones aceptables en los diferentes usos que esas aguas vayan a recibir. El grado específico de remoción de estos constituyentes es el necesario para corregir la calidad del agua cruda y alcanzar un producto final (agua tratada) que cumpla con los requisitos prefijados (Pacheco, V, 2005).

La eficiencia global de la planta de tratamiento se basa en lograr una calidad de agua deseada, siendo necesario realizar análisis que permitan conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de la misma durante los procesos de tratamiento, esto permitirá estudiar la magnitud de las transformaciones que sufre el agua. De las diferentes unidades que conforman la planta de tratamiento, la unidad de sedimentación, filtración y desinfección son consideradas como puntos de control de gran importancia en el proceso de potabilización, esto debido a que la unidad de sedimentación tiene como propósito mejorar el proceso de filtración mediante la eliminación de partículas en suspensión, la unidad de filtración siendo





la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad, en cambio la unidad de desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos durante el tratamiento del aguas superficiales y en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal (Vargas L. , 2015) (Organización Mundial de la Salud., 2004) (Pacheco, V, 2005) (Páez, 2013).

### 1.7.1 Eficiencia de los sedimentadores

La eliminación de turbidez y color en plantas de tratamiento convencionales, se limita a los procesos de sedimentación y filtración, considerando a los procesos de coagulación y floculación, como acondicionamiento previo del agua para la separación efectiva de partículas. Respecto a la turbidez, esta ha sido una característica ampliamente aplicada como criterio de calidad de agua, tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de potabilización y sistemas de distribución, por lo tanto es importante conocer la porción de turbidez que deben eliminar los sedimentadores y en consecuencia la porción restante a eliminar por filtración, de modo de lograr en conjunto la eficiencia esperada del sistema (Rios, 2010).

La eficiencia de los sedimentadores se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia de los Sedimentadores} = \frac{T_b - T_s}{T_b}$$

T<sub>b</sub>=Turbidez del agua bruta

T<sub>s</sub>=Turbidez del agua sedimentada (Rios, 2010)

La eficiencia de los sedimentadores es adecuada si el mismo remueve por lo menos el 90% de la turbidez del agua cruda, además el agua sedimentada debe tener un color bajo, de 5 a 10 UC como máximo, y la turbidez debe ser baja; idealmente, no mayor de 2 UNT (CEPIS, 2002).



Una turbidez o color elevado puede significar que la decantación no es eficiente debido a alguna de las siguientes razones:

- Dosis de coagulante inadecuada.
- pH óptimo de coagulación erróneo.
- Problemas de diseño o de mantenimiento del floculador.
- Decantadores sucios (CEPIS, 2002).

### 1.7.2 Eficiencia de la filtración

Al ser la filtración el paso final en el proceso de remoción de sólidos que se inició con la coagulación y se hace avanzar a través de la floculación y la sedimentación, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad ya que en el filtro hasta el 99,5% de los sólidos suspendidos en el agua se puede eliminar, incluyendo: minerales, flóculos y microorganismos (SENA, 2016) (Maldonado, 2014).

Si hablamos en términos de turbidez, hay que determinar específicamente que grado de remoción se debe exigir a cada unidad de tratamiento, para obtener un valor de turbidez aceptable en la salida de la planta.

La eficiencia de los filtros se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia de los Filtros} = \frac{T_p - T_f}{T_p}$$

$T_p$  = Turbidez de agua pre-filtrada.

$T_f$  = Turbidez de agua filtrada (Arboleda J. , 2000).

El grado de eficiencia de la filtración y sedimentación se puede determinar mediante el siguiente índice de comparación:

Clasificación	Grado de Eficiencia
Excelente	>90
Muy Buena	80-90
Buena	70-80



Regular	<70
---------	-----

**Tabla 2. Grado de eficiencia de la filtración y sedimentación** (CEPIS, 2005)**1.7.3 Eficiencia de la desinfección**

Durante el tratamiento del agua de bebida la desinfección constituye una barrera importante para numerosos patógenos especialmente las bacterias ya que ninguno de los procesos de purificación del agua mencionados anteriormente puede ser considerado eficaz en la remoción total de las bacterias existentes en el agua (Organización Panamericana de la Salud, 1999) (CEPIS, 2002).

**1.7.4 Requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2014**

Según lo establecido por la Norma INEN 1108:2014 los parámetros analizados deben encontrarse dentro de los siguientes límites

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Color	Unidad de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Nitratos	mg/l	50
Nitritos	mg/l	3
Cloro libre residual	mg/l	0,3-1,5
Requisitos microbiológicos		
Coliformes fecales: Filtración por membrana	UFC/100ml	< 1**
< 1** significa que no se observan colonias		

**Tabla 3. Requisitos establecidos por la Norma INEN 1108:2014** (NTE INEN 1108, 2014)**1.8 Generalidades y etapas de potabilización de agua de la planta****“Patamarca-San Andrés”****1.8.1 Antecedentes**

La planta de tratamiento de Patamarca-San Andrés asentada en una área de 4.000m<sup>2</sup> ubicada a 2800 msnm en el sector de Chiquintad, Barrio San Andrés alto,



nace en vista a la desigualdad de obras de agua y saneamiento que existe entre la ciudad y las zonas rurales. En 1981 las comunidades se organizaron para obtener el servicio de agua potable, mediante la autogestión, mingas, el aporte económico de los mismos usuarios, la fundación CARE y el Municipio de Cuenca a través de ETAPA se crea el Sistema de Agua Potable de Patamarca-San Andrés (SAPP). Su mantenimiento para acceder a agua de calidad depende del esfuerzo, la participación y contribución tanto del consejo aguas, los operadores así como de la comunidad, lo que crea un modelo comunitario de gestión del agua que asegura que los usuarios participen en la toma de decisiones; lo que contribuye a una gestión participativa, equitativa y responsable (SAPP, 2011).

El SAPP actualmente cuenta con planos digitalizados y actualizados de las redes de agua potable, con zonas de servicio plenamente delimitadas, con proyectos de renovación y ampliaciones de redes para garantizar el servicio hasta el año 2030 (SAPP, 2011).

### **1.8.2 Infraestructura**

La planta Potabilizadora del Sistema de Agua potable de Patamarca-San Andrés, es una planta convencional que consta con las siguientes instalaciones:

- Unidades de tratamiento: unidad de desarenador, cuatro piscinas de floculación-coagulación, unidad de sedimentador, cuatro filtros rápidos de retrolavado entre sí y unidad de desinfección (Anexo 1).
- Tanque de almacenamiento
- Cuarto de preparación de químicos
- Laboratorio para realizar los análisis físico/químico
- Laboratorio para realizar los análisis microbiológicos (Barros, 2015).

### **1.8.3 Servicios**

Actualmente con alrededor de 3500 usuarios la planta de Patamarca-San Andrés abastece de agua potable a 11 comunidades: Mayancela, San Vicente y El Progreso de la parroquia rural Sinincay, El Rosal, la Libertad y La Compañía de la parroquia urbana Hermano Miguel, Bellavista, San Andrés, Ochoa León de la



Parroquia rural Chiquintad y Sidcay, Corazón de Jesús y San Miguel de la parroquia rural Ricaurte (SAPP, 2011).

#### **1.8.4 Proceso de potabilización**

##### **1.8.4.1 Captación**

El agua nace en las cuencas altas del Machángara (Chanlud y Labrados) se conduce por un canal hasta una laguna artificial y luego por gravedad es conducida en tuberías hasta la central eléctrica de Saymirín después de cumplir su objetivo (generación de energía hidroeléctrica) es depositada en un canal para ser utilizada para regadío, conocido como canal de riego Machángara, desde donde la planta capta el agua para ser llevada por una tubería hasta el presedimentador o desarenador. (Barros, 2015).

##### **1.8.4.2 Desarenador**

La planta cuenta con un tanque desarenador ubicado de tal forma que el caudal que ingresa (aprox.25 l/seg) se distribuye uniformemente en todo el ancho del presedimentador, lo permite la eliminación de los sólidos más grandes que pueden causar daños en las instalaciones o inferir en otros tratamientos. Respecto a la salida del agua del presedimentador consiste en un vertedero a lo largo del ancho del tanque que se conecta con la válvula de entrada de agua cruda a la mezcla rápida (SAPP, 2011) (Barros, 2015).

##### **1.8.4.3 Coagulación**

Tras pasar el desarenador, el agua ingresa a la planta y produce un resalto hidráulico es decir una zona de alta turbulencia de agua, en este punto se adiciona como coagulante el sulfato de aluminio clase A y clase B, produciéndose la coagulación, el mismo que se realiza en fracciones de segundo y tiene un tiempo máximo de 1 minuto para que se realice a cabalidad la desestabilización de las partículas suspendidas en el agua y otras en estado coloidal. La cantidad de sulfato de aluminio (litros/minuto) que se aplica en este resalto hidráulico al agua cruda se lo realiza a través de un tanque de carga constante. El sulfato preparado en el cuarto de químicos ingresa por la parte superior del tanque de carga constante y dispone



de una flotadora que se abre o se sella en función del consumo del coagulante (Barros, 2015).

#### 1.8.4.4 Floculación

La planta de tratamiento cuenta con cuatro unidades de floculación horizontales, que proporcionan un tiempo de 35 minutos de floculación. En estas unidades se realiza la floculación pericinética generada por el movimiento browniano y por sedimentación propia de los flóculos y la floculación ortocinética creada en el líquido por el gradiente de velocidad que tiene cada unidad de floculación (Barros, 2015).



**Figura 1.** Sedimentadores

Foto tomada por autoras

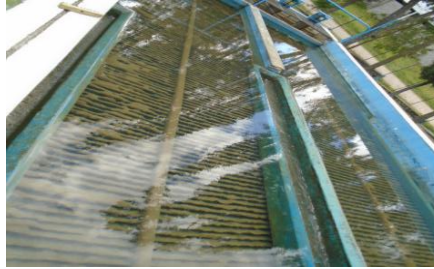
#### 1.8.4.5 Sedimentación

La planta dispone de un sedimentador con placas a 60 grados. En la parte superior del mismo existen dos canaletas externas y una canaleta interna a partir de la mitad del sedimentador que sirven para recolectar el agua que asciende ya sedimentada, en el fondo de los sedimentadores se recolectan los lodos capturados con el coagulante, el mismo que debe ser eliminado en cada lavado del sedimentador conjuntamente con el lavado que se ejecuta a las unidades de floculación (Barros, 2015).

En esta etapa mientras los flóculos pasan al sedimentador de forma que se depositen en el fondo, el agua asciende a través de placas con ángulo de 60 grados cuya función permite que los flóculos livianos se adhieran a las mismas y no pasen



a los filtros provocando un taponamiento rápido de los mismos. El tiempo de sedimentación es de 20 minutos (Barros, 2015).



**Figura 2.**Floculadores

Foto tomada por autoras

#### 1.8.4.6 Filtración

La unidad de filtración está compuesta de cuatro filtros rápidos de retrolavado entre sí, lo que permite que la unidad trabaje adecuadamente(Barros, 2015).

En el proceso de filtrado, el agua sedimentada mediante el canal repartidor ingresa a los filtros, cuyo medio filtrante compuesto de grava, gravillas, arena y antracita retiene sólidos suspendidos en el agua tales como minerales, flóculos y microorganismos (Barros, 2015).



**Figura 3.**Unidades de Filtración

Foto tomada por autoras

#### 1.8.4.7 Desinfección

La desinfección se realiza a través de cloro gas, cuya concentración es del 99.99% como cloro efectivo. La aplicación del cloro gas se lo realiza a través de un



UNIVERSIDAD DE CUENCA

dosificador de presión directa. El cilindro a través del cual se dosifica el cloro gas cuenta con una mirilla de vidrio con escala en libras/día o gramos/hora, y desde la perilla de dosificación se coloca la cantidad de cloro a dosificar al agua filtrada. En relación al caudal promedio de la planta usualmente se adiciona de 10-12 lb/día (Barros, 2015).

El cloro a través de un difusor poroso se mezcla con el agua produciendo el efecto de desinfección, luego el agua clorada pasa al tanque de reserva de la planta, para luego ser distribuida a las redes (Barros, 2015).





## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Tipo de diseño

No experimental descriptivo de corte transversal.

### 2.2 Tipo de estudio

Estudio cuantitativo, analítico.

### 2.3 Muestreo y tamaño de la muestra

Se siguió un tipo de muestreo aleatorio simple. En total, se realizó 14 tomas de muestras distribuidas en dos veces a la semana, los martes y jueves durante siete semanas. En cada toma de muestras, se recolectó 4 muestras por duplicado destinadas para el análisis físico-químico y microbiológico ( $n= 112$ ), mismas que fueron tomadas de la siguiente manera de las unidades de tratamiento consideradas como puntos de control:

Desarenador: 1 muestra (agua cruda)

Sedimentador: 1 muestra (agua sedimentada)

Filtros: 1 muestra (agua filtrada)

Unidad de desinfección: 1 muestra (agua tratada)

La toma de muestra se realizó en envases apropiados según lo establecido en el Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, empleándose frascos de polietileno para el análisis físico-químico y análisis microbiológico, en el caso de las muestras de agua cloradas se añadió tiosulfato de sodio necesario para neutralizar el efecto bactericida (Anexo 2.a1) (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2007).



Unidad de Tratamiento	Primera semana		Segunda semana		Tercera semana		Cuarta semana		Quinta semana		Sexta semana		Séptima semana		Total muestras
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J	
Desarenador	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
Sedimentación	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
Filtros	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
Desinfección	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
<b>TOTAL MUESTRAS</b>															<b>112</b>

Tabla 4. Cronograma del muestreo para el análisis

**M:** Martes

**J:** Jueves



## 2.4 Método analítico

### 2.4.1 Equipos, reactivos y materiales

Para el análisis físico-químico y microbiológico de las muestras se empleó lo siguiente:

<b>Equipos</b>	<b>Aplicación en análisis</b>
Colorímetro portátil DR/890	Color, cloro residual, nitratos, nitritos
Potenciómetro	pH
Turbidímetro	Turbiedad
Conductímetro	Sólidos totales disueltos
Estufa	Coliformes totales y fecales
Equipo de presión y vacío para filtración de membranas	Coliformes totales y fecales
<b>Reactivos</b>	<b>Aplicación en análisis</b>
NitriVer 2 Nitrite	Nitritos
NitraVer 5 Nitrate	Nitratos
Indicador DPD	cloro residual
Medio Chromocult	Coliformes totales y fecales
<b>Materiales</b>	<b>Aplicación en análisis</b>
Celdas	Color, cloro residual, nitratos, nitritos, turbiedad
Agua destilada	Blanco de muestra: nitratos, nitritos, color, cloro residual y coliformes totales y fecales
Piseta, vasos de precipitación	Todos los análisis
Membranas Millipore	Coliformes totales y fecales
Alcohol industrial	Coliformes totales y fecales
Lámparas de alcohol	Coliformes totales y fecales

Tabla 5. Equipos, reactivos y materiales

## 2.5 Determinación de color

### 2.5.1 Fundamento y medición

Se establece el valor correspondiente usando un colorímetro basándose en la norma recomendada por métodos normalizados para el análisis de aguas potables



y residuales (APHA) de 1 unidad de color igual a 1 mg/l de platino como ión cloro-platinato. El resultado se expresa en unidades de color aparente (Pt-Co). Límite máximo permisible 15 U.C Pt-Co (NTE INEN 970., 1983) (HACH, 2000).

Su medición es directa en el colorímetro portátil DR/890 con un blanco de agua destilada. La longitud de onda a la que se da la medición es de 420 nm (Anexo 2.a.3).

## **2.6 Determinación de nitritos**

### **2.6.1 Fundamento y medición**

El nitrito en la muestra reacciona el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta se acopla al ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitrito presente. El resultado se expresa en mg/l. Límite máximo permisible 3,0 mg/l (NTE INEN 1108, 2014) (HACH, 2013).

La medición se la realiza directamente en el colorímetro DR/890, con blanco de reactivo. La longitud de onda a la que se da la medición es de 520 nm (Anexo 2.a.3).

## **2.7 Determinación de nitratos**

### **2.7.1 Fundamento y medición**

El cadmio metálico reduce los nitratos presentes en la muestra a nitrito. El ión nitrito reacciona en un medio ácido con ácido sulfanílico a formar una sal de diazonio intermedia que se acopla al ácido gentísico para formar un producto de color ámbar. El resultado se expresa en mg/l. Límite máximo permisible 50 mg/l. (NTE INEN 1108, 2014) (HACH, 2013).

La medición se la realiza directamente en el colorímetro DR/890, con blanco de reactivo. La longitud de onda a la que se da la medición es de 520 nm (Anexo 2.a.3).

## **2.8 Determinación de cloro residual**

### **2.8.1 Fundamento y medición**

El cloro que está presente en la muestra como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito (cloro libre o cloro libre disponible) reacciona inmediatamente con el



indicador DPD (N,N-dietil-p fenilendiamina) para formar un color magenta que es proporcional a la concentración de cloro. El resultado se expresa en mg/l. Límite máximo permitido 50 mg/l (NTE INEN 1108, 2014) (HACH, 2013).

La medición se le realiza directamente en el colorímetro DR/890, con blanco de muestra. La longitud de onda a la que se da la medición es de 520 nm (Anexo 2.a.3).

## **2.9 Determinación de sólidos totales disueltos**

### **2.9.1 Fundamento y medición**

Se realiza mediante el método electroquímico que consiste en medir la intensidad de la corriente eléctrica recogida en los extremos de dos electrodos de forma conocida, introducidos en el agua y sometidos a una diferencia de potencial constante. Cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, su concentración total, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia así como en la temperatura, implica un cambio en la conductividad que tiene correlación directa con la concentración de sólidos disueltos totales (STD) para cuerpos de agua dulce y salobres. El resultado se expresa en mg/l STD. Límite máximo permisible 1000 mg/l STD (Toasa, 2012).

La medición se la realiza directamente en el equipo, anotar su valor en el momento que el equipo se mantiene constante (Anexo 2.a.4)

## **2.10 Determinación de turbidez**

### **2.10.1 Fundamento y medición**

Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia bajo las mismas condiciones. La relación entre la intensidad de la luz dispersada y la turbidez es directa. Límite máximo permisible: 5 NTU (NTE INEN, 1984).

La medición de la turbidez es directa en el turbidímetro (Anexo 2.a.5).



## **2.11 Determinación de pH**

### **2.11.1 Fundamento y medición**

Se basa en la determinación electrométrica del pH en una muestra de agua potable, utilizando un electrodo de vidrio que mide el cambio eléctrico producido por el cambio de pH. El límite máximo permisible es de 6,5-8,5 (Ortiz, 2015).

La medición del pH, se le realiza directamente en el potenciómetro obteniendo el valor de pH en el momento que el equipo permanezca constante (Anexo 2.a.6).

## **2.12 Determinación de coliformes totales y fecales por el método de filtración por membrana**

### **2.12.1 Fundamento**

La determinación de coliformes fecales y totales se realiza por el método de filtración por membrana, se empleó como medio de cultivo Chromocult validado por la ISO (NTE INEN 1108, 2014) (PRNewswire, 2014). Chromocult es un medio selectivo para la detección y recuento de coliformes y de *E.coli* en muestras de aguas y alimentos por acción conjunta de peptonas selectivas, piruvato y tampón de fosfatos. El contenido de lauril sulfato inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas sin tener influencias negativas sobre el crecimiento de los coliformes. Contiene una combinación de dos sustratos cromogénicos de manera que se hace posible la detección simultánea de los dos tipos de bacterias coliformes. La enzima característica de los coliformes,  $\beta$ -D-Galactosidasa coliforme se fija en el sustrato SalmonGAL y es la causa del color rojo de los coliformes. La enzima característica de los *E.coli*,  $\beta$ -D-Glucuronidasa se fija en el sustrato X-Glucuronida y es la responsable de que las colonias positivas *E.coli* presenten un azul oscuro o violeta. El resultado se expresa en UFC/100ml. Límite máximo: < 1 UFC/100ml (NTE INEN 1108, 2014) (Carrillo & Lozano, 2008).

### **2.12.2 Procedimiento**

1. Colocar la membrana Millipore en el soporte con pinza estéril.
2. Homogenizar la muestra agitándola vigorosamente con movimientos de arriba hacia abajo



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

3. Colocar el embudo sobre la base, teniendo cuidado de no lesionar la membrana y que esta quede bien centrada
4. Verter 100ml de la muestra en el embudo
5. Conectar el vacío y filtrar la muestra (Anexo 2.a.7)
6. Parar el sistema de vacío y separar el embudo de la base del filtro
7. Retirar la membrana con una pinza estéril y depositarla de forma progresiva para asegurar el contacto entre la membrana y el medio, El mismo que debe previamente estar humedecido con 2,5 ml de agua destilada
8. Incubar 24h a  $35 \pm 0,5$  °C.
9. El resultado se expresa en UFC/100 ml. Para coliformes fecales, se cuentan las colonias de color violeta o azul, mientras que para coliformes totales se incluye colonias de color rojo salmón más las de color violeta o azul.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Descripción general del análisis del proceso de potabilización de Patamarca-San Andrés

El presente estudio se realizó en la planta de tratamiento del sistema de agua potable de Patamarca-San Andrés, las muestras de agua fueron tomadas dos veces por semana (los días martes y jueves) durante siete semanas en unidades de desarenador, sedimentación, filtración y desinfección, con un total de 112 análisis. Se determinaron parámetros físicos (color, pH, sólidos totales disueltos y turbidez), químicos (nitratos y nitritos) y microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales) (Tabla 5). Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Junta Administradora de agua potable de Baños (Anexo 3.)

**Tabla 6.** Número de análisis en el proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés

Variable	Desarenador	Sedimentador	Filtración	Desinfección
Color	28	26	28	-
pH	28	28	28	28
Sólidos totales disueltos	28	28	28	-
Turbidez	28	28	28	28
Nitratos	28	-	-	28
Nitritos	28	-	-	28
Coliformes totales	28	-	28	28
Coliformes fecales	28	-	28	28
Cloro residual	-	-	-	28
<b>Total</b>	<b>224</b>	<b>110</b>	<b>168</b>	<b>168</b>

En las unidades de sedimentación y filtración no se tomó en cuenta para el análisis de los nitratos y nitritos ya que solamente se evaluó en agua entrante (desarenador) y agua saliente (desinfección).





**Tabla 7. Resultados del análisis físicos, químicos y microbiológicos del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés, expresados en valores de media (X), desviación estándar (DE), mínimo (Min) y máximo (Max)**

Parámetros físicos				Parámetros químicos			Análisis microbiológicos		
<b>Desarenador</b>									
	Color (Pt- Co)	pH	STD (mg/ l)	Turbidez (NTU)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Cloro residual (mg/l)	Coliformes totales (UFC/ 100 ml)	Coliformes fecales (UFC/ 100 ml)
$\bar{X} \pm DE$	61,1±23,9	7,1±0,1	51,9±2,6	2,5±1,2	0,8±0,4	0,002 ± 0,002	–	102,5±97,3	39,0±61,2
<b>Min-Max</b>	30-140	7,0-7,4	45,7-56,8	1,6-6,0	0-1,7	0-0,01	–	1-287	1-242
<b>Sedimentador</b>									
$\bar{X} \pm DE$	37,0± 21,4	6,9 ± 0,1	54,5 ± 2,2	1,7 ± 0,8	–	–	–	–	–
<b>Min-Max</b>	9,0- 76,0	6,8 - 7,2	49,8 - 58,9	0,9 - 3,6	–	–	–	–	–
<b>Filtración</b>									
$\bar{X} \pm DE$	24,9 ± 13,2	6,9 ± 0,1	54, 3 ± 2,2	0,7 ± 0,3	–	–	–	4,7 ± 7,0	1,1 ± 2,1
<b>Min-Max</b>	3,0 - 54,0	6,7 - 7,2	49,7 - 58,6	0,3- 1,5	–	–	–	<1 -20	<1 - 8
<b>Desinfección</b>									
$\bar{X} \pm DE$	–	6,8 ± 0,1	–	0,7 ± 0,3	1,1 ± 0,4	0,003 ± 0,001	0,9±0,17	0,8 ± 3,0	0,3 ± 0,8
<b>Min-Max</b>	–	6,6 - 7,1	–	0,3 - 1,3	0,4 - 1,9	0 - 0,005	0,62-1,37	<1 - 4	0,6 - 1,4



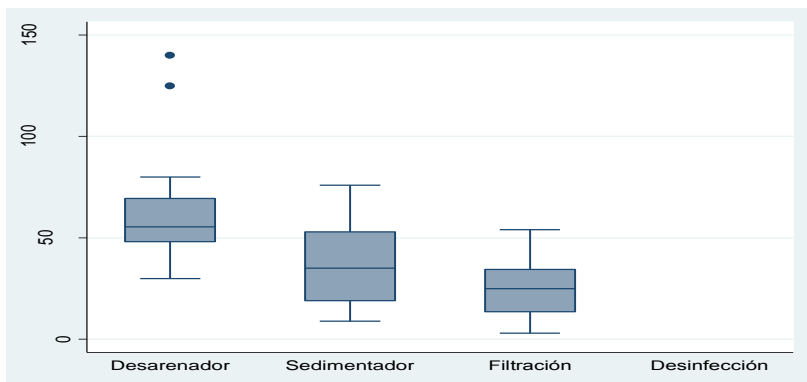
## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los parámetros analizados (color, pH, turbidez, coliformes totales y coliformes fecales) disminuyeron progresivamente desde el desarenador a la desinfección, a excepción de nitritos, nitratos y sólidos totales disueltos que aumentaron. En general, los parámetros físicos-químicos medidos en la planta de tratamiento Patamarca-San Andrés cumplieron con lo establecido en la Norma INEN: 1108-2014, en cuanto a los microbiológicos, no cumplen un 14% del total de las muestras analizadas.

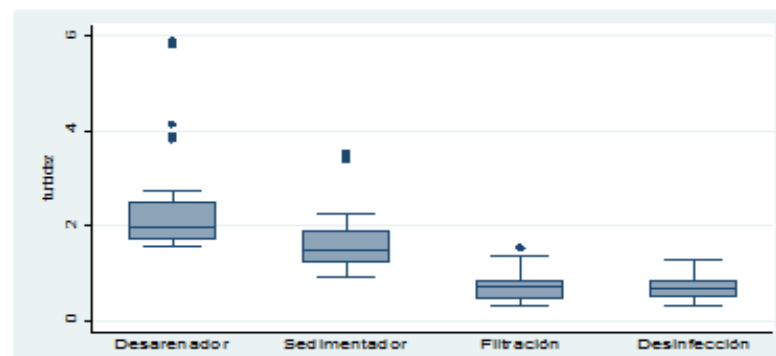
Las diferencias encontradas también se representaron mediante gráficas de cajas y bigotes (Figura 4-11)



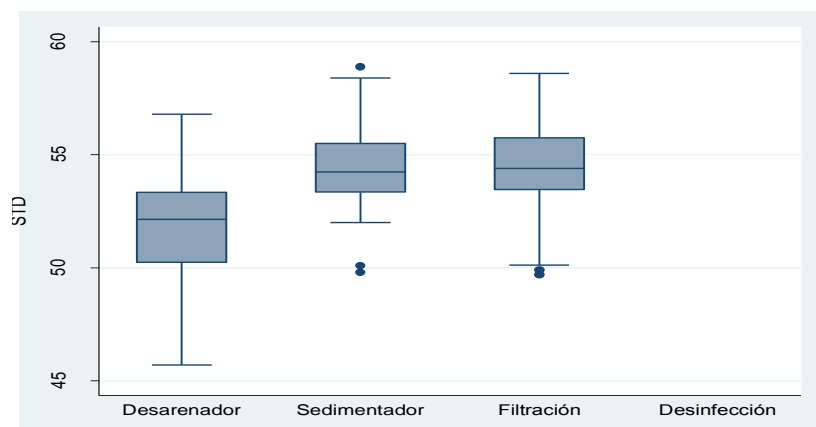
**Figura 4.** Variación del color en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



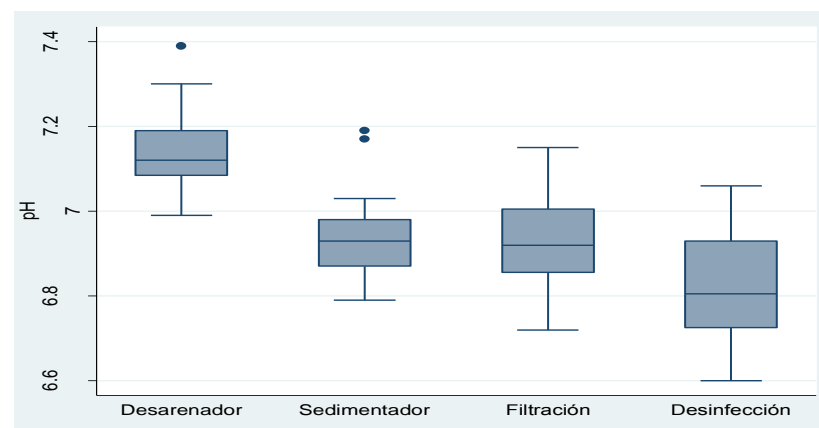
**Figura 5.** Variación de la turbidez en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



**Figura 6.** Variación de los sólidos totales disueltos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



**Figura 7.** Variación del pH en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés





En el desarenador hubo ciertas distribuciones atípicas de turbidez, así como de pH y color, que pueden ser debidas a períodos de lluvias que se presentaron durante la toma de muestras. El agua de lluvia acarrea desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc, mismos que se encuentran como los principales causantes del color y pH, así como del aumento de turbidez. Al ser el agua que ingresa de tipo superficial conducida por canales abiertos, puede verse afectada por las diferentes impurezas arrastradas por la lluvia, pudiendo ocasionar en el agua de ingreso a la planta, un aumento de los parámetros antes mencionados ( Barrenechea, 2016).

En las figuras 4-7 se observa que de la etapa del desarenador a la etapa de sedimentación hay cambios drásticos de las concentraciones de turbidez, color, pH, y sólidos totales disueltos, produciéndose una disminución de todos los parámetros con excepción de los sólidos totales disueltos que aumentó. De la etapa de sedimentación a la de filtración únicamente la turbidez disminuyó notablemente. En cambio, la concentración del color y sólidos totales disueltos y valor de pH se mantuvieron similares a lo observado en la etapa de sedimentación.

El valor del pH en la etapa de filtración y sedimentación pudo deberse a que, al ser la filtración un proceso para eliminar las partículas filtrables que no han sedimentado en el decantador, no genera mayor cambio en el pH. De manera similar, los sólidos totales disueltos, mismos que comprenden principalmente sales inorgánicas (de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que por su pequeño tamaño (< 2 micrones), no pueden ser removidas por un filtro tradicional (Sigler & Bauder, 2015) (Romero, 2016).

De la filtración a la desinfección, hubo una ligera disminución del pH, mientras que la turbidez se mantuvo. Al final del proceso de potabilización se obtiene una turbidez final de 0,6 NTU y un pH final de 6,9, ambos parámetros se encuentran dentro de los límites establecido: 5 NTU (NTE INEN 1108, 2014) y 6,5-8,5 ( Barrenechea, 2016).

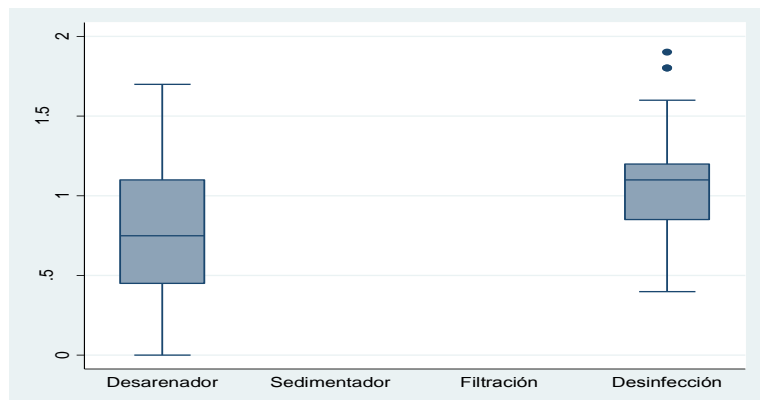


Cabe notar que los sólidos totales disueltos no fueron analizados en la etapa de desinfección debido a que no se dispone de valores de referencia fiables basados en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de sólidos totales disueltos ( $>1000$  mg/l) en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores (Organización mundial de la Salud, 2006).

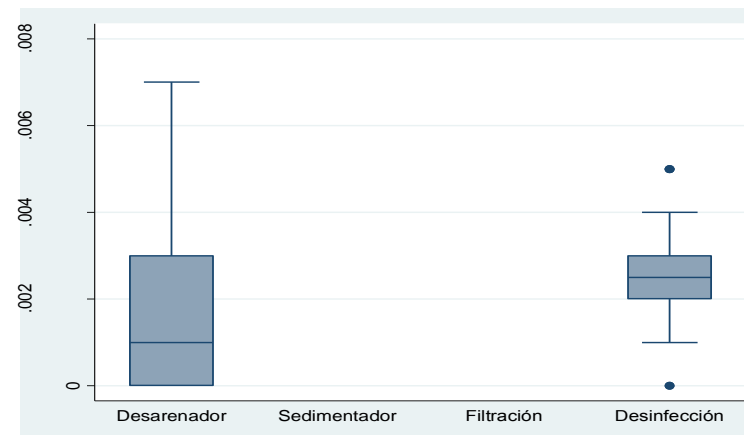
En cuanto al color, la ligera diferencia entre ambas etapas (sedimentación y filtración) pudo ser ocasionado por la ineficiencia de las etapas previas a la filtración, ya que se encontró que el color del agua de ingreso al filtro (agua sedimentada) fue de 37 NTU, y según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2002); ésta debe tener como rango de 5 a 10 NTU. (Romero, 2016). Al estar relacionado este parámetro con la turbidez y pH y al ser estos analizados en todos los procesos de potabilización, no fue necesaria su determinación en la etapa de desinfección (Sigler & Bauder, 2015) ( Barrenechea, 2016).



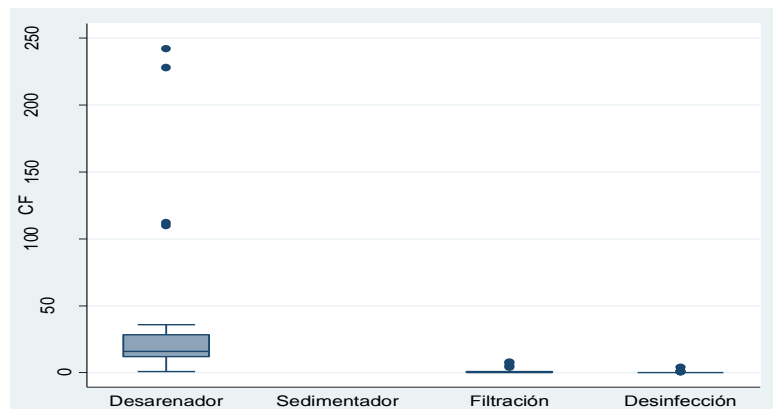
**Figura 8.** Variación de nitratos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



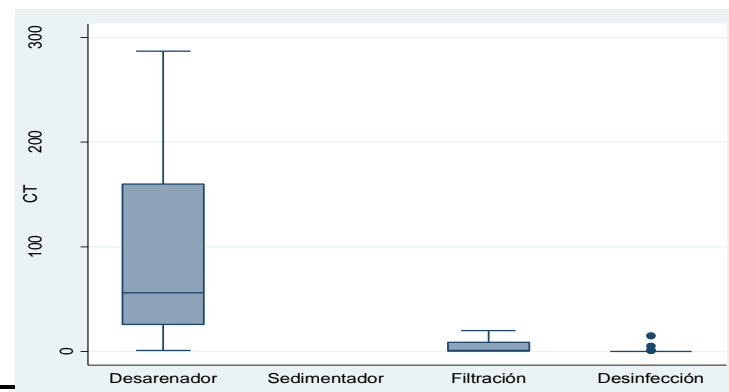
**Figura 9.** Variación de nitritos en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



**Figura 10.** Variación de coliformes fecales en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



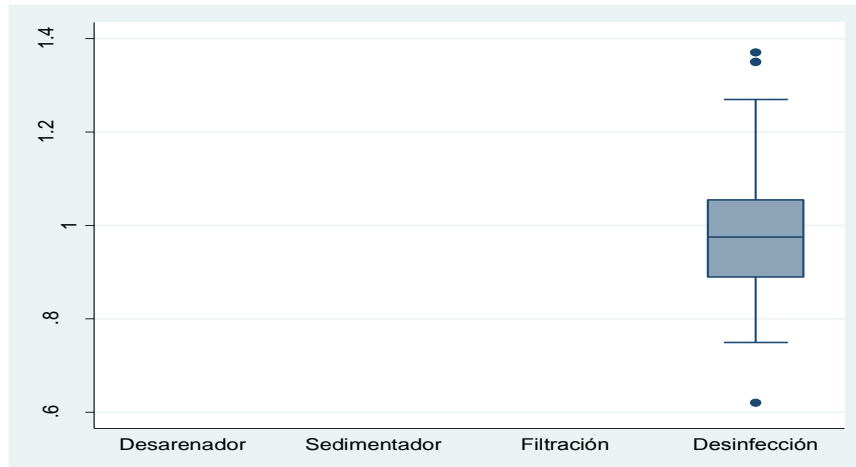
**Figura 11.** Variación de coliformes totales en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés





UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Figura 12.** Variación de cloro residual en las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés



En las figuras 8 y 9 se puede evidenciar que los nitratos y nitritos aumentaron ligeramente, llegando a obtener una concentración final de nitratos de 1,11 mg/l y 0,002 mg/l, respectivamente. Sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma INEN: 1108 (NTE INEN 1108, 2014).

El aumento tanto de nitratos como nitritos podría deberse a una inadecuada limpieza de los sedimentadores, específicamente en la zona de depósitos de lodos, que pudiese contener ciertos niveles de contaminación microbiológica tales como coliformes fecales y totales, que por procesos de desaminación y nitrificación de la materia orgánica pueden dar lugar a la formación de nitritos y nitratos. Sin embargo esta observación ameritaría estudios adicionales para diagnosticar el problema (Barrios, 2009).

En las figuras 10 y 11 se observa la gran disminución de los recuentos de coliformes totales y fecales a lo largo del proceso de potabilización, incluso antes de llegar a la etapa de desinfección. Los valores finales de coliformes fecales ( $\bar{x} \pm DE = 0,3 \pm 0,8$ ) y totales ( $\bar{x} \pm DE = 0,8 \pm 3,0$ ) no se encontraron dentro del límite establecido en la Norma INEN 1108.

También se puede evidenciar que en la etapa del desarenador hubieron recuentos con distribución atípica de coliformes fecales. Esto puede deberse a que el agua



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

que ingresa es agua superficial conducida por canales abiertos, que pueden ocasionar contacto con animales de sangre caliente, mismos que pueden ser los causantes de dicho aumento (Arboleda J. , 2000).

En la etapa de desinfección las distribuciones atípicas de cloro residual pudieron ser ocasionadas por la variación de la carga microbiana y turbidez del agua ya que a su vez provoca un mayor consumo de cloro residual. Además, al realizarse la desinfección con cloro gas, su dosificación puede variar ligeramente en relación a la temperatura del ambiente (Organización Panamericana de la Salud, 1999) (CEPIS, 2002). Finalmente, la concentración de cloro residual fue de 0,98 mg/l lo que se encuentra dentro del límite establecido en la Norma INEN 1108 (NTE INEN 1108, 2014).

### **3.2 Comparación de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés**

La finalidad de comparar los parámetros físicos y microbiológicos de las diferentes etapas de potabilización de agua fue identificar las etapas del proceso más relevantes para la remoción de impurezas y microorganismos. Estas comparaciones se realizaron por medio de análisis de varianza seguidos de pruebas de Scheffe (post-hoc ANOVA) al observar diferencias significativas para todos los parámetros medido entre los distintas etapas del proceso ( $P < 0,05$ ).

Cabe indicar que la prueba de Scheffe ayuda a la identificación de los puntos que son estadísticamente diferentes y cuantifica la diferencia entre los valores promedio del parámetro medido. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 6.

Para el caso específico de los parámetros químicos, la comparación se realizó mediante pruebas t de Student, ya que estos parámetros fueron medidos solo en las etapas del desarenador y desinfección (Tabla 7).





UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Tabla 8. Comparaciones de los parámetros físicos y microbiológicos de cada una de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés**

<b>Turbidez</b>	Desarenador	Sedimentador	Filtración
Sedimentador	-0,75213 (P=0,004)	-	-
Filtración	-1,76107 (P< 0,001)	-1,00893 (P< 0,001)	-
Desinfección	-1,79857 (P< 0,001)	-1,04643 (P< 0,001)	-0,0375 (P=0,998)
<b>Color</b>	Desarenador	Sedimentador	
Sedimentador	-24,033 (P< 0,001)	-	
Filtración	-36,2143 (P< 0,001)	-12,1813 (P=0,088)	
<b>pH</b>	Desarenador	Sedimentador	Filtración
Sedimentador	-0,205357 (P< 0,001)	-	-
Filtración	-0,205357 (P< 0,001)	3.4e-0,8 (P=1,000)	-
Desinfección	-0,314643 (P< 0,001)	-0,109286 (P=0,003)	-0,109286 (P=0,003)
<b>Sólidos totales disueltos</b>	Desarenador	Sedimentador	
Sedimentador	2,50357 (P=0,001)	-	
Filtración	2,37607 (P=0,001)	-0,1275 (P=0,979)	
<b>Coliformes totales</b>	Desarenador	Filtración	



#### UNIVERSIDAD DE CUENCA

Filtración	-97,8571 (P< 0,001)	-
Desinfección	-101,75 (P< 0,001)	-3,89286 (P=0,967)
<b>Coliformes fecales</b>	<b>Desarenador</b>	<b>Filtración</b>
Filtración	-37,8214 (P=0,001)	-
Desinfección	-38,7143 (P< 0,001)	-0,892857 (P=0,996)

En base al análisis realizado, se evidenció que existieron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de parámetros entre todas las etapas del proceso de potabilización, a excepción de los cambios no significativos entre la etapa de filtración vs desinfección para turbidez (P=0,998), coliformes totales (P=0,967) y coliformes fecales (P=0,996), debido a que se removió en etapas anteriores. Entre las etapas de sedimentación vs filtración no hubieron cambios estadísticamente significativos para sólidos totales disueltos (P= 0,979), pH (P=1,000) y color (P=0,088).

La desinfección, al ser la última etapa de tratamiento para la potabilización del agua, es necesario que las características tanto físico-químicas como microbiológicas de la misma deban ser mejoradas en etapas anteriores (sedimentación, filtración), lo que se observó en los parámetros analizados (turbidez, coliformes fecales y totales) del agua que va a ser desinfectada (agua filtrada) por lo que el proceso de desinfección que consiste únicamente en la adición de cloro, y cuyo objetivo es la destrucción microbiológica, no ocasionó variación notable de los parámetros antes mencionados (SENA, 2016) (Organización mundial de la Salud, 2006).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la sedimentación vs filtración; el cambio no significativo de sólidos totales disueltos y pH, pudo deberse a que los principales causantes de la variación de estos parámetros (sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica) presentan un tamaño menor al filtrable (<2 micrones) de tal forma que atravesarían fácilmente el lecho filtrante. (Sigler & Bauder, 2015) (Romero, 2016).

**Tabla 9. Comparación de los parámetros químicos del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés**

	Tratamiento	$\bar{X} \pm DE$	95% Intervalo de confianza	Valor de P
Nitratos (mg/l)	Desarenador	0,8±0,4	(0,5934;0,9280)	0,002
	Desinfección	1,1±0,4	(0,9670;1,2544)	
Nitritos ( mg/l )	Desarenador	0,002±0,002	(0,0011;0,0024)	0,037
	Desinfección	0,003±0,001	(0,0021;0,0031)	

Los valores de nitratos y nitritos observados tras la desinfección estuvieron por encima de lo observado en la etapa del desarenador, siendo esta variación estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ).

### 3.3. Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización

Para calcular la eficiencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se tomó como base la fórmula de eficiencia basada en la turbidez (Arboleda J. , 2000). Las cuáles fueron expresadas en porcentajes.

El grado de eficiencia de remoción de color, pH, turbidez, sólidos totales disueltos, coliformes totales y coliformes fecales en cada una de las etapas del proceso de potabilización fue evaluado por medio de la clasificación realizada por la CEPIS 2005 (ver Tabla 1. Grado de eficiencia de la filtración y sedimentación).

Para determinar el grado de eficiencias de las etapas de sedimentación, filtración y desinfección se basó en el promedio de porcentaje de remoción de turbidez y color para las etapas de sedimentación y filtración y, para la determinación de la eficiencia



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

de la etapa de desinfección se basó en el promedio de porcentaje de remoción de coliformes totales y fecales. Se consideró únicamente estos parámetros ya que los otros parámetros (pH y STD) como se indicó anteriormente no pueden ser mayormente removidos por dichas etapas.

El grado de eficiencia de la etapa de sedimentación se clasificó como regular (<70%), lo cual puede deberse a cambios en la dosificación de sulfato de aluminio, preparación del sulfato de aluminio con agua no tratada y problemas en el mantenimiento de floculadores. Tal fue el caso de algunas de las placas del último tramo de los floculadores, que se encuentran deterioradas, esto puede afectar el gradiente de velocidad, mismo que al no variar en forma decreciente desde el agua que ingresa hasta que sale, puede impedir la sedimentación de lodos y por ende el depósito del material en suspensión (Biblioteca virtual en salud, 2014) (CEPIS, 2002).

El grado de eficiencia de filtración resultante también se clasificó como regular (<70%) pues el filtro, a excepción del pH y sólidos totales disueltos por lo mencionado anteriormente, no removió adecuadamente el color y turbidez. Esto pudo deberse a un incorrecto lavado y manejo de los filtros, que puede ocasionar un rápido deterioro del lecho filtrante, así como también por la eficiencia regular de la etapa de sedimentación, que es en donde se da gran parte de la clarificación del agua (Pérez, 2013) (Rios, 2010). Cabe destacar que en la planta de potabilización de Patamarca-San Andrés dos de los cuatro filtros presentan un mayor aumento de la pérdida de carga.

El grado de eficiencia de desinfección se clasificó buena (70-80%). La mayoría de la remoción de los coliformes totales y coliformes fecales se dió en los procesos previos a la desinfección. Además es importante recalcar que la turbidez del agua tratada (0,7 NTU) se encuentra dentro de lo establecido por la Norma INEN:1108 (<5 NTU) como parámetro necesario que garantiza la eficiencia de la desinfección, pues valores altos de turbidez pueden consumir el cloro dando lugar a la formación



UNIVERSIDAD DE CUENCA

de subproductos de desinfección que pueden ser nocivos para la salud (NTE INEN 1108, 2014) (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

**Tabla 10. Grado de Eficiencias de las etapas del proceso de potabilización de agua de la planta Patamarca-San Andrés**

<b>Parámetro</b>	<b>Sedimentación</b>	<b>Filtros</b>	<b>Desinfección</b>
<b>Color</b>	34,8%	34,9%	-
<b>pH</b>	2,9%	0%	1,6%
<b>Turbidez</b>	29,3%	60,4%	4,5%
<b>Sólidos totales disueltos</b>	5,1%	0,2%	-
<b>Coliformes totales</b>	-	-	70,6%
<b>Coliformes fecales</b>	-	-	80,6%



#### 4. CONCLUSIONES

Mediante el presente estudio realizado en la planta de Patamarca-San Andrés se logró evaluar la eficiencia en las etapas del proceso de potabilización: sedimentación, filtración y desinfección, encontrando que la eficiencia fue regular <70% en las etapas de sedimentación y filtración, y buena (70-80%) en la etapa de desinfección.

Pese a que las eficiencias de las etapas de potabilización (sedimentación, filtración y desinfección) no llegaron al indicativo de excelente eficiencia (80-90%), en general los parámetros físicos, químicos analizados cumplen con lo establecido en la Norma INEN 1108:2014 a excepción de los parámetros microbiológicos.

En la planta de Patamarca-San Andrés, cada etapa remueve en cierto grado impurezas y microorganismos. Pese a la eficiencia regular de la etapa de filtración se observó que la mayor remoción del color, turbidez, coliformes fecales y coliformes totales se da en el agua tras pasar dicha etapa.

Aunque la carga microbiana del agua que va a ser desinfectada ha sido removida en gran medida en las etapas anteriores, es necesario esta última etapa ya que el agua puede sufrir recontaminación al ser distribuida a la población, ya sea por deterioro de los tanques de almacenamiento o de las redes de distribución, por lo que la desinfección también puede actuar como seguro contra estas situaciones posteriores.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## 5. RECOMENDACIONES

Las siguientes son recomendaciones a llevarse a cabo en la planta de Patamarca-San Andrés.

- El personal capacitado, debe revisar las unidades de sedimentación y filtración.
- Realizar de forma periódica limpieza y mantenimiento de todas las unidades de tratamiento.
- Llevar un registro de todo lo que se realice en la planta, permitiéndoles conocer el estado de cada unidad de tratamiento.
- Realizar programas de capacitaciones periódicas a los operadores sobre el manejo, limpieza y mantenimiento de la planta.
- Monitorearse constantemente los parámetros físico-químicos y microbiológicos para verificar que todos estén dentro del límite establecido en la Norma INEN: 1108-2014.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## BIBLIOGRAFÍA

- Barrenechea, A. (Abril de 2016). *Aspectos Físicoquímicos de la calidad del agua*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>
- Andía, Y. (2000). Recuperado el 5 de Mayo de 2016, de Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Arboleda, J. (1992). *Eficiencia de la desinfección*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/eficacia.pdf>
- Arboleda, J. (2000). Colombia.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá: NOMOS S.A.
- Barrios, J. (2009). *Aspectos generales del manejo de lodos*. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20Generales%20del%20Manejo%20de%20Lodos.pdf>
- Barros, A. (2015). Diagnóstico de la calidad de Agua Tratada del Sistema de Agua Potable de Patamarca. Cuenca.
- Biblioteca virtual en salud. (2014). *Floculadores*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016, de [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/ma2_cap3.pdf)
- Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA). (2015). Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de Tratamiento de Agua: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>
- Calvo, F., & Flores, G. (2009). *Contaminación del agua*. Obtenido de [http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf\\_color/tema4%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf_color/tema4%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)
- Carbajal, A., & Gónzales, M. (2012). Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de Propiedades y funciones biológicas del agua:





UNIVERSIDAD DE CUENCA

<https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

- Carrillo, E., & Lozano, A. (2008). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Chromocult*. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>
- CEPIS. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas*. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de [http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20\(cepis\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4020/operacion%20y%20mantenimiento%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20agua%20(cepis)(2).pdf)
- CEPIS. (2005). *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Lima.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). *AGUA POTABLE, Diversidad biológica y desarrollo*. Recuperado el 3 de Marzo de 2016, de Agua potable, diversidad biológica y desarrollo: <https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-water-booklet-web-es.pdf>
- CYTED. (2016). *Indicadores de contaminación fecal en aguas*. Recuperado el 10 de Octubre de 2016
- ENOHSA. (2013). Recuperado el 9 de Mayo de 2016, de Tratamientos preliminares: <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20de%20agua/Tratamientos%20preliminares.pdf>
- ETAPA-EP. (2012). *Examen especial al control Ambiental de los sistemas acuáticos y monitoreo de la calidad de agua de los ríos de Cuenca de ETAPA-EP, por el período comprendido entre 2008 y 2011*. Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de <http://www.etapa.net.ec/Portals/0/LeyTransparencia/Auditoria/InformeUAI-0061-2012.pdf>
- Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. (Julio de 2008). *El cambio climático y el Agua*. Recuperado el 24 de Octubre de 2016, de <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- HACH. (2000). *Procedimiento con DR/2010*. Obtenido de [file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish-Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua%20(3).pdf)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

HACH. (2013). *PROCEDURES MANUAL*. Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de Procedures manual: <file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/48470-22.pdf>

ITC. (2015). Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de Cloración de Agua potable: <sf2217758f40e4116.jimcontent.com/.../Cloración%20de%20Agua%20P...>

Maldonado, V. Sedimentación. (2011). Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/ma1\\_to mo2\\_cap7.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/ma1_to mo2_cap7.pdf)

Maldonado, V. (2014). Filtración. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de <http://www.bvsde.ops- oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/nueve.pdf>

Ministerio de Desarrollo económico de Colombia. (2000). Recuperado el 9 de Mayo de 2016, de Sistemas de potabilización: [http://cra.gov.co/apc-aa- files/37383832666265633962316339623934/5.\\_Sistemas\\_de\\_potabilizacio n.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa- files/37383832666265633962316339623934/5._Sistemas_de_potabilizacio n.pdf)

Moros, M. (2002). Recuperado el 9 de Mayo de 2016, de Sistemas de Abastecimiento de agua potable : [https://uvirtual.unet.edu.ve/pluginfile.php/306861/mod\\_resource/content/1/D OSIFICACI%C3%93N%20Y%20MEZCLA%20R%C3%81PIDA%20%28FIN AL%29.pdf](https://uvirtual.unet.edu.ve/pluginfile.php/306861/mod_resource/content/1/D OSIFICACI%C3%93N%20Y%20MEZCLA%20R%C3%81PIDA%20%28FIN AL%29.pdf)

NTE INEN 1108. (2014). *Agua Potable. Requisitos*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1108.2011.pdf>

NTE INEN. (1984). *Agua potable : Determinación de color*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0970.1984.pdf>

NTE INEN. (1984). *Agua Potable: Determianacion de turbidez*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0971.1984.pdf>

NTE INEN 970. (1983). *Agua potable. Determiancion del color*. . Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0970.1984.pdf>.

Orellana, J. (2005). *CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE*. Recuperado el 21 de Julio de 2016, de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria \\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria _Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Organización mundial de la Salud. (2006). Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de Guías para la calidad del agua potable. Primer Apéndice a la Tercera edición. Volumen 1:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1)
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *Guía para la calidad de Agua Potable*. Recuperado el 31 de Marzo de 2016, de Guías para la calidad del agua potable: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3sp.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf)
- Organización Panamericana de la Salud. (1999). Recuperado el 27 de marzo de 2016, de La desinfección del Agua:  
<http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>
- Ortiz, J. (2015). Determinación de pH. Recuperado el 7 de Julio de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0971.1984.pdf>.
- Owen, I. Q. (31 de Diciembre de 2014). *Contaminación Natural*. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de <http://tiposdecontaminacion.net/contaminacion-natural/>
- Owen, J. D. (2010). *Contaminación del agua*. Recuperado el 19 de junio de 2016, de <http://www2.medioambiente.gov.ar/sian/chubut/trabajos/contagua.htm>
- Pacheco, V. (2005). *Control de Calidad*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap6.pdf>
- Páez, A. (Mayo de 2013). *Operación del Sistema de Potabilización del Agua*. Recuperado el 31 de Marzo de 2016, de [https://sena.blackboard.com/bbcswebdav/institution/72310034\\_potabilizacion/pdf/MaterialUnidades/UNIDAD%203%20AGUAS.pdf](https://sena.blackboard.com/bbcswebdav/institution/72310034_potabilizacion/pdf/MaterialUnidades/UNIDAD%203%20AGUAS.pdf)
- Pérez, A. (2013). *Filtración*. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45\\_-\\_5\\_Capi\\_4.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf)
- PRNewswire. (2014). Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de Chromocult® Coliform Agar, de Merck Millipore, se establece como base para el nuevo estándar de la ISO®: <http://www.prnewswire.com/news-releases/chromocult-coliform-agar-de-merck-millipore-se-establece-como-base-para-el-nuevo-estandar-de-la-iso-281447821.html>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Rios, D. (2010). *UTILIZACIÓN DEL PARÁMETRO “EFICIENCIA” EN REMOCIÓN DE TURBIEDAD EN SEDIMENTADORES*. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de Utilización del parámetro “eficiencia” en remoción de turbiedad en sedimentadores:  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/urgapa006.pdf>

Romero, M. (2016). Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de Tratamientos utilizados en potabilización de agua:  
[http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_08\\_ING02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_08_ING02.pdf)

SAPP. (2011). Revista Informativa. Cuenca. Recuperado el 30 de Mayo de 2016

SENA. (2016). Recuperado el 1 de Abril de 2016, de Potabilización del agua:  
[https://sena.blackboard.com/bbcswebdav/institution/72310034\\_potabilizacion/pdf/MaterialUnidades/UNIDAD%203%20AGUAS.pdf](https://sena.blackboard.com/bbcswebdav/institution/72310034_potabilizacion/pdf/MaterialUnidades/UNIDAD%203%20AGUAS.pdf)

SENAGUA. (2012). Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador:  
<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>

Sigler , A., & Bauder, J. (2015). *Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016, de  
[http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf)

Toasa, F. (2012). *VALIDACION DE LOS METODOS DE ENSAYO PARA FENOLES, TENSOACTIVOS, SOLIDOS SUSPENDIDOS Y TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS (TDS)*. Recuperado el 28 de marzo de 2016, de Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos(TDS).:  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/894/1/T-UCE-0017-19.pdf>

Urania, R. (2001). Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de Manual de operación y mantenimiento: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/haina.pdf>

Valencia, J. (1992). Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de  
<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/eficacia.pdf>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Vargas, L. (2015). *Procesos unitarios y plantas de tratamiento*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/tres.pdf>

Vargas, L., & Barrenechea, A. (2015). *Desinfección*. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/diez.pdf>

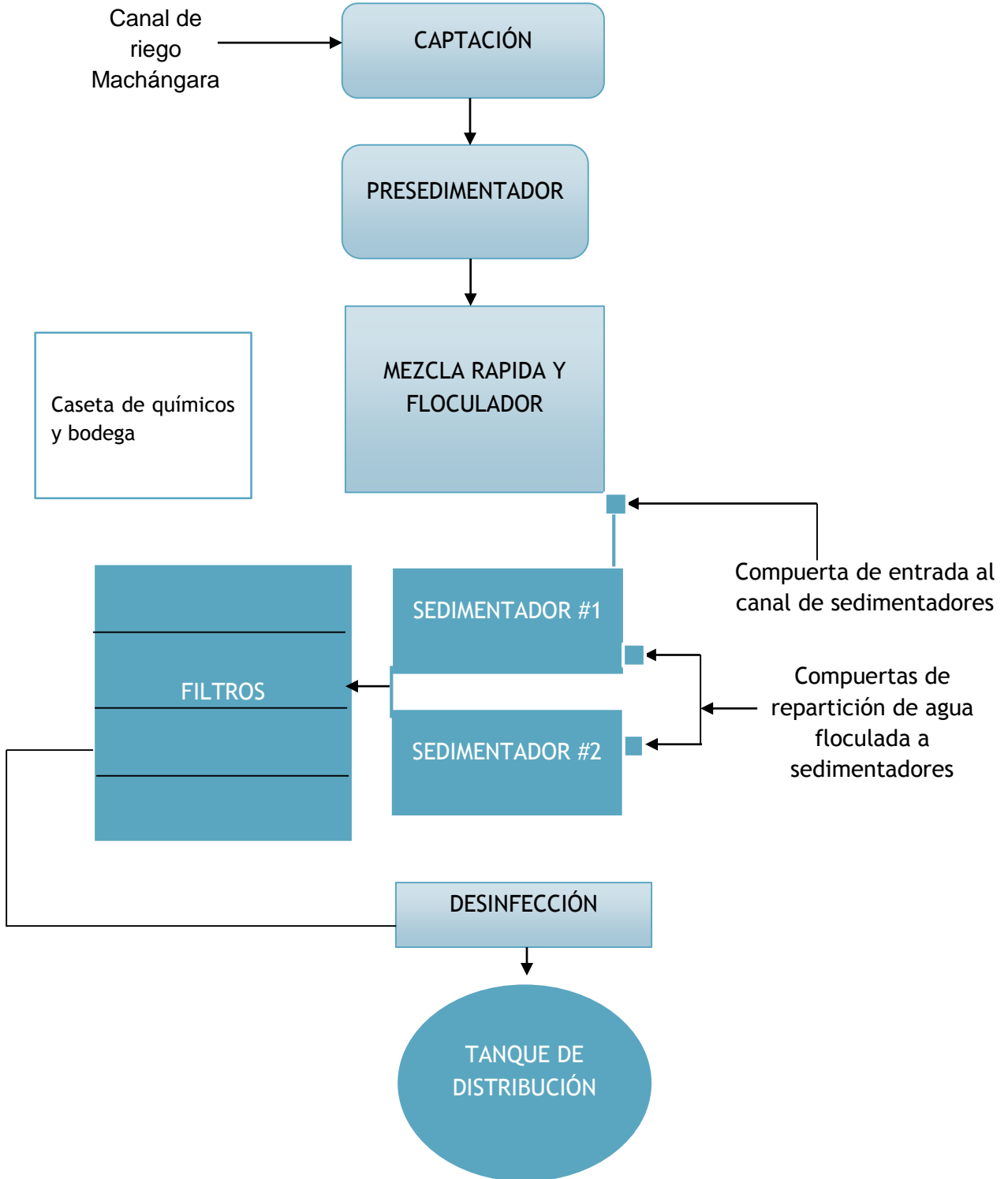


UNIVERSIDAD DE CUENCA

# ANEXOS



### Anexo 1 Flujoograma del proceso de potabilización





UNIVERSIDAD DE CUENCA

## Anexo 2. Registro Fotográfico

### a.1. Toma de muestra: agua cruda y sedimentada



Foto tomada por autoras

### a.2. Toma de muestra: agua filtrada y de desinfección



Foto tomada por autoras





UNIVERSIDAD DE CUENCA

**a.3. Empleo del Colorímetro DR/890 para el análisis de nitritos, nitratos, color y cloro residual**

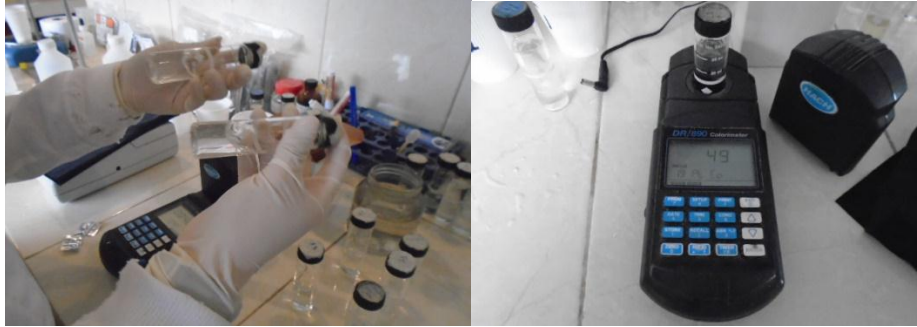


Foto tomada por autoras

**a.4. Empleo del conductímetro para el análisis de sólidos totales disueltos.**



Foto tomada por autoras

**a.5. Determinación de turbidez**





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Foto tomada por autoras

### a.6 Potenciómetro



### a.7 Análisis microbiológico: Colocación de la membrana Millipore y muestra en el medio filtrante.



Foto tomada por autoras



UNIVERSIDAD DE CUENCA

### Anexo 3. Resultados del análisis físico-químico y microbiológico

ID	Fecha	Semana	Día	Repl ca	Tratamiento	Colo r (Pt- Co)	pH	STD (mg/l )	Turbidez (NTU)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Coliformes totales (UFC/ 100ml)	Coliformes fecales (UFC/ 100ml)	Cloro residual
1	09/08/2016	1	1	1	Desarenador	59	7,12	50,3	1,91	0,5	0	24	13	-
2	09/08/2016	1	1	2	Desarenador	59	7,11	50,2	2,06	1,3	0	21	16	-
3	09/08/2016	1	1	1	Sedimentador	27	6,81	53,9	1,2	-	-	-	-	-
4	09/08/2016	1	1	2	Sedimentador	29	6,82	53,7	1,7	-	-	-	-	-
5	09/08/2016	1	1	1	Filtración	29	6,9	54,6	0,83	-	-	1	1	-
6	09/08/2016	1	1	2	Filtración	27	7	53,4	0,47	-	-	0	0	-
7	09/08/2016	1	1	1	Desinfección	-	6,78	-	0,5	0,7	0	0	0	0,88
8	09/08/2016	1	1	2	Desinfección	-	6,6	-	0,4	1,1	0,002	0	0	0,79
9	11/08/2016	1	2	1	Desarenador	125	7,06	45,7	5,8	0	0	27	25	-
10	11/08/2016	1	2	2	Desarenador	140	7,12	48,7	5,91	0,2	0	21	20	-
11	11/08/2016	1	2	1	Sedimentador	67	7,01	52,8	1,51	-	-	-	-	-
12	11/08/2016	1	2	2	Sedimentador	40	6,93	52,5	1,48	-	-	-	-	-
13	11/08/2016	1	2	1	Filtración	38	7,02	50,13	1,16	-	-	1	0	-
14	11/08/2016	1	2	2	Filtración	54	7,02	51,4	1,28	-	-	0	0	-
15	11/08/2016	1	2	1	Desinfección	-	6,88	-	1,11	1,5	0,002	0	0	0,82
16	11/08/2016	1	2	2	Desinfección	-	6,7	-	0,9	1,8	0,003	0	0	0,92
17	16/08/2016	2	1	1	Desarenador	64	7,18	53,7	2,14	1,3	0,002	3	2	-
18	16/08/2016	2	1	2	Desarenador	76	7,16	51,9	1,94	1,1	0,002	1	1	-
19	16/08/2016	2	1	1	Sedimentador	74	6,9	55,4	3,39	-	-	-	-	-
20	16/08/2016	2	1	2	Sedimentador	76	6,88	55,6	3,55	-	-	-	-	-



UNIVERSIDAD DE CUENCA

21	16/08/2016	2	1	1	Filtración	46	6,89	55	1,53	-	-	0	0	-
22	16/08/2016	2	1	2	Filtración	42	6,84	56	1,38	-	-	0	0	-
23	16/08/2016	2	1	1	Desinfección	-	6,79	-	1,22	0,8	0,003	0	0	1,06
24	16/08/2016	2	1	2	Desinfección	-	6,75	-	1,26	1,2	0,002	0	0	1,05
25	18/08/2016	2	2	1	Desarenador	72	7,13	51,3	2,74	1,4	0,003	18	13	-
26	18/08/2016	2	2	2	Desarenador	70	7,2	51,5	2,17	1,7	0,003	15	12	-
27	18/08/2016	2	2	1	Sedimentador	36	7,02	54	1,77	-	-	-	-	-
28	18/08/2016	2	2	2	Sedimentador	36	6,94	54,1	1,72	-	-	-	-	-
29	18/08/2016	2	2	1	Filtración	35	6,93	53,2	0,73	-	-	1	0	-
30	18/08/2016	2	2	2	Filtración	34	6,94	53,5	0,81	-	-	1	0	-
31	18/08/2016	2	2	1	Desinfección	-	6,82	-	0,82	1,9	0,005	0	0	1,25
32	18/08/2016	2	2	2	Desinfección	-	6,85	-	1,16	1,2	0,004	0	0	1,27
33	23/08/2016	3	1	1	Desarenador	57	7,17	52	1,99	0,4	0	48	31	-
34	23/08/2016	3	1	2	Desarenador	57	6,99	51,2	2,1	0,7	0	36	26	-
35	23/08/2016	3	1	1	Sedimentador	53	6,91	54,3	1,1	-	-	-	-	-
36	23/08/2016	3	1	2	Sedimentador	63	6,95	55,2	1,85	-	-	-	-	-
37	23/08/2016	3	1	1	Filtración	23	6,88	54,7	0,79	-	-	0	0	-
38	23/08/2016	3	1	2	Filtración	25	6,95	54,1	0,72	-	-	1	0	-
39	23/08/2016	3	1	1	Desinfección	-	6,92	-	0,84	0,9	0,002	5	0	0,97
40	23/08/2016	3	1	2	Desinfección	-	6,8	-	0,76	0,8	0	0	0	1,1
41	25/08/2016	3	2	1	Desarenador	68	7,24	52,3	1,92	1,3	0,004	79	36	-
42	25/08/2016	3	2	2	Desarenador	71	7,28	53,2	1,97	1,1	0,007	56	31	-
43	25/08/2016	3	2	1	Sedimentador	55	6,95	6,95	1	-	-	-	-	-
44	25/08/2016	3	2	2	Sedimentador	66	6,99	6,99	1	-	-	-	-	-
45	25/08/2016	3	2	1	Filtración	30	7,13	55,8	0,43	-	-	0	0	-
46	25/08/2016	3	2	2	Filtración	31	7,15	55,7	0,52	-	-	14	0	-



UNIVERSIDAD DE CUENCA

47	25/08/2016	3	2	1	Desinfección	-	7,06	-	0,49	1,1	0,003	0	0	0,9
48	25/08/2016	3	2	2	Desinfección	-	6,95	-	0,56	1,6	0,002	0	0	0,94
49	30/08/2016	4	1	1	Desarenador	52	7,3	53,5	1,72	0,9	0,002	110	112	-
50	30/08/2016	4	1	2	Desarenador	50	7,39	53,6	1,69	0,5	0	118	110	-
51	30/08/2016	4	1	1	Sedimentador	70	7,19	54,1	1,15	-	-	-	-	-
52	30/08/2016	4	1	2	Sedimentador	71	7,17	55,1	1,1	-	-	-	-	-
53	30/08/2016	4	1	1	Filtración	43	7,12	54,3	0,86	-	-	20	5	-
54	30/08/2016	4	1	2	Filtración	37	7,15	54,5	0,8	-	-	18	7	-
55	30/08/2016	4	1	1	Desinfección	-	7,05	-	0,73	1	0,002	0	0	0,92
56	30/08/2016	4	1	2	Desinfección	-	7,03	-	0,99	1,1	0,002	0	0	0,87
57	01/09/2016	4	2	1	Desarenador	47	7,04	52,5	1,63	0,6	0,001	56	14	-
58	01/09/2016	4	2	2	Desarenador	40	7,12	52,4	1,57	0,5	0	33	16	-
59	01/09/2016	4	2	1	Sedimentador	16	6,96	55,4	0,98	-	-	-	-	-
60	01/09/2016	4	2	2	Sedimentador	15	6,93	53,9	0,91	-	-	-	-	-
61	01/09/2016	4	2	1	Filtración	15	6,96	56,1	0,43	-	-	0	1	-
62	01/09/2016	4	2	2	Filtración	13	7	56,7	0,46	-	-	0	0	-
63	01/09/2016	4	2	1	Desinfección	-	6,95	-	0,42	0,7	0,002	5	0	0,92
64	01/09/2016	4	2	2	Desinfección	-	6,99	-	0,42	1,2	0,004	0	0	0,62
65	06/09/2016	5	1	1	Desarenador	30	7,12	52,4	1,7	0,8	0,005	221	11	-
66	06/09/2016	5	1	2	Desarenador	31	7,21	52,3	1,91	0,3	0,001	200	15	-
67	06/09/2016	5	1	1	Sedimentador	29	7,03	53	1,38	-	-	-	-	-
68	06/09/2016	5	1	2	Sedimentador	19	6,93	54,6	1,29	-	-	-	-	-
69	06/09/2016	5	1	1	Filtración	9	7,01	54,6	0,44	-	-	5	1	-
70	06/09/2016	5	1	2	Filtración	7	7	54,7	0,47	-	-	11	1	-
71	06/09/2016	5	1	1	Desinfección	-	6,94	-	0,43	1,1	0,003	0	0	0,98
72	06/09/2016	5	1	2	Desinfección	-	6,87	-	0,5	1,8	0,003	0	0	1,03



UNIVERSIDAD DE CUENCA

73	08/09/2016	5	2	1	Desarenador	50	7	56,8	1,6	0,4	0,001	120	12	
74	08/09/2016	5	2	2	Desarenador	54	7,09	56,7	1,82	1	0,001	100	16	
75	08/09/2016	5	2	1	Sedimentador	40	6,85	58,4	1,57	-	-	-	-	-
76	08/09/2016	5	2	2	Sedimentador	34	6,87	58,9	1,31	-	-	-	-	-
77	08/09/2016	5	2	1	Filtración	22	6,8	53,1	0,78	-	-	7	15	-
78	08/09/2016	5	2	2	Filtración	20	6,84	58,6	0,81	-	-	0	0	-
79	08/09/2016	5	2	1	Desinfección	-	6,72	-	0,8	0,6	0,004	0	0	1,05
80	08/09/2016	5	2	2	Desinfección	-	6,74	-	0,7	0,7	0,005	0	0	0,98
81	13/09/2016	6	1	1	Desarenador	41	7,06	55,9	1,75	0,8	0,001	280	8	-
82	13/09/2016	6	1	2	Desarenador	45	7,12	56	1,65	0,2	0	287	10	-
83	13/09/2016	6	1	1	Sedimentador	23	6,92	57,4	1,31	-	-	-	-	-
84	13/09/2016	6	1	2	Sedimentador	23	6,87	58,1	1,35	-	-	-	-	-
85	13/09/2016	6	1	1	Filtración	16	6,87	57,7	0,69	-	-	1	4	-
86	13/09/2016	6	1	2	Filtración	14	6,89	58,4	0,68	-	-	0	1	-
87	13/09/2016	6	1	1	Desinfección	-	6,84	-	0,57	1,1	0,003	0	0	1,35
88	13/09/2016	6	1	2	Desinfección	-	6,81	-	0,62	1,2	0,005	0	0	1,37
89	15/09/2016	6	2	1	Desarenador	80	7,12	50,8	3,85	0,6	0,001	41	22	-
90	15/09/2016	6	2	2	Desarenador	54	7,25	52,7	3,81	0,9	0,003	40	24	-
91	15/09/2016	6	2	1	Sedimentador	38	7,02	54,2	2,19	-	-	-	-	-
92	15/09/2016	6	2	2	Sedimentador	36	6,97	54,3	2,23	-	-	-	-	-
93	15/09/2016	6	2	1	Filtración	28	6,91	54	0,52	-	-	1	0	-
94	15/09/2016	6	2	2	Filtración	25	6,91	54,1	0,5	-	-	0	0	-
95	15/09/2016	6	2	1	Desinfección	-	6,71	-	0,5	1	0,002	1	1	0,75
96	15/09/2016	6	2	2	Desinfección	-	6,73	-	0,49	1,5	0,002	1	1	0,99
97	20/09/2016	7	1	1	Desarenador	69	7,08	48,5	4,14	0,2	0,004	258	228	-
98	20/09/2016	7	1	2	Desarenador	47	7,14	48,5	3,91	0,5	0,003	118	242	-



UNIVERSIDAD DE CUENCA

99	20/09/2016	7	1	1	Sedimentador	14	6,96	49,8	3,44	-	-	-	-	-
100	20/09/2016	7	1	2	Sedimentador	15	6,79	50,1	3,4	-	-	-	-	-
101	20/09/2016	7	1	1	Filtración	12	6,81	49,7	0,88	-	-	15	1	-
102	20/09/2016	7	1	2	Filtración	13	6,72	49,9	0,93	-	-	19	1	-
103	20/09/2016	7	1	1	Desinfección	6	6,7	49,7	0,75	1	0,003	0	0	1,09
104	20/09/2016	7	1	2	Desinfección	5	6,72	50	0,75	1	0,003	0	0	0,85
105	22/09/2016	7	2	1	Desarenador	53	7,08	50	2,26	1,2	0,002	280	10	-
106	22/09/2016	7	2	2	Desarenador	49	7,09	50,1	2,2	0,9	0,003	260	15	-
107	22/09/2016	7	2	1	Sedimentador	9	6,82	52,1	1,07	-	-	-	-	-
108	22/09/2016	7	2	2	Sedimentador	10	6,83	52	1,25	-	-	-	-	-
109	22/09/2016	7	2	1	Filtración	5	6,78	53,5	0,32	-	-	0	1	-
110	22/09/2016	7	2	2	Filtración	3	6,8	53,8	0,33	-	-	0	8	-
111	22/09/2016	7	2	1	Desinfección	-	6,75	-	0,31	0,4	0,001	0	1	0,96
112	22/09/2016	7	2	2	Desinfección	-	6,71	-	0,5	1,1	0,002	0	4	1,02