

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

### **Caracterización de Agua Potable Proveniente de Tres Principales Plantas Potabilizadoras de la Ciudad de Cuenca, en sus Características Fisicoquímicas, contenido de Aluminio, Cloro Residual y Cafeína, en Periodo Seco y Húmedo**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico


#### **Autores:**

Viviana Paulette Carrión Aguilar

Ismael Arnaldo Chaca Jimbo


#### **Director:**

Verónica Patricia Pinos Vélez

ORCID:  0000-0001-8278-5873

#### **Asesor:**

Juan Fernando Cisneros Ramos

ORCID:  0000-0002-0740-0926

**Cuenca, Ecuador**

2023- 11-17

## Resumen

Se estudió las características fisicoquímicas, el contenido de aluminio, cloro libre residual y cafeína del agua potable de tres plantas potabilizadoras de la ciudad de Cuenca, durante los meses de mayo y julio de 2023, que corresponden a los periodos húmedo y seco, respectivamente. Las plantas potabilizadoras estudiadas fueron: Tixán, que se abastece del agua del río Machángara; el Cebollar, abastecida por el río Tomebamba y Sustag cuya fuente de abastecimiento es el río Yanuncay. Se establecieron siete puntos de muestreo por planta de tratamiento de agua, dos dentro la planta (recepción y salida) y cinco puntos aleatorios, tomados del mapa oficial de distribución de Etapa EP. Se recolectó un total de 210 muestras. Se analizaron los contenidos de cloro libre residual, aluminio, pH, color, turbidez y conductividad. Además, las muestras fueron extraídas en fase sólida y analizadas a través de HPLC-UV, para la determinación del contenido de cafeína. Los resultados indicaron que la media de cloro libre residual, contenido de aluminio, pH, color, turbidez, no sobrepasaron los límites máximos permisibles, establecidos por las normas correspondientes, TULSMA e NTE INEN-1108. Ninguna muestra presentó cafeína. De manera general, no se apreciaron diferencias significativas entre periodos o por plantas potabilizadoras. En conclusión, se evidenció que el agua potable de las tres plantas de estudio cumple con los requisitos establecidos por diferentes normativas.

*Palabras clave:* Residuos Químicos, Contaminantes emergentes, Tratamientos de Agua Potable, Ecotoxicidad



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

The physicochemical characteristics, aluminum content, free residual chlorine, and caffeine content of drinking water from three water treatment plants in the city of Cuenca were studied during May and July 2023, which correspond severally to rainy and summery seasons. The potable water treatment plants studied were: Tixán, which is supplied by the Machángara River; Cebollar, supplied by the Tomebamba river; and Sustag, whose source of supply is the Yanuncay River. Seven sampling points were set down per water treatment plant, two inside the plant (intake and outlet), and five random points, that were taken from official distribution Etapa EP's diagram. A total of 210 samples were collected. They were examined to free residual chlorine, aluminum, pH, color, turbidity, and conductivity. In addition, the samples were solid-phase extracted and analyzed by HPLC-UV for caffeine content. The results indicated that residual free chlorine, aluminum content, pH, color, and turbidity did not exceed the maximum permissible limits established by the corresponding standards, TULSMA and NTE INEN-1108. None of the samples indicated caffeine presence. In general, there were no significant differences between seasons or potable water treatment plants. In conclusion, it was proved that studied potable water achieves to requirements set on local standards.

*Keywords:* Chemical Waste, Emerging Pollutants, Drinking Water Treatments, Ecotoxicity



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

Agradecimiento .....	9
Introducción.....	10
Capítulo I.....	12
Agua Dulce.....	12
1.1 Definición .....	12
1.2 Desarrollo Sostenible .....	13
Capítulo II.....	14
Criterios de Calidad Del Agua Para Consumo Humano.....	14
2.1 Calidad Del Agua .....	14
2.1.1 Propiedades Fisicoquímicas.....	15
2.2 Contenido de Metales en el Agua Potable.....	17
2.2.1 Aluminio en el agua potable .....	18
2.3 Contaminantes emergentes en el agua potable .....	20
2.3.1 Cafeína en el Agua Potable.....	20
Capítulo III.....	22
Proceso De Potabilización Del Agua .....	22
3.1 Proceso de Potabilización del Agua .....	22
3.2 Tratamiento de Agua.....	22
3.3 Tratamiento Convencional para Potabilizar el Agua .....	22
3.3.1 Captación.....	23
3.3.2 Conducción .....	23
3.3.3 Mezcla Rápida y Coagulación .....	23
3.3.4 Floculación.....	24
3.3.5 Sedimentación .....	24
3.3.6 Filtración .....	25
3.3.7 Desinfección .....	25
Capítulo IV .....	26
Metodología y Muestreo .....	26
4.1 Área de Muestreo y Muestreo .....	26
4.2 Muestreo, manejo y conservación .....	27
4.3 Análisis del Aluminio .....	28
4.4 Análisis del Cloro libre residual .....	29
4.5 Análisis Físico-Químicos .....	29

4.5.1	pH.....	30
4.5.2	Conductividad.....	30
4.5.3	Color.....	30
4.5.4	Turbidez.....	31
4.6	Análisis de cafeína.....	31
4.7	Análisis de ecotoxicidad.....	32
Capítulo V.....		33
Resultados y Discusión.....		33
5.1	Análisis Estadístico.....	33
5.2	Análisis inferencial.....	41
5.2.1	Análisis de las muestras en función al periodo.....	41
5.2.2	Análisis de las muestras en función a la planta.....	46
5.3	Análisis de Clústers.....	49
5.3.1	Clúster Planta Potabilizadora de Sustag.....	49
5.3.2	Clúster Planta Potabilizadora El Cebollar.....	51
5.3.3	Cluster Planta Potabilizadora Tixán.....	52
5.4	Componentes principales.....	53
5.5	Cafeína.....	55
Capítulo VI: Conclusiones.....		58
Referencias.....		60
Anexos.....		66

Índice de figuras

Figura 1 *Distribución del agua dulce, alrededor del mundo*. ..... 12

Figura 2 *Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6*. ..... 13

Figura 3 *Esquemas del Tratamiento de Tipo Convencional para la Potabilización de Agua*.  
..... 23

Figura 4 *Zonas de distribución de agua potable*. ..... 26

Figura 5 *Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Daphnias Magnas Vivas a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco* ..... 41

Figura 6 *Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 42

Figura 7 *Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Aluminio a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 42

Figura 8 *Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Cloro libre residual a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 43

Figura 9 *Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Cloro total a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 44

Figura 10 *Diagrama de Caja y bigotes de pH a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 44

Figura 11 *Diagrama de Caja y bigotes de Conductividad a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*. ..... 45

Figura 12 *Diagrama de Caja y bigotes de Aluminio Al<sup>3+</sup> a la salida del tratamiento de agua*.  
..... 46

Figura 13 *Diagrama de Caja y bigotes de cloro libre residual a la recepción del tratamiento de agua*. ..... 46

Figura 14 *Diagrama de Caja y bigotes de color a la a) recepción b) salida c) distribución del tratamiento de agua*. ..... 47

Figura 15 *Diagrama de Caja y bigotes de conductividad a la a) recepción b) salida c) distribución del tratamiento de agua*. ..... 48

Figura 16 *Diagrama de Caja y bigotes de turbidez a la a) salida c) distribución del tratamiento de agua*. ..... 49

Figura 17 *Clúster Planta Potabilizadora de Sustag*. ..... 50

Figura 18 *Clúster Planta Potabilizadora El Cebollar*. ..... 51

Figura 19 *Cluster Planta Potabilizadora Tixán*. ..... 52

Figura 20 *Componentes principales en la Planta de Potabilización Sustag, gráfica de doble proyección*. ..... 53

Figura 21 *Componentes principales en la Planta de Potabilización El Cebollar*. ..... 54

Figura 22 *Componentes principales en la Planta de Potabilización Tixán*. ..... 55

**Índice de tablas**

Tabla 1 <i>Criterios de calidad del agua para consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional y requisitos del agua para consumo humano.</i> .....	14
Tabla 2 <i>Criterios de calidad (Metales) del agua para consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional y requisitos del agua para consumo humano.</i> .....	18
Tabla 3 <i>Niveles de aluminio encontrados en el agua potable, en diferentes países.</i> .....	19
Tabla 4 <i>Niveles de cafeína encontrados en el agua potable, en diferentes países.</i> .....	21
Tabla 5 <i>Descripción de los puntos de muestreo.</i> .....	27
Tabla 6 <i>Indicaciones para conservación de muestras de acuerdo con la norma NTE INEN 2169:98.</i> .....	28
Tabla 7 <i>Gradiente de flujo.</i> .....	32
Tabla 8 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización El Cebollar Periodo Húmedo.</i> .....	33
Tabla 9 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización El Cebollar Periodo Seco.</i> .....	34
Tabla 10 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Tixán Periodo Húmedo.</i> .....	35
Tabla 11 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Tixán Periodo Seco.</i> .....	36
Tabla 12 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Sustag Periodo Húmedo.</i> .....	37
Tabla 13 <i>Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Sustag Periodo Seco.</i> .....	38
Tabla 14 <i>Valores de cafeína en las diferentes Plantas de Potabilización de Agua.</i> .....	56

### Dedicatoria

A mis padres, por apoyarme y aconsejarme en cada paso que he dado, lo que me ha permitido ser la persona que soy; mis logros son resultado de su sacrificio y esfuerzo. A mis hermanos, por ser una inspiración y apoyo moral a lo largo del camino. A mis sobrinos, por ser una motivación para intentar ser mejor. A mi familia que ha estado presente y han sido un pilar en mi vida.

A mi compañero de tesis, por su dedicación y amistad, que fue la ayuda en la superación de desafíos y que ha permitido culminar con este logro. A mis compañeros y amigos que han sido un apoyo a lo largo de la carrera; en especial a mi enamorado, que ha sido la persona que ha compartido conmigo, los momentos de alegría y tristeza.

Con gratitud,

Viviana Carrión

Dedico este trabajo de investigación a mis padres y hermanas por su apoyo incondicional y continuo ejemplo de responsabilidad, fortaleza y esfuerzo, que me motivaron a seguir durante momentos difíciles. A mi familia por su constante apoyo, consejos y comprensión en todo momento. A mi compañera de tesis por su dedicación y paciencia. A mis amigos que fueron mi apoyo durante la carrera.

Ismael Chaca



## Agradecimiento

Agradecemos a nuestra Alma Mater, la Universidad de Cuenca, por acogernos en su seno y a sus Autoridades, Docentes, Personal Administrativo y de Servicio, por su permanente ayuda y colaboración.

Expresamos nuestro agradecimiento especial, a la Tutora, la Ing. Verónica Pinos y al Asesor, el Ing. Juan Fernando Cisneros; por brindarnos su guía, sus conocimientos, puntos de vista, y sobre todo, por su paciencia. Su guía y apoyo fue un privilegio.

A ETAPA EP, y sus solidarios profesionales, por abrirnos las puertas de sus instalaciones, para realizar nuestro trabajo de titulación.

Gracias,

Viviana Carrión e Ismael Chaca

## Introducción

El agua es uno de los recursos esenciales para el desarrollo de la vida. Ayuda a sustentar la existencia de los seres vivos, por lo que tiene gran importancia en la salud de los mismos. Pese a esto, en diversas partes del planeta, el acceso al agua segura y potable es un problema de salud pública, que no está garantizado y está relacionado con la transmisión de enfermedades (Fundación Aquae, 2021b; Moran, 2017). La ingesta de agua no segura, implica una problemática social, puesto que genera subdesarrollo socio-económico. El agua, es un recurso que se puede considerar renovable, solo si este se gestiona de forma correcta, sin embargo, actualmente, más de 2 000 millones de personas viven en zonas con escasez de agua potable, producto del cambio climático; por otro lado, al menos la misma cantidad de personas disponen de agua contaminada, especialmente por heces, lo que supone la presencia de microorganismos patógenos; también puede llegar a estar contaminada con sustancias químicas y metales pesados, poniendo en riesgo la salud de quienes la consumen (OMS, 2022).

Por lo mencionado, en 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció que el abastecimiento de agua y su saneamiento es un derecho humano, por lo que planteó, como objetivo para 2030, el acceso universal y equitativo al agua potable, salubre y asequible.

Por tanto, la calidad de agua de consumo no depende solo del tratamiento recibido, sino, además, de la calidad del agua fuente empleada. Por ello, es importante verificar la calidad del agua que se usa como fuente de potabilización pues muchos tratamientos de agua son básicos y se limitan a reducción de turbidez y cloración (OMS, 2022).

Este trabajo estudió la calidad del agua potable proveniente de las tres principales plantas de tratamiento de potabilización de agua de la ciudad de Cuenca: El Cebollar, Tixán y Sustag. Se analizaron las características fisicoquímicas, que permitirán establecer una constancia del correcto análisis del agua, contenido de aluminio, cloro libre residual y contenido de cafeína, en un periodo seco y húmedo, con fin de conocer si existen cambios en las propiedades analizadas en función del estiaje en los ríos, tanto del agua de ingreso como de salida de las plantas mencionadas. Los objetivos de este estudio fueron:

### **Objetivo General**

Estudiar el agua potable proveniente de las tres principales plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad de Cuenca, sus características fisicoquímicas, contenido de aluminio, cloro residual y cafeína, en periodo seco y húmedo.

## Objetivos Específicos

- Realizar el muestreo del agua potable proveniente de las plantas de tratamiento de Cuenca: Tixán, Cebollar y Sustag, en periodo húmedo y periodo seco y analizar sus propiedades fisicoquímicas, contenido de aluminio, cloro y cafeína.
- Determinar si las muestras colectadas cumplen con las normativas para agua potable.
- Realizar un análisis estadístico descriptivo, inferencial y multivariado de los parámetros determinados, considerando las plantas de tratamiento y el periodo de muestreo.

## Capítulo I

### Agua Dulce

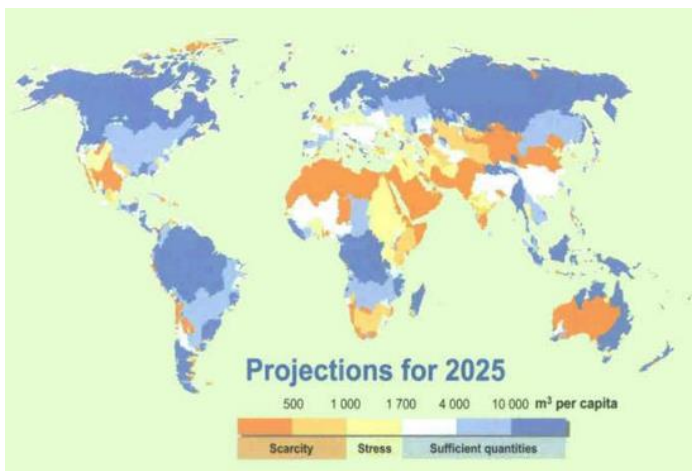
#### 1.1 Definición

Esta se origina de la precipitación del vapor de agua atmosférica. Se define como agua dulce aquella baja en sales, por lo que su consumo es posible para los seres vivos. Es el agua con una salinidad igual o inferior a 0.5 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) (Ministerio del Ambiente, 2015).

De toda el agua existente en la Tierra, el agua dulce equivale al 2.5%; además, se debe considerar que, el 90% de ésta, se encuentra en la Antártida, el 0.5% en depósitos subterráneos y el 0.01% en ríos y lagos (Fundación Aquae, 2021a). En la Figura 1 observamos la distribución del agua dulce alrededor del mundo.

#### Figura 1

*Distribución del agua dulce, alrededor del mundo.*



*Nota: Tomado de: (United Nations Environment Programme, 2002).*

Si se habla a escala global, se puede establecer que el agua dulce no es escasa. No obstante, los recursos hídricos no se encuentran divididos de forma equitativa en los diversos continentes, ni tampoco en proporción con la tasa de población. A esto se le suma que, en los mismos continentes existe desigualdad entre las distintas regiones; por ello, la escasez de agua dulce es una causa de lucha entre países y en algunos casos, dentro de un mismo país. Se suma a esto, el mantenimiento de la calidad del agua, se estima que en países en

vías de desarrollo, el 90% del agua usada regresa a los ríos, sin ningún tipo de tratamiento (Escribano, 2007).

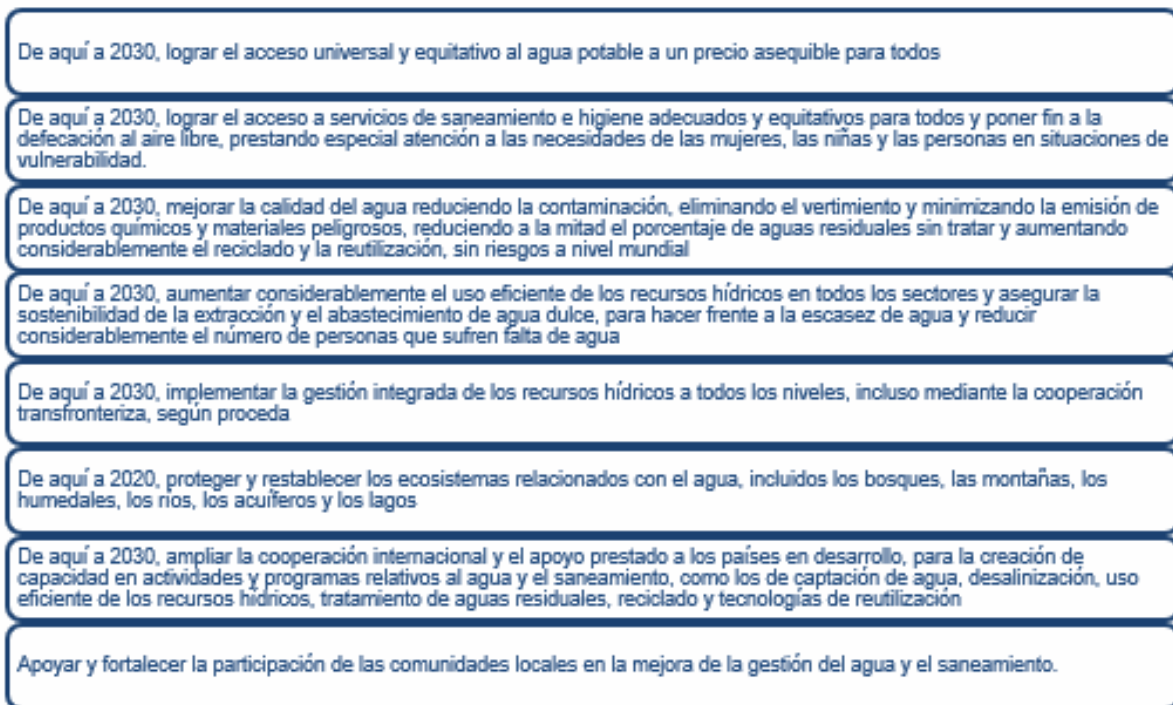
Es importante que el agua a la que se acceda sea salubre, porque se usa en la mayoría de las actividades humanas, incluyendo la alimentación, higiene, en el área industrial, prácticas médicas y fines recreativos. Por consiguiente, la pobreza de los países se ve relacionada directamente en sus tasas de morbilidad y mortalidad por la falta de acceso a aguas salubres, siendo necesario mejorar la infraestructura de las fuentes de suministro, saneamiento y gestión del agua potable y residual (OMS, 2022).

## 1.2 Desarrollo Sostenible

Las Naciones Unidas (ONU) han establecido una serie de objetivos a cumplir para el año 2030. En el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, se habla de “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Las metas de este objetivo cubren, tanto los aspectos del ciclo del agua, como los sistemas de saneamiento. Las metas que conlleva este objetivo son las siguientes que se detallan en la Figura 2:

**Figura 2**

*Metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6.*



*Nota: Basado en: (Naciones Unidas, 2023).*

Capítulo II

Criterios de Calidad Del Agua Para Consumo Humano

2.1 Calidad Del Agua

El agua potable debe ser adecuada para el consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal, libre de contaminantes y microorganismos causantes de enfermedades (Ríos Tobón et al., 2017). El Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), establece criterios que debe cumplir el agua para ser considerada apta para consumo humano antes de ser sometida a procesos de tratamiento convencionales de potabilización. De acuerdo a la normativa vigente, NTE-INEN 1108, el agua potable se define como, agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas, a fin de garantizar su aptitud para consumo humano. Es decir, el agua potable no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud, considerando las diferentes sensibilidades que pueden presentar las personas en sus distintas etapas de la vida. Para garantizar la calidad del agua, es necesario realizar un seguimiento de las características fisicoquímicas que presenta, proveniente de un proceso de potabilización, dichas características deben estar dentro de los límites máximos permisibles, establecidos en la normativa vigente. El tratamiento para la potabilización del agua, convencionalmente consiste en las siguientes operaciones y procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En el Ecuador, las características que ésta debe cumplir están establecidas en la Norma INEN 1108:2020. En la Tabla 1 se muestran los criterios establecidos en las normas TULSMA e INEN-1108 que serán analizados en el presente estudio.

**Tabla 1**

*Criterios de calidad del agua para consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional y requisitos del agua para consumo humano.*

Parámetros	Unidad	TULSMA	INEN 1108
		Límite Máximo Permisible	Límite Máximo Permisible
Cloro libre residual	mg/l	---	0.3-1.5
Color Aparente	Pt-Co	---	15
Turbiedad	NTU	100	5

<b>pH</b>	Unidades de pH	6.0-9	6.5-8
<b>Olor y sabor</b>	---	Olor y sabor removible por tratamiento convencional	Sabor y olor aceptables

*Nota 1: Columna 3 tomado de la tabla 1 “Criterio de calidad de agua para consumo humano y uso doméstico que requiere tratamiento convencional”, de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, TULSMA Libro VI Anexo 1 (Ministerio del Ambiente, 2015).*

*Nota 2: Columna 4 tomado de la tabla 1 “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”, de la normativa vigente (NTE-INEN, 2020).*

*Nota 3: En el caso de la turbiedad, los valores pueden ser mayores siempre que al terminar el proceso se pueda cumplir con lo establecido por la norma INEN.*

**2.1.1 Propiedades Fisicoquímicas**

**2.1.1.1 Turbidez.** Este es un parámetro usado en el agua como indicador de sólidos, resaltando entre estos los coloidales. La turbidez se da debido a la erosión y el transporte de materia coloidal como arcilla, resto de piedras, fibras vegetales y aportes de actividades antropogénicas (Cirelli, 2012). En ésta, se mide la extensión con la que un rayo de luz es reflejado en su paso por el agua con un ángulo de 90°. Esta reflexión se produce debido al efecto Tyndall que caracteriza a los sistemas coloidales (Cirelli, 2012).

La turbiedad debe ser baja, se recomienda que se mantenga debajo de las 5 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (Tabla 1), lo ideal es que, su promedio sea inferior a 1 NTU. Debe considerarse para su medición que la turbiedad puede variar durante el transporte y almacenamiento de las muestras, por lo que debe medirse in situ, en el muestreo (World Health Organization, 1998). La turbiedad visible, reduce la aceptabilidad del agua potable de muchos consumidores, ya que la asocian con la seguridad y consideran que el agua turbia no es segura para beber.

**2.1.1.2 Color.** El color en el agua indica la presencia de sustancia extrañas, como materia en suspensión o sustancias disueltas, provenientes de compuestos orgánicos o artificiales de origen industrial. Se analiza mediante métodos espectrofotométricos, considerando el color de la luz que atraviesa una muestra de agua previamente filtrada con el fin de obtener el verdadero color (Cirelli, 2012).

El agua de uso y consumo humano no debe tener ningún color visible, si el agua potable presenta color, puede deberse a la presencia de materias orgánicas como sustancias húmicas, metales que pueden provenir de fuentes naturales o como resultado de la corrosión de tuberías y en algunos casos, por la presencia de desechos industriales con coloración. Se debe vigilar en las fuentes de abastecimiento la presencia o ausencia de color observable en el agua potable, pues la mayoría de personas puede percibir niveles de color por encima de 15 unidades de color verdadero (UCV) en un vaso de agua, por lo que se considera el agua aceptable con niveles de color por debajo de 15 UCV (Tabla 1). No se propone ningún valor de referencia, basado en efectos de la salud para el color del agua potable (World Health Organization, 2011).

**2.1.1.3 Conductividad.** La conductividad es la capacidad que posee el agua de conducir electricidad; esto, a causa de las sales disueltas en la misma, esta propiedad no hace referencia a un parámetro en específico, de un elemento en específico, es más bien, el conjunto de iones; esta propiedad se ve afectada por el lugar que atraviesa el agua, así como la presencia o ausencia de vertidos de agua residuales. Conocer la conductividad del agua, da la información necesaria para saber si existen vertidos y la posibilidad de la reutilización del agua para el riego (Cirelli, 2012).

**2.1.1.4 pH.** Su valor sirve como un indicador de la eficiencia del tratamiento de desinfección aplicado. Se considera que el tratamiento de desinfección fue eficaz, cuando el valor de pH es inferior a 8; sin embargo, cuando el agua presenta un valor de pH de 7 o inferior, será probablemente corrosiva, pudiendo provocar corrosión de las tuberías del sistema de distribución, si no se controla este parámetro, puede provocar la contaminación del agua de uso y consumo humano y ocasionar efectos sobre su sabor y aspecto (World Health Organization, 1998). El rango establecido por la normativa NTE-INEN 1108 se presenta en la Tabla 1.

**2.1.1.5 Sabor y Olor.** El agua potable debe estar exenta de sabores y olores desagradables (Tabla 1). Se conoce que las papilas gustativas del ser humano pueden identificar compuestos inorgánicos, de metales presentes en el agua potable como Mn, Ca, Na, Cu, Fe, Zn, estos compuestos son generalmente los responsables de problemas de sabor, que muchas veces resultan combinados con los de olor (World Health Organization, 1998).

**2.1.1.6 Cloro Total.** Se determina por la sumatoria de cloro libre (Generalmente está conformado por ácido hipocloroso e ion hipoclorito) y cloro combinado (Se da por la reacción del cloro libre con materiales orgánicos y amoníaco). Mediante la cloración del agua, el cloro se disuelve en el agua limpia en sus iones de los cuales, la presencia de HClO en el agua



elimina agentes patógenos y compuestos, causantes de malos sabores. La cantidad de cloro utilizada debe ser la suficiente de manera que, al llegar a las líneas de distribución de agua, quedará una cantidad residual denominada Cloro Libre Residual y la dosis aplicada en los tratamientos de potabilización, resulte inocua en las concentraciones establecidas por la normativa (World Health Organization, 1998).

**2.1.1.7 Cloro libre residual.** La desinfección del agua potable suprime enfermedades de transmisión hídrica, pueden emplearse diferentes tipos de desinfectantes, de los cuales se hace uso común del cloro en una u otra forma, ya que presenta ventajas significativas sobre los otros tipos de desinfectantes, como su bajo costo, elevada eficiencia en la desinfección del agua, facilidad de medición, ya sea en laboratorios o *in situ*, la ventaja que sobresale de su uso, es que deja un residuo desinfectante que evita una nueva contaminación del agua en las líneas de distribución, dicho residuo debe estar contenido dentro de los rangos especificados por la normativa correspondiente (World Health Organization, 1998).

La normativa vigente NTE-INEN 1108, establece un límite máximo permisible de 0.3 – 1.5 mg de Cloro residual por litro de agua potable (Tabla 1). La medida del Cloro residual en las líneas de distribución permite corroborar que el agua suministrada, es segura para su consumo.

## 2.2 Contenido de Metales en el Agua Potable

Metales como plomo, cadmio, cromo, zinc, mercurio, entre otros, entran en contacto con los ecosistemas acuáticos y terrestres, debido a las actividades antropogénicas, como descargas directas de fuentes industriales, siendo la más importante la industria minera (Gómez-Álvarez et al., 2004; Pabón et al., 2020). Estos metales representan una importante amenaza para plantas, animales y personas, por su persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad, incluso a bajas concentraciones. La presencia de metales en diferentes ecosistemas es alarmante, debido al delicado equilibrio que se necesita para el desarrollo de la vida. Los contaminantes que se generen en el ecosistema se da en función de las actividades que realice el hombre; debido al constante crecimiento de la industria, también es constante el crecimiento de la acumulación de estos metales en el agua (Pabón et al., 2020).

Se debe considerar que los niveles de los metales en el agua para consumo están limitados por normas, en la Tabla 2 se pueden observar estos criterios.

**Tabla 2**

*Criterios de calidad (Metales) del agua para consumo humano y uso doméstico que requieren tratamiento convencional y requisitos del agua para consumo humano.*

Parámetros	Unidad	TULSMA	INEN 1108
		Límite	Límite
		Máximo Permisible	Máximo Permisible
<b>Aluminio</b>	mg/l	0.2	---
<b>Arsénico</b>	mg/l	0.1	0.01
<b>Cadmio</b>	mg/l	0.01	0.003
<b>Cobre</b>	mg/l	1	2
<b>Cromo total</b>	mg/l	0.05	0.05
<b>Mercurio</b>	mg/l	0.002	0.006
<b>Plomo</b>	mg/l	0.05	0.01

*Nota 1: Columna 3 tomado de la tabla 1 “Criterio de calidad de agua para consumo humano y uso doméstico que requiere tratamiento convencional”, de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, TULSMA Libro VI Anexo 1 (Ministerio del Ambiente, 2015).*

*Nota 2: Columna 4 tomado de la tabla 1 “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”, de la normativa vigente (NTE-INEN, 2020).*

**2.2.1 Aluminio en el agua potable**

El aluminio es un metal que se encuentra de manera abundante en la corteza terrestre y en el agua, se encuentra de forma natural, debido a la erosión del suelo o por erupciones volcánicas; aunque se puede liberar, de forma antropogénica, ya que este elemento es usado en diferentes industrias como: la alimenticia, la farmacéutica, del papel, la construcción y el tratamiento, tanto de agua potable, como del agua residual (Trejo & Hernández, 2004).

En el proceso de potabilización, el aluminio se usa como coagulante, debido a que permite la eliminación de partículas suspendidas, además de otros contaminantes que puedan existir, también permite reducir color, turbidez, contenido de materia orgánica y niveles de microorganismos. El aluminio entra en el proceso en forma de sulfato de aluminio, debido a que es un excelente floculante; un floculante es una sustancia que aglutina sólidos en suspensión en el agua, de tal forma que, posteriormente, debido a su precipitación se puede

eliminar, en este proceso se logra eliminar metales y sustancias que pueden ser perjudiciales para la salud (Alquera, 2021).

Aunque la intoxicación por el consumo de aluminio por medio del agua, no es probable, existen diferentes estudios que sugieren la relación entre la enfermedad de Alzheimer y el consumo de aluminio, por lo que, éste es un factor importante a considerar al momento de establecer los criterios de calidad del agua potable (Suay & Ballester, 2002).

El nivel máximo de concentración permitida en el agua potable, varía en razón del país, sin embargo, debido a que en el Ecuador no existe una norma que lo regule, se recomienda utilizar el límite establecido por la OMS, de 0.2 mg/l o menos (World Health Organization, 2011).

Lamentablemente, estudios en agua potable demuestran que muchas veces no se cumple con esta recomendación, como se observa en Tabla 3.

**Tabla 3**

*Niveles de aluminio encontrados en el agua potable, en diferentes países.*

País	Ciudad	Niveles de aluminio Agua cruda (mg/l)	Niveles de aluminio Agua potable (mg/l)	Fuente
Colombia	Municipio de Nariño	0.287	0.159	(Ospina & Cardona García, 2021)
	Municipio de Ricaurte	0.269	0.048	
Ecuador	Cuenca (El Cebollar)	0.272	0.39	(Arcentales & Carrión, 2021)
	Cuenca (Tixán)	0.241	0.36	
	Cuenca (Sustag)	0.00	0.004	
	Cuenca (San Pedro)	0.00	0	
	Quito		>0,2	
	Ibarra	<0,01	<0,01	
	Guayaquil	<2	<0,01	

## 2.3 Contaminantes emergentes en el agua potable

Contaminantes emergentes (CEs), es un término que se usa para hacer referencia a compuestos de distinto origen y naturaleza química, que debido a que su distribución y concentración se considera insignificante y pasan inadvertidos, sin embargo, ahora están ampliamente detectados por el impacto ecológico que implica, como efectos en la salud (Gil et al., 2012). Entre éstos, se encuentran los fármacos, los productos de uso personal, los surfactantes, los retardantes de fuego, los aditivos industriales, los esteroides y las hormonas, así como los subproductos de la desinfección (Bravo, 2009). La característica de estos contaminantes es que, no necesitan estar constantemente en el ambiente para causar efectos negativos, puesto que, debido a sus altas tasas de transformación se pueden compensar por su inducción continua en el ambiente (Gil et al., 2012; Taheran et al., 2018). Estos compuestos son liberados al medio ambiente mediante fuentes tales como aguas residuales de tipo doméstico e industrial, residuos de plantas de tratamiento, efluentes hospitalarios, actividades agrícolas y ganaderas y de tanques sépticos. Las plantas de tratamiento convencional de aguas residuales no están diseñadas para eliminarlos; motivo de preocupación científica y para las entidades ambientales reguladoras (Gil et al., 2012), los tratamientos potabilizadores tampoco son capaces de removerlos. La presencia de estas sustancias en el agua requiere de medidas para aminorar cualquier riesgo significativo para el medio ambiente y para los seres humanos. A menudo, estos grupos de compuestos no están cubiertos por la normativa vigente (Fawell & Ong, 2012), sin embargo, investigadores opinan que con una legislación de los Ces, se puede llegar a controlarlos, actualmente, si bien no hay regulaciones, la Unión Europea y Estados Unidos están intentando crear listas de prioridades sobre aquellos CEs, con el fin de reducir su liberación en el medio ambiente (Taheran et al., 2018).

### 2.3.1 Cafeína en el Agua Potable

La cafeína es uno de los CEs que suele encontrarse comúnmente en altas concentraciones, según diversos estudios (Jara-Negrete et al., 2023). Múltiples autores opinan que una de las razones es, debido a la falta de tratamiento de agua en los países de Latinoamérica y que, en la mayor parte de estos países, las aguas residuales son vertidas en los ríos aledaños, con poco o nulos tratamientos, esto, aunado a la falta de regulaciones sobre estos contaminantes, hace que las concentraciones de estos compuestos sean aún mayores. Se ha detectado además, que existe una mayor concentración de cafeína en zonas más densamente pobladas (Valcárcel et al., 2011). De hecho, varias investigaciones han encontrado cafeína en el agua potable como podemos ver en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Niveles de cafeína encontrados en el agua potable, en diferentes países.*

País	Zona	Niveles de cafeína, ng/l	Fuente
<b>España</b>	Provincia de Sevilla	3.84	(Dafouz Ramírez & Valcárcel, 2017)
	Provincia de Toledo	1.55	
	Provincia de Huelva	1.06	
<b>Estados Unidos</b>	Florida (Río Miami)	41.2	(Gardinali & Zhao, 2002)
	Florida (Bahía Biscayne)	11.9	
<b>Ecuador</b>	Ciudad Quito	27.5	(Jara-Negrete et al., 2023)
	Ciudad Guayaquil	12.35	
	Ciudad Cuenca	35.75	
	Ciudad Esmeraldas	20.9	
	Ciudad Ibarra	19.5	

La cafeína es una xantina que se ha descrito como un pesticida natural, que socialmente se usa como un estimulante del sistema nervioso central, al estar presente en muchas bebidas por su origen vegetal, por su farmacodinamia de probable antagonista de los receptores de adenosina. Sus reacciones adversas están relacionadas con sus efectos farmacológicos y dosis incluyendo temblores, taquicardia sinusal, excitabilidad, irritabilidad, insomnio, delirio y convulsiones, e incluso infertilidad masculina en modelos murinos. Sin embargo, al hablar de la cafeína como contaminante emergente del agua, no existen regulaciones nacionales o internacionales, por lo tanto es necesario realizar estudios que informen sobre las afecciones y efectos que este tiene sobre los ecosistemas y organismos expuestos, tanto de forma individual, como en conjunto con otros contaminantes, así como las dosis en las que este empieza a ser un riesgo (Dafouz Ramírez & Valcárcel, 2017).

## Capítulo III

### Proceso De Potabilización Del Agua

#### 3.1 Proceso de Potabilización del Agua

La potabilización del agua se basa en la eliminación de diferentes contaminantes, como metales tóxicos, bacterias, hongos, parásitos, sólidos en suspensión, gases, etc. Actualmente, existen diferentes métodos de purificación de agua, que van desde procesos físicos, como filtración, sedimentación, destilación; procesos biológicos que aplican el uso de carbón activado, filtros de arena; procesos químicos que constan de etapas como coagulación, floculación, sedimentación, cloración (Popescu et al., 2017).

#### 3.2 Tratamiento de Agua

De acuerdo al tipo de fuente natural de la cual provenga el agua, se aplicarán diferentes tratamientos; si el agua presenta sales o metales pesados, requiere de un tratamiento complicado y costoso, esto se da generalmente, en zonas con escasez de recursos hídricos y zonas costeras. Para fuentes superficiales como ríos, lagos, generalmente se aplica un tratamiento que consta de manera general, de las siguientes etapas: separación de componentes, precipitación de impurezas, filtración y desinfección con hipoclorito u ozono (Acciona Business As Unusual, 2020).

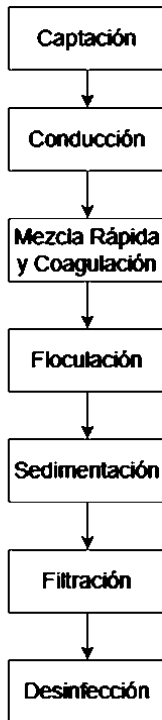
La recolección, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable, hacen uso de numerosas sustancias químicas con el objetivo de garantizar la inocuidad y calidad del agua. El agua se encuentra en contacto permanente con tuberías, válvulas, grifos y superficies de depósitos, los cuales pueden aportar otras sustancias químicas al agua (World Health Organization, 2011).

#### 3.3 Tratamiento Convencional para Potabilizar el Agua

El tipo convencional, conformado por las siguientes etapas:

**Figura 3**

*Esquemas del Tratamiento de Tipo Convencional para la Potabilización de Agua.*



### **3.3.1 Captación**

Proceso por el cual se recolecta el agua cruda de la fuente superficial, para cada planta de estudio son ríos diferentes. La planta El Cebollar, capta agua del río Tomebamba, la planta de potabilización Sustag capta agua del río Yanuncay; y, la planta potabilizadora Tixán, hace uso de agua proveniente del río Machángara (Etapa EP, 2020).

### **3.3.2 Conducción**

El agua captada es llevada a un desarenador para su posterior transporte a la planta mediante tuberías (Etapa EP, 2020).

### **3.3.3 Mezcla Rápida y Coagulación**

Se realiza con un mezclador de resalto hidráulico, con el objetivo de optimizar la formación de flóculos. En esta etapa se desestabilizan las partículas coloidales suspendidas con ello se logra eliminar la turbiedad y concentración de materia orgánica por medio de adición de agentes químicos llamados coagulantes (Barajas & León, 2015).

El Sulfato de Aluminio es el agente coagulante más usado en el proceso de potabilización de agua debido a su bajo costo, gran efectividad, su dosis varía de 5-50 mg/L, debe considerarse que la cantidad de coagulante a aplicarse no es constante pues la naturaleza y composición del agua varían fácilmente, es recomendable definir la cantidad por medio de simulación a escala de laboratorio, su rango de pH es de 5.5 a 8 unidades de pH, este último permite que en etapas anteriores resulte sencillo el ajuste de pH, que a su vez genera disminución en los costos de operación de planta. (Rivas-Romero et al., 2017).

El proceso es rápido, pudiendo darse hasta en un máximo de 100 segundos, de acuerdo con las características que presente el agua, el proceso se realiza en la unidad de mezcla rápida, para etapas posteriores la agitación que se aplique será lenta (Etapa EP, 2020). En esta etapa, cambia el comportamiento de las partículas en suspensión, pues las partículas que tendían a repelerse unas de otras se atraen entre sí y hacia el material agregado, el proceso de mezcla rápida favorece la atracción de las partículas (Mejía Clara, 2005).

#### **3.3.4 Floculación**

El proceso de floculación se da posterior a la coagulación, mediante agitación suave y lenta en la cual las partículas incrementan el contacto recíproco para formar partículas de mayor tamaño (Mejía Clara, 2005).

Los flóculos son pequeños que generalmente tienden a aglomerarse y sedimentar, sin embargo, cuando los flóculos no son lo suficientemente grandes para sedimentar rápidamente se aplica un agente floculante que permite enlazar partículas individuales en aglomerados sedimentables. Los más utilizados son los floculantes orgánicos de síntesis, como poliacrilamidas (Cedeño Flores & Cedeño Cedeño, 2018).

Los floculantes son de tipo mixto, mecánico e hidráulico, con dos cámaras con agitadores eléctricos y floculadores hidráulicos de flujo vertical, es decir, se aplica una floculación ortocinética. En el floculador, las partículas chocan entre sí mediante agitación lenta hasta aglomerarse y formar los llamados flóculos, que son removidos de manera eficiente en las etapas posteriores (Idrovo, 2010).

#### **3.3.5 Sedimentación**

La unidad de sedimentación está formada por tanques de flujo ascendente con placas planas. En esta etapa se produce la separación de las fases sólida y líquida por gravedad, lo que permite que el agua se torne cristalina, al eliminar su turbiedad (Etapa EP, 2020).



### **3.3.6 Filtración**

Esta etapa puede incluir tamizado mecánico, absorción y adsorción, los filtros pueden extraer sólidos en suspensión, patógenos y algunos productos químicos, según sean las características del filtro, tipo, profundidad, tasa de flujo, además de las características que presente el agua sin tratar.

Consiste en pasar el agua por un medio poroso que retiene sedimentos menos densos, en esta etapa se elimina el 10% de las partículas que pasaron las etapas anteriores mediante 6 filtros rápidos de arena (Etapa EP, 2020)

### **3.3.7 Desinfección**

Es un proceso selectivo que destruye microorganismos patógenos presentes en el agua, su objetivo es garantizar la inocuidad del agua distribuida, para ello, se aplica Cloro gas, que es un agente capaz de destruir la mayor parte de virus, bacterias, parásitos, protozoarios (Idrovo, 2010). Es importante considerar que el agua suministrada puede contaminarse en los tanques de almacenamiento o redes de distribución, por ello, esta etapa debe realizarse de tal manera que elimine riesgos posteriores al tratamiento (Mosquera, 2012).

## Capítulo IV

### Metodología y Muestreo

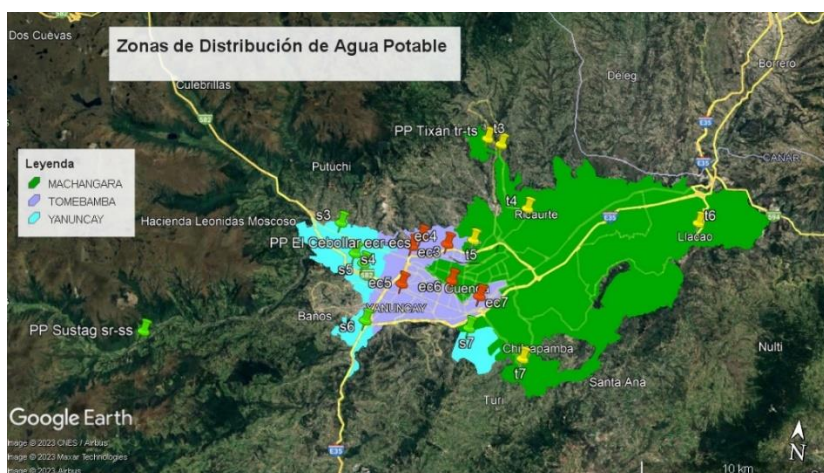
#### 4.1 Área de Muestreo y Muestreo

Las plantas estudiadas fueron Tixán, El Cebollar y Sustag. La planta potabilizadora Tixán está ubicada en la vía a Tixán, sector perteneciente a la parroquia Chiquintad, se abastece por un canal proveniente del río Machángara. La planta potabilizadora El Cebollar se encuentra en el sector El Cebollar, al noroeste de la ciudad, entre las zonas denominadas Tomebamba-Machángara, su fuente de abastecimiento es el río Tomebamba. La planta potabilizadora Sustag se encuentra ubicada en la vía Soldados, perteneciente a la parroquia San Joaquín, su fuente de abastecimiento es el río Yanuncay.

Se muestrearon las aguas de entrada y salida de las plantas estudiadas y se eligieron cinco puntos de muestreo por plantas potabilizadoras (Tabla 3), empleando el mapa oficial de distribución proporcionado por Etapa (Figura 4), de forma aleatoria, para obtener una mayor dispersión de la distribución del líquido tratado. El muestreo en cada uno de los 15 puntos elegidos, se realizó durante un mes del periodo húmedo, mayo 2023 y un mes del periodo seco, julio 2023. El estudio se divide en periodo húmedo y periodo seco, se realizó este análisis con la finalidad de identificar posibles variaciones en los valores de los parámetros físico-químicos, Cloro libre residual, contenido de cafeína y contenido de Aluminio.

#### Figura 4

*Zonas de distribución de agua potable.*



*Nota: Fuente: Etapa EP, mediante Google Earth®.*

Tabla 5

*Descripción de los puntos de muestreo.*

<b>Planta de Potabilización</b>	<b>Punto</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>Tixán</b>	1	Tienda Ochoa León	78°59'6.26"O 2°50'3.81"S
	2	Parque de Ricaurte	78°58'10.21"O 2°51'55.88"S
	3	Parque Miraflores	78°59'40.70"O 2°53'1.65"S
	4	UPC de El Valle	78°57'59.11"O 2°56'18.48"S
	5	Subcentro de Salud de Llacao	78°53'6.92"O 2°51'51.99"S
<b>El Cebollar</b>	1	Parque La Libertad	79° 0'25.77"O 2°53'13.34"S
	2	Tienda Michelle	79° 1'27.09"O 2°53'23.08"S
	3	Casa Lorenzo Piedra 1-20 entre av. Loja y Remigio Romero	79°00'43.8"W 2°54'00.8"S
	4	Parque de la Madre	79° 0'12.05"O 2°54'16.11"S
	5	Parque Paraíso	78°59'21.43"O 2°54'38.85"S
<b>Sustag</b>	1	Gasolinera Primax	79° 3'35.44"O 2°52'54.53"S
	2	UPC San Joaquín	79° 3'4.98"O 2°53'45.92"S
	3	Gasolinera Clyan	79° 2'48.19"O 2°54'1.97"S
	4	Gasolinera Terpel	79° 2'34.43"O 2°55'40.19"S
	5	Mirador de Icto Cruz	78°59'35.34"O 2°55'35.69"S

#### 4.2 Muestreo, manejo y conservación

Las técnicas de muestreo se basaron en la normativa NTE INEN 2176:2013 y la NTE INEN 2169:98. El tipo de muestra que se tomó, es muestra individual y puntual. Los análisis se planificaron de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6

*Indicaciones para conservación de muestras de acuerdo con la norma NTE INEN 2169:98.*

Parámetro	Tipo de recipiente	Lugar de análisis	Técnica de conservación	Tiempo máximo de conservación
Aluminio	Plástico	En el sitio		
pH	Plástico o vidrio	En el sitio	-	-
Cloro	Plástico o vidrio	En el sitio	-	-
Turbidez	Plástico o vidrio	En Laboratorio	Refrigeración 2°C a 5°C	24H

*Nota: Información extraída de la norma NTE INEN 2169:98.*

La muestra recolectada fue de 1.25 L, para los diferentes análisis y controles, existiendo mínima manipulación, el material del frasco elegido fue plástico. Para el análisis *in situ* se realizó un reporte que contenía el lugar de la toma de la muestra, la fecha y hora, el nombre de la persona que tomó la muestra, las condiciones atmosféricas y los resultados del análisis. Como se indica en la Tabla 6, la turbidez y el contenido de cafeína, se realiza en laboratorio para lo cual se fijó el siguiente protocolo de muestreo y transporte, las muestras se trasladaron en recipientes plásticos separados de 250 ml y 1000 ml, respectivamente. Los frascos previamente fueron lavados y enjuagados con agua destilada. Se llenaron en su totalidad y taparon evitando así la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte, los frascos fueron etiquetados (ver Anexo B). Estas muestras se almacenaron a temperaturas menores a las de medio externo, usando cajas refrigerantes (refrigerando con hielo); las muestras se almacenaron en un lugar fresco y protegido de la luz.

Las muestras se registraron en función del tipo de agua en el sistema para lo cual se establece lo siguiente: **R**, Agua cruda; **S**, Agua potable a la salida del tratamiento; **D**, Agua potable en la red de distribución.

#### 4.3 Análisis del Aluminio

El análisis de aluminio se realizó mediante el uso de los reactivos para Aluminio A, B y C (Hanna Instruments®) y espectrofotómetro marca Hanna Instruments® (HI883305 Multiparameter Photometer for Boiler & Cooling Tower). El procedimiento se basa en una adaptación del método aluminón, donde la reacción entre el aluminio y el reactivo causa una

coloración rojiza; la intensidad de la coloración determina la cantidad de aluminio presente en la muestra” (HANNA Instruments, 2017). El reactivo para el análisis del aluminio tiene un rango de 0.00 a 1.00 mg/l, una resolución de 0.01 mg/l y una precisión de  $\pm 0.02$  mg/l y  $\pm 4\%$  de lectura a 25°C. Brevemente, para cada muestra, se colocó 50 ml de la muestra en un vaso de precipitado y se le agregó el reactivo A hasta disolución. A continuación, se colocó el sobre B y agitó hasta disolución. Finalmente, se repartió en dos cubetas de 10 ml, a la primera cubeta se le añadió el reactivo C, esta cubeta se usó como blanco. La cubeta uno se introdujo en el equipo y se presiona el reloj y se esperó 15 minutos, transcurrido este tiempo, el equipo ya estuvo encendido y se hizo la lectura de la cubeta dos; el equipo presenta dos resultados  $Al^{3+}$  y  $Al_2O_3$  en mg/l.

#### 4.4 Análisis del Cloro libre residual

El análisis del cloro libre residual se realizó mediante el uso del reactivo para Cloro libre (Hanna Instruments®) y espectrofotómetro de la marca *Hanna Instruments®* (HI883305 Multiparameter Photometer for Boiler & Cooling Tower). El reactivo, para el análisis de cloro libre residual posee un rango de 0.00 A 5.00 mg/l de  $Cl_2$ , una resolución de 0.01 mg/l y precisión de  $\pm 0.03$  mg/l y  $\pm 3\%$  de lectura a 25°C. “Estos reactivos permiten una medición rápida y precisa, utilizando el método DPD (N,N Dietil Parafenileno Diamina) donde la reacción entre el cloro y el reactivo causa una coloración rosa; la intensidad de la coloración determina la cantidad de cloro presente en la muestra” (HANNA Instruments, 2018). Para el análisis del cloro se eligió el método del cloro libre, así pues, el primer paso consistió en realizar un encendido con un blanco. Posterior, se vertió en una las cubetas 10 ml de la muestra y se añadió el sobre con el reactivo, se mezcló por 20 segundos, luego se introdujo en el equipo y se presionó la opción reloj, transcurrido un minuto, proporciona el contenido de cloro libre residual en la muestra en mg/l. En las dos últimas semanas, del mes de mayo y de junio, se realizó un análisis del cloro total, cuyo proceso es similar al del cloro libre residual, exceptuando por el tiempo de espera, que es de tres minutos.

#### 4.5 Análisis Físico-Químicos

Los parámetros físico-químicos tales como: pH, conductividad, turbidez, color, entre otros, permiten identificar variaciones composicionales tanto espaciales, así como temporales, resultantes de cambios en factores naturales como vegetación, litología y clima de la región (Morell-Bayard et al., 2015).

Es decir, estos parámetros son portadores de información sobre evaluación de procesos químicos que ocurren en los sistemas hídricos y en el tratamiento de potabilización. En base a ello los parámetros analizados permiten la corroboración de que se realiza una recolección y manejo correcto de las muestras de estudio.

#### **4.5.1 pH.**

El análisis del pH se hizo en función de la norma NTE INEN-ISO 10523:2014-01. La determinación del valor del pH se basa en la diferencia de potencial de una célula electroquímica, mediante la utilización de un pH-metro. El equipo fue calibrado mediante las soluciones tampón correspondientes (4.01, 7.01 y 10.01 de *Hanna Instruments*®.) de acuerdo al procedimiento establecido en el manual del equipo, presionando el botón *MODE* hasta que el aparezca *TEMP* y despliegue la temperatura al display secundario, posteriormente presionar *MODE* y seleccionar el set de 7.01 *Buff* que debe aplicarse iniciando por el de 4.01, el medidor reconoce el *Buff* de manera automática y presenta en el display *OK* por un segundo, posterior a ello se introduce el *tester* en el siguiente *Buff* y repetir el procedimiento para el tercer *Buff*. Debido a que el valor del pH varía fácilmente, debido a diferentes procesos que se pueden dar, el valor del pH se midió *in situ*, con un potenciómetro de la marca *Hanna Instruments*®. La muestra se vertió en un vaso de precipitación y se introdujo el potenciómetro en la opción de pH y se esperó a que el equipo muestre el resultado.

#### **4.5.2 Conductividad.**

Debido a que igual que con el pH, la conductividad varía fácilmente, esta se midió inmediatamente después de ser obtenida la muestra, mediante el uso de un potenciómetro de la marca *Hanna instruments*®, para lo que se vertió la muestra en un vaso de precipitación y se colocó el potenciómetro, en la opción de conductividad y se esperó que el equipo registre el resultado en microsiemens. El equipo se calibró de acuerdo procedimiento establecido en el manual, introduciendo el *tester* en la solución de calibración de 12.88  $\mu\text{S}$  de *Hanna Instruments*®, la calibración termina cuando aparece la señal *STOR*.

#### **4.5.3 Color.**

El análisis del color se hizo en función de la norma NTE INEN-ISO 7887:2013. El análisis del color que se realizó corresponde al método D, alcanzado por la norma, el cual consiste en una comparación visual con soluciones estándares de hexacloroplatinato, que se puede aplicar tanto al agua potable como cruda. Se usaron dos tubos, en el primero se colocó agua

destilada y en el segundo la muestra de agua, estos tubos se cerraron con un tapón de cuarzo y se colocaron en el equipo y se comparó el color, mediante el disco que posee.

#### **4.5.4 Turbidez.**

Previo al uso del equipo se realizó su calibración empleando el kit de calibración de estándares *Stabcal* de la marca *Hach*®, de acuerdo al manual de usuario, seleccionar el modo calibración, insertar el estándar de 20 NTU, cerrar la tapa y presionar medición, el tiempo de ejecución es de un minuto aproximadamente, repetir el paso anterior para los estándares de 100 NTU y 800 NTU. Finalmente pulsar el botón hecho y guardar los resultados, el equipo retorna de forma automática al modo verificar cal. El análisis de la turbidez se hizo en función de la norma NTE INEN-ISO 7027:2013. Para el análisis se utilizó un equipo de la marca *Hach*®, en una cubeta se colocó 10 ml de la muestra y posteriormente se introdujo en el equipo, para realizar la lectura en NTU.

#### **4.6 Análisis de cafeína**

Primero, se realizó la extracción en fase sólida de muestras con cartuchos *Strata*® C-18, los cartuchos se acondicionaron pasando 10 ml de metanol con un caudal de  $5e^{-8}$  m<sup>3</sup>/s. Luego se realizó la elución de 900 ml de las muestras de agua por los cartuchos, con la ayuda del colector de vacío, la velocidad de goteo no debió ser mayor a una gota por segundo. Posterior a esto, se dejó los cartuchos secar con la bomba de vacío por 5 minutos, antes de eluir la muestra concentrada con 2 ml metanol. Las muestras fueron analizadas por duplicado. Se realizó un blanco que consistía en el mismo procedimiento, pero en lugar de la muestra se eluyó agua destilada, con el fin de comprobar que no exista contaminación.

Las muestras fueron analizadas en un HPLC DAD de la marca *Azura*®. El volumen de inyección fue de 30 µl de muestra. Se utilizó metanol como fase móvil, el tiempo total del método fue de 6.5 minutos. El gradiente del flujo se estableció como se señala en la Tabla 7. Se determinó la curva de calibración de la cafeína con estándar marca *Sigma Aldrich*®, se estableció el límite de detección en 0.025 µg/l.

Tabla 7

*Gradiente de flujo.*

	Tiempo (min)	Agua (%)	Metanol (%)	Flujo (ml/min)
1	Inicial	40	60	1.000
2	4.00	10	90	1.000
3	4.30	40	60	1.000
4	6.00	40	60	1.000

#### 4.7 Análisis de ecotoxicidad

Para este análisis, se hace uso de *Daphia magna*, los cuales son crustáceos, que se emplean como un bioindicador ambiental en los efluentes de agua dulce, en ensayos de ecotoxicidad (Núñez & Hurtado, 2005).

Las *Daphnias* son una especie bien conocida, con un protocolo estándar sencillo y ampliamente utilizado para pruebas de toxicidad y mundialmente utilizado en evaluaciones ecotoxicológicas. Son organismos de pequeño tamaño, que resulta fácil de cultivar en laboratorio. Los protocolos estándar para pruebas agudas se basan en la exposición durante 24 o 48 horas, respectivamente (Araujo et al., 2019).

Se tomó por duplicado, 35 ml de las muestras de agua y se dejaron reposar por 3 días para que perdieran el cloro, pasado este tiempo se colocaron 5 neonatos de *Daphnia magna* de menos de 24 horas de nacidas y se cerraron los envases. Transcurridas 48 horas, se hizo el conteo del número de inmobilizaciones.



## Capítulo V

### Resultados y Discusión

#### 5.1 Análisis Estadístico

Las Tabla 8, 9, 10, 11, 12 y 13, presentaron los valores medios, máximos y mínimos resultantes del análisis descriptivo de los parámetros físico-químicos de estudio. Además, se establece una comparación de los valores obtenidos con las normativas correspondientes, los parámetros del agua cruda son comparados con los límites permisibles establecidos por el TULSMA (Tabla 1 y 2), mientras que, los parámetros del agua potable son comparados con los límites permisibles establecidos por la normativa vigente NTE INEN-1108:2020, esta última, no fija un límite de concentración para  $Al^{3+}$ , dentro de los parámetros, por lo que se recurre al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud, 2011 “Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano”.

La Tabla 8, muestra los parámetros físico-químicos pertenecientes a la planta El Cebollar en el periodo húmedo. Los resultados indican que los valores medios se encuentran dentro del límite permisible establecido por el TULSMA. Sin embargo, hay valores correspondientes a las zonas S y D, que presentan un valor superior de pH. En cuanto a la concentración de Cloro libre residual, los valores son inferiores, según los límites establecidos, pudiendo ser resultado de un cambio de temperatura en el agua, ya que este punto tenía su tubería expuesta al medio.

**Tabla 8**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización El Cebollar Periodo Húmedo.*

El Cebollar Periodo Húmedo								
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{x}$	Mínimo	TULSMA		
						Libro IV, Anexo I	INEN-1108	OMS
R	$Al_2O_3$	mg/l	0.090	0.018	<LD			
	$Al^{3+}$	mg/l	0.17	0.034	<LD	0.2		
	$Cl_2$ libre	mg/l	0.09	0.034	<LD			
	$Cl_2$ total	mg/l	0.633	0.381	<LD			
	Color	Pt-Co	15.00	13	10.00	75		
	pH	U de pH	8.32	7.96	7.69	6 a 9		
	Conductividad	$\mu S$	119	105.9	88.3			
	Turbidez	NTU	4.23	2.92	2	100		

S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.170	0.104	0.02	
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.080	0.056	0.03	0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.32	0.968	0.01	0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.33	0.894	0.63	
	Color	Pt-Co	2.50	1.5	<LD	15
	pH	U de pH	8.29	7.812	6.94	6.5 a 8
	Conductividad	μS	124	110.2	91.80	
	Turbidez	NTU	2.75	1.43	0.97	5
D	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.23	0.071	<LD	
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.12	0.04	<LD	0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.87	0.51	<LD	0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.32	0.55	<LD	
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD	15
	pH	U de pH	8.26	7.67	7.09	6.5 a 8
	Conductividad	μS	129.00	118.9	52.00	
	Turbidez	NTU	2.31	1.24	<LD	5

La Tabla 9 muestra los parámetros físico-químicos pertenecientes a la planta El Cebollar en el periodo seco. Se aprecia que los parámetros evaluados en la zona de R y S cumplen con lo establecido por el TULSMA e INEN-1108 respectivamente. En la zona D, el Cloro libre residual presenta un valor superior al límite establecido, de igual manera este valor se presenta una sola vez durante el periodo seco en el mismo punto, el cual tiene su tubería expuesta al medio, pudiendo ser la causa de este valor.

**Tabla 9**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización El Cebollar Periodo Seco.*

El Cebollar Periodo Seco						TULSMA		
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{X}$	Mínimo	Libro IV, Anexo I	INEN-1108	OMS
R	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.15	0.04	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.08	0.02	<LD	0.2		
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	0.05	0.02	<LD			
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.70	0.42	<LD			
	Color	Pt-Co	15.00	12.5	10.00	75		
	pH	U de pH	7.82	7.42	7.18	6 a 9		
	Conductividad	μS	119.00	110.8	104			
	Turbidez	NTU	2.63	2.01	1.58	100		
S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.19	0.12	0.07			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.10	0.06	0.04			0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.36	1.27	1.21		0.30 a 1.5	

	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.32	0.93	0.70	
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD	15
	pH	U de pH	7.95	7.57	7.15	6.5 a 8
	Conductividad	μS	125.00	117.2	111	
	Turbidez	NTU	2	1.43	1	5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.30	0.10	<LD	
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.16	0.05	<LD	0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.67	0.81	<LD	0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.33	0.75	0.03	
<b>D</b>	Color	Pt-Co	2.50	0.10	<LD	15
	pH	U de pH	8.31	7.53	7.13	6.5 a 8
	Conductividad	μS	125.01	111.40	101.00	
	Turbidez	NTU	2.41	1.35	0.33	5

De acuerdo a la Tabla 10, perteneciente a la planta de Tixán en el periodo húmedo, si bien los valores medios cumplen con lo establecido por las normativas correspondientes, en las zonas S y D, exhiben valores de pH que excede el límite superior establecido, similar a lo observado en la planta de El Cebollar. En lo que respecta a la concentración de Cloro libre residual, se evidencia un valor superior al límite permisible. Tanto el TULSMA y la Organización Mundial de la Salud, establecen un límite de concentración de Aluminio de 0.2 mg/l; no obstante, la zona R, no cumple con este parámetro.

**Tabla 10**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Tixán Periodo Húmedo.*

Tixán Periodo Húmedo								
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{X}$	Mínimo	TULSMA Libro IV, Anexo I	INEN-1108	OMS
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.14	0.074	0.04			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.26	0.07	0.02	0.2		
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	0.30	0.09	<LD			
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.63	0.38	<LD			
<b>R</b>	Color	Pt-Co	20.00	16.00	12.50	75		
	pH	U de pH	8.20	7.98	7.85	6 a 9		
	Conductividad	μS	95.00	86.4	79.00			
	Turbidez	NTU	3.85	2.61	1.99	100		
<b>S</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.09	0.03	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.05	0.02	<LD			0.2

	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.56	1.32	1.22		0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.40	0.93	0.70		
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD		15
	pH	U de pH	8.13	7.57	6.86		6.5 a 8
	Conductividad	μS	78.00	66.91	51.00		
	Turbidez	NTU	2.00	0.93	0.34		5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.28	0.04	<LD		
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.18	0.03	<LD		0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.28	0.56	<LD		0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.11	0.61	<LD		
<b>D</b>	Color	Pt-Co	5.00	0.20	<LD		15
	pH	U de pH	8.29	7.68	7.04		6.5 a 8
	Conductividad	μS	103.00	95.52	86.01		
	Turbidez	NTU	3.55	0.89	<LD		5

En la Tabla 11, se presentan los parámetros físico-químicos evaluados en el periodo seco para la planta potabilizadora de Tixán. Se aprecia que en la zona S, los valores correspondientes a Cloro libre residual y pH son ligeramente superiores al límite establecido por la INEN-1108. Mientras que en la zona D, el valor de Al<sup>3+</sup> es superior a lo establecido por la OMS. De manera general el valor medio de todos los parámetros evaluados en las tres zonas R, S, D, se encuentran dentro de los límites establecidos por las normativas correspondientes.

**Tabla 11**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Tixán Periodo Seco.*

Tixán Periodo Seco								
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{X}$	Mínimo	TULSMA	INEN-1108	OMS
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.11	0.04	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.06	0.02	<LD	0.2		
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	0.36	0.02	<LD			
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.70	0.43	0.02			
<b>R</b>	Color	Pt-Co	25.00	18.5	15.00	75		
	pH	U de pH	7.49	7.31	7.19	6 a 9		
	Conductividad	μS	97.01	92.00	89.04			
	Turbidez	NTU	2.73	1.94	1.35	100		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.09	0.03	<LD			
<b>S</b>	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.05	0.02	<LD			0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.56	1.32	1.22		0.30 a 1.5	

	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.40	0.93	0.70		
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD	15	
	pH	U de pH	8.13	7.82	7.64	6.5 a 8	
	Conductividad	μS	78.02	67.4	51.00		
	Turbidez	NTU	2.00	0.93	0.34	5	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.43	0.09	<LD		
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.23	0.05	<LD		0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.49	0.65	<LD	0.30 a 1.5	
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.70	0.69	0.07		
<b>D</b>	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD	15	
	pH	U de pH	8.29	7.51	7.18	6.5 a 8	
	Conductividad	μS	108.00	93.64	78.00		
	Turbidez	NTU	1.97	0.88	0.25	5	

En la Tabla 12, se observa que los valores medios de los parámetros físico-químicos de estudio pertenecientes a la planta de Sustag en el periodo húmedo, cumplen con lo establecido por el TULSMA. Sin embargo, en la zona D, presenta un valor nulo respecto a la concentración de Cloro libre residual. Debe considerarse que este punto se encuentra a una distancia significativa de la planta de tratamiento en la red de distribución.

**Tabla 12**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Sustag Periodo Húmedo.*

Sustag Periodo Húmedo						TULSMA		
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{x}$	Mínimo	Libro IV, Anexo I	INEN-1108	OMS
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.12	0.04	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.12	0.04	<LD	0.2		
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	0.13	0.09	0.02			
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.63	0.41	0.07			
<b>R</b>	Color	Pt-Co	50.01	33.00	15.03	75		
	pH	U de pH	8.10	7.60	7.42	6 a 9		
	Conductividad	μS	69.00	50.80	17.00			
	Turbidez	NTU	4.69	2.68	1.00	100		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.11	0.04	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.06	0.02	<LD			0.2
<b>S</b>	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.38	1.23	1.13		0.30 a 1.5	
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.46	0.92	0.63			
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD		15	

	pH	U de pH	7.70	7.31	6.86	6.5 a 8	
	Conductividad	µS	76.00	66.42	51.10		
	Turbidez	NTU	1.00	0.76	0.54	5	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.26	0.07	<LD		
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.14	0.03	<LD		0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.30	0.54	<LD	0.30 a 1.5	
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.32	0.70	0.08		
<b>D</b>	Color	Pt-Co	10.00	2.10	<LD	15	
	pH	U de pH	7.94	7.40	6.56	6.5 a 8	
	Conductividad	µS	124.00	77.19	59.90		
	Turbidez	NTU	5.24	1.20	<LD	5	

La Tabla 13, registra los parámetros físico-químicos de estudio, en la cual se aprecia que los valores son semejantes a los evaluados en el periodo húmedo presentados para la zona R y D, esta última también presenta un valor inferior al límite establecido para la concentración de Cloro libre residual. Respecto a la zona S se aprecian valores ligeramente superiores para Cloro libre residual y pH.

**Tabla 13**

*Parámetros Físico-Químicos de la Planta de Potabilización Sustag Periodo Seco.*

Sustag Periodo Seco								
Zona	Parámetro	Unidad	Máximo	$\bar{x}$	Mínimo	TULSMA Libro IV, Anexo I	INEN-1108	OMS
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.12	0.06	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.06	0.03	<LD	0.2		
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	0.27	0.10	0.01			
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	0.70	0.47	0.09			
<b>R</b>	Color	Pt-Co	30.00	22.50	12.50	75		
	pH	U de pH	7.88	7.59	7.23	6 a 9		
	Conductividad	µS	70.00	64.60	54.00			
	Turbidez	NTU	6.43	4.11	2.68	100		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.09	0.03	<LD			
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.05	0.02	<LD			0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.56	1.32	1.22		0.30 a 1.5	
<b>S</b>	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.40	0.93	0.70			
	Color	Pt-Co	<LD	<LD	<LD		15	
	pH	U de pH	8.13	7.82	7.64		6.5 a 8	

	Conductividad	μS	78.00	67.40	51.00	
	Turbidez	NTU	2.00	0.93	0.34	5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/l	0.26	0.07	<LD	
	Al <sup>3+</sup>	mg/l	0.14	0.04	<LD	0.2
	Cl <sub>2</sub> libre	mg/l	1.33	0.66	0.03	0.30 a 1.5
	Cl <sub>2</sub> total	mg/l	1.13	0.68	0.05	
<b>D</b>	Color	Pt-Co	12.50	1.10	<LD	15
	pH	U de pH	7.98	7.51	7.07	6.5 a 8
	Conductividad	μS	132.00	89.80	1.00	
	Turbidez	NTU	2.57	1.08	0.41	5

El estudio recolectó un total de 210 muestras, 70, por cada planta potabilizadora. Según la INEN-1108:2020, la concentración límite permisible de Cloro libre residual debe estar entre 0.3 a 1.5 mg/l y el valor límite permisible de pH, es de 6.5 a 8 u pH. De acuerdo a lo establecido y en base a los resultados obtenidos del presente estudio, el 24.28 % de las muestras analizadas de la planta El Cebollar, presentaron un valor inferior al límite permisible para Cloro libre residual, mientras que, de las muestras correspondientes a la planta de Tixán, el 25.71 % tampoco cumplieron con lo establecido; respecto a las muestras analizadas de la planta de Sustag, el 17.14% de muestras no cumplen con el límite mencionado.

Del análisis de la concentración de Cloro libre residual, se observa un valor máximo de 1.87 mg/l a la salida del tratamiento, que resulta ser mayor al límite superior, mientras que, el valor mínimo difiere significativamente al límite inferior, llegando incluso, a obtener un valor nulo en la red de distribución. Estos valores corresponden a los puntos más lejanos a las plantas potabilizadoras.

Se aprecia que existe una relación entre el valor de pH y la concentración de Cloro libre residual, pues la efectividad del Cloro se ve afectada por el pH del agua, la cloración del agua no es efectiva cuando el pH es superior a 7.2 o inferior a 6.8 (OMS, 2019). En los datos presentados en las plantas de El Cebollar y Tixán (Tabla 8 y 10), se observa que cuando el pH es mayor a 8.29, el valor de Cloro libre residual en los puntos más lejanos es igual a 0, en los dos casos encontrados. Para un valor de pH igual a 8.13, en la planta potabilizadora de Sustag en el periodo seco a la salida del tratamiento (S) (Tabla 13), la concentración de Cloro libre residual se encontró dentro del límite establecido, en dos casos, se registró un valor de 0 para el Cloro libre residual en la red de distribución (D); sin embargo, es fundamental considerar que, este valor se obtiene en puntos que se encuentran considerablemente alejados de la planta potabilizadora, por lo que se puede despreciar estos valores.

De manera general, se conoce que el Sulfato de Aluminio en solución presenta coagulación por barrido, lo cual permite que las partículas queden atrapadas al producirse una sobresaturación del precipitado de hidróxido de Aluminio, que requiere de un incremento de la dosis de coagulante para obtener bajos valores de turbiedad, lo que tiene como consecuencia directa, el incremento del Aluminio residual en el agua potable (Flórez, 2011).

De acuerdo a los valores de la concentración de  $Al^{3+}$  obtenidos en el estudio y las variaciones a lo largo de las muestras, podemos apreciar que el valor máximo de concentración de  $Al^{3+}$ , es inferior al límite establecido tanto por el TULSMA (0.2 mg/l), así como por la OMS (0.2 mg/l) en el caso del agua procedente de las plantas potabilizadoras El Cebollar y Sustag en los dos periodos de estudio, mientras que, el valor máximo de concentración de  $Al^{3+}$ , correspondiente a la planta potabilizadora Tixán, superó en dos ocasiones, los límites establecido por ambas normas, siendo el primero, superior al límite establecido por el TULSMA (punto de recepción) durante el periodo húmedo y el segundo, en un punto de la red de distribución, superando al límite establecido por la OMS, durante el periodo seco, lo que puede relacionarse con la turbidez de 3.85 NTU que presenta el agua durante la recolección en el punto de recepción, los tratamientos empleados para la potabilización del agua son semejantes y dicha variación también puede darse, debido a que la presencia de minerales en el agua depende en gran medida del camino que atraviesa la fuente principal de abastecimiento.

El agua que presenta valores mayores a 10 unidades de pH, provoca irritaciones de órganos internos y mucosas e incluso procesos de ulceración, cuando el agua presenta valores bajos de pH, influye en la corrosión de las redes de distribución, el pH influye en el proceso de coagulación química y desinfección (Pérez López, 2016). Los límites establecidos por la normativa INEN-1108:2020 van desde 6.5 hasta 8 u pH, los resultados analizados, presentan un mínimo de 6.56, es decir, todas las muestras analizadas cumplen con el límite inferior, mientras que el valor máximo obtenido es de 8.31, que resulta ser mayor al límite superior establecido por la normativa NTE INEN 1108-2020, este valor, no resulta peligroso para el consumo humano, pues el rango se extiende hasta un valor de 8.5, según lo establecido en el reglamento para la calidad del agua potable de Costa Rica (Poder Ejecutivo, 2005).

La variabilidad del pH de un sector a otro, puede darse por el tratamiento aplicado al agua o por el tipo de fuente de la cual proviene, pues presentará diferencia en la cantidad de minerales que posee, lo que a su vez, genera alteraciones del pH del agua (Mora & Mata, 2003).

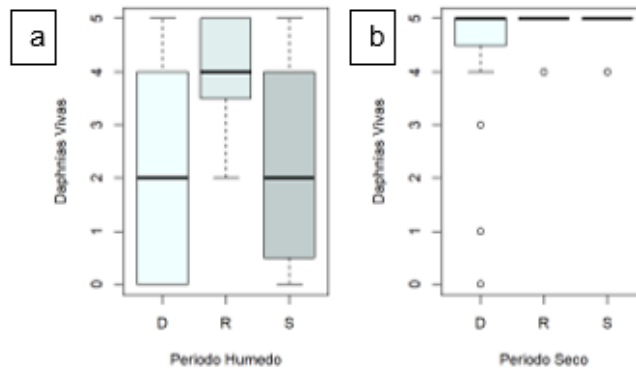


## 5.2 Análisis inferencial

### 5.2.1 Análisis de las muestras en función al periodo

#### Figura 5

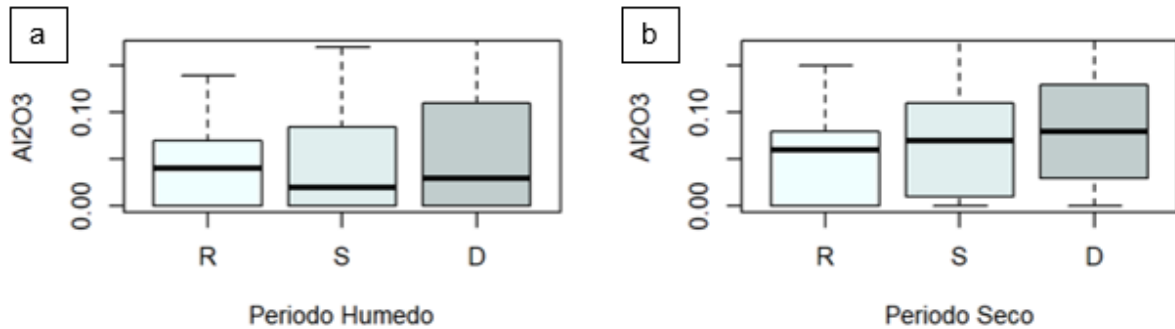
Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de *Daphnias Magnas Vivas* a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco



En la Figura 5a, se observa el diagrama de caja y bigotes del número de *Daphnias Magnas* vivas en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo. Mediante Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia menor al 5 %. De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución, permaneciendo más *Daphnias magnas* vivas en la recepción. Mientras que en la Figura 5b corresponde al periodo seco. Mediante Kruskal Wallis test, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el número de *Daphnias Magnas* vivas encontradas en los tres tipos de muestras de agua. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, únicamente para el agua de distribución, “less”  $w=58$   $p\text{-value}=0.002771$ . Habiendo más *Daphnias Magnas* vivas en el periodo seco.

**Figura 6**

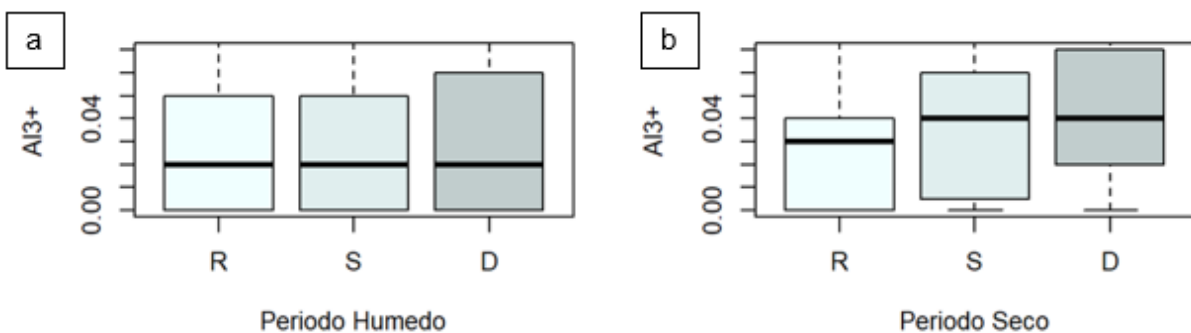
Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.



En la Figura 6a, se observa el diagrama de caja y bigotes del contenido de óxido de aluminio en la recepción (R), la salida (S) y la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo. La Figura 6b, muestra el diagrama de caja y bigotes del contenido de óxido de aluminio en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo seco. Mediante Kruskal-Wallis test, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de óxido de aluminio, encontradas en los tres tipos de muestras de agua, ni en el periodo húmedo, ni en el seco. Comparando entre periodos, mediante Wilcoxon test, se pudo establecer que existe diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, únicamente para el agua de distribución, “less”  $w=2068.5$   $p\text{-value}=0.002415$ ; donde hay más óxido de aluminio en el periodo húmedo.

**Figura 7**

Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Aluminio a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.

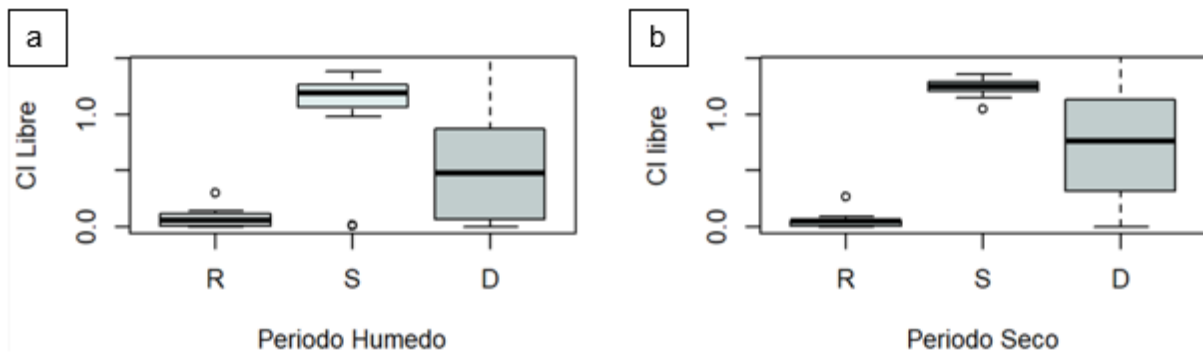


En la Figura 7a, se observa el diagrama de caja y bigotes de concentración del catión aluminio en la recepción (R), la salida (S) y la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo. La Figura 7b, muestra el diagrama de caja y bigotes del contenido del catión aluminio en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo seco. Mediante Kruskal-Wallis test, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas

entre los niveles de óxido de aluminio encontradas en los tres tipos de muestras de agua, tanto en el periodo húmedo como seco. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, únicamente para el agua de distribución, “less”  $w=2221.5$   $p\text{-value}=0.01247$ . Hay más aluminio en el periodo húmedo.

**Figura 8**

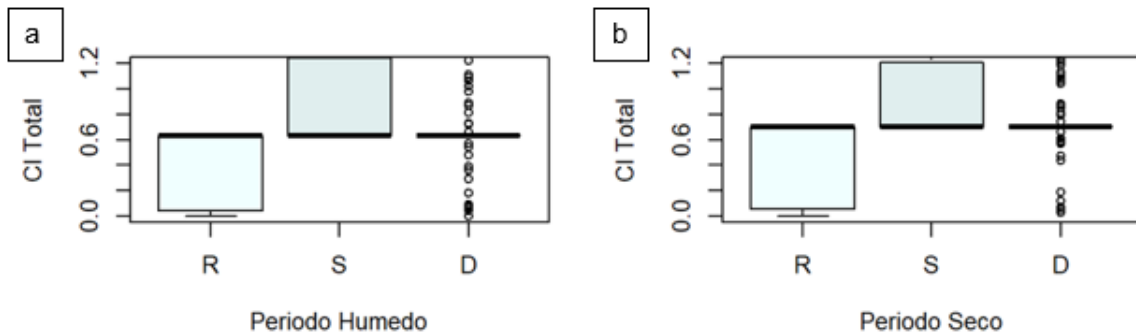
*Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Cloro libre residual a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.*



En la Figura 8a, se observa el diagrama de caja y bigotes de concentración del cloro libre residual en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo; por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia menor 5 % ( $\chi^2 = 26.933$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 1.418e-06$ ). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución. Como era de esperarse, se encontró mayor cantidad de cloro en la salida de la planta, luego en la distribución y no se encontró cloro en la recepción de agua. La Figura 8b, muestra los boxplot de la cantidad de cloro libre residual en el periodo seco. Analizando las diferencias de medianas de las concentraciones de cloro libre residual por Kruskal-Wallis test, encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % ( $\chi^2 = 26.933$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 1.418e-06$ ). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución, siguiendo la misma distribución antes explicada en el periodo húmedo. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, únicamente para el agua de distribución “less”  $w=2144$   $p\text{-value}=0.006013$ , siendo mayor la cantidad de cloro en el periodo seco.

**Figura 9**

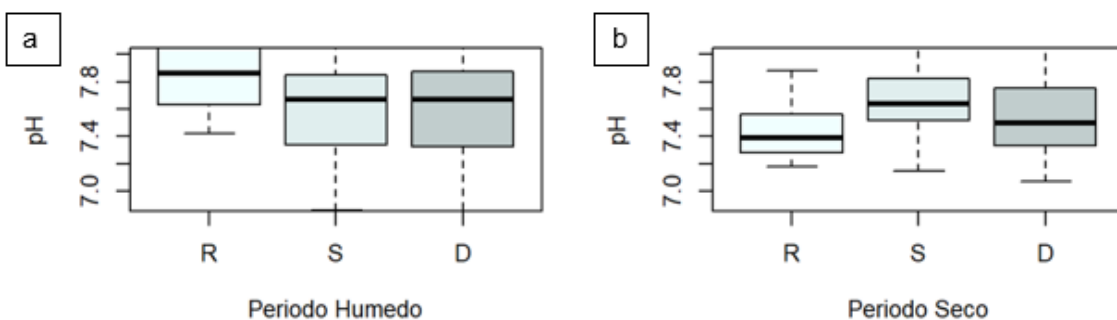
Diagrama de Caja y bigotes de Contenido de Cloro total a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.



En la Figura 9a, se observa el diagrama de caja y bigotes de concentración de cloro total en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo; por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 14.61, df =2, p-value = 0.0006722). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución. La Figura 9b, muestra el diagrama de caja y bigotes del contenido de cloro total en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo seco. por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 15.196, df =2, p-value = 0.0005015). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución, siguiendo la misma distribución antes explicada, en el periodo húmedo. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, para el agua cruda, “less” w=68.5 p-value=0.03163, agua de salida de la planta, “less” w=74 p-value=0,05257 y agua de distribución, “less” w=1525.5 p-value=6.114e<sup>-7</sup>. Hay más aluminio en los tres casos, en el periodo seco.

**Figura 10**

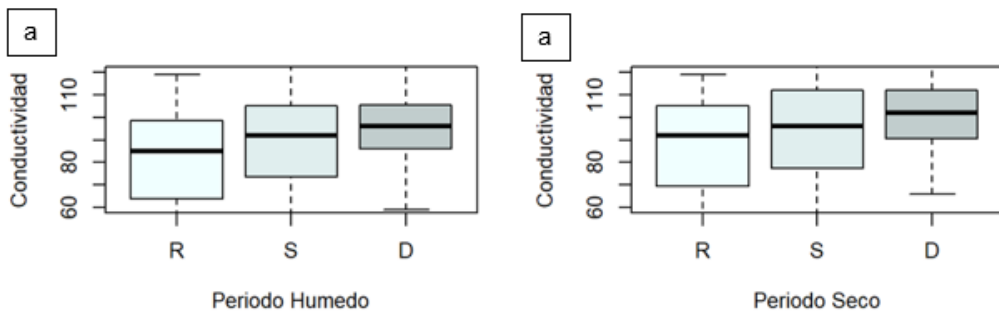
Diagrama de Caja y bigotes de pH a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.



En la Figura 10a, se observa el diagrama de caja y bigotes del pH del agua en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo; por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % ( $\chi^2 = 6.1624$ ,  $df = 2$ ,  $p\text{-value} = 0.0459$ ). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre la recepción, la salida y la distribución. La Figura 10b, muestra el diagrama de caja y bigotes del pH del agua en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo seco. Por Kruskal-Wallis test, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco, únicamente para el agua cruda con “greater”  $w=199$   $p\text{-value}=0.0001796$ . El pH es mayor en el periodo húmedo.

**Figura 11**

*Diagrama de Caja y bigotes de Conductividad a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco.*

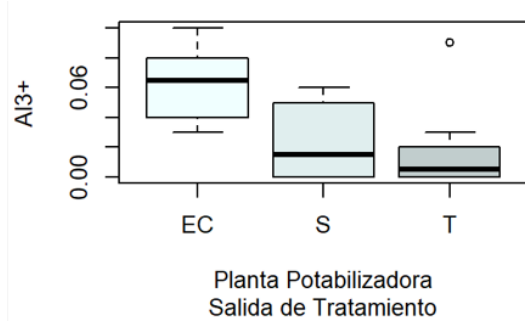


En la Figura 11a, se muestra el diagrama de caja y bigotes de la conductividad del agua en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo húmedo y la Figura 11b, muestra el diagrama de caja y bigotes de la conductividad del agua en la recepción (R), en la salida (S) y en la distribución (D) de las plantas en el periodo seco. por Kruskal-Wallis test, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Comparando entre periodos, mediante el Wilcoxon test, se pudo establecer que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de los periodos húmedo y seco sólo para el agua de distribución con “less”  $w=2359.5$   $p\text{-value}=0.04444$ , siendo mayor en el periodo seco.

5.2.2 Análisis de las muestras en función a la planta

Figura 12

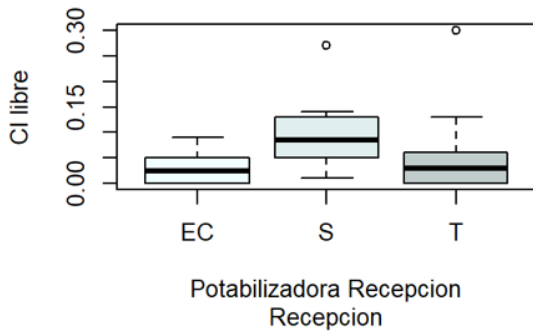
Diagrama de Caja y bigotes de Aluminio Al3+ a la salida del tratamiento de agua.



En la Figura 12, se observa el diagrama de caja y bigotes del catión aluminio del agua a la salida de tratamiento de potabilización de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al 5 menos % (chi-squared = 11.787, df=2, p-value=0.002757). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. Siendo el de mayor concentración el de la planta de El Cebollar, en el que se observa que la concentración supera los 0.06 mg/L.

Figura 13

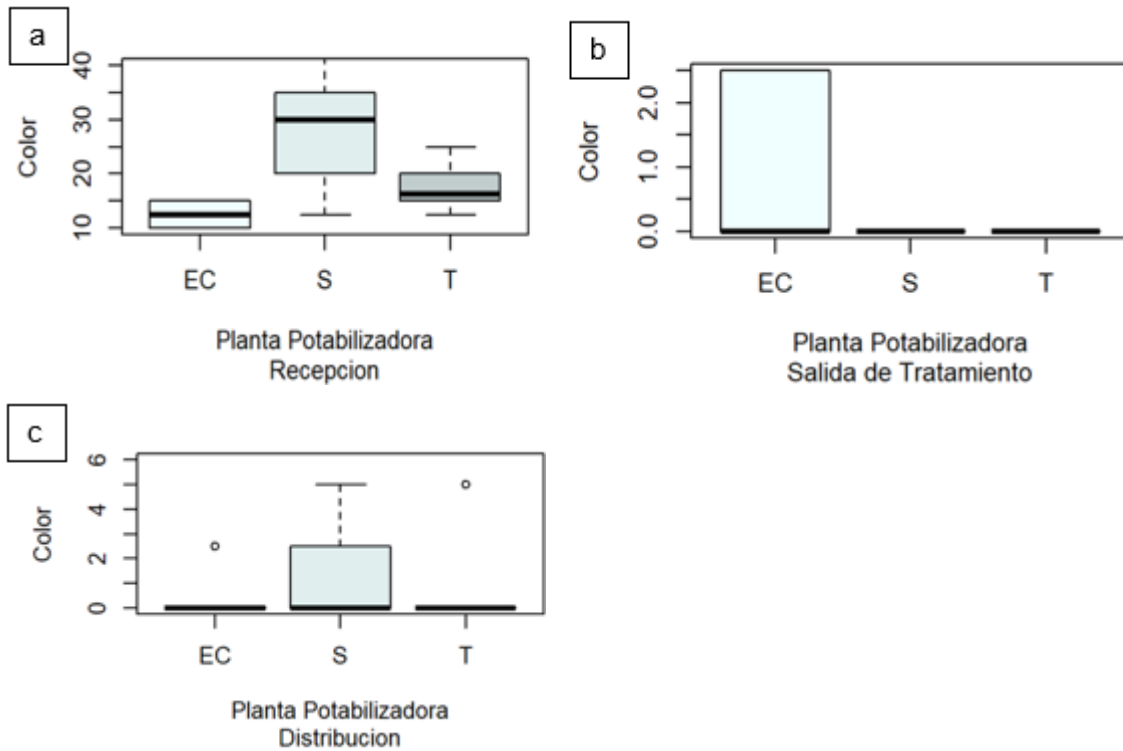
Diagrama de Caja y bigotes de cloro libre residual a la recepción del tratamiento de agua.



En la Figura 13, se presenta el diagrama de caja y bigotes del cloro libre residual del agua a la recepción de tratamiento de potabilización de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de al 5 menos % (chi-squared = 6.036, df=2, p-value=0.0489). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. Se puede observar que la planta de potabilización de Sustag tiene la mayor concentración de cloro, mientras que las otras dos plantas, El Cebollar y Tixán, son más parecidas entre sí.

**Figura 14**

Diagrama de Caja y bigotes de color a la a) recepción b) salida c) distribución del tratamiento de agua.

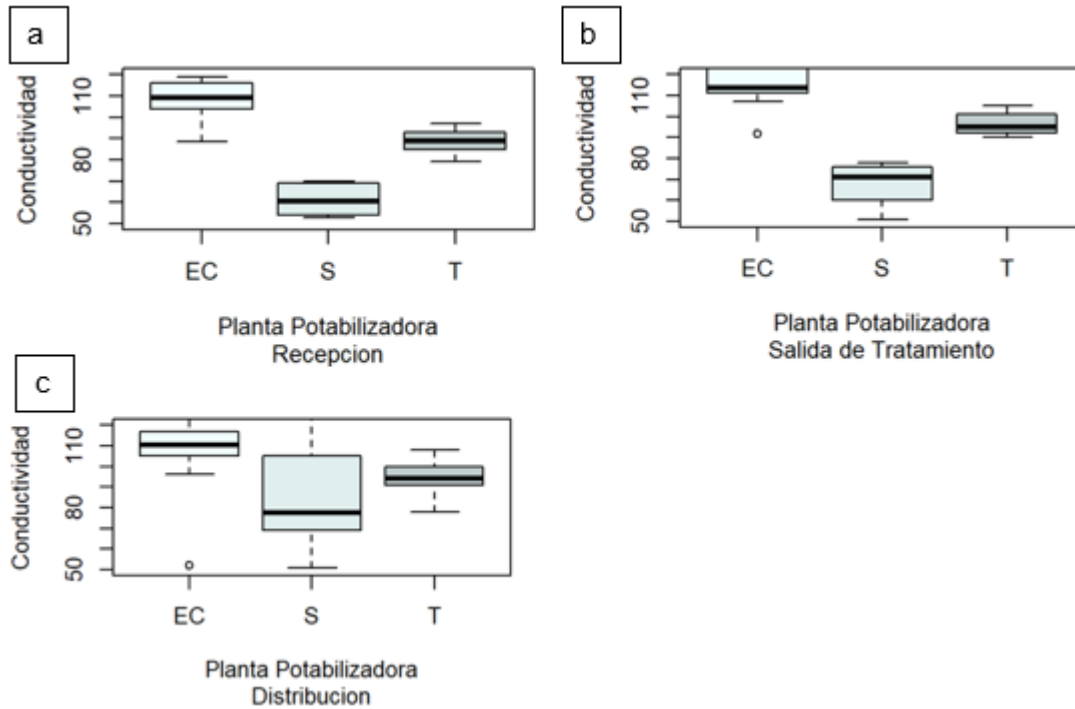


En la Figura 14a, se observa el diagrama de caja y bigotes del color del agua a la recepción al tratamiento de potabilización de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 15.352, df=2, p-value=0.00046391). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. A la planta de Sustag, fue a la que llegaba agua cruda con mayor color. En la Figura 14b, observa el diagrama de caja y bigotes del color del agua a la salida de tratamiento de potabilización de las plantas. El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 0.4444, df=2, p-value=0.03987). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización, donde la planta de El Cebollar presentó mayor color. En la Figura 14c se observa el diagrama de caja y bigotes del color del agua en la distribución proveniente de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T). Por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared 25.982, df=2, p-value=2.28e<sup>-6</sup>). De acuerdo al post

hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. En la planta de Sustag se presentó mayor color.

**Figura 15**

*Diagrama de Caja y bigotes de conductividad a la a) recepción b) salida c) distribución del tratamiento de agua.*



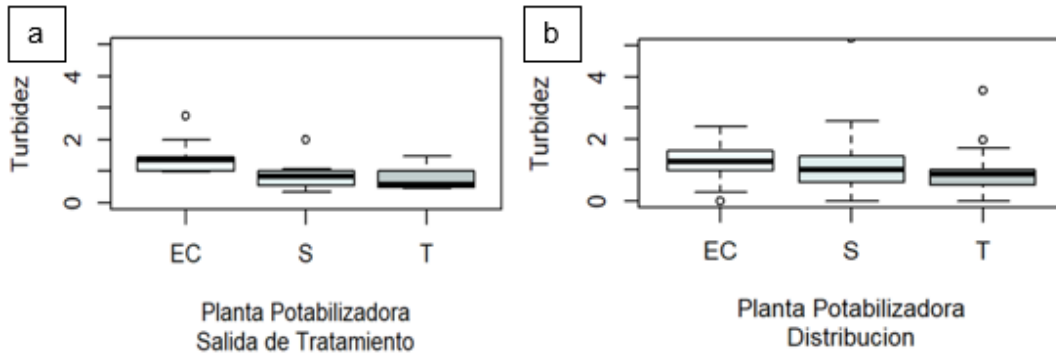
En la Figura 15a, se encuentra el diagrama de caja y bigotes de conductividad del agua a la recepción de tratamiento de potabilización de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 24.164 df=2, p-value=5.66e<sup>-6</sup>). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. Siendo así que la planta de El Cebollar, la que tiene mayor conductividad. En la Figura 15b, se observa el diagrama de caja y bigotes de conductividad del agua a la salida de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T); por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 23.939, df=2, p-value=6.33e<sup>-6</sup>). De acuerdo al post hoc, las diferencias están entre la planta de Tixán y las otras dos plantas. En la Figura 15c, se observa el diagrama de caja y bigotes de la conductividad del agua en la distribución de las plantas el Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T). Por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared 55.788, df=2 p-value=7.687e<sup>-13</sup>). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización.



La conductividad en la planta de potabilización de El Cebollar, es mayor que en las otras plantas.

Figura 16

Diagrama de Caja y bigotes de turbidez a la a) salida c) distribución del tratamiento de agua.



En la Figura 16a, se observa el diagrama de caja y bigotes de la turbidez del agua a la salida del tratamiento de potabilización de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 10,339, df=2, p-value=0.005713). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. En la Figura 16b observa el diagrama de caja y bigotes de la turbidez del agua en la distribución de las plantas El Cebollar (EC), Sustag (S) y Tixán (T), por Kruskal-Wallis test, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de al menos 5 % (chi-squared = 17.615, df=2, p-value=0.0001496). De acuerdo al post hoc, las diferencias se encontraron entre las tres plantas de potabilización. En ambos casos el agua de la planta de El Cebollar, presentó mayor turbidez.

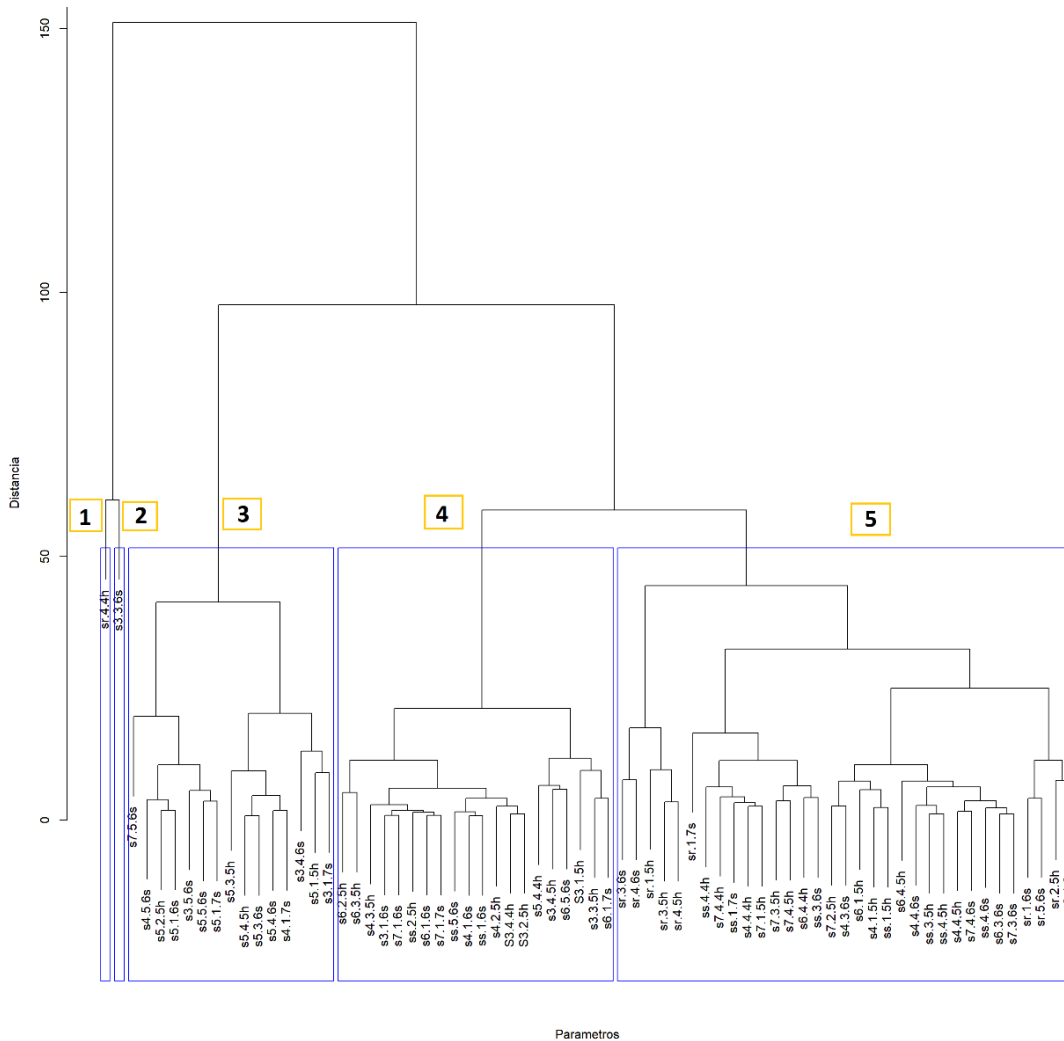
### 5.3 Análisis de Clústers

Las Figura 17, 18 y 19 se clasifican en subgrupos a conveniencia, para facilitar el análisis, para lo cual se enumeran de izquierda a derecha, iniciando en 1,2,3... según se requiera.

#### 5.3.1 Clúster Planta Potabilizadora de Sustag

La Figura 17, se clasifica en dos grupos, el primero está conformado por dos muestras, mientras que el segundo se divide en subgrupos, razón por la cual se ha considerado 5 subgrupos.

**Figura 17**  
*Clúster Planta Potabilizadora de Sustag*

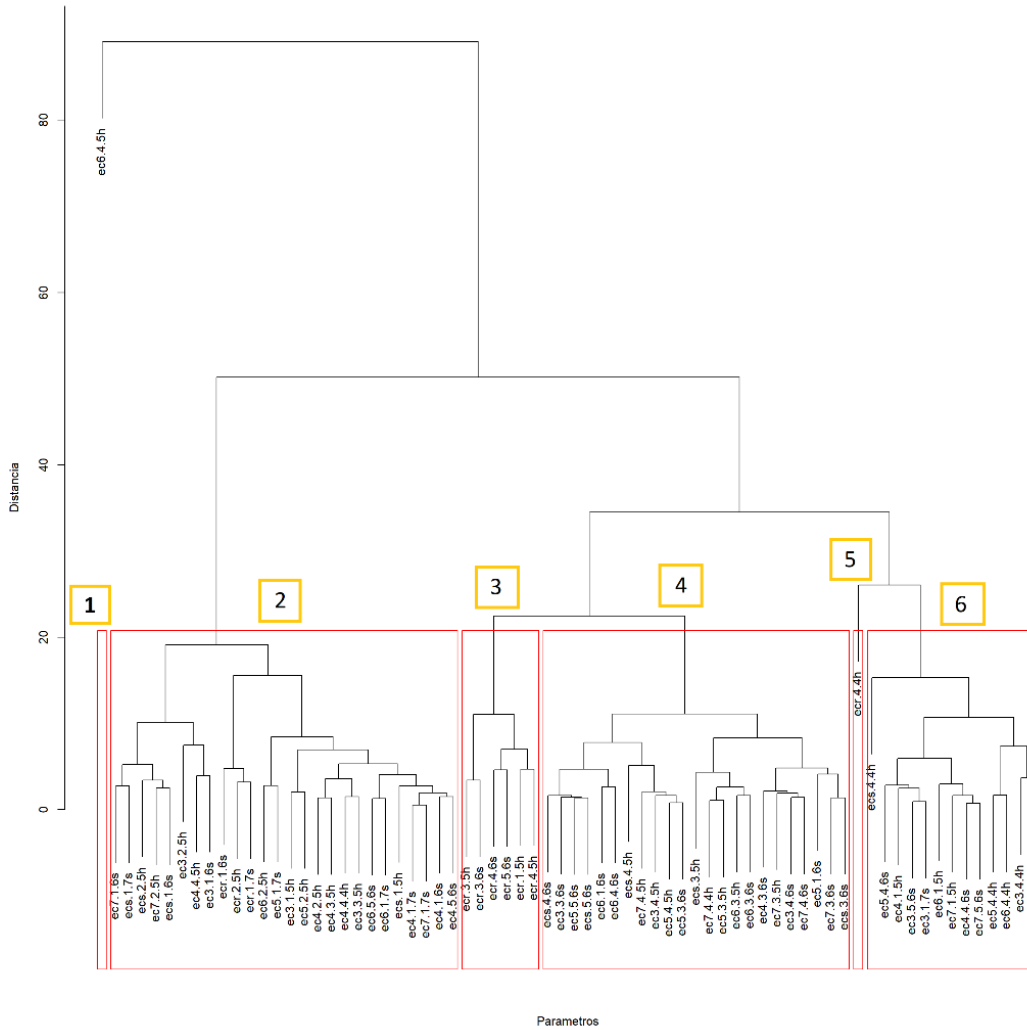


Se aprecia que los subgrupos 3 y 4 están formados por las muestras recolectadas a la salida del tratamiento y en la red de distribución, además, estos dos subgrupos contienen muestras recolectadas en el periodo húmedo y seco, pues al tratarse de agua sometida a un tratamiento de potabilización, sus características no varían en gran medida. El subgrupo 5, está conformado por muestras pertenecientes al punto de recepción, puntos en la red de distribución y a la salida del tratamiento, igualmente para ambos periodos de estudio. Puede apreciarse también que, ciertos conjuntos de los subgrupos 3, 4, 5, presentan un nivel semejante para muestras de agua potable, mientras que los conjuntos formados por las muestras de agua de recepción, se encuentran a la misma altura, es decir sus características son parecidas.

5.3.2 Clúster Planta Potabilizadora El Cebollar

La Figura 18, muestra dos grupos de los cuales, el primero corresponde a un punto de la red de distribución en el periodo húmedo y el grupo dos, se divide en varios subgrupos, para el análisis se ha considerado la división en 6 subgrupos.

Figura 18  
Clúster Planta Potabilizadora El Cebollar.



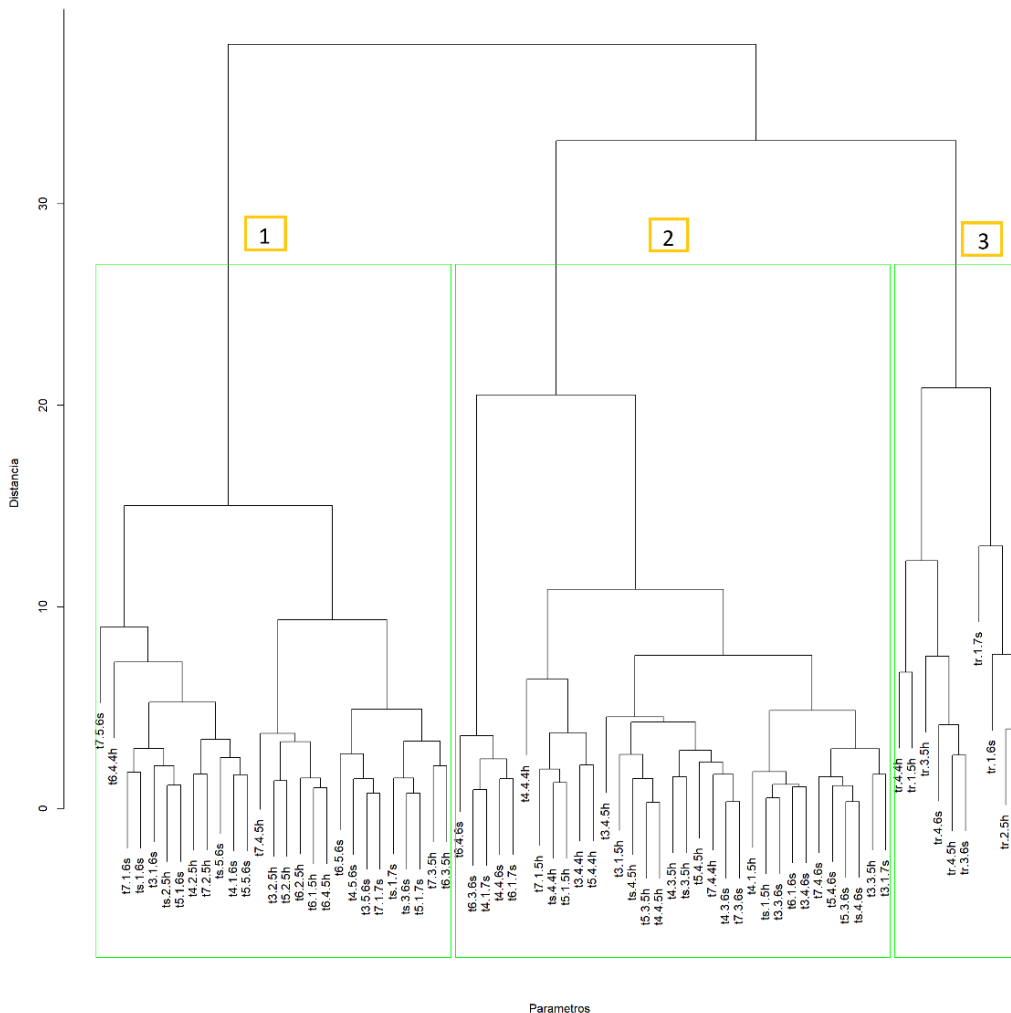
En la Figura 18, se aprecia que los subgrupos 2, 4, 6, están formados por muestras correspondientes a la red de distribución y a la salida del tratamiento, el subgrupo 3, está formado únicamente por muestras correspondientes al punto de recepción, es decir muestras de agua cruda. También puede observarse que 5 de los 6 subgrupos presentan un nivel de altura similar, es decir sus propiedades son semejantes, a excepción del subgrupo 1, esta semejanza de propiedades se relaciona ya que el agua cruda que ingresaba a esta planta de

tratamiento presentó mejores características respecto a las de las otras dos plantas de estudio.

**5.3.3 Cluster Planta Potabilizadora Tixán**

El clúster de la planta potabilizadora de Tixán se divide en dos grupos el primer grupo está conformado por muestras de agua potable, y el segundo formado por muestras de agua cruda y potable. Para facilitar el análisis se considera una subdivisión en 3 conjuntos (Figura 19).

**Figura 19**  
Cluster Planta Potabilizadora Tixán.



En el primer grupo contiene únicamente muestras de agua potable, es decir muestras recolectadas a la salida del tratamiento y en la red de distribución. El segundo, se divide en dos subgrupos que contiene muestras de agua cruda y agua potable. El subgrupo 2, contiene

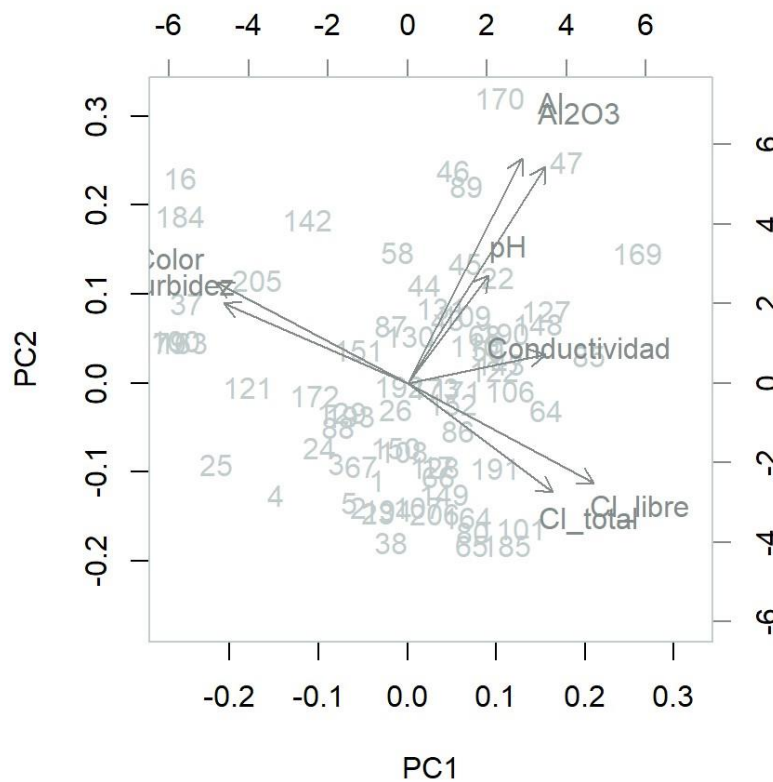
muestras de la red de distribución y a la salida del tratamiento. Los conjuntos de muestras del grupo 1 y subgrupo 2 presentan un nivel semejante, pues al tratarse de agua sometida a un tratamiento, sus propiedades son similares. El subgrupo 3, presenta una mayor variabilidad de altura por pares, lo cual puede relacionarse con la variación en ciertas características como turbidez y color durante los dos periodos de estudio.

**5.4 Componentes principales**

Permite reducir la dimensionalidad, ayuda a disminuir los datos que poseen muchas dimensiones, buscando las principales que deciden la estructura básica del mismo.

**Figura 20**

*Componentes principales en la Planta de Potabilización Sustag, gráfica de doble proyección.*

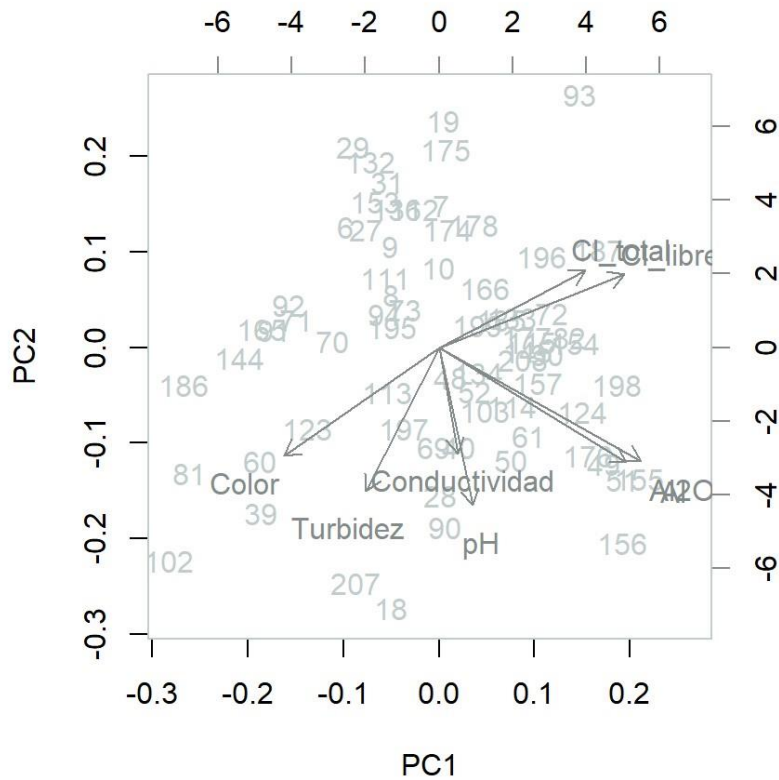


La Figura 20, es una gráfica de doble proyección, observa un comportamiento normal en los datos, se ven unos valores atípicos, en la parte superior del cuadrante superior derecho y en la parte izquierda del cuadrante superior izquierdo, donde existen datos alejados del resto. Se vislumbra que la conductividad, el cloro libre y el cloro total tienen influencia positiva en el

componente 1, por lo que se consideran las más influyentes en el proceso; por otro lado, la turbidez y el color tienen influencia negativa en el componente 1. Por otro lado,  $Al^{3+}$  y  $Al_2O_3$ , tiene influencia positiva en el componente 2.

**Figura 21**

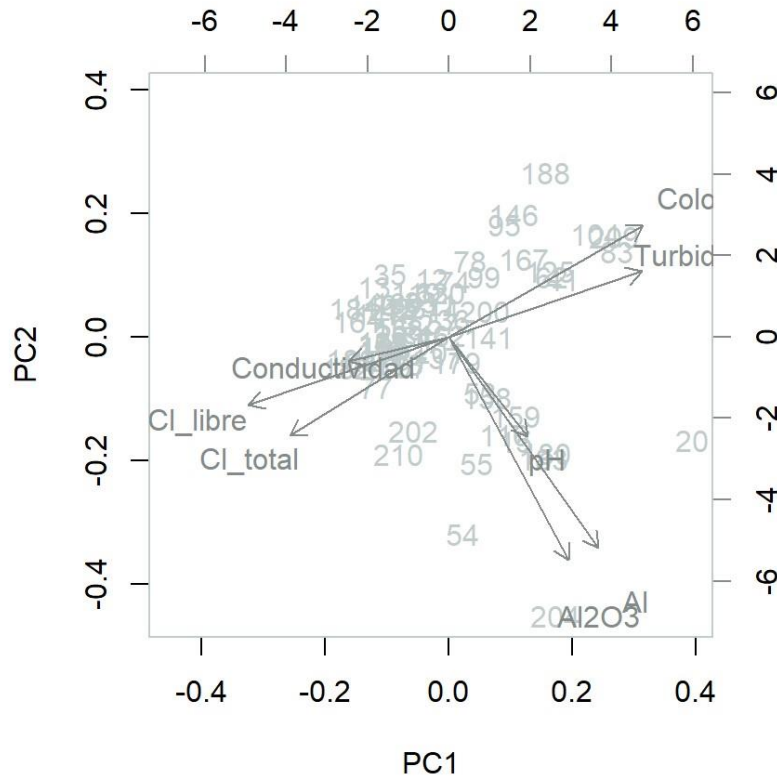
*Componentes principales en la Planta de Potabilización El Cebollar.*



La Figura 21, presenta la gráfica de doble proyección de la planta de potabilización El Cebollar, en esta se puede observar anomalías que la distribución de los datos tanto en la esquina superior derecha, como en la esquina inferior izquierda. Por otro lado, tenemos que el cloro total, el cloro libre residual, el  $Al^{3+}$  y el  $Al_2O_3$  tienen influencia positiva en el factor 1, mientras que la conductividad, el pH y la turbidez tiene influencia negativa en el factor 2.

**Figura 22**

*Componentes principales en la Planta de Potabilización Tixán.*



En la Figura 22, se observa la gráfica de doble proyección de la planta de potabilización Tixán, en esta se puede observar que la distribución de los datos es normal en su mayoría, a excepción de una anomalía en la esquina inferior derecha. Por otro lado, tenemos que el color y la turbidez tienen influencia positiva en el factor 1; la conductividad, el cloro libre residual y total tienen influencia negativa en el factor 1; mientras que el pH, el  $Al^{3+}$  y el  $Al_2O_3$  tienen influencia negativa en el factor 2.

**5.5 Cafeína**

En los análisis realizados no se encontraron rastros de cafeína en el agua, dentro de los límites de detección establecidos en el método, el límite de detección de la curva de calibración es de 0.025  $\mu g/l$ .

**Tabla 14**

*Valores de cafeína en las diferentes Plantas de Potabilización de Agua.*

<b>Metabolito</b>	<b>Tixán</b>	<b>Cebollar</b>	<b>Sustag</b>
<b>Cafeína</b>	<LD	<LD	<LD

En la Tabla 14, del estudio de la cafeína, en los análisis realizados no se encontraron rastros en el agua, dentro de los límites de detección establecidos en el método. En normativas como son TULSMA, NTE INEN-1108:2020, Organización Mundial de la Salud 2011 “Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano”, no fijan ningún límite de concentración para cafeína.

Existen diversos estudios en los que se ha detectado agua contaminada con los conocidos contaminantes emergentes CE’s, entre los que se destaca la cafeína, la Tabla 4 muestra algunos países y sus zonas en las que se ha realizado estudios en los que se encontró altos niveles de cafeína como es el caso de España, Estados Unidos y Ecuador, de este último se destaca que pese a que en ese estudio se encontraron altas concentraciones de cafeína en el país, de las cuales, la ciudad de Cuenca presentó la mediana de mayor concentración de cafeína, no obstante, en este estudio realizado no se detectó concentración alguna de cafeína, dicha variación de resultados puede deberse a que en el estudio de (Jara-Negrete et al., 2023) en “Pharmaceutical compounds in urban drinking waters of Ecuador”, se considera muestras puntuales, mientras que este estudio realizó el análisis en base a 210 muestras distribuidas por toda la ciudad de Cuenca, considerando tres diferentes plantas potabilizadoras y con 5 puntos aleatorios repartidos en cada red de distribución correspondiente. Hay que mencionar que el agua suministrada a la ciudad de Cuenca, proviene directamente de los páramos, es decir, no atraviesa por puntos susceptibles de contaminación, ya que las plantas potabilizadoras se encuentran en zonas relativamente alejadas de la ciudad, esto se pudo comprobar al analizar el agua en el punto de recepción de cada planta y verificar que las propiedades del agua, se encuentran dentro de los límites establecidos por diferentes normativas.

Para las otras ciudades de la región costera y amazónica que también presentaron contenido de cafeína, debe considerarse que el agua proviene de los páramos y ríos de la región sierra, es decir, esta agua circula a través de algunas ciudades como Quito, Ibarra, Cuenca, etc. El agua en su recorrido es susceptible de contaminación, ya sea por procesos de tratamiento de aguas residuales ineficientes, vertederos ilegales, etc. Es decir, la cafeína contenida puede



proceder de manera antropogénica. También puede originarse de forma natural, pues se conoce que en la región costera es común el cultivo del café y cultivo de té, mientras que, en la Amazonía, es común el cultivo de té y cultivo y consumo de guayusa, cuya presencia en el medio ambiente puede generar concentraciones de cafeína en el agua de forma natural.

## Capítulo VI: Conclusiones

El trabajo propuesto permitió caracterizar el agua potable de la ciudad de Cuenca en los sectores de Tixán, Cebollar y Sustag en periodo húmedo y periodo seco, en el año 2023; al analizar las características fisicoquímicas, contenido de aluminio, cloro libre residual y cafeína, se determinó que los valores medios si cumplen con las normativas para agua potable.

En el estudio, los puntos de muestreo fueron representativos para cada red de distribución, incluyéndose el punto de recepción por planta, lo que permitió conocer la variación de propiedades del agua antes y después de ser sometida a un tratamiento de potabilización, esto garantizó la coherencia de los resultados.

Los valores medios de los parámetros físico-químicos de las muestras estudiadas de agua potable conjuntamente a la salida del tratamiento y en la red de distribución son los siguientes: color=0.527 Pt/Co, pH=7.572 unidades de pH, conductividad=95.44  $\mu$ S, turbidez=1.924 NTU. En cuanto a la media de Cloro libre residual se obtuvo un valor de 0.796 mg/l, mientras que la media del contenido de Aluminio es de 0.04217 mg/l. Respecto al contenido de Aluminio se presentaron dos valores máximos que no cumplieron la norma, corresponde a la planta potabilizadora de Tixán, el primero, en el agua de recepción (0.26 mg/l), misma que presentó un valor superior al límite establecido por el TULSMA (0.2 mg/l), el segundo en un punto de la red de distribución (0.23 mg/l), cuyo contenido de Aluminio supera el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (0.2 mg/l), sin embargo, debe considerarse que estos valores se presentaron una sola vez durante el estudio y en diferentes periodos, lo cual pudo darse debido a que las propiedades que presenta el agua varían de acuerdo al camino que sigue la fuente de abastecimiento y a una posible alteración en la matriz de distribución en ese punto, por lo cual, se desprecia, ya que no es representativo, ni repetitivo. Por lo que se concluye que, todas las plantas cumplieron con la correspondiente norma: TULSMA (agua cruda) e INEN y OMS (agua potable). Finalmente, en las muestras analizadas no se registró contenido de cafeína; esto podría deberse a que el agua que es suministrada en la ciudad de Cuenca no se encuentra expuesta a fuentes de contaminación de origen antropogénico y/o natural, ya que proviene directamente de los páramos de la ciudad.

Se realizó el análisis estadístico descriptivo, inferencial y multivariado de los parámetros determinados, considerando las plantas de tratamiento y el periodo de muestreo y se encontró una variación significativa en las propiedades del agua cruda, respecto al agua potable, en los parámetros color y turbidez, además de cloración, estas variaciones resultan positivas, pues los resultados reflejan disminución en el valor de características (color y turbidez) los

cuales se recomienda que su valor sea nulo o bajo, lo que se relaciona con un tratamiento convencional de potabilización eficiente. También se aprecia que las propiedades fisicoquímicas entre plantas y periodos, presentan baja variabilidad y estaban dentro de los límites establecidos por la norma a pesar de que existieron algunas excepciones.

En conclusión, el agua potable que consume la población de Cuenca, proveniente de las tres plantas potabilizadoras de estudio, es apta para consumo humano, de acuerdo a los parámetros físico-químico, cloro libre residual, aluminio y cafeína analizados.

### Referencias

- Acciona Business As Unusual. (2020). *Potabilización Del Agua*. Acciona Business As Unusual. <https://www.accionacom.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/>
- Alquera. (2021). Sulfato De Aluminio Para Potabilización Del Agua. *Alquera.Com*. <https://www.alquera.com/sulfato-de-aluminio/potabilizacion-agua/>
- Araujo, G. S., Pavlaki, M. D., Soares, A. M. V. M., Abessa, D. M. S., & Loureiro, S. (2019). Bioaccumulation And Morphological Traits In A Multi-Generation Test With Two Daphnia Species Exposed To Lead. *Chemosphere*, 219, 636-644. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.049>
- Arcentales, Y., & Carrión, A. (2021). *Estudio Estadístico Multivariado Aplicado A La Evaluación De La Calidad Del Agua Potable Y Residual De La Ciudad Cuenca Usando Parámetros Físico Químicos, Contenido De Metales Y Evaluación Biotoxicológica Del Agua Potable Mediante El Uso De Daphnias*. Universidad De Cuenca.
- Bravo, J. E. B. (2009). Contaminantes Emergentes En El Agua. *Revista Digital Universitaria* (1607 - 6079). Vol.10, No.8 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.049>
- Cedeño Flores, G., & Cedeño Cedeño, J. (2018). *Eficiencia Del Proceso De Coagulación/Floculación Aplicado Como Tratamiento Primario En Efluentes Industriales De Refinacion Aceites Comestibles* [Universidad Laica Ely Alfaro De Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3093/1/Uleam-Rna-0059.pdf>
- Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Jara-Negrete, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafla, S., Custode, F., Vilaña, G., Carpintero, N., & Ochoa-Herrera, V. (2020). Heavy Metal Assessment In Drinking Waters Of Ecuador: Quito, Ibarra And Guayaquil. *Journal Of Water And Health*, 18(6), 1050-1064. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.093>
- Cirelli, A. F. (2012). El Agua: Un Recurso Esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
- Dafouz Ramírez, R., & Valcárcel, Y. (2017). Cafeína Como Contaminante Ambiental. *Revista De Toxicología*, 34(2), 136-142.

Escribano, B. (2007). *Una Visión Sostenibilista Sobre Escasez Del Agua Dulce En El Mundo*.

2.

Etapa Ep. (2020). *Etapa Ep - Servicios De Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable, Alcantarillado De Cuenca—Ecuador > Principal > Agua Potable > Operación Y Mantenimiento > Plantas De Potabilización*.

[https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/operacion-y-](https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/operacion-y-mantenimiento/plantas-de-potabilizacion)

[Mantenimiento/Plantas-De-Potabilizacion](https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/operacion-y-mantenimiento/plantas-de-potabilizacion)

Fawell, J., & Ong, C. N. (2012). Emerging Contaminants And The Implications For Drinking Water. *International Journal Of Water Resources Development*, 28(2), 247-263.

<https://doi.org/10.1080/07900627.2012.672394>

Flórez, J. M. C. (2011). Clarificación De Aguas Usando Coaguantes Polimerizados: Casi Del Hidroxicloruro De Aluminio. *Dyna*, 78(165), Article 165.

Fundación Aquae. (2021a). *¿Cuánta Agua Potable Hay En La Tierra?* Fundación Aquae.

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>

Fundación Aquae. (2021b). *La Importancia Del Agua En Los Seres Vivos*. Fundación Aquae.

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/>

Gardinali, P. R., & Zhao, X. (2002). Trace Determination Of Caffeine In Surface Water Samples By Liquid Chromatography–Atmospheric Pressure Chemical Ionization–Mass Spectrometry (Lc–Apci–Ms). *Environment International*, 28(6), 521-528.

[https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00080-6)

Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes Emergentes En Aguas, Efectos Y Posibles Tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73.

Gómez-Álvarez, A., Villalba-Atondo, A., Acosta-Ruiz, G., Castañeda-Olivares, M., & Kamp, D. (2004). Metales Pesado En El Agua Superficial Del Río San Pedro Durante 1997 Y 1999. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 20(1), Article 1.

- Hanna Instruments. (2017). *Hanna Instruments*.  
<https://www.hannacolombia.com/Productos/Producto/Hi-93712-01-Kit-De-Reactivo-Para-Aluminio-100-Tests>
- Hanna Instruments. (2018). *Hanna Instruments*.  
<https://www.hannacolombia.com/Productos/Producto/Hi-93701-01-Reactivo-En-Polvo-Para-Cloro-Libre-Metodo-Dpd-100-Tests>
- Idrovo, C. (2010). *Optimización De La Planta De Tratamiento De Uchupucún* [Bachelorthesis].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2426>
- Jara-Negrete, E., Cipriani-Avila, I., Molinero, J., Pinos-Vélez, V., Acosta-López, S., Cabrera, M., Medina-Villamizar, E. J., Leiva-Andrade, D., Pozo, A., Martínez, O., & Mogollón, N. G. S. (2023). Pharmaceutical Compounds In Urban Drinking Waters Of Ecuador. *Frontiers In Environmental Science*, 11.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2023.1232405>
- Mejía Clara, M. R. (2005). *Análisis De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano Y Percepción Local De Las Tecnologías Apropriadas Para Su Desinfección A Escala Domiciliaria, En La Microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras* [Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza].  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4434>
- Ministerio Del Ambiente. (2015). *Norma De Calidad Ambiental Y Descarga De Efluentes: Recurso Agua. Libro Vi Anexo 1*.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Mora, D., & Mata, A. (2003). *Conceptos Básicos De Aguas Para Consumo Humano Y Disposición De Aguas Residuales*.  
<https://www.aya.go.cr/centrodocumetacion/catalogogeneral/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20aguas%20para%20consumo%20humano%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales.pdf>

- Moran, M. (2017). Agua Y Saneamiento. *Desarrollo Sostenible*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Morell-Bayard, A. De La C., Bergues-Garrido, P. S., & Portuondo-Ferrer, E. R. (2015). Valoración De Los Parámetros Físico-Químicos De Las Aguas Del Río San Juan En Los Períodos Húmedo Y Seco De 2014. *Ciencia En Su Pc*, 1, 1-12.
- Mosquera, J. (2012). *Gestión Por Procesos De La Planta De Tratamiento De Agua Potable "Sustag", De Etapa* [Universidad Del Azuay].  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1462/1/09630.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivo 6: Agua Limpia Y Saneamiento | Objetivos De Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo*. Undp.  
<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/agua-limpia-saneamiento>
- Nte-Inen. (2020). *Nte-Inen 1108, Agua Para Consumo Humano Requisitos*.  
<https://docplayer.es/228762074-nte-inen-1108-sexta-revision.html>
- Núñez, M., & Hurtado, J. (2005). Bioensayos De Toxicidad Aguda Utilizando Daphnia Magna Straus (Cladocera, Daphniidae) Desarrollada En Medio De Cultivo Modificado. *Revista Peruana De Biología*, 12(1), 165-170.
- Oms. (2019). *Guías Para El Saneamiento Y La Salud*.  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330097/9789243514703-spa.pdf>
- Oms. (2022). *Agua Para Consumo Humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ospina, O. E., & Cardona García, O. H. (2021). Evaluación De La Contaminación Por Aluminio Del Agua Para Consumo Humano, Región Central De Colombia. *Inge Cuc*, 17(2), 31-41. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.2.2021.04>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación Del Agua Por Metales Pesados, Métodos De

- Análisis Y Tecnologías De Remoción. Una Revisión. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pérez López, E. (2016). Control De Calidad En Aguas Para Consumo Humano En La Región Occidental De Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3-14. <https://doi.org/10.18845/Tm.V29i3.2884>
- Poder Ejecutivo. (2005). *Reglamento De Calidad De Agua Potable*. 60.
- Popescu, R. C., Fufă, M. O. M., Grumezescu, A. M., & Holban, A. M. (2017). Nanostructured Membranes For The Microbiological Purification Of Drinking Water. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Water Purification* (Pp. 421-446). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804300-4.00012-5>
- Ríos Tobón, S., Agudelo Cadavid, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos Microbianos E Indicadores Microbiológicos De Calidad Del Agua Para Consumo Humano. *Facultad Nacional De Salud Pública: El Escenario Para La Salud Pública Desde La Ciencia*, 35(2), 2.
- Suay, L., & Ballester, F. (2002). Revisión De Los Estudios Sobre Exposición Al Aluminio Y Enfermedad De Alzheimer. *Revista Española De Salud Pública*, 76(6), 645-658.
- Taheran, M., Naghdi, M., Brar, S. K., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2018). Emerging Contaminants: Here Today, There Tomorrow! *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 10, 122-126. <https://doi.org/10.1016/J.Enmm.2018.05.010>
- Trejo, R., & Hernández, V. (2004). Riesgos A La Salud Por Presencia Del Aluminio En El Agua Potable. *Conciencia Tecnológica*, 25, 6.
- United Nations Environment Programme. (2002). *Vital Water Graphics: An Overview Of The State Of The World's Fresh And Marine Waters*. <http://www.unep.org/resources/report/vital-water-graphics-overview-state-worlds-fresh-and-marine-waters>



Valcárcel, Y., Gonzales Alonso, S., Rodríguez-Gil, J. L., Gil, A., & Catalá, M. (2011). *Detection Of Pharmaceutically Active Compounds In The Rivers And Tap Water Of The Madrid Region (Spain) And Potential Ecotoxicological Risk—Sciencedirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351100539x>

World Health Organization. (1998). *Guías Para La Calidad Del Agua Potable, Segunda Edition - Volumen 3: Vigilancia Y Control De Los Abastecimientos De Agua A La Comunidad*.  
<https://www.who.int/es/publications/i/item/9241545038>

World Health Organization. (2011). *Guías Para La Calidad Del Agua De Consumo Humano*.  
<https://www.paho.org/es/documentos/guias-para-calidad-agua-consumo-humano-4o-ed-2011>

Anexos

Anexo A

Extracto del informe usado para la recolección de datos.

Punto de muestreo	Semana 1								Semana 3							
	Al2O3	Al+3	Cl libre	Cl total	Color	pH	Conductividad	Turbidez	Al2O3	Al+3	Cl libre	Cl total	Color	pH	Conductividad	Turbidez
SP5	0,06	0,03	1,17		0	7,92	124	1,33	0,16	0,08	1,31		0	7,5	112	
SP4	0	0	0,98		0	7,34	77	0,68	0,02	0,01	0,98		0	7,68	66	0,53
SP3	0,03	0,02	0,47		0	7,29	75	0,6	0,04	0,02	0,2		0	7,86	1	0,81
SP6	0,13	0,07	0,76		0	7,62	76	1,51	0,11	0,06	0,2		0	7,33	72	1,39
SP7	0,11	0,06	0,89		0	7,68	75	1,1	0,14	0,07	0,29		0	7,45	71	1,04
ECP4	0,03	0,02	0,11		0	7,5	117	0,93	0	0	0,38		0	7,23	107	0,53
ECP3	0	0	1,34		0	7,13	125	1,39	0,11	0,06	1,22		0	7,56	114	1,25
ECP5	0,09	0,05	0,04		2,5	7,42	109	2,41	0,16	0,08	0,04		0	7,43	111	1,29
ECP6	0,14	0,07	0,8		0	7,93	113	1,46	0,13	0,07	0,75		0	7,5	108	1,11
ECP7	0,11	0,06	1,35		0	7,79	121	0,92	0	0	0,82		0	7,54	110	0,85
TP3	0,23	0,12	0,22		0	7,39	104	1,97	0,06	0,03	0,7		0	7,91	91	0,85
TP4	0,07	0,04	0,95		0	7,23	103	0,4	0,03	0,02	0,84		0	7,5	93	0,43
TP5	0,06	0,03	0,95		0	7,76	103	0,68	0,03	0,02	1,15		0	7,58	93	0,28
TP7	0	0	0		0	7,55	104	0,73	0	0	1,01		0	7,37	93	0,25
TP6	0,02	0,01	0		0	7,42	91	0,79	0,09	0,05	0,03		0	7,49	81	1,16
SRP1	0,02	0,01	0,01		20	7,23	70	3,05	0,12	0,06	0,05		30	7,88	68	2,68
SSP2	0,09	0,05	1,23		0	7,86	77	1,07	0,09	0,05	1,32		0	8,13	60	0,85
ECRP1	0,06	0,03	0,01		10	7,29	116	2,63	0	0	0,05		15	7,39	104	1,96
ECSP2	0,19	0,1	1,26		0	7,53	125	1,42	0,13	0,07	1,2		0	7,71	111	1,37
TRP1	0,07	0,04	0		15	7,49	97	2,73	0	0	0,06		15	7,27	89	2,08
TSP2	0,06	0,03	1,17		0	7,52	105	0,46	0,02	0,01	1,05		0	7,31	95	0,51

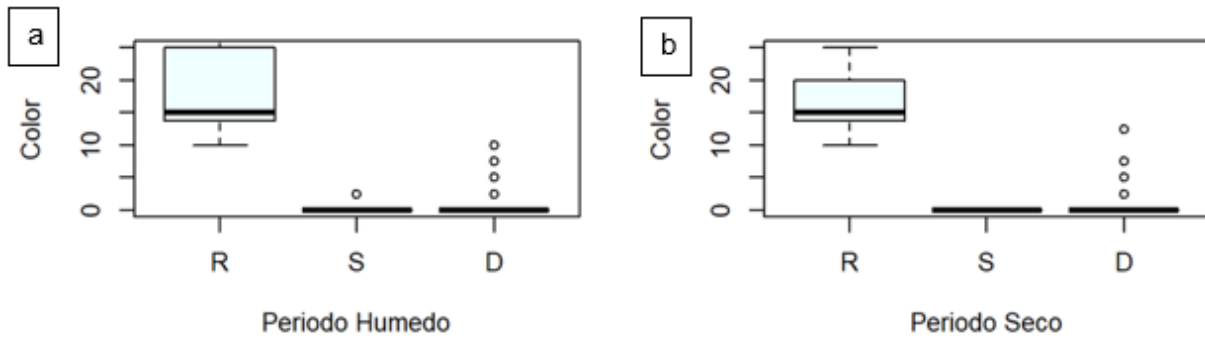
Anexo B

Etiqueta usada durante la recolección.

<b>Tema de Titulación: Caracterización de Agua Potable Proveniente de Tres Principales Plantas Potabilizadoras de la Ciudad de Cuenca En Sus Características Físico-Químicas, Contenido de Aluminio, Cloro Residual y Cafeína, En Periodo Seco y Humédo.</b>				
Planta de Potabilización:	<input type="text"/>	Fecha:	<input type="text"/> / <input type="text"/> / 2023	
Punto de Muestreo:	<input type="text"/>	Coordenada:	<input type="text"/>	
Nombre Recolector:	<input type="text"/>	Condiciones atmosféricas:	<input type="text"/>	
Análisis:	<input type="checkbox"/> Cl: <input type="checkbox"/> Cl <sub>r</sub> : <input type="checkbox"/> Al: <input type="checkbox"/> C: <input type="checkbox"/> D: <input type="checkbox"/> pH: <input type="checkbox"/> CR: <input type="checkbox"/> T: <input type="checkbox"/>		Periodo:	S: <input type="checkbox"/> H: <input type="checkbox"/>
Observaciones: <span style="float: right; font-size: small;">Nota: C=Cafeína, D=Daphnias, CR=Color T=Turbiedad</span>				

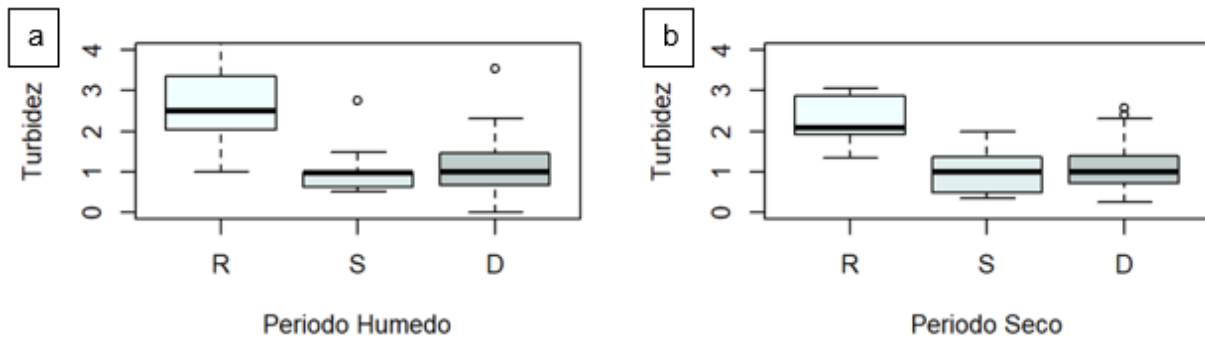
**Anexo C**

*Diagrama de Caja y Bigote de Contenido de Color a) Periodo Húmedo b) Periodo Seco*



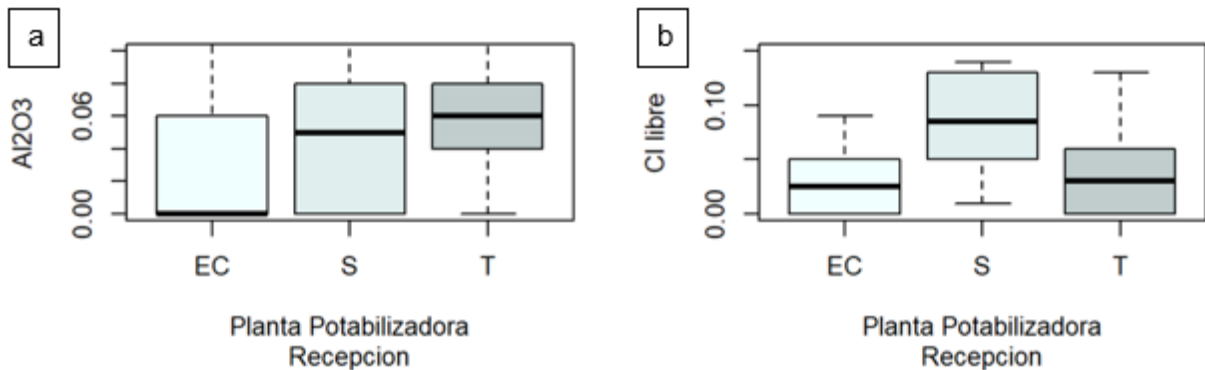
**Anexo D**

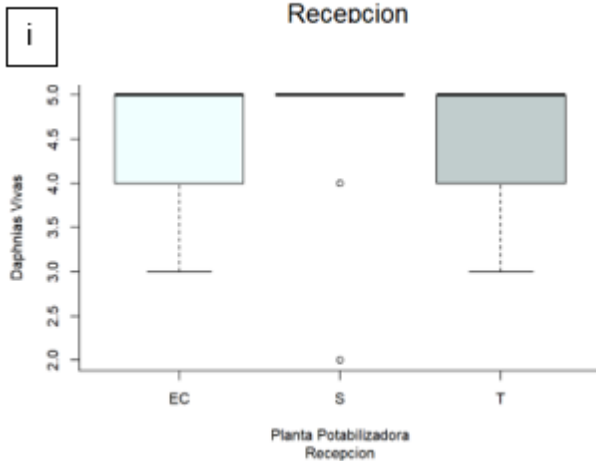
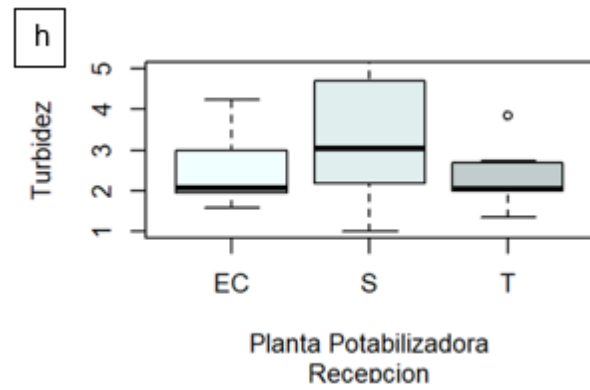
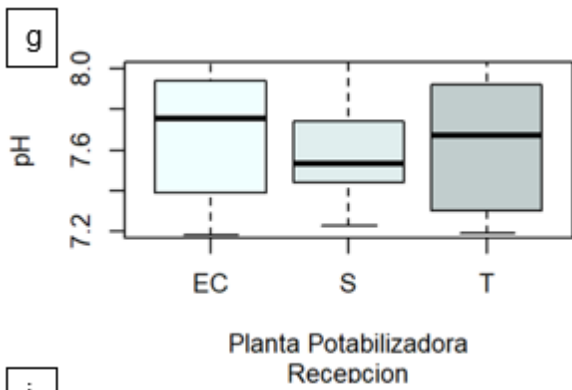
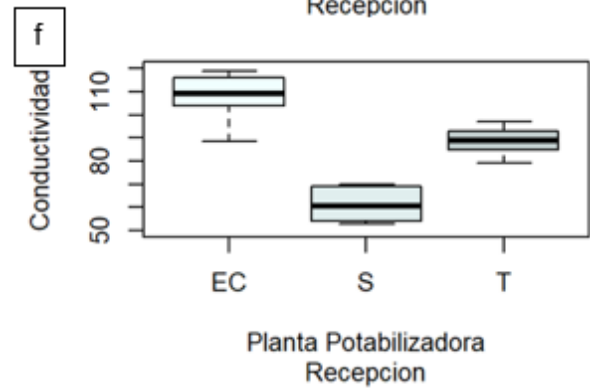
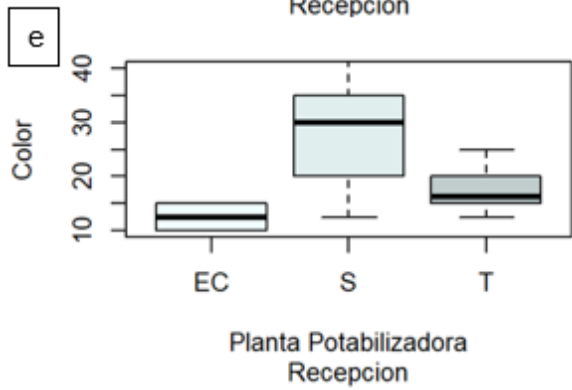
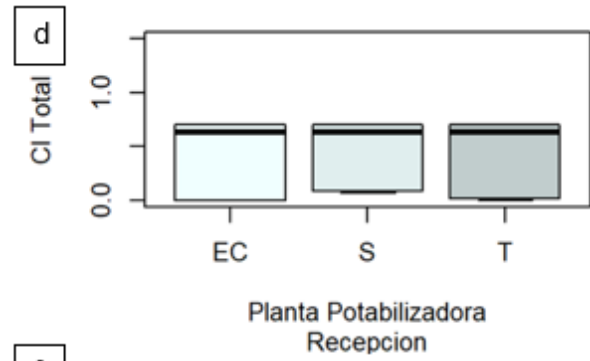
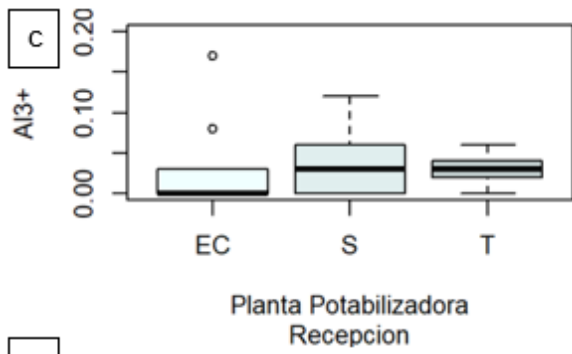
*Diagrama de Caja y Bigote de Turbidez a) en periodo Húmedo b) en periodo Seco*



**Anexo E**

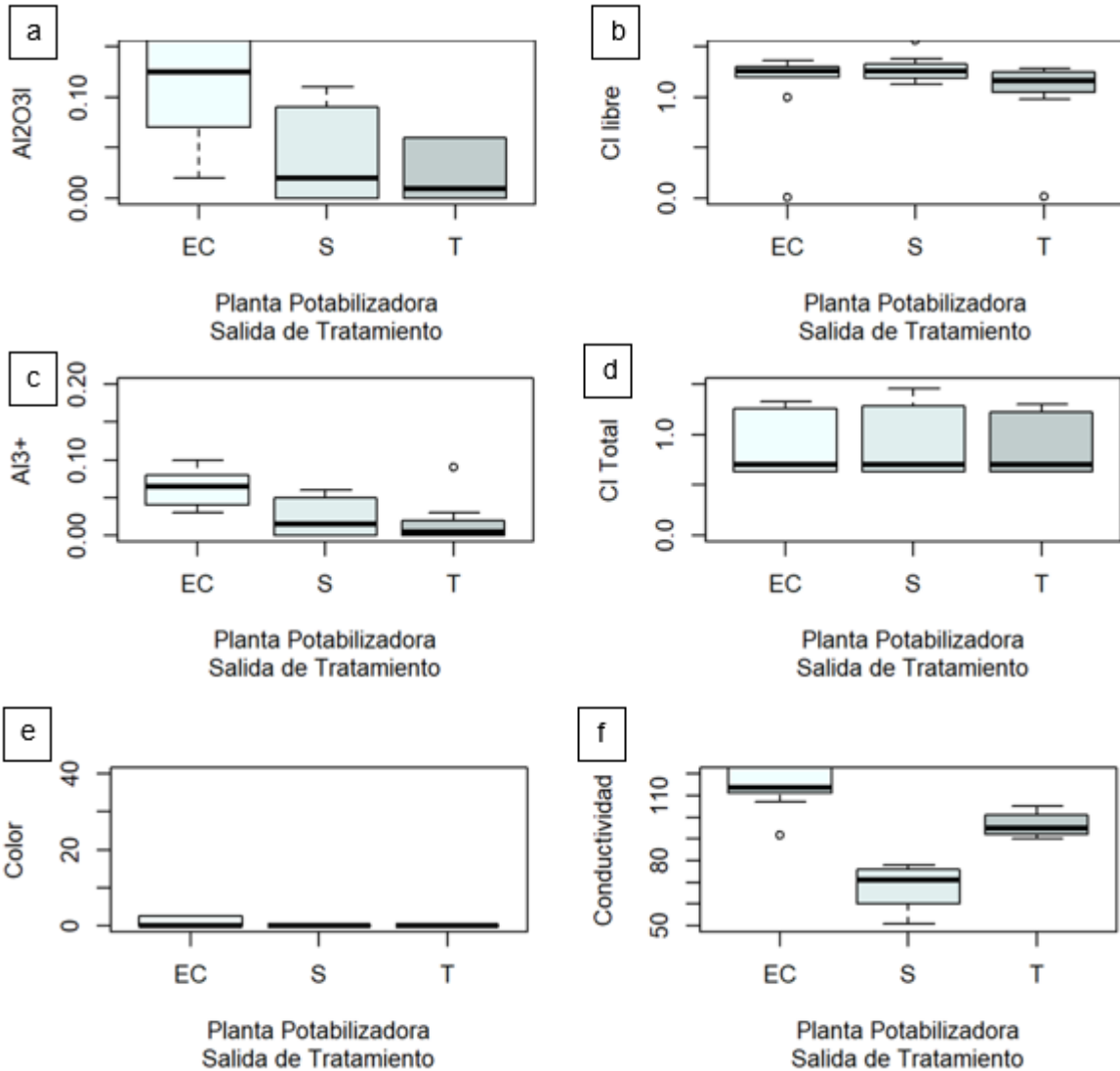
*Diagrama de Caja y bigotes del agua a la recepción del tratamiento de agua del contenido a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, b) Cloro libre residual, c) Al<sup>+3</sup>, d) Cloro total, e) Color, f) Conductividad, g) pH h) Turbidez j) Daphnias vivas.*

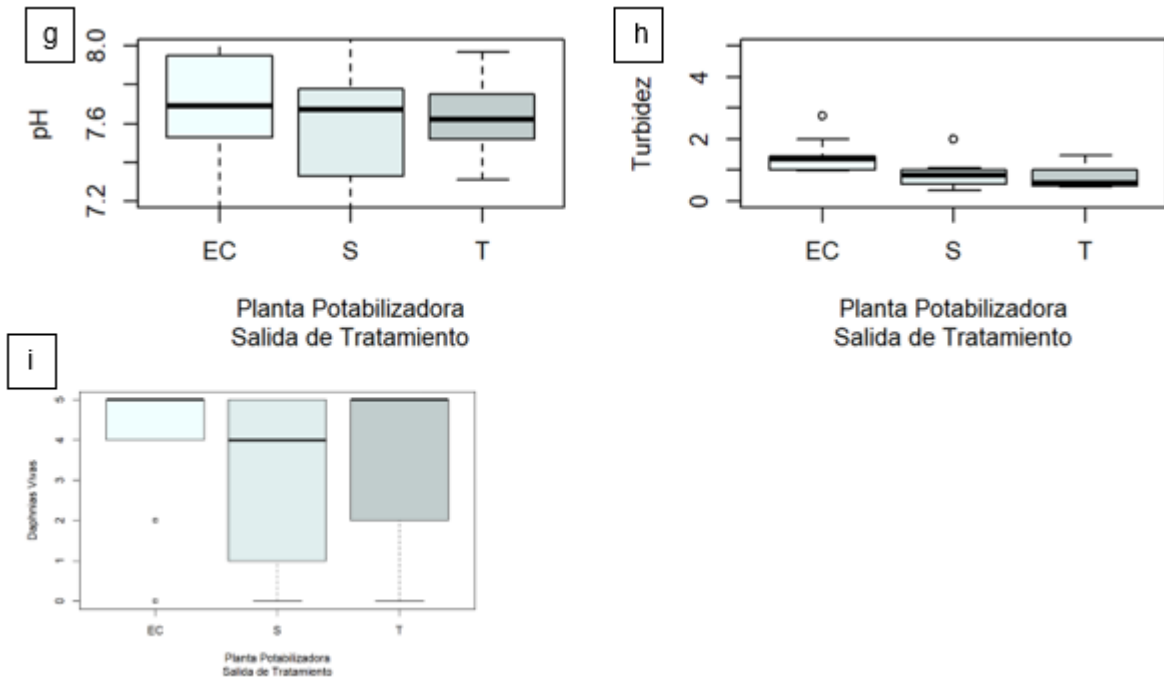




Anexo F

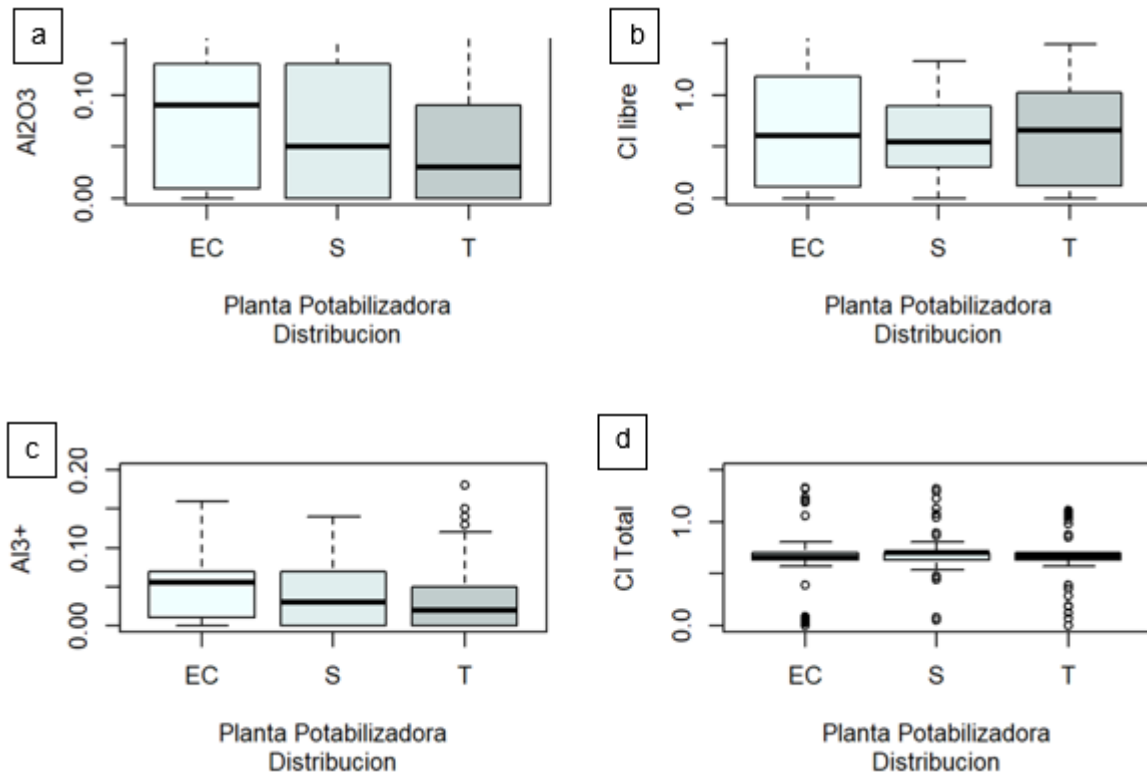
Diagrama de Caja y bigotes del agua a la salida del tratamiento de agua del contenido a)  $Al_2O_3$ , b) Cloro libre residual, c)  $Al^{+3}$ , d) Cloro total, e) Color, f) Conductividad, g) pH h) Turbidez j) *Daphnias* vivas.

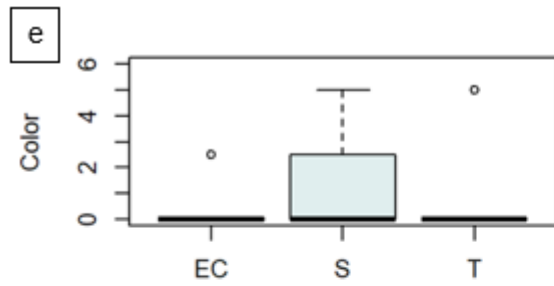




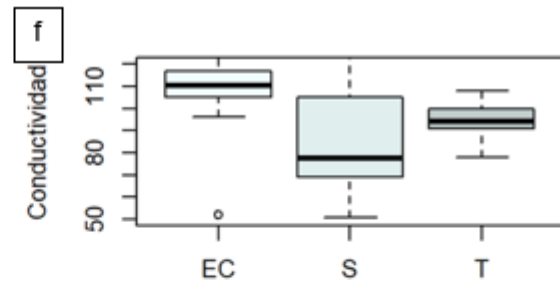
**Anexo G**

Diagrama de Caja y bigotes del agua a la distribución del contenido a)  $Al_2O_3$ , b) Cloro libre residual, c)  $Al^{3+}$ , d) Cloro total, e) Color, f) Conductividad, g) pH h) Turbidez j) Daphnias Magnas vivas.

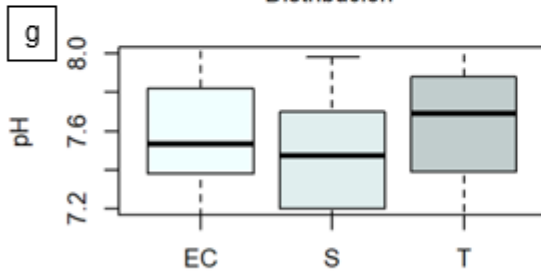




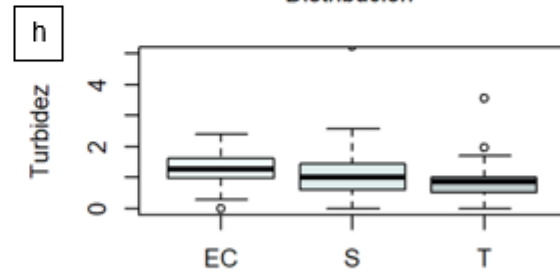
Planta Potabilizadora  
Distribucion



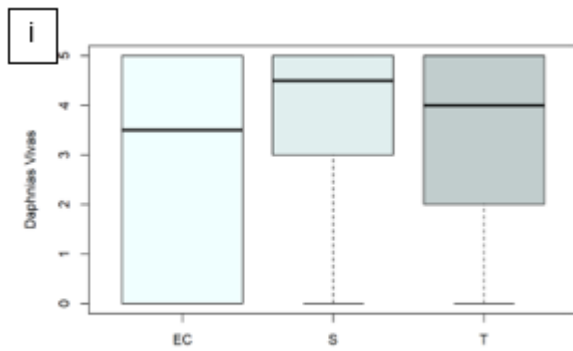
Planta Potabilizadora  
Distribucion



Planta Potabilizadora  
Distribucion



Planta Potabilizadora  
Distribucion



Planta Potabilizadora  
Distribucion