

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



“Influencia de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$ con fines de mejorar la calidad del agua de uso acuícola en las plantas de procesamiento de productos hidrobiológicos”

Área: Ciencias Naturales

Línea de investigación: Ingeniería ambiental y geológica

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente

Autor: Br. Córdova Gómez, Laura Gabriela

Tumbes, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Influencia de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$ con fines de mejorar la
calidad del agua de uso acuícola en las plantas de procesamiento
de productos hidrobiológicos

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente
en forma y estilo por:**

Mg. Cesar Yoel Feijoo Carrilo (Presidente):

Código ORCID: 0009-0007-6197-123X

Mg. John Rimaycuna Ramirez (Secretario):

Código ORCID: 0000-0002-2767-9733

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro (Vocal):

Código ORCID: 0000-0001-6096-0183

TUMBES, PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



“Influencia de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$ con fines de mejorar la calidad del agua de uso acuícola en las plantas de procesamiento de productos hidrobiológicos”

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma

Br. Córdova Gómez Laura Gabriela:

Autor

Dr. Cruz Cerro Gerardo Juan Francisco:

Código ORCID: 0000-0001-6096-0183

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



ANEXO VIII

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los cuatro días del mes de setiembre de dos mil veinticinco, siendo las 10 horas, con 00 minutos (), de la manana, de forma presencial en la Aula F1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente-Ciudad Universitaria. se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 0181-2023/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D., **Mg. Cesar Yoel Feijoo Carrillo** (Presidente), **Mg. John Henry Rimaycuna Ramírez** (Secretario), **Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro**, como **Asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Influencia de la dosis de $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$ con fines de mejorar la calidad del agua de uso acuícola en las plantas de procesamiento de productos hidrobiológicos**", para optar el Título Profesional de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente, presentado por la **Bach. Laura Gabriela Cordova Gómez**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la: **Bach. LAURA GABRIELA CORDOVA GÓMEZ;** APROBADA por UNANIMIDAD con el calificativo MUY BUENO.

Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda ABIERTA para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las 10 horas y 50 minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 04-09-2025.

Mg. Cesar Yoel Feijoo Carrillo DNI N° 42766283 CODIGO ORCID 0009-0007-6197123X Presidente	Mg. John Henry Rimaycuna Ramírez DNI N° 70047386 CODIGO ORCID 0000-0002-2767-9733 Secretario
Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro DNI N° 80661595 CODIGO ORCID Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADA-ARCHIVO (Decanato)
S.acad.

REPORTE DE TURNITIN






10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Codigo ORCID N° 0000-001-6096-0183

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unp.edu.pe	2%
2	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica de los Andes on 2024-12-08	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-05-04	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Ricardo Palma on 2019-10-26	<1%
8	Publicación	Alvarez Nunez, Angelica Maria Maque Vilca, Artemio Montoya Benites, Hector J...	<1%
9	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
10	Publicación	SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "Plan de Cese Temporal de Activida...	<1%
11	Internet	www.slideshare.net	<1%

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cero
Código ORCID N° 8000-003-0290-9183

12	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
13	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
14	Internet	www.buenastareas.com	<1%
15	Internet	es.slideshare.net	<1%
16	Publicación	Rojas Vargas, Raúl Pedro. "Caracterización y determinación de la calidad del agua..."	<1%
17	Internet	collections.unu.edu	<1%
18	Internet	repositorio.uam.es	<1%
19	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
20	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2021-01-19	<1%
22	Internet	dspace.espech.edu.ec	<1%



Sr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cano
Código QR00 N° 8000-001-6830-9183

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	14
2.1. Calidad del Agua	14
2.1.1. Parámetros físicos y químicos del agua.....	14
2.2. Elementos Involucrados en las dosis	16
2.3. Compuestos Químicos	17
2.4. Potabilización del Agua	17
2.5. Productos Hidrobiológicos.....	19
2.6. Límites Máximos Permisibles.....	19
2.7. Límites Máximos Permisibles para Agua/Hielo.....	21
2.8. ECA – Estándar de Calidad Ambiental.....	22
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	23
3.2. Área de estudio	23
4. RESULTADOS Y DISCUSION	18
4.1. Resultados de los Parámetros	18
4.1.2. Metales Pesados.....	23
4.2. Resultados Análisis Estadístico de los Parámetros.....	38
4.2.1. ANOVA Parámetros Físicos.....	38
4.2.2. ANOVA Parámetros Químicos.....	38
5. CONCLUSIONES.....	40
6. RECOMENDACIONES.....	40
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles del MINSA.....	20
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de los Parámetros de Calidad del Agua y Hielo para Consumo Humano.....	21
Tabla 3. Poblacional y Recreacional.....	22
Tabla 4. Descripción de los tratamientos.....	16
Tabla 5. Resultados de parámetros físicos.....	38
Tabla 6. Resultados de parámetros químicos.	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Punto de captación de muestra.....	15
Ilustración 2. Evaluación de pH en los diferentes tratamientos evaluados	19
Ilustración 3. Evaluación del oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos evaluados	20
Ilustración 4. Evaluación de TDS en los diferentes tratamientos evaluados	20
Ilustración 5. Evaluación de turbidez en los diferentes tratamientos evaluados ..	21
Ilustración 6. Evaluación de la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos evaluados.....	22
Ilustración 7. Evaluación de salinidad en los diferentes tratamientos evaluados.	22
Ilustración 8. Evaluación de Aluminio en los diferentes tratamientos evaluados	23
Ilustración 9. Evaluación de Antimonio en los diferentes tratamientos evaluados	24
Ilustración 10. Evaluación de Arsénico en los diferentes tratamientos evaluados	24
Ilustración 11. Evaluación de Bario en los diferentes tratamientos evaluados....	25
Ilustración 12. Evaluación de Berilio en los diferentes tratamientos evaluados..	26
Ilustración 13. Evaluación de Boro en los diferentes tratamientos evaluados	26
Ilustración 14. Evaluación de Cadmio en los diferentes tratamientos evaluados	27
Ilustración 15. Evaluación de Calcio en los diferentes tratamientos evaluados ..	28
Ilustración 16. Evaluación de Cromo en los diferentes tratamientos evaluados ..	28
Ilustración 17. Evaluación de Cobalto en los diferentes tratamientos evaluados	29
Ilustración 18. Evaluación de Cobre en los diferentes tratamientos evaluados ..	30
Ilustración 19. Evaluación de Estroncio en los diferentes tratamientos evaluados	30
Ilustración 20. Evaluación de Hierro en los diferentes tratamientos evaluados ..	31
Ilustración 21. Evaluación de Manganeso en los diferentes tratamientos evaluados	32
Ilustración 22. Evaluación de Magnesio en los diferentes tratamientos evaluados	32
Ilustración 23. Evaluación de Molibdeno en los diferentes tratamientos evaluados	33
Ilustración 24. Evaluación de Niquel en los diferentes tratamientos evaluados ..	34
Ilustración 25. Evaluación de Potasio en los diferentes tratamientos evaluados	34
Ilustración 26. Evaluación de Plomo en los diferentes tratamientos evaluados ..	35
Ilustración 27. Evaluación de Selenio en los diferentes tratamientos evaluados	36
Ilustración 28. Evaluación de Sodio en los diferentes tratamientos evaluados...	36
Ilustración 29. Evaluación de Vanadio en los diferentes tratamientos evaluados	37
Ilustración 30. Evaluación de Zinc en los diferentes tratamientos evaluados	38

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la dosificación de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y Cloruro Férrico ($FeCl_3$) en la mejora de la calidad del agua en la planta de tratamiento de productos hidrobiológicos. Para ello, se realizó un muestreo dirigido en el canal de riego del río Tumbes, el cual fue trasladado al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes para evaluar diversos parámetros físicos, tales como oxígeno disuelto, turbidez, pH y conductividad eléctrica. Los metales pesados fueron analizados en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens del Instituto Nacional de Innovación Agraria. A partir de los resultados obtenidos en los análisis físicos y de metales pesados en el agua, se elaboraron gráficos comparativos con los Límites Máximos Permitidos (LMP) establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud (DS N°031-2010-SA) y con los Estándares de Calidad Ambiental para agua en la categoría 1 - A3, correspondiente a aguas que pueden ser purificadas mediante procedimientos avanzados.

Se concluyó que el tratamiento con Cloruro Férrico ($FeCl_3$) a una concentración de 0,1 mg/L es el más efectivo para mejorar la calidad del agua en cuanto a los parámetros físicos. Este tratamiento es el único que mantiene los valores del pH dentro del rango recomendado de 6,5 a 8,5. Además también, optimiza los niveles de sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad eléctrica y metales pesados.

Palabras clave: dosificaciones, tratamiento de floculación o coagulación, calidad de agua, parámetros, productos hidrobiológicos.

ABSTRACT

The effect of dosing Aluminum Sulfate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and Ferric Chloride (FeCl_3) on improving water quality at the hydrobiological products treatment plant was evaluated. To do this, a targeted sampling was carried out in the irrigation channel of the Tumbes River, which was then transferred to the Environmental Analysis Laboratory of the National University of Tumbes to assess various physical parameters, such as dissolved oxygen, turbidity, pH, and electrical conductivity. Heavy metals were analyzed at the Soil, Water, and Foliar Laboratory of the National Institute of Agricultural Innovation.

Based on the results obtained from the physical and heavy metal analyses in the water, comparative graphs were prepared using the Maximum Permissible Limits (MPL) established in the Water Quality Regulations for Human Consumption by the Ministry of Health (Supreme Decree No. 031-2010-SA) and the Environmental Quality Standards for water in Category 1 - A3, corresponding to waters that can be purified through advanced treatment processes.

It was concluded that treatment with Ferric Chloride (FeCl_3) at a concentration of 0.1 mg/L is the most effective in improving water quality in terms of physical parameters. This treatment is the only one that maintains pH values within the recommended range of 6.5 to 8.5. Additionally, it optimizes levels of total dissolved solids, turbidity, electrical conductivity, and heavy metals.

Keywords: dosages, flocculation or coagulation treatment, water quality, parameters, hydrobiological products.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua en cantidades suficientes y con la calidad adecuada es esencial para asegurar la seguridad alimentaria. A nivel global, aproximadamente el 70% del agua extraída se destina a la producción de alimentos, porcentaje que puede llegar hasta el 95% en ciertos países en desarrollo. En la actualidad, más de 815 millones de personas sufren hambre, y una de cada tres enfrenta problemas de desnutrición. La inseguridad hídrica y alimentaria impacta de manera desproporcionada a las poblaciones más vulnerables, especialmente a mujeres y niños. Además, se calcula que los hogares con menores ingresos destinan entre el 50% y el 80% de sus recursos a la compra de alimentos (González, 2020).

La Región de Tumbes, tiene una industria pesquera que se destaca por su contribución al sector pesquero nacional. La captura de recursos hidrobiológicos en Tumbes representa el 1,4% del desembarque pesquero nacional y el consumo de productos hidrobiológicos en Tumbes es superior al promedio nacional siendo la actividad acuícola una de las principales actividades económicas de la región, existiendo centros de manufactura y plantas que se dedican al tratamiento de productos vivos provenientes del mar (Tumbes, 2021)

Esta fuente del recurso agua tan importante para la región, enfrenta un serio problema de deterioro en la calidad de sus aguas debido a diversas fuentes potenciales de contaminación, tales como aguas residuales domésticas y agrícolas, la inadecuada gestión de residuos sólidos, las prácticas agrícolas, y la presencia de metales pesados derivados de la minería informal en la zona alta de Ecuador. (Aquino, 2017)

La calidad del agua potable en el Perú depende estrechamente de la condición de las fuentes de agua, las cuales en su mayoría están expuestas a metales tanto de origen natural como provenientes de actividades humanas. Además, las empresas de saneamiento enfrentan desafíos tecnológicos y económicos que dificultan la eliminación de estos metales, lo que complica asegurar un tratamiento adecuado del

agua y la prestación de servicios de saneamiento mediante sistemas seguros y sostenibles (Chavez, 2018).

Ante esta situación, es de gran importancia que las instalaciones para el procesamiento de recursos hidrobiológicos apliquen medidas preventivas y correctivas para contribuir con la minimización del agua contaminada, diseñando tratamientos adecuados para garantizar la potabilización del agua (León, 2021).

De esta manera, surge la inquietud de llevar a cabo esta investigación, teniendo como objetivo principal conocer cuál es la influencia de la dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 , para garantizar una mejora durante el tratamiento de potabilización del agua para las operaciones productivas de las plantas de procesamientos de recursos hidrobiológicos.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Calidad del Agua

Este parámetro es crucial a escala global; este complace las demandas de la sociedad de agua limpia (para consumo, para cocinar, usos higiénicos y usos industriales); ya que aporta un aporte esencial a los servicios ecosistémicos como la pesca de subsistencia, comercial y recreativa; y asegura el uso seguro de las aguas superficiales para propósitos de ocio, higiene y actividades en el hogar. La baja calidad del agua también contribuye de manera significativa a la falta de agua (Alcamo, 2019).

2.1.1. Parámetros físicos y químicos del agua

2.1.1.1. Turbidez

La turbidez es la opacidad de los efectos provocados por varias partículas individuales, estas partículas suelen ser invisibles para las personas a primera impresión, como sucede con el humo en el ambiente. La turbidez resulta en una disminución de la intensidad de la luz que atraviesa agua turbia, a causa de la luz, absorción y reflexión de la luz. En términos técnicos, la turbidez puede describirse como una perturbación o modificación del líquido provocada por la suspensión de sólidos que usualmente no son perceptibles a simple vista (Jaffar et al., 2020).

2.1.1.2. Color

Las razones habituales de la tonalidad del agua es la existencia de hierro y manganeso coloidal o en disolución; la interacción de residuos orgánicos, hojas, madera, raíces, entre otros con el agua, en distintas fases de

degradación, y la existencia de ácido húmico, taninos y ciertos desechos de industrias (Janampa Choque & Quiroz Quispe, 2021).

2.1.1.3. Olor – Sabor

Frecuentemente, los olores y sabores en el agua se presentan en conjunto y suelen ser prácticamente inconfundibles, numerosos factores pueden provocar los olores y sabores en el agua suelen ser causados por varios factores, entre los más comunes se encuentran: materia orgánica disuelta, sulfuro de hidrógeno, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro, aceites, compuestos clorados, así como diferentes tipos de algas y hongos, entre otros. Es provechoso reconocer el aroma y el gusto del agua para valorar su calidad para la regulación de los procesos de una planta y la aprobación del usuario, para la supervisión de las operaciones de una planta para identificar en numerosas situaciones la causa de una potencial inoculación (Velasquez, 2021).

2.1.1.4. pH

El pH mide el grado de acidez de un material, por eso es una característica más relevante del agua, el intervalo oscila entre 0 y 14, siendo 7 el promedio (rango neutral). Un pH inferior a 7 señala acidez, en cambio, un pH superior a 7 señala un rango básico, valores por debajo o por encima del pH óptimo ocasionan efectos no deseados. Se estima que tanto las aguas crudas como las tratadas deberían tener un pH de 6,5 a 8,5. Normalmente, este rango posibilita regular sus impactos en la conducta de otros elementos del agua, además ejerce una enorme influencia en la coagulación (Velasquez, 2021).

2.1.1.5. Conductividad

Nos referimos a la habilidad de conducir la electricidad, por lo que el elemento más determinante es la existencia de sales disueltas, o sea, los iones existentes. La conductividad puede ser cuantificada mediante el uso de un conductímetro (Olortegui, 2019).

2.1.1.6. TDS – Sólidos Totales Disueltos

Los TDS abarcan materiales que, por su reducido tamaño, se filtran durante el análisis del agua, incluyendo elementos iónicos disueltos como Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y Cl^- . Estos iones presentan retos en los sistemas de

depuración de aguas contaminadas y potables, dado que no se suprimen a través de diversos procedimientos de tratamiento mecánico. Los TDS son un indicador de la masa de elementos orgánicos e inorgánicos disueltas en el agua por unidad de volumen que se conserva tras la evaporación del agua (Adjovu et al., 2023).

2.1.1.7. Salinidad

Este parámetro evalúa la concentración de sales disueltas en una masa de solución conocida. Esta se encuentra en la concentración de minerales en terrenos o agua, y se produce mediante procesos naturales que comprenden mareas, inundaciones y malas prácticas de administración. La salinidad es un asunto de gran inquietud, especialmente en las zonas costeras a nivel global, impacta las actividades agrícolas, el entorno natural y representa un factor significativo de pérdidas económicas debido a su impacto devastador en la producción agrícola y la seguridad alimentaria (Adjovu et al., 2023).

2.2. Elementos Involucrados en las dosis

2.2.1. Azufre

El azufre, que tiene un número atómico 16, se simboliza con la letra S, clasificado como uno de los no metales. En la Tierra, a temperatura y presión normales, se encuentra en estado sólido, siendo uno de los componentes de muchos minerales. Es un componente frecuentemente presente en la corteza de la Tierra que se coloca en la posición número 16 en la clasificación de elementos con mayor abundancia. Se puede hallar en grandes volúmenes en forma de sulfuros como la piritita o la galena, o en forma de sulfatos como el yeso (Ramírez & San José, 2006).

2.2.2. Aluminio

Este elemento es el tercer componente que se encuentra con más frecuencia en la tierra, constituyendo el 8% de su composición. Este metal solo se obtiene del mineral denominado bauxita. Tiene una amplia gama de aleaciones que permiten modificar sus características. Es un excelente transmisor de electricidad y calor (Ceban, 2019).

2.2.3. Cloro

El cloro, con el símbolo Cl, tiene un número y un peso atómico de 17 y 35.453 gr/mol respectivamente. Es un gas de color amarillo verdoso bajo condiciones

normales de temperatura y presión. Es el segundo en responder a los halógenos. Por lo tanto, solo se halla suelto en la naturaleza cuando los gases volcánicos alcanzan altas temperaturas. Se amalgama con metales, metales no metales y elementos orgánicos para generar numerosos compuestos (Medina, 2020).

2.2.4. Hierro

Hierro es un metal de tonalidad blanca, que es el cuarto elemento con mayor prevalencia en la corteza de la Tierra. En estado puro es altamente reactivo y rápidamente se oxida al entrar en contacto con el aire, por lo tanto, el hierro es infrecuente en arroyos y ríos. Cuando éste está disuelto llega a las aguas superficiales e interactúa con oxígeno para generar herrumbre y se deposita en el fondo del curso del agua (Sigler & Bauder, 2020).

2.3. Compuestos Químicos

2.3.1. Sulfato de Aluminio

Este compuesto, distinguido con la fórmula $Al_2(SO_4)_3$, es sólido y blanco, se utiliza extensamente en el sector industrial, frecuentemente como agente floculante en el tratamiento de agua para consumo y en la industria papelera. Cuando el pH del agua es levemente ácido, neutro o alcalino, el aluminio se deposita, atrayendo las partículas suspendidas y dejando limpia el agua (Janampa Choque & Quiroz Quispe, 2021).

2.3.2. Cloruro de Hierro.

También conocido como tricloruro de hierro, es una sustancia química empleada en la industria que forma parte del grupo de los haluros metálicos, con la fórmula $FeCl_3$. A menudo se le conoce como percloruro de hierro e incluso como percloruro fértil. La solución de cloruro férrico se utiliza a un 40% como un agente coagulante para el tratamiento de aguas y efluentes, y suele ser vendida en grandes cantidades (Bardales, 2017).

2.4. Potabilización del Agua

La potabilización del agua suele consistir en la eliminación de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

2.4.1. Procesos de Potabilización del Agua

2.4.1.1. Captación

La captación es la primera etapa del proceso de potabilización de agua y es la instalación diseñada para recolectar el agua de una fuente. La

adecuada selección del punto de captación es crucial, ya que debe minimizar la entrada de contaminantes y sedimentos, influyendo directamente en la carga de trabajo de la planta de tratamiento (APHA, 2021).

2.4.1.2. Cribado

Es el proceso de remoción de materiales grandes y gruesos, como hojas, ramas, plásticos y otros desechos, mediante el uso de barras o mallas. Este paso es esencial para proteger las bombas y los equipos de la planta de tratamiento de posibles obstrucciones y daños, así como para reducir la carga de sólidos que deben ser procesados en las etapas siguientes (Tchobanoglous et al., 2014).

2.4.1.3. Coagulación

Es el proceso de desestabilización de partículas cargadas negativamente mediante la adición de químicos (coagulantes), lo que permite que se aglomeren. La mayoría de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua tienen una carga negativa, y la adición de un coagulante (cationes con carga positiva) neutraliza esta carga, reduciendo la repulsión electrostática (O'Melia, 2014).

2.4.1.4. Floculación

Es el procedimiento de agitación suave que promueve el contacto entre las partículas desestabilizadas y la formación de flóculos. Esto incrementa la probabilidad de que las partículas se adhieran, formando estructuras más grandes que son fáciles de separar del agua (Bratby, 2016).

- **Tipos de Floculantes**

Los floculantes se clasifican en tres categorías: los aniónicos, los catiónicos y los no iónicos. Los aniónicos son empleados en la eliminación de partículas minerales por sedimentación; los catiónicos en la sedimentación de partículas orgánicas y los no iónicos en la sedimentación de partículas de naturaleza orgánica. Además de depender del origen de las partículas, su elección primaria también se rige por el pH de la solución en la que se aplique (Rivas Romero, 2017).

2.4.1.5. Sedimentación o Decantación

La sedimentación es un proceso físico de separación de las partículas en suspensión que se depositan por la acción de la gravedad. En el tratamiento de agua, es un paso clave para remover los sólidos aglomerados (flóculos) después de la coagulación y floculación, dejando un líquido clarificado en la parte superior (APHA, 2021).

2.4.1.6. Filtración

La filtración es una etapa final para remover sólidos suspendidos y otros contaminantes del agua, incluyendo microorganismos como protozoos. Este proceso se logra al pasar el agua a través de un lecho de material granular, como arena o carbón, donde las partículas son retenidas físicamente por el medio filtrante (Crittenden et al., 2012).

2.4.1.7. Desinfección

La desinfección es un proceso crítico en la potabilización del agua que tiene como objetivo inactivar o destruir organismos patógenos. El uso de cloro es el método de desinfección más común y efectivo, ya que su acción residual ayuda a proteger el agua de la contaminación en el sistema de distribución (OMS, 2011).

2.4.1.8. Almacenamiento y Distribución

El almacenamiento y la distribución del agua potable son los pasos finales en el proceso de potabilización. Estos sistemas están diseñados para entregar agua segura y de alta calidad a los usuarios finales. Los tanques de almacenamiento y la red de tuberías deben ser mantenidos adecuadamente para proteger la calidad del agua y asegurar que el desinfectante residual, como el cloro, se mantenga en los niveles adecuados para prevenir el crecimiento de microorganismos (OMS, 2011).

2.5. Productos Hidrobiológicos

Los productos hidrobiológicos representan una fuente relevante de nutrientes en la alimentación de la población. El consumo de estos productos se relaciona con posibles beneficios para la salud, incluyendo el desarrollo neurológico durante la gestación y la infancia, así como la reducción del riesgo de sufrir enfermedades relacionadas al corazón. (Marchán, 2020).

2.6. Límites Máximos Permisibles

Decreto Supremo N° 031-2010-SA, reglamento de la calidad de agua para consumo humano. Su propósito es regular la gestión de la calidad del agua, que

comprende la supervisión sanitaria, el control y monitoreo de su calidad, así como la fiscalización, las autorizaciones, los registros y las aprobaciones relacionadas con los sistemas de suministro de agua potable. Además, incluye los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua destinada al consumo humano, así como la divulgación y el acceso a la información sobre su calidad. En los anexos I al IV se establecen los Límites Máximos Permisibles para los parámetros microbiológicos, parasitológicos, calidad organoléptica, químicos inorgánicos y orgánicos, y radiactivos. Algunos de estos parámetros serán utilizados en el presente trabajo, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles del MINSA

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Oxígeno Disuelto	mg/L	500
Turbiedad	UNT	5
Ph	Valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad Eléctrica	µmho/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Aluminio (Al)	mg/L	0,2
Antimonio (Sb)	mg/L	0,020
Arsénico (As)	mg/L	0,010
Bario (Ba)	mg/L	0,700
Berilio (Be)	mg/L	-
Boro (B)	mg/L	1,5
Cadmio (Cd)	mg/L	0,003
Calcio (Ca)	mg/L	-
Cobalto (Co)	mg/L	-
Cobre (Cu)	mg/L	2,0
Cromo (Cr)	mg/L	0,050
Estroncio (Sr)	mg/L	-
Fierro (Fe)	mg/L	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0,4
Magnesio (Mg)	mg/L	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,07
Niquel (Ni)	mg/L	0,020

Potasio (K)	mg/L	-
Plata (Ag)	mg/L	-
Plomo (Pb)	mg/L	0,010
Selenio (Se)	mg/L	0,010
Sodio (Na)	mg/L	200
Talio (Tl)	mg/L	-
Vanadio (V)	mg/L	-
Zinc (Zn)	mg/L	3,0

Fuente: Decreto Supremo N° 031-2010-SA

2.7. Límites Máximos Permisibles para Agua/Hielo

El agua no debe tener un nivel o concentración de desinfectante que, en combinación con cualquier otro organismo o sustancia presente en el agua podría causar el rechazo del agua o ser peligrosa para la salud de los consumidores.

El agente para la desinfección que será utilizado, en la cantidad adecuada, tiene que generar un remanente protector en el agua contra futuras contaminaciones, siendo capaz de eliminar patógenos perjudiciales en un plazo determinado específico (20min).

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de los Parámetros de Calidad del Agua y Hielo para Consumo Humano.

Parámetro	LMP	Referencias
Bacterias coliformes termotolerantes	0	3
Enterococos (UFC/100 mL)	0	1
Bacterias heterotróficas (UFC/ 100 mL a 35°C)	500	3
Enterococos (UFC/100 mL)	0	1
pH	6,5 – 8,5	1
Turbiedad, UNT	5	1
Conductividad, 25°C µS/cm	1500	2
Color, UCV —Pt-Co	15	2
Cloruros, mg/L	250	2
Sulfatos, mg/L	250	2
Dureza, mg/L	500	2
Nitratos, mg NO ₃ /L	10	1
Hierro, mg/L	0,1	2
Manganeso, mg/L	0,1	2

Aluminio, mg/L	0,2	1
Cobre, mg/L	2	2
Plomo, mg/L	0,01	2
Cadmio, mg/L	0,003	1
Arsénico, mg/L	0,01	2
Mercurio, mg/L	0,001	1
Cromo total, mg/L	0,05	1
Fluoruros, mg/L	1	2
Selenio, mg/L	0,01	2

Fuente: Indicadores Criterios de Seguridad Alimentaria e Higiene para Alimentos y Piensos de Origen Pesquero y Acuícola.

2.8. ECA – Estándar de Calidad Ambiental

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental (ECA) se define como la evaluación que establece el nivel de concentración o la cantidad de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, el agua o el suelo en su estado natural, que no implica un riesgo considerable para la salud humana o del entorno; asimismo, y el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es esencial en la elaboración de las leyes y políticas públicas, además de ser un modelo imprescindible en la planificación y uso de los instrumentos de gestión ambiental (Ambiente, 2017).

Tabla 3. Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos	mg/L	1 000	1 000	1 500

Totales				
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 mL	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	20	2 000	20 000

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Tipo y diseño de investigación.

Tipo de Investigación: Aplicada.

Diseño de Investigación: Diseño cuasiexperimental

3.2. Área de estudio

La investigación se desarrolló en la Provincia de Tumbes – Distrito de Corrales, tomando como punto de referencia la ubicación según coordenadas UTM DATUM WGS 84 ESTE 555063/NORTE 9601454, ubicado en el canal de riego en la margen izquierda del río Tumbes, cuyo cauce limita con la planta de

procesamiento de productos hidrobiológicos. Donde se encuentra el punto de captación para la planta de tratamiento de agua de la empresa.



Ilustración 1. Punto de captación de muestra.

3.2.1. Muestreo

Para el muestreo se tuvieron las siguientes consideraciones:

2.4.1.1. Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se consideró el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua - ANA del 2016; en el que se dictaminan los siguientes lineamientos:

- Medición de los parámetros de campo, utilizando un multiparámetro (WTW-3890) debidamente calibrado, en el cual se introdujeron los electrodos de medición directamente sobre el canal de riego margen

izquierda en la que se determinaron los parámetros de pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, TDS, temperatura y salinidad.

- Para la recolección de la muestra se utilizó un bidón de PVC de 20 litros (primer uso), el cual estuvo limpio y seco para evitar contaminación.
- Las muestras transportadas a temperatura ambiente después de su recolección para el análisis en el laboratorio.

3.2.3.2. Descripción de los tratamientos

Para la implementación de los tratamientos se utilizaron dos floculantes Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$), en diferentes dosificaciones, así mismo la mezcla de los dos floculantes, dejando también un testigo (agua cruda) para realizar la comparación de los tratamientos realizados.

Cada una de las muestras se identificaron con un código, el cual es la abreviatura del Tratamiento utilizado y el número de repetición, por ejemplo, **T1-1**, corresponde al tratamiento 1 (Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$) y la repetición 1.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Floculante	Dosificación	Número de Repetición	Código de muestra
T0	Agua Cruda	0	1	T0-1
T1	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,1	1	T1-1
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,1	2	T1-2
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,1	3	T1-3
T2	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,3	1	T2-1
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,3	2	T2-2
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	0,3	3	T2-3
T3	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	3	1	T3-1
	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	3	2	T3-2
	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	3	3	T3-3
T4	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	5	1	T4-1
	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	5	2	T4-2
	Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	5	3	T4-3
T5	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,1/3	1	T5-1
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,1/3	2	T5-2
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,1/3	3	T5-3
T6	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,3/5	1	T6-1

	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,3/5	2	T6-2
	Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Cloruro Férrico ($FeCl_3$).	0,3/5	3	T6-3

3.2.3.3. Prueba de Floculación

Se realizó experimentos de floculación mediante una simulación de prueba de jarras utilizando vasos de precipitado de 1000 mL y agitadores magnéticos múltiples (marca Velp y modelo Stirrer15) en la cual se distribuyó la muestra según los tratamientos indicados, tomando en cuenta las tres fases de la floculación, fase rápida (10 min), fase lenta (20 min) y fase de sedimentación (30 min). Terminada la fase de sedimentación se procedió a medir los parámetros físicos y a coleccionar la muestra para los parámetros químicos, los mismos que fueron almacenados en frascos de PVC de 500 mL y se agregó como preservante ácido nítrico concentrado para su posterior análisis de metales pesados.

3.2.3.4. Medición de parámetros

Los parámetros físicos de las muestras se evaluaron en el Laboratorio de análisis ambiental de la Escuela de Ingeniería de Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Tumbes, excepto los análisis de metales pesados los cuales fueron enviados al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars – Sede Central del INIA. Todos los análisis se realizaron siguiendo los procedimientos del manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales del APHA.

3.2.3.5. Análisis físicos

Los parámetros, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, salinidad, sólidos disueltos totales se determinaron con ayuda del equipo multiparámetro (WTW 340 i) y la turbidez se realizó con el turbidímetro (WTW TURB 355IR), estos parámetros fueron los primeros en determinarse para cada uno de los tratamientos y sus repeticiones.

3.2.3.6. Análisis de metales pesados.

Para los análisis de metales pesados las muestras fueron almacenadas en frascos de PVC de 500 mL, se le agregó como preservante ácido nítrico concentrado en un volumen de 1,5 mL, para luego ser enviados al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars del Instituto Nacional de

Innovación Agraria (INIA), y ser evaluados utilizando un espectrofotómetro de masa con plasma inducido (marca Perkin Elmer, ICP-MS NEXION 2000 Serie P).

3.2.3.7. Procesamiento de la información

Los resultados de los análisis físicos y metales pesados en el agua, se construyeron graficas comparativas para identificar si existe alguna tendencia en cuanto a la mejora de la calidad del agua de uso acuícola en las plantas de procesamiento de productos hidrobiológicos por la influencia de la dosificación de sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y cloruro férrico ($FeCl_3$). El análisis se hizo de forma individual por cada parámetro identificado considerando los de mayor importancia. Los límites máximos permisibles considerados en el presente trabajo en la comparación con los resultados son los presentes en el Reglamento de la Calidad de agua para consumo humano del ministerio de salud (DS N° 031-2010-SA.) y los Estándares de Calidad Ambiental para agua en la categoría 1 A3: Aguas que puedan ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Asimismo, se toma en cuenta los indicadores o criterios de seguridad alimentaria e higiene para alimentos y piensos de origen pesquero y acuícola, de la Dirección del Servicio Nacional de Sanidad Pesquera y su División de Control Sanitario del Medio Ambiente Acuícola.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados de los Parámetros

En las gráficas siguientes se muestran los resultados de los valores de los parámetros medidos; todos ellos considerando las 6 Dosificaciones que se han planteado tanto de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y cloruro férrico ($FeCl_3$). Como de sus combinaciones. Sin embargo, para mayor detalle las tablas con los resultados numéricos se encuentran en el anexo 1.

4.1.1. Parámetros físicos

Los resultados obtenidos durante los muestreos de los parámetros físicos se muestran a continuación:

4.1.1.1 pH

El tratamiento 01 en sus 3 repeticiones se encuentran dentro de los LMP establecidos por el Ministerio de Salud con valores 7.24, 7.02 y 6.69 respectivamente, los demás tratamientos tanto el tratamiento 2, 3, 4, 5 y 6 se

encuentran por debajo de los LMP establecidos por el Ministerio de Salud siendo el tratamiento 6 quien presenta los valores más bajos de los tratamientos realizados con valores 2.68, 2.84 y 2.71 respectivamente. Así mismo el T0 (agua cruda) presenta el valor de 7.52 encontrándose Dentro de los ECA correspondientes a la Subcategoría A3 (aguas que son aptas para ser potabilizadas mediante un tratamiento avanzado).

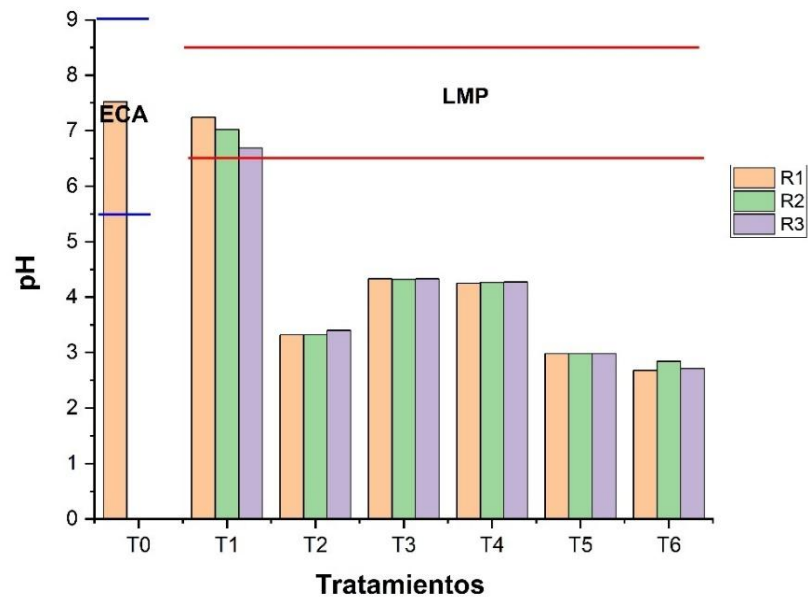


Ilustración 2. Evaluación de pH en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.1.2 Oxígeno Disuelto

Todos los tratamientos desde el Tratamiento 1 hasta el tratamiento 6 presentan valores que están situados dentro del rango de 8 hasta 8.5 mg/L. Así mismo el T0 (Agua cruda) presenta el valor de 8.07 mg/L, Siendo este mayor que el valor 4 recomendado y establecido por los ECA para la Subcategoría A3 (aguas que son aptas para ser potabilizadas mediante un tratamiento avanzado).

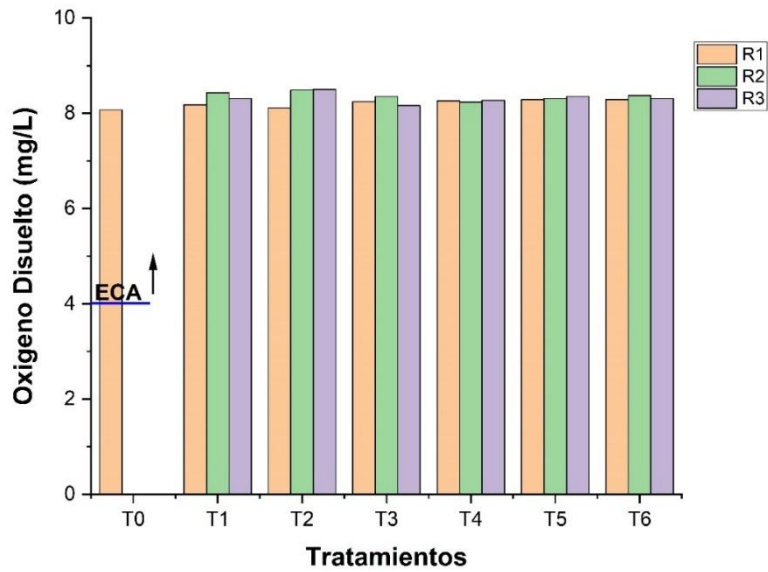


Ilustración 3. Evaluación del oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.1.3 Sólidos Totales Disueltos

El Tratamiento 4 (Cloruro férrico 5.0) es el único tratamiento que supera los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, los Tratamientos T5 y T6 los cuales son las combinaciones 0.1/3.0 y 0.3/5.0 respectivamente tienen los valores menores fluctuando entre 2.98 hasta 5.32 mg/L. El Tratamiento 0 (Agua Cruda) tiene el valor de 229 mg/L no superando el ECA (1500 mg/L) para la Subcategoría A3.

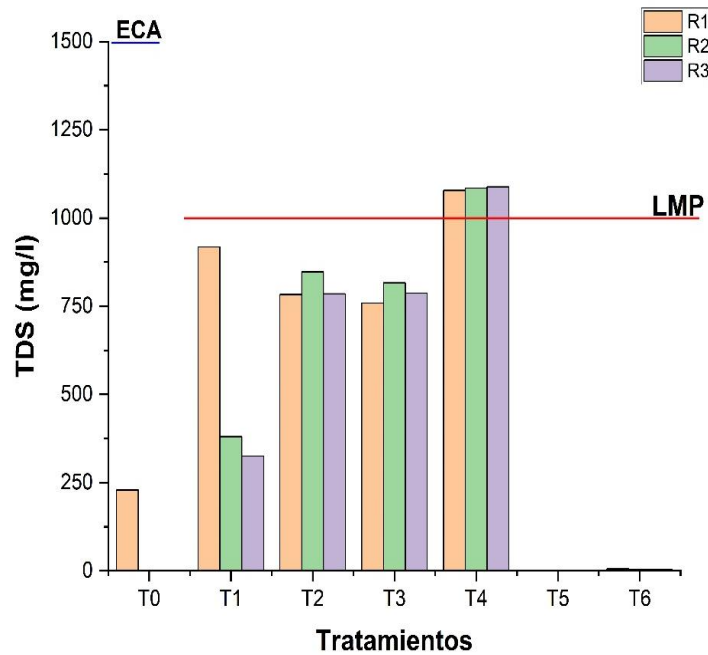


Ilustración 4. Evaluación de TDS en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.1.4 Turbidez

Los Tratamientos T3 y T5 superan los LMP impuestos por el Ministerio de Salud con valores 5.20 y 6.58 UTN en las repeticiones 1 y 2 en el T3 y los valores 15.8 y 20.1 UTN en las repeticiones 2 y 3 del T5, siendo el Tratamiento 4 el que presenta los valores más bajos con 1.13; 0.94 y 0.87 UTN en las 3 repeticiones respectivamente. El T0 (Agua Cruda) ha dado el valor de 379 UTN.

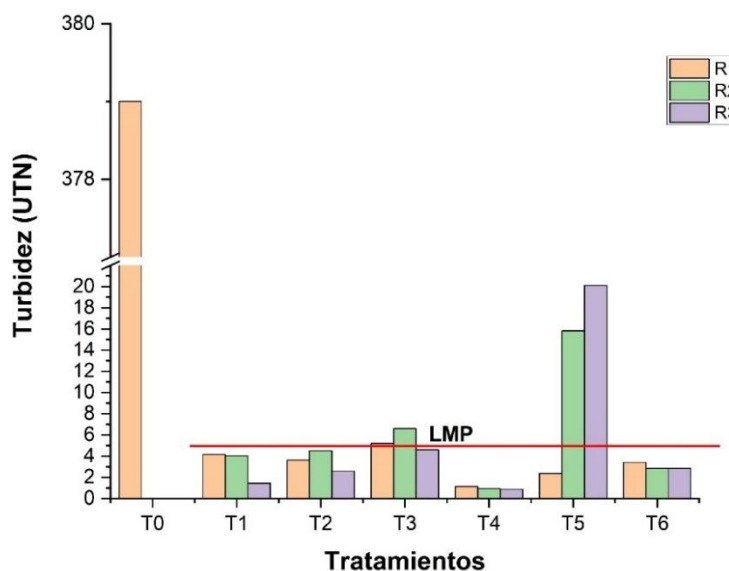


Ilustración 5. Evaluación de turbidez en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.1.5 Conductividad Eléctrica

Todos los Tratamientos presentan valores muy menores a los establecidos por los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, siendo los tratamientos T5 y T6 los que presentan valores inferiores con valores 2.51, 2.40 y 2.47 mg/L para el T5 en sus 3 repeticiones respectivamente y 5.35, 3.92 y 5.17 mg/L para el T6 en sus 3 repeticiones respectivamente.

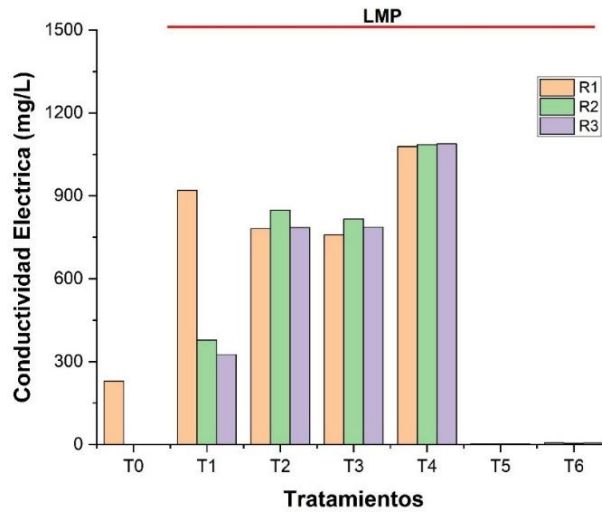


Ilustración 6. Evaluación de la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.1.6 Salinidad

El tratamiento T6 que tiene la combinación 0.3/5.0 posee los valores más altos con valores 2.9, 2.1 y 2.8 en sus 3 repeticiones respectivamente, siendo el tratamiento T1 (Sulfato de aluminio 0.1) el tratamiento con valores menores 0.4, 0.1 y 0.1 respectivamente en sus tres repeticiones. Así mismo al T0 (agua cruda) tiene el valor de 0.

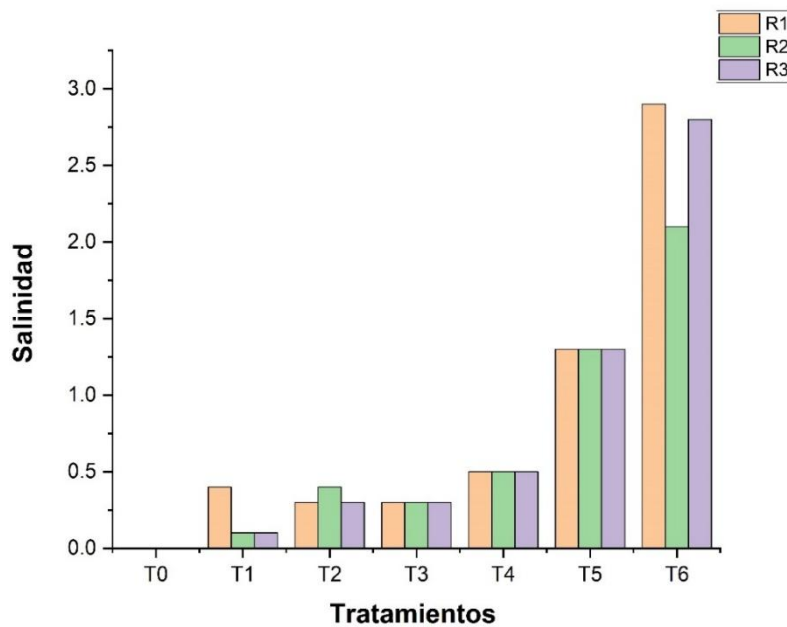


Ilustración 7. Evaluación de salinidad en los diferentes tratamientos evaluados.

4.1.2. Metales Pesados

4.1.2.1. Aluminio

Los Tratamientos T3, T4, T5 y T6 tienen valores que exceden los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, con valores que van desde 7.851 hasta 15.66 mg/L, siendo este el valor más alto del Tratamiento T4. Los Tratamientos T1 y T2 tienen valores por debajo de los LMP 0.004, 0.006 y 0.03 mg/L en las 3 repeticiones del T1 respectivamente y los valores 0.08, 0.1 y 0.08 mg/L del T2 Respectivamente. El T0 (agua Cruda) tiene el valor de 0.269 mg/L encontrándose en los ECA para la Subcategoría A3.

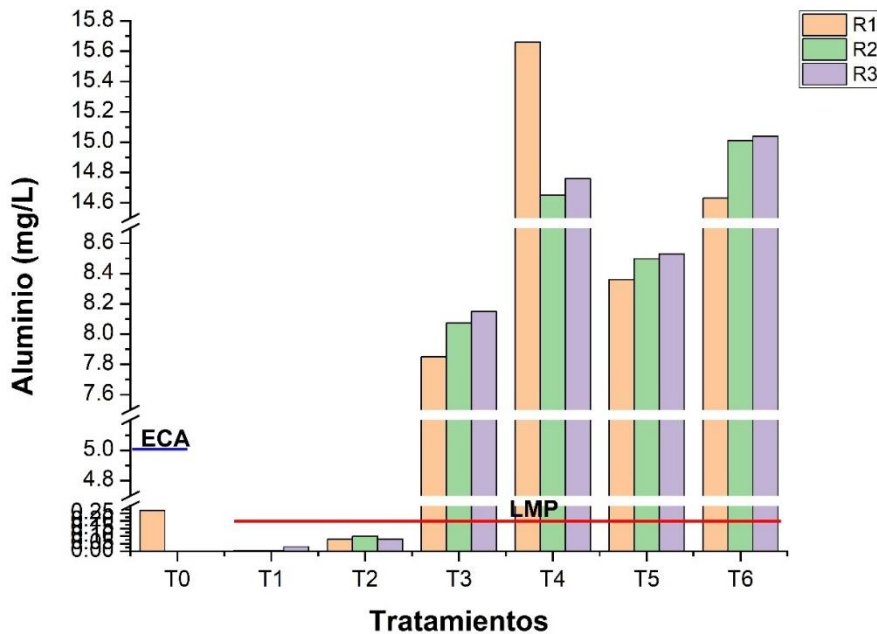


Ilustración 8. Evaluación de Aluminio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.2. Antimonio

Todos los tratamientos presentan valores que se encuentran debajo de los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, siendo los tratamientos combinados los que presentan los valores más bajos, el Tratamiento T6 presenta valores de 0.00 mg/L en sus 3 repeticiones, así mismo en la repetición 3 del T5 también presenta el valor de 0.00 mg/L. Los tratamientos T3 y T4 presentan el valor de 0.2 en sus 3 repeticiones cada una. El T0 (agua tratada) presenta el valor de 0.019 mg/L.

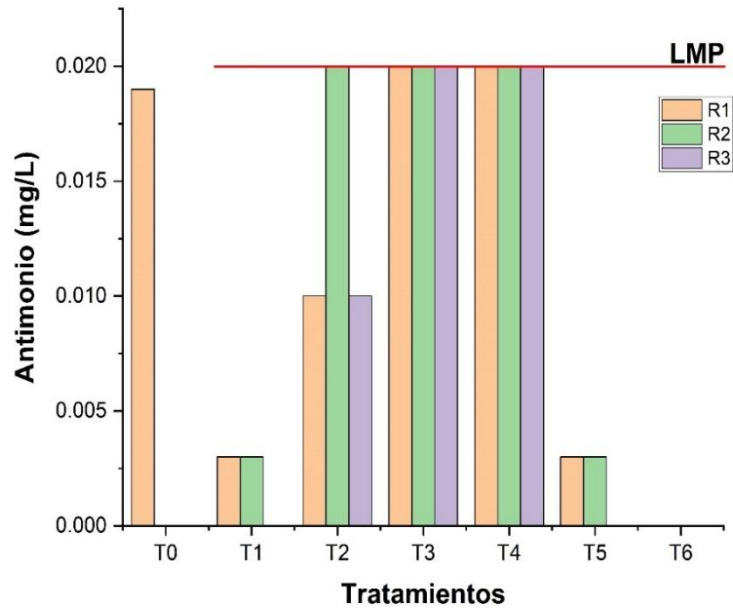


Ilustración 9. Evaluación de Antimonio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.3. Arsénico

Solo el tratamiento T1 presenta valores en sus tres repeticiones que no superan los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, con valores 0.004, 0.006 Y 0.00 mg/ L respectivamente. Siendo los valores más altos obtenidos por el Tratamiento T2 con valores 0.13, 0.17 y 0.13 mg/L Respectivamente. El Tratamiento T0 presento el valor de 0.244 mg/L el cual supera los ECA para la Subcategoría A3.

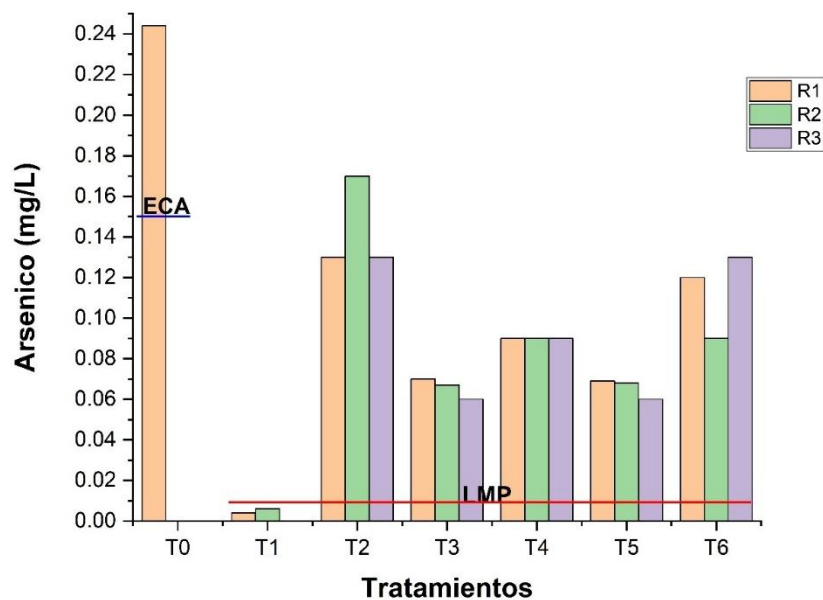


Ilustración 10. Evaluación de Arsénico en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.4. Bario

Todos los tratamientos presentan valores menores a los LMP impuestos por el Ministerio de Salud en sus 3 repeticiones, siendo los valores más altos los presentados por el Tratamiento T2 0.08, 0.07 y 0.07 mg/L Respectivamente y los valores más bajos lo presentan el Tratamiento T6 con Valores 0.04 mg/L en sus 3 repeticiones. Así mismo el Tratamiento T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.046 mg/L.

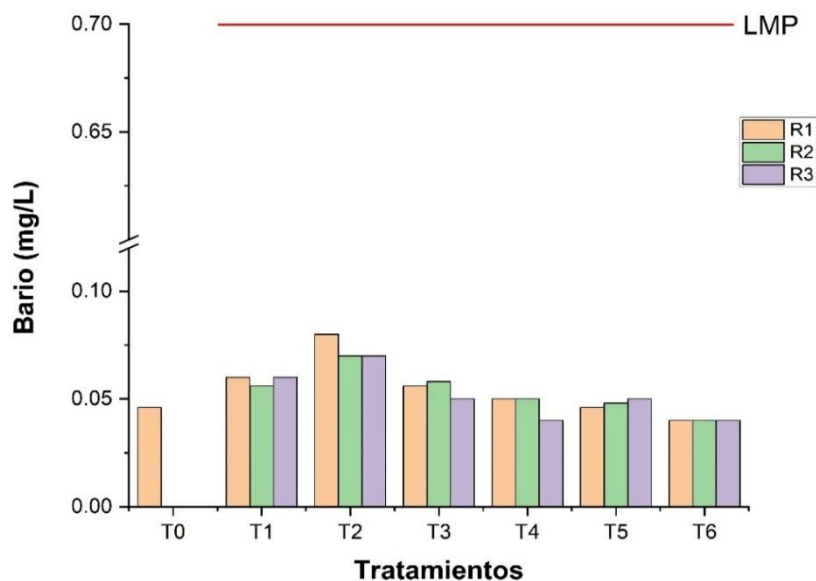


Ilustración 11. Evaluación de Bario en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.5. Berilio

El Tratamiento T5 es el único tratamiento que en las repeticiones 1 y 2 presenta valores de 0.002 mg/L en sus dos repeticiones, tanto los demás tratamientos como el T0 (agua cruda) presentan valor de 0.00 mg/L.

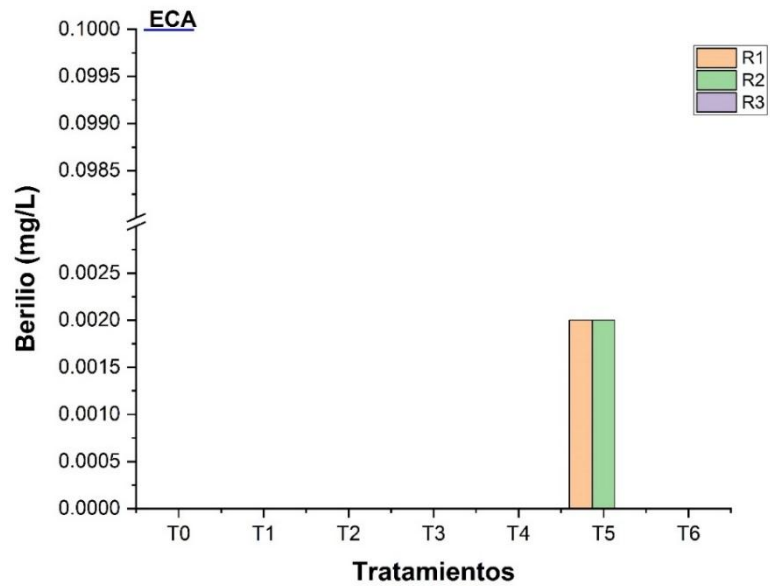


Ilustración 12. Evaluación de Berilium en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.6. Boro

Los Tratamientos T3 y T5 presentan valores de 0.004 mg/L en sus repeticiones 1 y 2, en los Tratamientos T2, T4 Y T6 presentan valores de 0.00 mg/L todos los tratamientos están por debajo de los LMP impuestos por el Ministerio de Salud. El tratamiento T0 (agua Cruda) presenta el valor de 0.004 mg/L que es inferior a los Estándares de Calidad Ambiental establecidos para la Subcategoría A3.

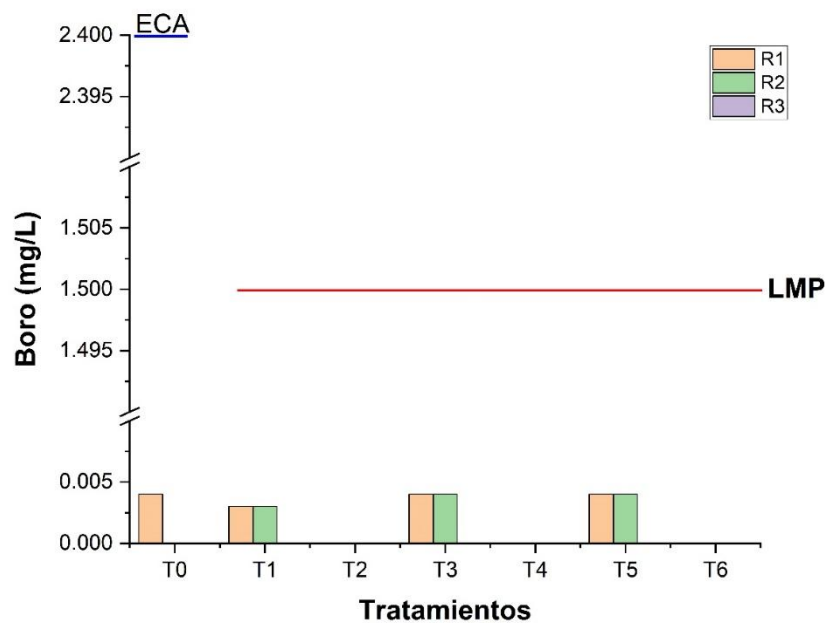


Ilustración 13. Evaluación de Boro en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.7. Cadmio

El tratamiento T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.004 mg/L que es inferior a los Estándares de Calidad Ambiental establecidos para la Subcategoría A (aguas que son aptas para ser potabilizadas mediante un tratamiento avanzado). Los tratamientos T1 y T2 presentan valores que se encuentran en inferioridad al de los Límites Máximos Permitidos impuestos por el Ministerio de Salud, con valores de 0.002, 0.001 y 0.00 mg/L para el T1 y valores de 0.00 mg/L para las tres repeticiones del T2. Siendo los valores más altos presentados por el tratamiento T3 con valores 0.014, 0.029 y 0.01 mg/L. superando los LMP impuestos por el Ministerio de Salud.

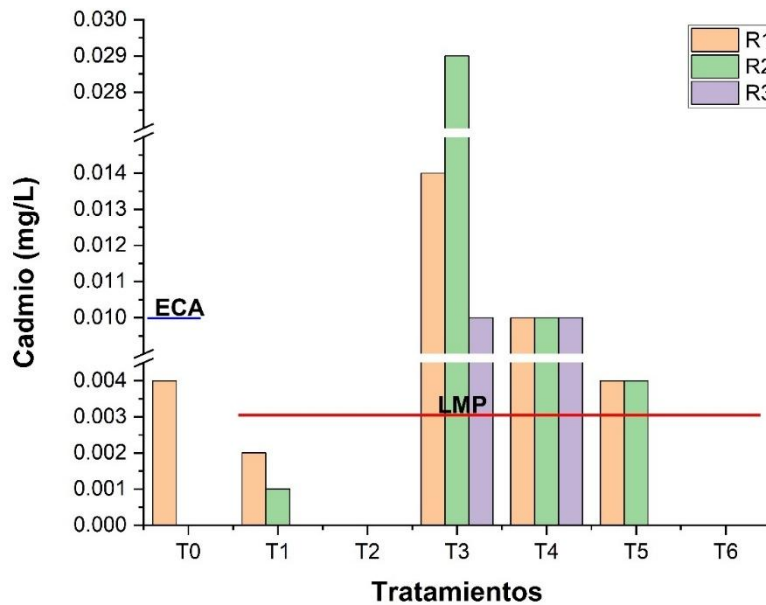


Ilustración 14. Evaluación de Cadmio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.8. Calcio

Todos los Tratamientos presentan valores que fluctúan entre los 23 hasta los 30 mg/L siendo el Tratamiento T2 que presenta los valores más altos 29.67, 30.15 y 29.03 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente. El Tratamiento T0 presenta valor de 21.546 mg/L.

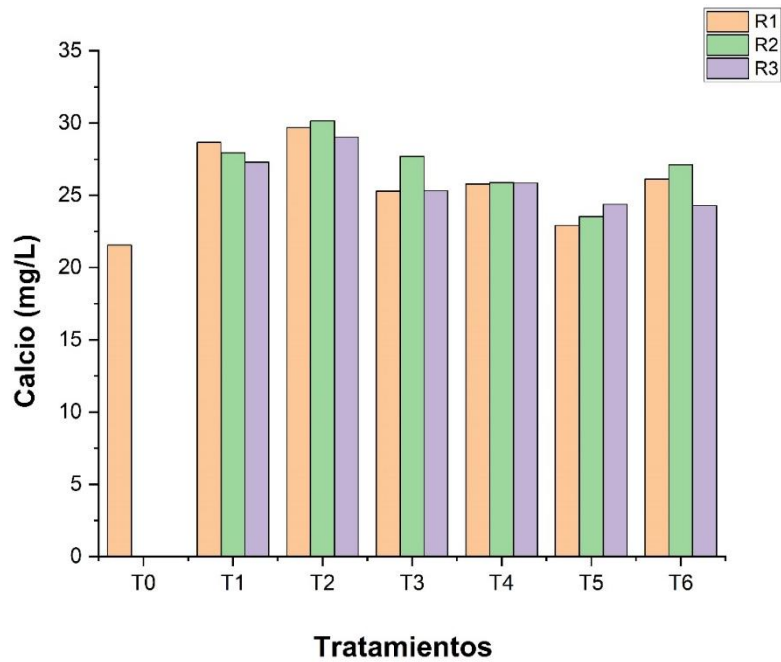


Ilustración 15. Evaluación de Calcio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.9. Cromo

Los Tratamientos T2 y T4 presentan los valores más bajos en sus 3 repeticiones siendo el mismo valor para todas 0.00 mg/L. y el Tratamiento combinado T6 presenta los valores más altos 0.01 mg/L en las repeticiones 1 y 2. 0.09 mg/L en la repetición 3 estando este valor por encima de los LMP impuestos por el Ministerio de Salud. El valor del T0 (agua cruda) es de 0.004 mg/L no sobrepasando los ECA para la Subcategoría A3.

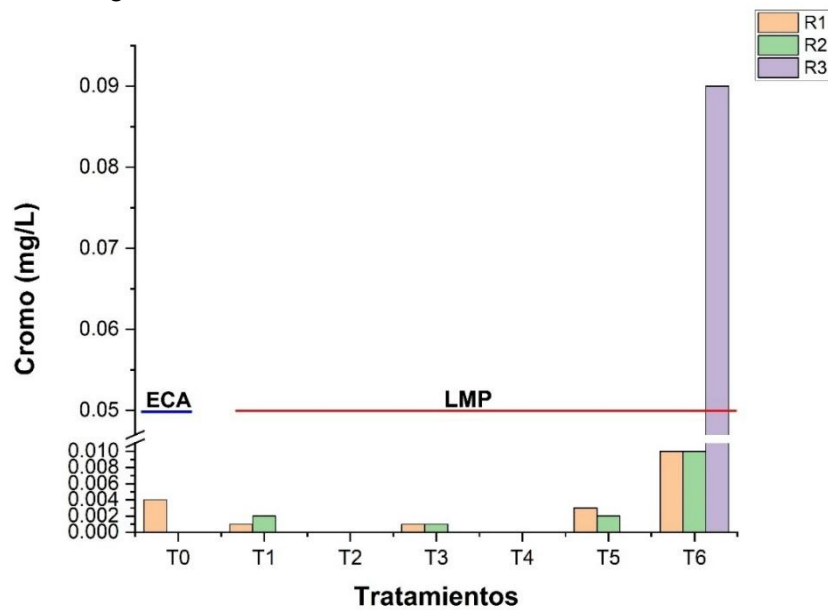


Ilustración 16. Evaluación de Cromo en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.10. Cobalto

El Tratamiento T4 presenta los valores más bajos con 0.00 mg/L en sus 3 repeticiones, el Tratamiento T6 presenta los valores más altos con valores 0.02, 0.01 y 0.02 mg/L respectivamente. Así mismo el T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.005 mg/L.

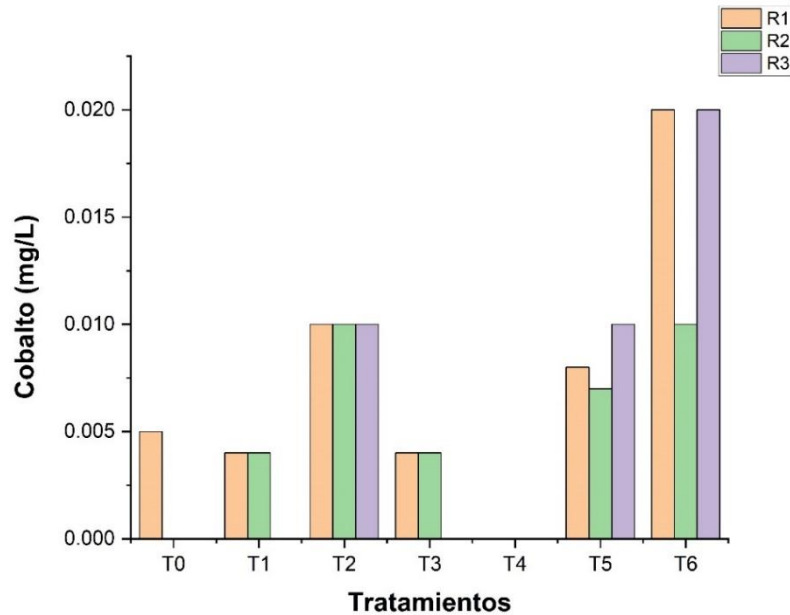


Ilustración 17. Evaluación de Cobalto en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.11. Cobre

El Tratamiento T1 presenta los valores más bajos con 0.015, 0.014 y 0.02 mg/L Respectivamente y los valores más altos los presenta el T2 con valores de 0.25, 0.26 y 0.27 mg/L. todos los tratamientos son inferiores al de los Límites Máximos Permisibles. El T0 (agua cruda) presenta el valor 0.228 mg/L que se encuentra por debajo de los ECA para la Subcategoría A3 (aguas que son aptas pasar ser potabilizadas mediante un tratamiento avanzado).

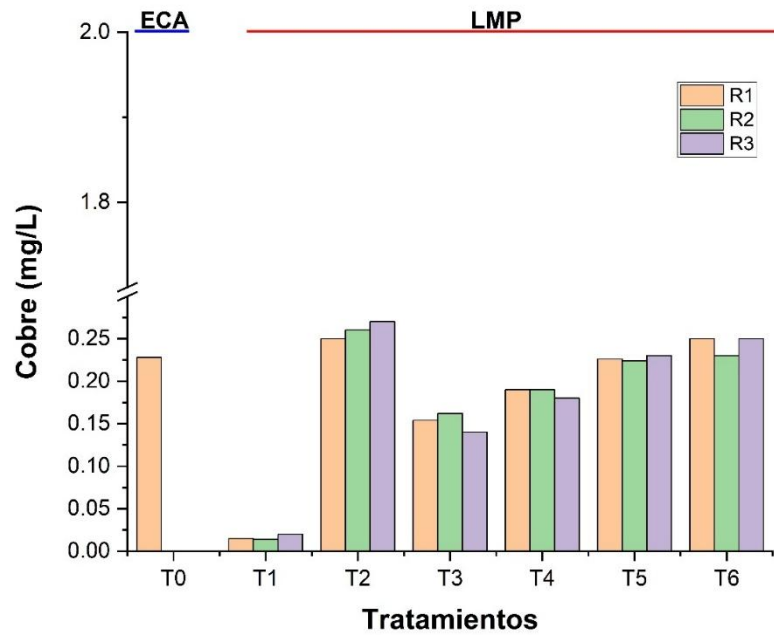


Ilustración 18. Evaluación de Cobre en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.12. Estroncio

El Tratamiento T1 presenta los resultados más altos con 0.239, 0.223 y 0.21 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente y el Tratamiento combinado T5 los valores más bajos con 0.136, 0.135 y 0.15 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente. Así mismo el T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.113 mg/L.

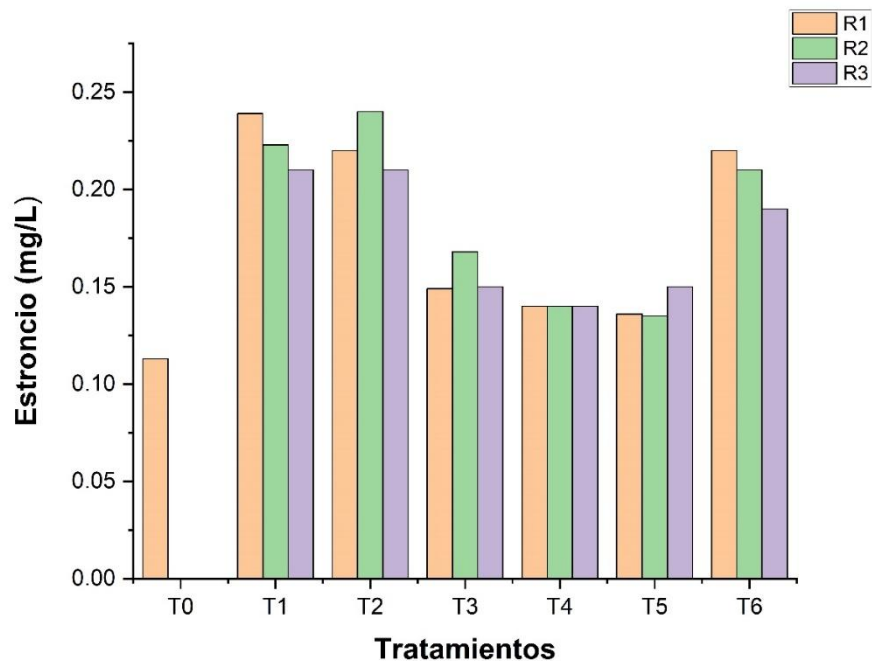


Ilustración 19. Evaluación de Estroncio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.13. Hierro

Los Tratamientos T2 y los Tratamientos Combinados T5 y T6 presentan los valores más altos superando así los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, siendo el tratamiento T6 quien presenta los valores más altos 340.03, 210.54 y 345.47 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente. Solo el tratamiento T4 tiene resultados que no son superiores al de los Límites Máximos Permisibles, con 0.00, 0.05 y 0.01 mg/L. así mismo el T0 (agua cruda) presenta el valor de 4.272 siendo inferior al de los ECA para la Subcategoría A3.

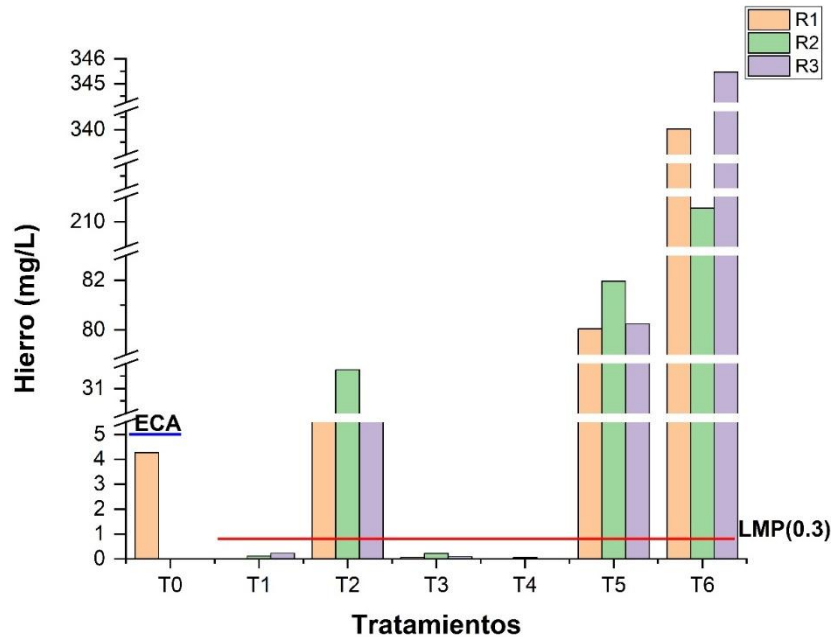


Ilustración 20. Evaluación de Hierro en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.14. Manganeso

Todos los Tratamientos superan los indicadores de Seguridad Alimentaria e Higiene para Alimentos y Piensos de Origen Pesquero y Acuícola, el tratamiento T2 y T6 en 2 repeticiones superan los LMP impuestos por el Ministerio de Salud con valores 0.43 y 0.42 mg/L de las repeticiones 2 y 3 del T2 respectivamente y 0.45 y 0.44 mg/L en las repeticiones 1 y 3 del T6 respectivamente. El T0 (agua cruda) tiene valor de 0.594 mg/L superando los ECA para la Subcategoría A3.

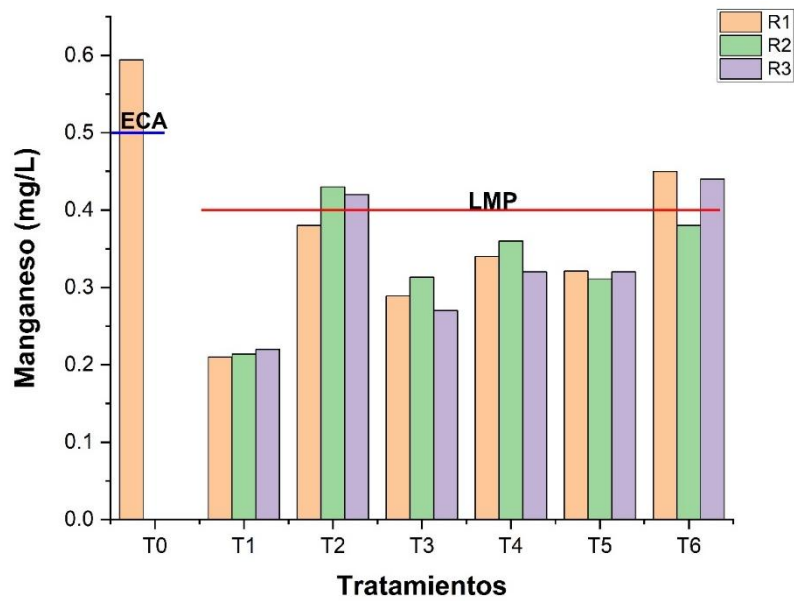


Ilustración 21. Evaluación de Manganeseo en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.15. Magnesio

Los Tratamientos poseen valores que fluctúan desde 4 hasta los 7.24 mg/L siendo el T4 quien presenta los valores más bajos con 4.47, 4.43 y 4.38 mg/L y los valores más altos del T6 con valores 7.24, 7.02 y 6.43 mg/L. el T0 (agua cruda) presenta el valor de 5.074 mg/L.

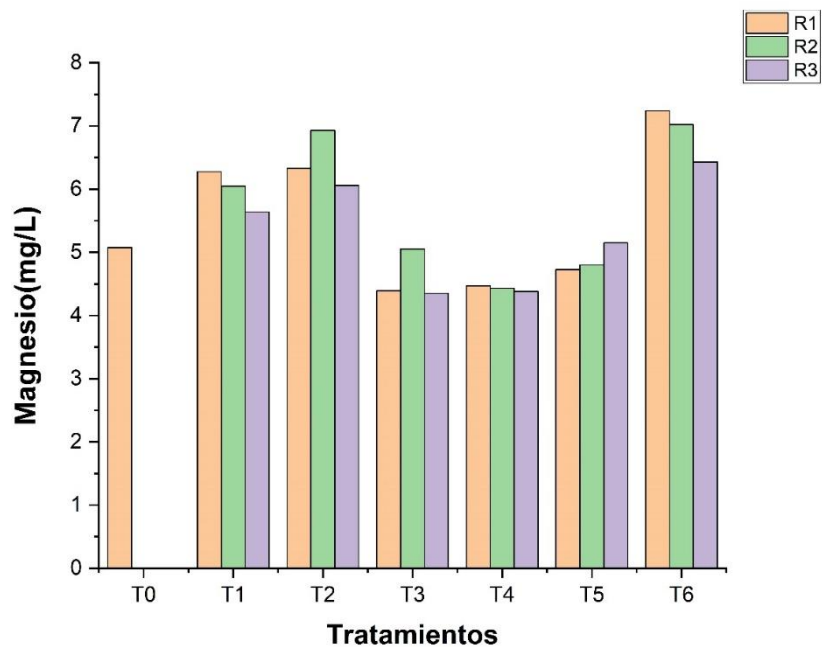


Ilustración 22. Evaluación de Magnesio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.16. Molibdeno

Los Tratamientos T1 y T6 presentan los valores más bajos con 0.00 mg/L en sus 3 repeticiones y los Tratamientos T2 y T4 presentan en una de sus repeticiones el valor más alto 0.01 mg/L en la repetición 2 y 1 respectivamente estando todos los tratamientos en inferioridad al de los LMP impuestos por el Ministerio de Salud. El T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.005 mg/L.

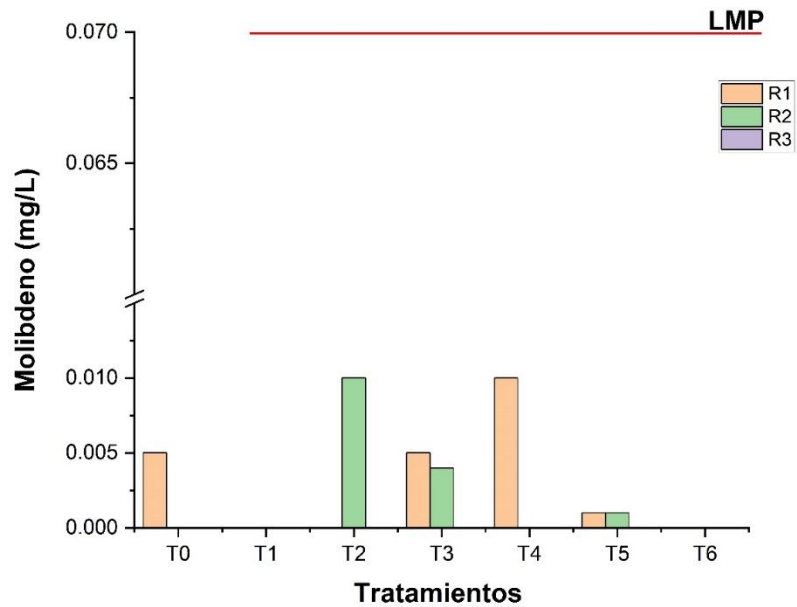


Ilustración 23. Evaluación de Molibdeno en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.17. Níquel

Los Tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 registran niveles inferiores a los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, siendo el T6 quien presenta los valores más altos sobre pasando los LMP 0.04, 0.03 y 0.07 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente. El T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.004 mg/L.

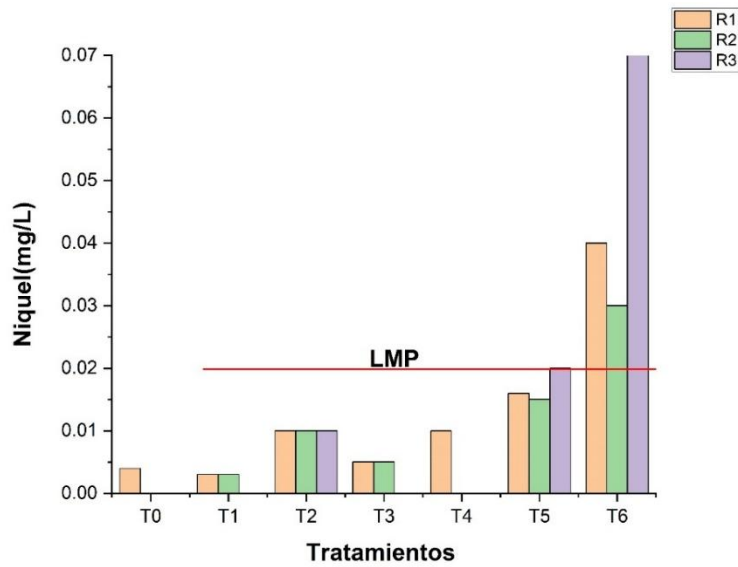


Ilustración 24. Evaluación de Niquel en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.18. Potasio

El Tratamiento T2 es el que presenta los valores más altos con valores de 2.26, 2.25 y 2.14 mg/L en sus 3 repeticiones Respectivamente y el Tratamiento T4 los valores más bajos 1.62, 1.57 y 1.58 mg/L en sus 3 repeticiones Respectivamente. El T0 presenta el valor de 1.596 mg/L.

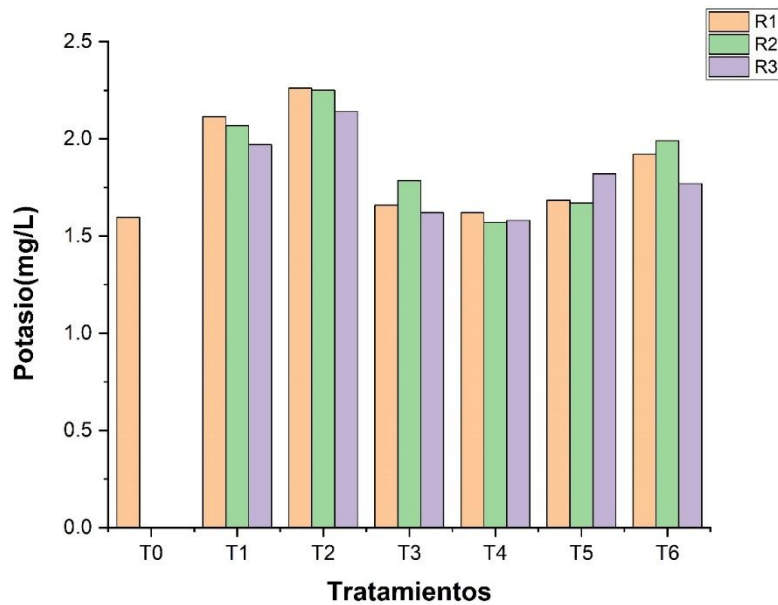


Ilustración 25. Evaluación de Potasio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.19. Plomo

Los Tratamientos T2, T3, T4 T5 y T6 presentan niveles que exceden los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, siendo el T6 quien presenta los valores más altos 0.44, 0.42 y 0.44 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente y el T1 los valores más bajos 0.006, 0.008 y 0.01 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente no superando los Límites Máximos Permisibles. El T0 presenta el valor de 0.493 mg/L superando los ECA para la Subcategoría A3.

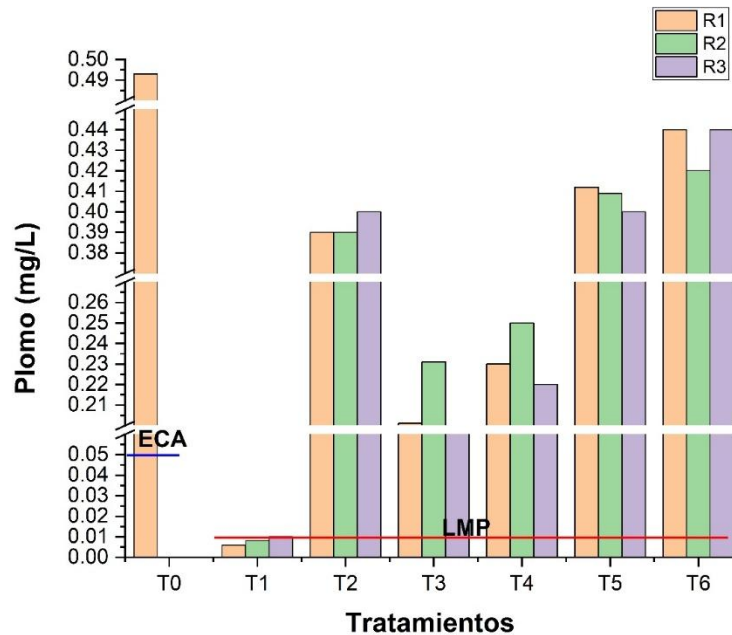


Ilustración 26. Evaluación de Plomo en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.20. Selenio

La totalidad de los tratamientos cumplen con niveles inferiores a los Límites Máximos Permisibles, siendo el T6 quien presenta los valores más altos en la repetición 1 y 3 con valores de 0.01 mg/L, y los valores más bajos los presentan los Tratamientos T2 y T4 con 0.00 mg/L en sus 3 repeticiones. El T0 presenta el valor de 0.005 mg/L no superando los ECA para la Subcategoría A3.

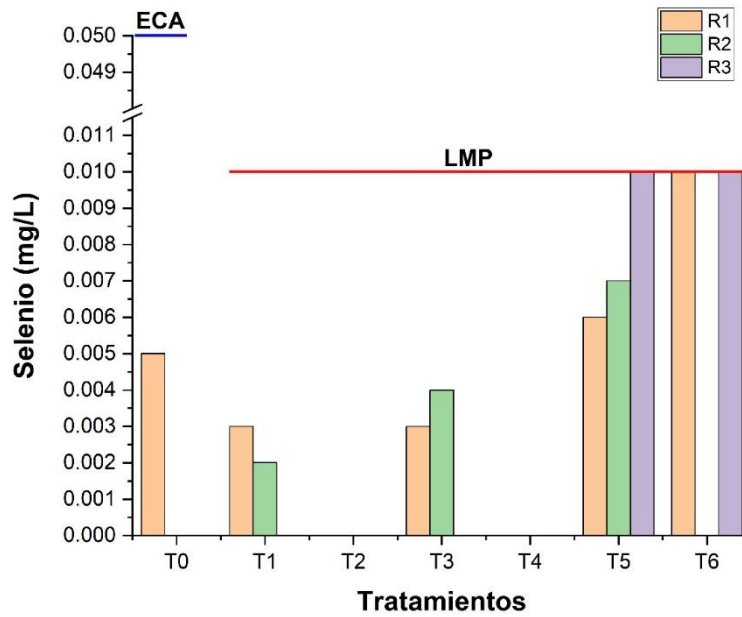


Ilustración 27. Evaluación de Selenio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.21. Sodio

Todos los Tratamientos presentan valores en sus repeticiones por debajo de los LMP impuestos por el Ministerio de Salud siendo el Tratamiento T6 con los valores más altos 29.65, 27.53 y 25.98 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente y los valores más bajos el Tratamiento T4 12.40, 12.24 y 12.31 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente. El T0 presenta el valor de 9.601 mg/L.

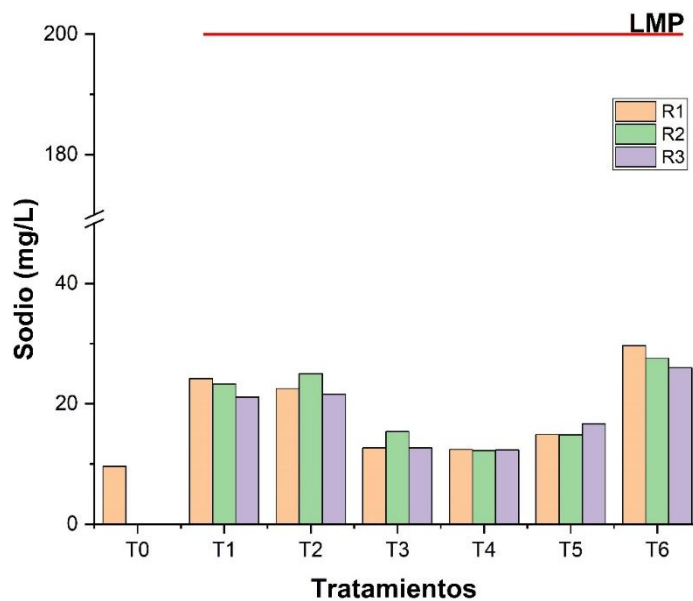


Ilustración 28. Evaluación de Sodio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.22. Vanadio

El Tratamiento T6 presenta los valores más altos 0.15, 0.04 y 0.12 mg/L en sus 3 repeticiones respectivamente y el Tratamiento T4 presenta los valores más bajos con 0.00 mg/L en sus 3 repeticiones. Así mismo el T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.025 mg/L.

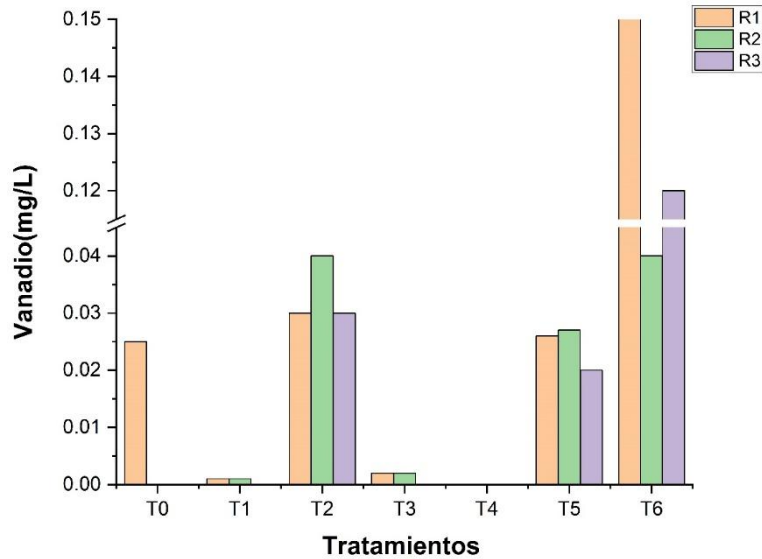


Ilustración 29. Evaluación de Vanadio en los diferentes tratamientos evaluados

4.1.2.23. Zinc

El Tratamiento T2 presenta en su repetición 1 el valor más alto 3.39 mg/L superando los LMP establecidos por el Ministerio de Salud, las dos repeticiones tanto el 2 y 3 presentan valores 1.47 y 1.76 mg/L no superando los LMP impuestos por el Ministerio de Salud, el Tratamiento T1 presenta los valores más bajos 0.159, 0.162 y 0.21 mg/L. el T0 (agua cruda) presenta el valor de 0.513 mg/L estando por debajo de los ECA para la Subcategoría A3.

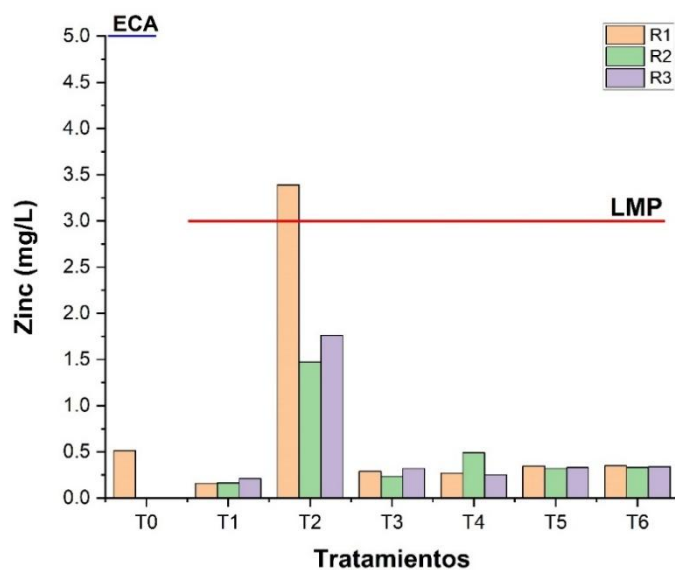


Ilustración 30. Evaluación de Zinc en los diferentes tratamientos evaluados

4.2. Resultados Análisis Estadístico de los Parámetros.

4.2.1. ANOVA Parámetros Físicos.

Tabla 5. Resultados de parámetros físicos

Parámetros Físicos	F _{calculado}	F _{tabulado}	
Oxígeno Disuelto	2.03967	0.12672	NS
Turbidez	4671.86333	<0.0001	*
Conductividad E.	27.32667	<0.0001	*
Salinidad	78.80597	<0.0001	*
TDS	27.56861	<0.0001	*
pH	895.55637	<0.0001	*

*: Existe diferencia significativa.

NS: No existe diferencia significativa

En los parámetros físicos, evaluados se observa que solo el oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos no presenta diferencia significativa. En cambio, el resto de los parámetros presenta diferencia significativa entre sus diferentes tratamientos aplicando un análisis de varianza, teniendo en cuenta el valor F.

4.2.2. ANOVA Parámetros Químicos.

Tabla 6. Resultados de parámetros químicos.

Parámetros Químicos	F _{calculado}	F _{tabulado}	
Aluminio	2420.93253	<0.0001	*
Antimonio	36.43013	<0.0001	*
Arsénico	117.92171	<0.0001	*
Bario	21.77405	<0.0001	*
Berilio	3.18367	0.03412	*
Boro	3.23544	0.0323	*
Cadmio	6.73463	0.00165	*

Calcio	27.89329	<0.0001	*
Cromo	1907.18924	<0.0001	*
Cobalto	14.54529	<0.0001	*
Cobre	311.29838	<0.0001	*
Estroncio	53.04865	<0.0001	*
Hierro	43.25413	<0.0001	*
Manganeso	87.00372	<0.0001	*
Magnesio	30.27965	<0.0001	*
Molibdeno	0.86882	0.55487	NS
Níquel	66.00124	<0.0001	*
Potasio	32.22081	<0.0001	*
Plomo	452.83436	<0.0001	*
Selenio	4.63158	0.00854	*
Sodio	74.07258	<0.0001	*
Vanadio	7.33773	0.0011	*
Zinc	7.85336	7.94879E-4	*

Los parámetros como aluminio, arsénico, cromo, plomo y cobre presentaron altos valores de F calculado y diferencias estadísticas muy significativas, lo que indica que las dosificaciones de los coagulantes fueron muy efectivas en la remoción de estos elementos.

- **Aluminio:** Los tratamientos T3, T4, T5 y T6 superan los LMP y muestran diferencias altamente significativas respecto a los demás tratamientos.
- **Arsénico:** Los tratamientos T2 al T6, mostraron concentraciones significativamente mayores, lo cual representa un riesgo potencial para la salud pública.
- **Cromo:** El T6, mostro una concentración mayor, lo que representa un riesgo a la salud pública.
- **Plomo:** Se evidenció que el tratamiento T1 tuvo un efecto significativo y los tratamientos T2 al T6 sobrepasan los LMP.
- **Cobre:** Para el caso de los tratamientos T2 al T6, se mostro una diferencia significativa con el T1, sin embargo, no pasan los LMP.

El único elemento que no mostró diferencia significativa entre los tratamientos fue el Molibdeno ($F_{calculado} = 0.86882$, $F_{tabulado} = 0.55487$). Este resultado indica que las dosis utilizadas en este estudio no tuvieron un impacto notable en la concentración de Molibdeno.

Algunos elementos como bario, boro, cadmio, calcio, cobalto, estroncio, hierro, manganeso, magnesio, potasio, sodio, vanadio y zinc presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque no todos superaron los

LMP. Esto indica que, aunque existe variabilidad en su concentración, aún podrían mantenerse en rangos aceptables para el consumo humano, dependiendo del tratamiento aplicado.

5. CONCLUSIONES

- La presente investigación evaluó la eficiencia de diferentes dosificaciones de sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y cloruro férrico (FeCl_3) con el fin de garantizar la calidad del agua en la planta de procesamiento de productos hidrobiológicos. Los resultados demuestran que los procesos de coagulación-floculación son eficaces para la remoción de impurezas, sin embargo, su eficiencia depende de la selección del coagulante y de su dosificación.
- Se concluye que el Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a una dosificación de 0.1 g es el floculante más adecuado y eficiente para el mejoramiento de la calidad del agua en la planta. Este tratamiento no solo demostró un rendimiento superior en la remoción de sólidos suspendidos y turbidez, sino que también mantuvo los parámetros químicos dentro de los límites máximos permisibles, en contraste con otros tratamientos evaluados. La selección de esta dosificación óptima es crucial, ya que permite garantizar la inocuidad del agua de procesamiento y, por ende, la calidad final de los productos hidrobiológicos, al tiempo que se minimizan los costos operativos y el impacto ambiental asociado al uso de químicos.
- Asimismo, la implementación de dosis de Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 0.1 g no solo garantiza un tratamiento de agua más eficaz, sino que además reduce el consumo excesivo de floculante, lo que con lleva a una disminución significativa de los costos operativos. A su vez, este resultado favorece un uso más responsable de los recursos y una menor generación de residuos químicos, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental, la eficiencia productiva y la competitividad económica de la empresa en el largo plazo.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda compartir y utilizar los resultados de los diferentes Tratamientos como base para mejores prácticas del estado del agua en la Planta de procesamiento de productos derivados de los recursos hidrobiológicos así mismo pueden aplicarse a otras plantas de tratamiento de agua en la región.

- Aplicar el tratamiento 1 con la dosificación de Sulfato de Aluminio en concentración de 0.1, para la mejora del estado del agua en la Planta de procesamiento de productos hidrobiológicos.
- Realizar monitoreos frecuentes a los canales de regadío tanto margen izquierda como derecha del Rio Tumbes por parte de la Autoridad Competente con la finalidad de garantizar agua en condiciones óptimas según el uso destinado de la misma. Debido al alto índice de metales pesados encontrados en los resultados realizados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of total dissolved solids and total suspended solids in water systems: A review of the issues, conventional, and remote sensing techniques. *Remote Sensing*, 15(14), 3534.
- Alcamo, J. (2019). Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. *Current opinion in environmental sustainability*, 36, 126-140.
[Record #27 is using a reference type undefined in this output style.]
- APHA, A. P. H. A. (2021). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
<https://doi.org/https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2459667>
- Aquino, P. (2017). CALIDAD DEL AGUA EN EL PERÚ *Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR)*, 1-140.
https://doi.org/https://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176_aguasresiduales.pdf
- Bardales, T. (2017). *Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiyacu, distrito de Moyobamba* Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. Moyobamba
- Bratby, J. (2016). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment.
- Ceban, M. (2019). Aluminio Noble.
- Chavez, J. (2018). CALIDAD DEL AGUA Y DESARROLLO SOSTENIBLE. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 35(2), 304-308.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719> (Calidad del agua y desarrollo sostenible.)
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment : principles and design*. John Wiley & Sons.
- González, F. A., Jorge (2020). *Agua y alimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jaffar, A., M Thamrin, N., Megat Ali, M. S. A., Misnan, M. F., & Mohd Yassin, A. I. (2020). The influence of physico-chemical parameters to determine water quality: a review. *Electrical Electronic Systems Research* 17, 116-121.
- Janampa Choque, Y., & Quiroz Quispe, M. L. (2021). *Remoción de Carga Orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el Método de Coagulación con Sulfato de Aluminio en el Lugar Agua de Vichi -Santa Ana - Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica]. UNH-Institucional.
- León, R. J., Gisselle; Carreras Patricia. (2021). Manual de Gestión Intengrada de Recursos Hídricos. 1-192. <https://doi.org/https://www.altervida.org.py/v5/wp->

[content/uploads/2021/06/Manual-de-gestion-Integrada-de-Recursos-Hidricos.pdf](#)

- Marchán, J. (2020). *Fiscalización en Procesos Basada en Riegos*. SANIPES.
- Medina, E. (2020). Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipo y superficies en establecimientos. *Dirección Regional de Inocuidad de los Alimentos*.
- O'Melia, C. R. (2014). Coagulation in Wastewater Treatment. In K. J. Ives (Ed.), *The Scientific Basis of Flocculation* (pp. 219-268). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9938-1_10
- Olortegui, H. (2019). *Determinación de la velocidad óptima de sedimentación de flóculos formados con coagulante sulfato de aluminio tipo "A" de la planta de tratamiento de agua potable* Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto]. Repositorio UNSM.
- OMS. (2011). Guidelines for drinking-water quality. 38(4), 104-108.
- Ramírez, A., & San José, C. (2006). El Azufre en la Naturaleza, *Anuales de la Real Academia de Doctores de España*.
- Rivas Romero, S. M. V., Gerardo; Rómulo Rodríguez, Aimet. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. *Tecnología Química*.
- Sigler, A., & Bauder, J. (2020). Hierro o fierro total. *Well Educated*.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.
- Velasquez, C. (2021). *Dosis Óptima y Eficiencia del Coagulante Sulfato de Aluminio Utilizado en el Proceso de Floculación para el Tratamiento de Agua Potable en la EPS SEDACAJ* Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN.