UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Evaluación de la efectividad del carbón de hueso de animales bovinos (*Bos taurus*) en la disminución de la concentración de Flúor en el agua potable de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Biotecnólogo, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Erick Fabricio Sánchez Aldaz

Tutor: Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

Ambato - Ecuador

Febrero – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final de Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación el mismo que responde a las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 20 de Enero de 2025



Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

1802706596

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Sánchez Aldaz Erick Fabricio manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas



Erick Fabricio Sánchez Aldaz

180527557-3

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final de Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Erick Fabricio Sánchez Aldaz

180527557-3

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
LORENA DE LOS ANGELES NUNEZ VILLACIS

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
WILLIAM RICARDO CALERO CACERES

Dr. William Ricardo Calero Cáceres

1714348859

Firmado electrónicamente por:
MARIO DANIEL GARCIA SOLIS

Dr. Mario Daniel García Solis

1103605471

Ambato, 03 de Febrero de 2025

DEDICATORIA

Para mi madre:

Aldaz Ortiz Mercy Yolanda

AGRADECIMIENTO

A mis padres Fredy Sánchez y Yolanda Aldaz: Por la educación y dedicación que me brindaron.

Mishelle Yánez: Por el apoyo incondicional que me ha brindado

Mg. Químico Lander Pérez: Por la guía y apoyo durante el desarrollo del presente proyecto.

GAD del Cantón San Pedro de Pelileo: Por la apertura y apoyo total para el desarrollo del presente proyecto.

Ing. Alejandro Villavicencio: Por el compañerismo y las enseñanzas desde el primer día de trabajo.

A todo el personal de trabajo del Departamento de Agua Potable y Saneamiento; junto al personal de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo: Por el compañerismo y apoyo total.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ---------- ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ---------- iii

DERECHOS DE AUTOR ---------- iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ---------- v

DEDICATORIA ---------- vi

AGRADECIMIENTO ---------- vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ---------- viii

ÍNDICE DE TABLAS ---------- x

ÍNDICE DE FIGURAS ---------- xi

RESUMEN EJECUTIVO ---------- xii

ABSTRACT ---------- xiii

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO ---------- 1

1.1. Antecedentes investigativos ---------- 1

1.1.2. Calidad de agua destinada al consumo humano ---------- 1

1.1.3. Presencia de flúor en el agua en forma de fluoruros ---------- 2

1.1.3. Carbón de hueso bovino en la disminución de fluoruros ---------- 4

1.1.4. Bio-filtros de agua potable de uso doméstico ---------- 5

1.2. Objetivos ---------- 5

1.2.1. General ---------- 5

1.2.2. Específicos ---------- 5

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA ---------- 6

2.1. Materiales ---------- 6

2.1.1. Materiales ---------- 6

2.1.2. Equipos ---------- 7

2.1.3. Reactivos ---------- 7

2.2. Métodos ---------- 8

2.2.1. Caracterización de las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la óptima adsorción de fluoruros presentes en el agua. ---------- 8

Obtención del carbón de hueso ---------- 8

Separación de las partículas de carbón según su tamaño ---------- 9

Evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros ---------- 9

Diseño experimental ---------- 10

Hipótesis ---- 11
Hipótesis Nula ---- 11
Hipótesis Alternativa ---- 11
Variables ---- 11
Variable dependiente ---- 11
Variable independiente ---- 11
Análisis de datos ---- 11
2.2.2. Implementación de un Bio-Filtro de uso doméstico a base de las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la adsorción de fluoruros presentes en el agua de consumo humano. 12
Diseño y adaptación de un filtro de uso doméstico a base del carbón hueso. ---- 12
Análisis de la efectivad del Bio-Filtro en la disminución de fluoruros en el agua de consumo humano ---- 12
2.2.3. Análisis de la efectividad del uso de Policloruro de Aluminio (PAC) en la disminución de la concentración de fluoruros en el agua potable proveniente de la vertiente Jun Jun. 13
Análisis de la calidad de agua de la vertiente "Jun Jun" ---- 13
Obtención de datos al probar PAC al 10 % a diferentes concentraciones en la disminución de fluoruros ---- 14
Evaluación de la curva de análisis de la evaluación de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros ---- 15
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN ---- 16
3.1. Análisis y discusión de los resultados ---- 16
3.1.1. Caracterización de las partículas de carbón de hueso de *B. taurus* ---- 16
3.1.2. Evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros ---- 21
3.1.3. Diseño y adaptación del bio-filtro de agua potable a base de carbón de hueso de animales bovinos de *B. taurus.* ---- 28
3.1.4. Análisis de la efectividad del bio-filtro en la disminución de fluoruros en el agua potable de consumo humano ---- 30
3.1.5. Análisis de la calidad de agua de la vertiente "Jun Jun" ---- 31
3.1.6. Evaluación de la efectividad de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros ---- 35
3.2. Verificación de la hipótesis ---- 37
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ---- 39
4.1. Conclusiones ---- 39
4.2. Recomendaciones ---- 40
MATERIALES DE REFERENCIA ---- 41
1. Referencias Bibliográficas ---- 41
2. Anexos ---- 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Insumos fungibles empleados en el desarrollo del proyecto 6
Tabla 2. Equipos empleados durante el desarrollo del proyecto 7
Tabla 3. Reactivos empleados durante el desarrollo del proyecto 8
Tabla 4. Puntos de toma de muestras de agua 13
Tabla 5. Evaluación de la efectividad del carbón tamizado de hueso de animales bovinos en la eliminación de fluoruros en el agua 22
Tabla 6. Evaluación de la efectividad del carbón de hueso de animales bovinos lavado con agua destilada en la eliminación de fluoruros en el agua 23
Tabla 7. Análisis de la dureza del agua trata con el carbón de hueso 27
Tabla 8. Análisis semanal de la efectividad del Bio-Filtro de uso doméstico 30
Tabla 9. Calidad del agua de consumo humano procedente de la vertiente Jun Jun 32
Tabla 10. Evaluación de la efectividad de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros 35
Tabla 11. Valores obtenidos por el INAMHI 36
Tabla 12. Diseño experimental sobre la evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros 37
Tabla 13. Diseño completamente al azar de la evaluación de carbón de hueso en la disminución de fluoruros en el agua 37
Tabla 14. ANOVA de los diferentes tratamientos del carbón de hueso 38
Tabla 15. Análisis de Varianzas 38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biofiltro de Agua para uso doméstico 12
Figura 2. Proceso de obtención del carbón de hueso 16
Figura 3. Estructura del Hueso de *B.taurus* 17
Figura 4. Lavado del carbonato de calcio con agua destilada 19
Figura 5. Caracterización del carbonato de calcio mediante microscopía óptica 20
Figura 6. Partículas de carbonato de calcio precipitadas durante el proceso del equipo de Test de Jarras 21
Figura 7. Evaluación de carbón de hueso tamizado en la eliminación de fluoruros 23
Figura 8. Evaluación de carbón de hueso lavado con agua destilada en la eliminación de fluoruros . 24
Figura 9. Diferencia entre el empleo del carbón de hueso tamizado y el carbón de hueso lavado con agua destilada 25
Figura 10. Imagen SEM de la partícula de carbón de hueso con un factor de magnificación de 77 ... 27
Figura 11. Diseño del biofiltro a base del carbón de hueso 29
Figura 12. Bio-filtro a base de carbón de hueso conectado al grifo de agua 29
Figura 13. Toma de muestras de agua 32
Figura 14. Concentración de fluoruros en el agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun 33
Figura 15. Concentración de Aluminio en el agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun 34
Figura 16. Turbidez del agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun 34
Figura 17. Evaluación de PAC al 10 % a distintas concentraciones en la disminución de fluoruros .. 36

RESUMEN EJECUTIVO

El exceso de flúor en el agua potable de consumo humano que se distribuye en algunos sectores del Cantón San Pedro de Pelileo procedente de la vertiente Jun Jun, es la principal causa del aparecimiento de la fluorosis dental en quienes la consumen; la fluorosis dental es una anomalía que afecta al esmalte de los dientes, causando su amarillamiento o desgaste; en el peor de los casos se puede producir la pérdida parcial o total de las piezas dentales. El presente estudio tiene la finalidad de evaluar la efectividad de carbón de hueso de *B. taurus* en la disminución de la concentración de fluoruros, la temperatura y tiempo de carbonización del hueso es fundamental para la obtención de partículas de hidroxiapatitas y carbonato de calcio adecuadas, las hidroxiapatitas y el carbonato de calcio son los encargados de atrapar los iones de Flúor; con una concentración de 5 g por cada Litro de carbón de hueso se logró reducir la concentración de 1.98 mg por cada Litro hasta un valor promedio de 0.742 mg por cada Litro en la evaluación de test de jarras sin alterar la calidad del agua. El diseño de un bio-filtro de uso doméstico puede ser empleado como una alternativa para reducir el contacto con los iones de Flúor presentes en el agua; el bio-filtro puede ser una herramienta empleada para mejorar la calidad de vida dental en niños, niñas, jóvenes, señoritas y personas adultas.

Palabras clave: carbón de hueso, hidroxiapatitas, carbonato de calcio, fluoruros, calidad del agua

ABSTRACT

The excess of fluoride in drinking water for human consumption that is distributed in some sectors of the San Pedro de Pelileo Canton from the Jun Jun watershed, is the main cause of the appearance of dental fluorosis in those who consume it; Dental fluorosis is an abnormality that affects the enamel of the teeth, causing them to yellow or wear out; In the worst case, partial or total loss of teeth can occur. The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of bone charcoal of *B. taurus* in reducing the concentration of fluorides, the temperature and time of bone carbonization is essential to obtain adequate hydroxyapatite and calcium carbonate particles, hydroxyapatites and calcium carbonate are responsible for trapping fluoride ions; with a concentration of 5 g per liter of bone charcoal, it was possible to reduce the concentration from 1.98 mg per liter to an average value of 0.742 mg per liter in the evaluation of jug tests without altering the water quality. The design of a bio-filter for domestic use can be used as an alternative to reduce contact with fluorine ions present in water; The bio-filter can be a tool used to improve the quality of dental life in children, young people, young women and adults.

Keywords: bone charcoal, hydroxyapatites, calcium carbonate, fluorides, water quality

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.2. Calidad de agua destinada al consumo humano

El agua es considerada como esencial para poder sustentar y mantener la vida, razón por la cual debe ser suministrada de manera segura, suficiente, y además de poseer un libre acceso para todos los seres vivos **(Perveen & Amar-Ul-Haque, 2023)**. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), los términos conocidos como "Agua potable segura", hacen referencia al agua de consumo humano que no posea ningún tipo de riesgo letal o peligroso significativo para la salud durante el tiempo de consumo. **(Dueñas & Hinojosa, (2021)** enfatizan en que el agua es la sustancia esencial capaz de garantizar la sobrevivencia de la vida en el planeta.

En la actualidad una de las soluciones de sostenibilidad que se ha ido adoptando para solucionar la escasez de agua potable es el enfoque en el tratamiento y reciclaje de las aguas residuales como menciona **(Damtie et al., 2019)**. En el estudio realizado por **(Das & Nandi, 2020)** se ha evidenciado elementos contaminantes, entre los más comunes encontrados en el agua potable de consumo se destaca principalmente el flúor, seguido del zinc, magnesio, y calcio además de elementos nocivos como mercurio, hierro y arsénico; contaminantes que pueden ser eliminados de una manera eficiente y segura, sin alterar el equilibrio de los ecosistemas tanto terrestres, como marinos. Las zonas urbanas no poseen problemas mayores en la calidad del agua que consumen, dado el origen de captación seguido de los tratamientos previos; sin embargo, se ha evidenciado contaminantes como el flúor en las zonas rurales, esto debido a la deficiente infraestructura en el proceso de potabilización del agua y las vertientes de captación según **(G. Rodríguez & Cabello, 2019)**.

En los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se hace énfasis al objetivo enfocado al agua limpia y saneamiento, donde se ha destacado que, a pesar de los avances tecnológicos y científicos de la actualidad, no se ha logrado ampliar el acceso al agua potable. La mayor parte de familias que habitan las zonas rurales no reciben agua potable de calidad, por tal motivo tienen que hervirla o aplicarle un tratamiento adicional antes de ser consumirla y evitar infecciones, así como enfermedades a largo plazo **(Figueroa et al., 2023)**.

Ecuador posee a su cargo el aseguramiento de la calidad de agua potable para todos sus habitantes, según la información tomada de **(Inec, 2020a)** la normativa INEN 1108-2020 vigente en el país, detalla los niveles límites de contaminantes que debe poseer el agua potabilizada. Esto con la finalidad de asegurar la salud de quienes la consumen. Se puede destacar los niveles de flúor como fluoruros dentro de la normativa INEN 1108-2020 los cuales deben tener una concentración máxima de 1.5 mg/L validado por el método de ensayo Standard Methods 4500-F **(Inec, 2020a)**. En el Laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo se realiza el monitoreo diario de todas las líneas de distribución de agua del Cantón.

1.1.3. Presencia de flúor en el agua en forma de fluoruros

La presencia de oligoelementos esenciales en el agua de consumo humano no es considerada perjudicial para la salud, se vuelve un riesgo potencial cuando se excede la exposición segura y recomendada **(Srivastava & Flora, 2020)**. El flúor es un elemento químico común pero que posee una elevada importancia, dado su elevada reactividad y alta solubilidad en agua **(Kumari et al., 2020)**. En soluciones acusas el flúor adopta la composición de fluoruro **(Grzegorzek et al., 2020)**. Los fluoruros, son los oligoelementos que más se ha evidenciado dentro de los análisis de agua potable en las plantas de tratamiento. Dicho elemento es son considerado como un arma de doble filo, dado los beneficios que posee para el crecimiento y desarrollo del cuerpo humano; así como el daño que puede ocasionar en el esmalte dental según **(Srivastava & Flora, 2020)**.

La ingesta de flúor es diaria dado que puede ser consumida en agua potable, pasta dental, pinturas, té, pescados, sal, así como también en productos farmacéuticos **(Garcés et al., 2022)**. Posee efectos dañinos para la salud con efectos a largo y corto plazo dependiendo de las concentraciones de exposición **(Muhamad et al., 2021)**. El agua procedente de la vertiente “Jun Jun” acorde al historial de análisis realizado en el año 2023 - 2024 por parte del laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD municipal de San Pedro de Pelileo posee una concentración de fluoruros de 2.56 mg/L; los sectores afectados son Benítez, El Corte y El Tambo, a pesar de no poseer ningún tipo de contaminante adicional, el exceso de flúor es lo que prevalece.

La fluorosis dental o conocida como cáncer dental es una enfermedad causada para la excesiva ingesta de fluoruros, esta enfermedad es capaz de atacar a las personas indistintamente de su edad como menciona **(Shanker et al., 2020)**. Para **(Diez et al., 2019)** la fluorosis dental es una enfermedad grave, además de ser un problema estético. La misma se encuentra caracterizada por el amarillamiento de las

piezas dentales, siendo el primer signo de que una persona ha estado expuesta a niveles elevados de flúor. En el Ecuador su prevalencia es mayor dentro de la región andina y zonas rurales **(Cáceres et al., 2018)**.

Desde la antigüedad las personas han tratado el agua con métodos básicos y sencillos, se puede destacar procesos como el dejarla expuesta al sol un determinado tiempo, hervirla, sedimentarla o filtrarla a través de arenas y gravas de distintos tamaños para poder purificarla y sea apta para el consumo humano según lo mencionado por **(Torres et al., 2017)**. Según **(Grijalva Endara et al., 2020)** en la actualidad las técnicas para tratar el agua empleadas en plantas de tratamiento con fines de consumo doméstico, se encuentran clasificadas en tres procesos:

1. Físicos
2. Químicos
3. Biológicos

Dentro de los procesos físicos se puede destacar metodologías como: filtración, aireación, sedimentación, adsorción, floculación y clarificación **(Grijalva Endara et al., 2020)**. Debido a la elevada cantidad de sustancias químicas empleadas para el tratamiento de agua, los residuos producidos deben recibir un tratamiento específico, lo que causa un problema adicional. Los tratamientos biológicos emplean organismos vivos para su tratamiento como es el caso de la digestión aerobia y digestión anaerobia, lo que ocasiona costos adicionales **(Grijalva Endara et al., 2020)**.

En la actualidad se ha desarrollado múltiples tratamientos químicos enfocados en la remoción de fluoruros presentes en el agua según **(Solanki et al., 2022a)**. El ablandamiento con cal se ha utilizado para precipitar el flúor al reaccionar con la cal viva, dicho proceso se da por la transformación de piedra caliza en presencia de agua y ácido carbónico para dar lugar a la formación química de carbonato de calcio, el mismo que es capaz de precipitar y es retirado de forma manual **(Solanki et al., 2022a)**. La alúmina activada es empleada para absorber contaminantes, en vez de filtrarlos. Al ser un compuesto poroso se emplea en el tratamiento de agua a la entrada de la planta para lograr atrapar los iones de fluoruros **(Grijalva Endara et al., 2020)**.

El proceso de intercambio iónico es especializado en la eliminación de compuestos iónicos que se encuentran disueltos en el agua, el proceso se lleva a cabo por el intercambio producido entre un sólido que puede ser resina o zeolita y la de un líquido como es el caso del agua a tratar, dentro del proceso los iones de flúor presentes en el agua se adhieren al sólido reduciendo sus concentraciones **(Revelo et al., 2021)**. La osmosis inversa se empleada aplicando una presión exterior que sea superior a la presión osmótica natural, lo que permite que el agua con una mayor concentración de sólidos disueltos, fluoruros y más atraviese la membrana; pasando a una solución más diluida, separando así los contaminantes presentes en el agua **(Cornelissen et al., 2021)**.

Los métodos de tratamiento de agua en la disminución de la concentración de fluoruros no son aplicados por las entidades a cargo, debido los altos costos que implican los mismos, ya sea en el precio de las resinas, así como el costo de mantenimiento que los mismos poseen, adicional a que los procesos llevan tiempo y elevadas formaciones de residuos según **(Solanki et al., 2022a)**.

1.1.3. Carbón de hueso bovino en la disminución de fluoruros

En los huesos de los animales se ha logrado evidenciar una elevada cantidad de elementos de interés científico, tal es el caso de la especie *B. taurus* que contiene en sus huesos carbonato de calcio **(Takabait et al., 2016)**. El carbonato de calcio posee la capacidad de reaccionar con los iones de flúor en una solución acuosa **(Takabait et al., 2016)**. El empleo del carbón de hueso es la técnica más efectiva enfocada para la remoción de fluoruros en aguas con excesivas concentraciones de flúor, dado la excelente capacidad de adsorción que tiene cuando las partículas de hueso son pequeñas **(Alkurdi et al., 2019a)**.

El hueso calcinado posee un mayor potencial de adsorción de fluoruros, a diferencia del hueso granular o cocido, dado la porosidad por la temperatura de calcinado **(Valenzuela et al., 2011a)**. El carbón de hueso ideal se puede obtener cuando las partículas de hueso son pequeñas, con tamaños que varía entre 0.5 a 1 mm y la temperatura de incineración empleada sea entre 500 y 700 °C durante un tiempo estimado de 2 horas **(Alkurdi et al., 2019a)**. La reacción que se da entre el carbonato de calcio y los fluoruros da como resultado la formación de fluoruro de calcio (CaF_2), este compuesto posee una baja solubilidad en soluciones acuosas, por lo que tiende a precipitar y formar sólidos **(Basantes et al., 2019a)**.

1.1.4. Bio-filtros de agua potable de uso doméstico

Los filtros de agua son utilizados para ayudar a mejorar la calidad de vida de los hogares, debido a que captan los contaminantes presentes en el agua que no hayan sido eliminados en su tratamiento a escala de planta **(Mayorga et al., 2019)**. La combinación de sustancias de origen natural puede ayudar notablemente a la disminución de contaminantes en el agua, como el empleo de sustancias tales como graba, arena, carbón activado, entre otros **(J. Rodríguez et al., 2018)**. El carbón de hueso puede ser empleado como un biofiltro para el tratamiento de agua, logrando la eliminación de una elevada cantidad de contaminantes de manera específica la eliminación de fluoruros **(Thongsamer et al., 2023)**. En la actualidad los biofiltros de agua han ganado espacio, debido a su versatilidad y eficiencia en la eliminación de contaminantes, disminuyendo la producción de residuos tóxicos y aumentando el cuidado ambiental **(Rini et al., 2023)**.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Evaluar la efectividad del carbón de hueso de animales bovinos (*B. taurus*) en la disminución de la concentración de Flúor en el agua potable de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo.

1.2.2. Específicos

- Caracterizar las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la óptima adsorción de fluoruros presentes en el agua.

- Implementar un Bio-Filtro de uso doméstico a base de las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la adsorción de fluoruros presentes en el agua de consumo humano.

- Analizar la efectividad del uso de Policloruro de Aluminio (PAC) en la disminución de la concentración de fluoruros en el agua potable proveniente de la vertiente Jun Jun.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en el Laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo, en la **Tabla 1** se detalla el material fungible utilizado durante la investigación.

Tabla 1. Insumos fungibles empleados en el desarrollo del proyecto

Material fungible	
Botellas (6 L)	12
Botellas (100 mL)	12
Pipetas (10 mL)	3
Pipetas (5 mL)	1
Celdas (10 mL)	20
Celda (50 mL)	20
Vasos de precipitación (200 mL)	2
Bureta (10 mL)	1
Toallas desechables	20
Fundas ziploc	50
Peras de succión	3
Guantes de calor	2
Tamizador por tamaño	1
Molino	1
Bandeja	2
Espátulas	2

2.1.2. Equipos

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en el Laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo, en la **Tabla 2** se detalla los equipos utilizados durante la investigación.

Tabla 2. Equipos empleados durante el desarrollo del proyecto

Equipos	
Autoclave	1
Balanza analítica	1
Mufla	1
Cámara de flujo laminar	1
Espectrofotómetro UV – Vis	1
Turbidímetro	1
Conductímetro	1
Destilador de agua	1
Cronómetro	1
Equipo de test de jarras	1
Potenciómetro	1

2.1.3. Reactivos

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en el Laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo, en la **Tabla 3** se detalla los reactivos utilizados durante la investigación.

Tabla 3. Reactivos empleados durante el desarrollo del proyecto

Reactivos	Cantidad
Carbón de hueso	1.8 Kg
Agua destilada	2 L
Etanol 96 %	1 L
Policloruro de Aluminio (PAC)	1 L
SPADNS	1 L
Ácido ascórbico	100 sobres
Aluminio	100 sobres
Blanqueador	100 sobres
Kit dureza	1

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterización de las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la óptima adsorción de fluoruros presentes en el agua.

Obtención del carbón de hueso

La obtención de carbón de hueso fue realizada a partir de la metodología aplicada por **Alkurdi et al., (2019)** donde describe en su estudio la importancia de la contextura de las partículas de carbón. El hueso de *B. taurus* fue obtenido de los residuos de la carnicería "Don Luis" donde se distribuye carnes de animales bovinos de calidad, posterior a ello el hueso fue sometido a calcinación a una temperatura de 500 °C, con un tiempo óptimo de combustión de 120 minutos. Para ello se empleó la mufla, el cual es el equipo más sofisticado para controlar la temperatura y el tiempo de calcinación **(Lee et al., 2016)**. Una vez obtenido el carbón de hueso, con el uso de un molino manual se procedió a triturar en su totalidad el hueso calcinado y obtener partículas lo más pequeñas posible. Las partículas de hueso trituradas fueron almacenadas en frascos herméticos para evitar el contacto con agentes contaminantes.

Separación de las partículas de carbón según su tamaño

El tamaño óptimo de las partículas de carbón de hueso debe encontrarse ente 0.5 y 1.0 mm acorde a los mencionado por **Alkurdi et al., (2019)**. Para ello se utilizó un tamizador analítico N°60, el cual permitió separar las partículas según su tamaño **(Valenzuela et al., 2011)**. Adicional se realizó un lavado con agua destilada a cada muestra de carbón empleado en el análisis, para eliminar los residuos de carbonato de calcio pequeñas adheridas a las partículas de mayor tamaño. Las partículas con el tamaño de interés fueron caracterizadas mediante el microscopio óptico para destacar la porosidad que poseen las mismas, dado que tienen la finalidad de atrapar los iones de fluoruros. Luego fueron almacenadas por separado en frascos herméticos, las partículas que se encuentren en 0.5 y 1 mm fueron las escogidas para el estudio.

Evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros

La efectividad del carbón de hueso fue analizada acorde a la metodología HACH, en muestras de agua tomadas directamente de la vertiente "Jun Jun". Para ello fue fundamental el empleo del test de jarras, donde se medió la concentración de fluoruros inicial de las muestras a procesar, mismas que fueron consideradas como control, las partículas de carbón de hueso escogidas fueron probadas en distintas concentraciones donde se logró determinar la concentración ideal que logró disminuir de forma ideal la cantidad de fluoruros presentes, partiendo del análisis de **Valenzuela et al., (2011)** quien realizó su estudio con una concentración de 20 g/L, debido a que en las muestras de agua empleadas la presencia de fluoruros superaban una concentración de 17 mg/L, para el análisis de la vertiente Jun Jun se tomó concentraciones de carbón de hueso de 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 12.5 y 15 g/L; dado la baja concentración de fluoruros que posee. Luego se analizó la concentración más cercana a la eficiencia midiendo el fluoruro residual al dejar precipitar el Fluoruro de Calcio (CaF_2) en el equipo de test de jarras.

La concentración de carbón de hueso fue evaluada en una cantidad de agua de 2 L de muestra, según lo recomendado por **Valenzuela et al., (2011)**, razón por la cual las concentraciones de 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 y 15 g/L pasan a ser la mitad 1.25, 2.5, 3.75, 5, 6.25 y 7.5 g/L; respectivamente. A pesar de la recomendación de **Valenzuela et al., (2011)** de usar el equipo de test de jarras a 60 rpm, se aplicó una velocidad de 120 rpm durante 15 minutos de reacción. Antes de ello se aplicó primero 300 rpm durante 3 minutos para lograr homogenizar el carbón de hueso con el agua muestra. Finalmente, una vez terminado el tiempo de operación del equipo de test de jarras se dejó reposar las muestras de agua donde se precipitó el Fluoruro de Calcio (CaF_2) obtenido entre la reacción de los iones de fluoruro (F^-) y los

iones de calcio (Ca^{2+}) presentes en el carbón de hueso cuya estructura posee carbonato de calcio ($CaCO_3$); la clarificación del agua se dará por gravedad, para medir la concentración final de fluoruros.

El flúor fue cuantificado acorde a la metodología HACH, para lo cual se requirió el empleo de una celda de 10 mL, adicional de una celda con 10 mL de agua destilada para cada muestra, misma que fue utilizada como blanco para calibrar el equipo. En cada alícuota de 10 mL tomadas de las muestras se agregó 2 mL del reactivo SPADNS, incluida la celda con el agua destilada, se agitó ligeramente para disolver el reactivo. Luego de dejar reaccionar durante un minuto, se procedió a leer en el espectrofotómetro 1800 a 580 nm en el programa N° 8029.

Adicional se evaluó el calcio residual para lo cual se tomó una alícuota de 0.05 mL de la muestra que se desea analizar, se aforó con agua destilada hasta 100 mL. Para agregar gota a gota 1 mL de Solución alcalina de Calcio y Magnesio de prueba, se invirtió varias veces hasta homogenizar la muestra, luego se agregó gota a gota 1 mL de Calcio y el Magnesio Solución Indicador, para ser invertido varias veces hasta homogenizar la muestra y evidenciar el cambio de coloración. Se tomó 3 alícuotas de 10 ml en distintas celdas, en la primera celda se agregó una gota EDTA Solución 1M, la misma que fue utilizada como blanco, en la segunda celda se agregó una gota de Solución EGTA, empleado para medir la concentración de Magnesio. La tercera celda no se adicionó nada, dado que fue empleada para la determinación de Calcio. En el espectrofotómetro se medió a 522 nm. Al valor obtenido se le aplicó el factor de dilución empleado para determinar la concentración real en mg/L de CaCO3.

Los análisis fueron realizados con éxito en el laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo.

Diseño experimental

Se realizó diez replicas con la finalidad de obtener certeza en los resultados, para ello se probó seis concentraciones distintas de carbón de hueso. El blanco empleado fue la misma muestra de agua proveniente de la vertiente Jun Jun sin adicionar ninguna concentración de carbón. Se implementó un diseño completamente al azar (DCA). Donde el factor, fue representado con la concentración de carbón de hueso en distintos tratamientos. Esto con la finalidad de evidenciar si ocurre o no, un cambio significativo en la concentración de fluoruros residuales.

Hipótesis

Hipótesis Nula

El carbón de hueso de *B. taurus* ayuda en la disminución de fluoruros presente en el agua de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo.

Hipótesis Alternativa

El carbón de hueso de *B. taurus* no ayuda en la disminución de fluoruros presente en el agua de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo.

Variables

Variable dependiente

Concentración de fluoruros residuales

Variable independiente

Concentración de carbón de hueso

Análisis de datos

Los valores obtenidos fueron tabulados mediante el empleo de ANOVA con un modelo lineal general univariado, con un nivel de confianza del 95 %. Con la finalidad de identificar las diferencias estadísticamente significativas en la disminución de la concentración de fluoruros bajo diversas concentraciones de carbón de hueso. Adicional se aplicó una prueba de medias para verificar la efectividad de los tratamientos seguido de elegir el mejor y más adecuado.

2.2.2. Implementación de un Bio-Filtro de uso doméstico a base de las partículas de hueso calcinado de *B. taurus* para la adsorción de fluoruros presentes en el agua de consumo humano.

Diseño y adaptación de un filtro de uso doméstico a base del carbón hueso.

Se utilizó un filtro comercial al cual se le modificó las composiciones de su interior, adicionándole el carbón de hueso obtenido. El diseño del bio-filtro fue realizado acorde a lo mencionado por **Kaseva, (2006)** donde el tiempo de retención de agua dentro del filtro debe ser de 2 minutos para obtener una cantidad de fluoruro residual de 17.82 a 11.26 mg/L. Esto dado que la concentración de fluoruros en las muestras del estudio empleado por **Kaseva, (2006)** fueron elevadas. Para el bio-filtro se empleó un tiempo de retención de 3 segundos, dado que los niveles de flúor en el agua en la presente investigación no son altas acorde a la normativa INEN-1108-2020 y los estudios realizados por laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo. El bio-filtro fue diseñado a partir del uso de dos capas de papel filtro de celulosa, una al ingreso y otra a la salida del filtro. El carbón de hueso junto al carbón activado se aplicó en la mitad de los dos papeles filtro para evitar su dispersión y perdida como se observa en la **Figura 1**. Al final se determinó el área, caudal, cantidad de carbón de hueso y tiempo de retención del sitio donde se conecte el bio-filtro, donde se determinó valores de escalado a planta de tratamiento.



Figura 1. Biofiltro de Agua para uso doméstico

Análisis de la efectivad del Bio-Filtro en la disminución de fluoruros en el agua de consumo humano

Para el análisis de la efectividad del bio-filtro en la adsorción de fluoruros, se conectó el bio-filtro a la red de agua procedente de la vertiente Jun Jun. Donde se evaluó la concentración ideal para la adsorción de fluoruros, basados en la evaluación del test de jarras. Una vez diseñado y armado el bio-filtro, se evaluó la cantidad de fluoruros al pasar la muestra de agua; acorde a la metodología HACH para lo cual

se requiere el empleo de una celda de 10 mL para cada muestra, adicional de una celda con 10 mL de agua destilada. En cada alícuota de 10 mL tomadas de las muestras agregar 2 mL del reactivo SPADNS, incluida la celda con el agua destilada, agitar ligeramente para disolver el reactivo. Dejar reaccionar durante un minuto y leer en el espectrofotómetro 1800 a 580 nm en el programa N° 8029.

2.2.3. Análisis de la efectividad del uso de Policloruro de Aluminio (PAC) en la disminución de la concentración de fluoruros en el agua potable proveniente de la vertiente Jun Jun.

Análisis de la calidad de agua de la vertiente "Jun Jun"

Acorde a lo mencionado **Gary, (2009)** en su libro en la química analítica se recomienda por lo regular el manejo de 10 resultados, para lo cual dentro del análisis de la calidad del agua de la vertiente "Jun Jun", se realizó la toma de 10 muestras de agua, partiendo de la misma vertiente, así como también la toma de muestras al azar de los distintos domicilios y tanques de distribución que consumen dicha agua. Las muestras fueron tomadas en frascos de 6 L para lograr asegurar la cantidad suficiente para su análisis. Los puntos de toma de muestras fueron los siguientes:

Tabla 4. Puntos de toma de muestras de agua

N°	Lugar
1	Vertiente Jun Jun
2	Vertiente Jun Jun
3	Entrada Tanque de agua Benítez
4	Salida Tanque de agua Benítez
5	Entrada Tanque de agua El Corte
6	Salida Tanque de agua El Corte
7	Entrada Tanque de agua El Tambo
8	Salida Tanque de agua El Tambo
9	Domicilio 1
10	Domicilio 2

Para el análisis de las muestras se empleó la metodología HACH, para la concentración de fluoruros se requirió el empleo de una celda de 10 mL , adicional se necesitó una celda con 10 mL de agua destilada que se utilizó como blanco. En cada alícuota de 10 mL tomadas de las muestras se agregó 2 mL del reactivo SPADNS, incluida la celda con el agua destilada, se agitó ligeramente para disolver el reactivo. Se dejó reaccionar durante un minuto y para leer en el espectrofotómetro 1800 a 580 nm en el programa N° 8029. Acorde a la normativa vigente INEN 1108–2020 los rangos de Fluoruros se encuentran en un máximo de 1.50 mg/L **(Inec, 2020)**.

Se analizó la cantidad de Aluminio de entrada, acorde a la metodología HACH, para lo cual se requirió el empleo de una celda de 50 mL para cada muestra, en cada alícuota de 50 mL tomadas de las muestras se agregó ácido ascórbico, se agitó las muestras hasta disolver por completo el reactivo, se añadió los sobres de aluminio en las muestras, las muestras tomaron una coloración naranja pálido, entre más intenso sea el color, mayor será la concentración de aluminio. Se agitó hasta disolver el reactivo de cada muestra se tomó dos alícuotas de 10 mL en distintas celdas, en una de ella se agregó el blanqueador, el cual fue considerado como el blanco para cada una de las muestras. Se dejó reaccionar durante 15 minutos, para dar lugar a la lectura en el espectrofotómetro 1800 a 522 nm en el programa N° 8012.

Adicional se evaluó parámetros de: conductividad, color, TDS, mediante el empleo de conductímetro, para ello se tomó una alícuota de 50 mL de cada muestra. El pH y Temperatura fueron evaluados mediante el potenciómetro con una alícuota de 30 mL, la turbidez se evaluó mediante el empleo del turbidímetro en una alícuota de 10 mL de cada muestra.

Los análisis fueron realizados con éxito en el laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo.

Obtención de datos al probar PAC al 10 % a diferentes concentraciones en la disminución de fluoruros

Acorde a la metodología HACH, el test de jarras es un equipo que consta de 6 jarras y un sistema de agitación por rotación, el cual simula el proceso de tratamiento que se da en la planta, el proceso es controlado según las revoluciones por minuto (rpm) y tiempo de agitación, para el análisis se empleó primero 300 rpm durante 3 minutos y seguido de 40 rpm durante 15 minutos. La concentración ideal de Policloruro de Aluminio (PAC) al 10 % para la eliminación de contaminantes se encuentra entre 20-40 ppm **(Cho et al., 2020)**. Estas concentraciones pueden ser suficiente para reducir la concentración de

fluoruros, pero aumentarían el riesgo por ingesta de aluminio residual **(Solanki et al., 2022)**. Para la evaluación de la efectividad de PAC al 10 % en la disminución de fluoruros se va a empleó concentraciones de 20, 30 y 40 ppm.

El flúor fue cuantificado acorde a la metodología HACH, para lo cual se requirió el empleo de una celda de 10 mL, adicional de una celda con 10 mL de agua destilada para cada muestra, misma que fue utilizada como blanco para calibrar el equipo. En cada alícuota de 10 mL tomadas de las muestras se agregó 2 mL del reactivo SPADNS, incluida la celda con el agua destilada, se agitó ligeramente para disolver el reactivo. Luego de dejar reaccionar durante un minuto, se procedió a leer en el espectrofotómetro 1800 a 580 nm en el programa N° 8029.

Además, se analizó la cantidad de Aluminio, acorde a la metodología HACH, para lo cual se requirió el empleo de una celda de 50 mL para cada muestra, en cada alícuota de 50 mL tomadas de las muestras se agregó ácido ascórbico, se agitó las muestras hasta disolver por completo el reactivo, se añadió los sobres de aluminio en las muestras, las muestras tomaron una coloración naranja pálido, entre más intenso sea el color, mayor será la concentración de aluminio. Se agitó hasta disolver el reactivo de cada muestra se tomó dos alícuotas de 10 mL en distintas celdas, en una de ella se agregó el blanqueador, el cual fue considerado como el blanco para cada una de las muestras. Se dejó reaccionar durante 15 minutos, para dar lugar a la lectura en el espectrofotómetro 1800 a 522 nm en el programa N° 8012.

Los análisis fueron realizados con éxito en el laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo.

Evaluación de la curva de análisis de la evaluación de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros

Con los valores obtenidos se realizó curvas de evaluación con el empleo del Excel, dado la disponibilidad y facilidad de uso. El análisis de datos de la evaluación fue mediante ANOVA con un nivel de confianza del 95 %, El diseño experimental destinado fue un diseño completamente al azar (DCA). Donde se evaluó la disminución de la concentración de fluoruros sin aumentar la concentración de Aluminio residual.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Caracterización de las partículas de carbón de hueso de B. taurus



Figura 2. Proceso de obtención del carbón de hueso

A) Preparación del hueso; **B)** Pre-calcinación de los huesos; **C)** Pesaje del hueso pre-calcinado; **D)** Carbonato de calcio obtenido luego de la calcinación; **E)** Molienda del carbonato de calcio; **F)** Polvo de carbonato de calcio.

Partiendo de la obtención de hueso, en la carnicería "Frigorífico San Luis", ubicado en Cantón San Pedro de Pelileo, en el sitio conocen el tipo de especie que venden al público, las personas reconocen a la especie según las características de la carne y cantidad de grasas. Según lo mencionado por **Lino, (2020)** el tejido óseo bovino posee importantes funciones de soporte. Se encuentra conformado principalmente por células óseas tales como células madre, osteoblastos, osteocitos en el 2 % de tejido; también se encuentra conformado por un 70% de sustancia extracelular resistente, o denominado hidroxiapatitas. Las hidroxiapatitas [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] se forman a partir del consumo y segregación de calcio y fósforo. Según **Salado, (2024)** las hidroxiapatitas son apatitas de fosfato cálcico, la cual se encuentra formada por átomos de calcio, fósforo e hidrógeno.

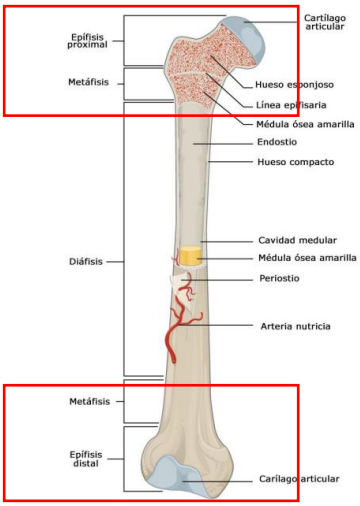


Figura 3. Estructura del Hueso de *B.taurus*

Fuente: Imagen tomada de (Lino, 2020).

Cómo se observa en la **Figura 2A,** las partes del hueso de *B. taurus* seleccionadas para la obtención de carbonato de calcio fueron: metáfisis, epífisis proximal, epífisis distal; las cuales se pueden diferenciar en la **Figura 3.** Esto dado que en la parte de la diáfisis se encuentra la médula ósea amarrilla y toda la parte central es hueso. Posee una mayor cantidad de grasa y menor cantidad de hueso **(Lino, 2020)**. Sin embargo, las zonas selecciones para el proceso son rígidas y con mayor concentración de hueso. La grasa presente de la diáfisis, podría dificultar la calcinación de los huesos, dado que produce una gran cantidad de humo. Como se observa en la **Figura 2B,** antes de carbonizar las muestras en la mufla, los huesos se calcinaron en una estufa al aire libre donde se presenció cantidades elevadas de humo para eliminación de parte de la materia orgánica.

En el estudio realizado por **Kaseva, (2006)**, para la obtención de carbonato de calcio se debe emplear un equipo que sea capaz de llevar una temperatura de 500 – 700 °C durante un tiempo de 2 horas; para ello el equipo empleado en el presente estudio fue la Mufla. Como se observa en la **Figura 2C** el carbón posee un color negro oscuro, mientras en la **Figura 2D**, una vez calcinado el carbón, el mismo posee un color blanquizco-gris, siendo la característica principal del carbonato de calcio (Herrera et al., 2020). Para el proceso de molienda un molino manual es una herramienta de fácil uso y libre acceso, como se aprecia en la **Figura 2E,** a pesar de no obtener partículas homogéneas, **Pancca & Palomino, (2022)** menciona que para homogenizar las partículas es recomendable emplear un tamizador para lo cual **Kaseva, (2006)** resalta la importancia de emplear carbonato de calcio en tamaño de entre 0.5 y 1 mm para mejorar la efectividad de absorción. La **Figura 2F** resalta la coloración del carbonato de calcio en su presentación como polvo.

Para la determinación del rendimiento se pesó las muestras de hueso adquiridas, como se observa en la **Figura 2C** el carbón libre de materia orgánica también fue pesado. Para **López et al., (2022)**, la materia orgánica es carbonizada entre 350 – 500 °C. Para el cálculo de rendimiento se va emplear el peso del hueso, el carbón de hueso y el peso de carbonato de calcio obtenido.

$$\% \, Rendimiento = \frac{Kg \; de \; Carbonato \; de \; Calcio}{Kg \; de \; Hueso} * 100$$

$$\% \, Rendimiento = \frac{0.57893}{1.8} * 100$$

$$Rendimiento = 32.12 \, \%$$

Partiendo desde la obtención del hueso de *B. taurus,* se puede evidenciar que el rendimiento no es elevado, esto debido a que como se observa en la **Figura 2A,** el hueso presenta la presencia de tendones, grasa, cartílagos **(Lino, 2020)**. Razón por la cual se tiene un peso mayor a lo que se desea.

$$\% \, Rendimiento = \frac{Kg \; de \; Carbonato \; de \; Calcio}{Kg \; de \; Carbón \; de \; Hueso} * 100$$

$$\% \, Rendimiento = \frac{0.57893}{0.73838} * 100$$

$$Rendimiento = 78.40 \, \%$$

A diferencia, luego de haber eliminado la mayor cantidad de materia orgánica se tiene el peso total solo del hueso y el carbón normal, dejando una ventana de estudio para optimizar el proceso de obtención de carbón de hueso y mejorar la optimización de recursos. Con el proceso de eliminación de materia orgánica se ha logrado la obtención de un mejor rendimiento.

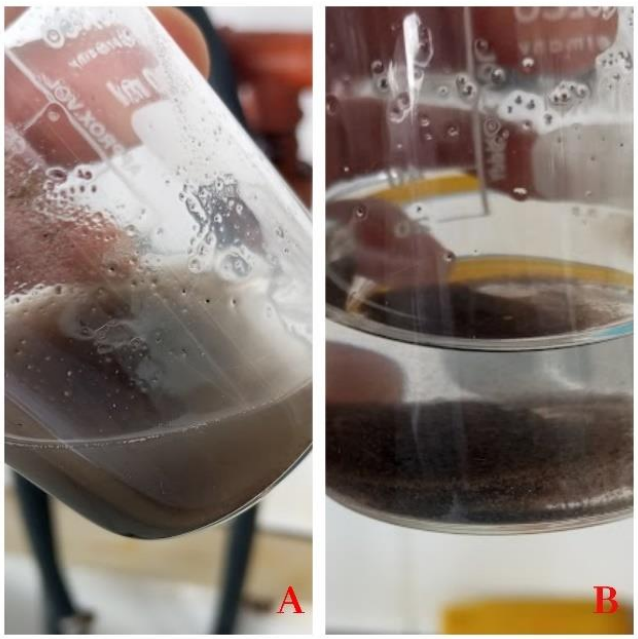


Figura 4. Lavado del carbonato de calcio con agua destilada

Para mejorar la purificación del carbonato de calcio obtenido se adicionó un paso, el cual consiste en un lavado con agua destilada. Como se puede observar en la **Figura 4A** el carbón de hueso al entrar en contacto con el agua destilada, vuelve turbia la solución. Esto debido a que durante el proceso de molienda de producen partículas de carbón de hueso micrométricas o denominadas polvo. El polvo de carbón de hueso no posee el tamaño recomendado por **Kaseva, (2006)**. Al realizar varios lavados con agua destilada, se puede obtener una reacción limpia libre de agentes suspendidos. Como se puede evidencia en la **Figura 4B,** el agua destilada es transparente.

El agua destilada acorde a lo descrito por **Ecopura, (2024)**, es agua natural de la llave, la cual es sometida a un minucioso proceso de purificación con la finalidad de eliminar sales, electrolitos, minerales, metales pesados, sustancias disueltas y también microorganismos patógenos. El agua destilada al ser totalmente pura como describe **(Ecopura, 2024)**, es empleada para el lavado del carbonato de calcio dado que no produce ningún tipo de reacción y no va interferir en análisis posteriores. Una vez lavadas el agua destilada es fácil de evaporar y obtener partículas de carbón de hueso puras.

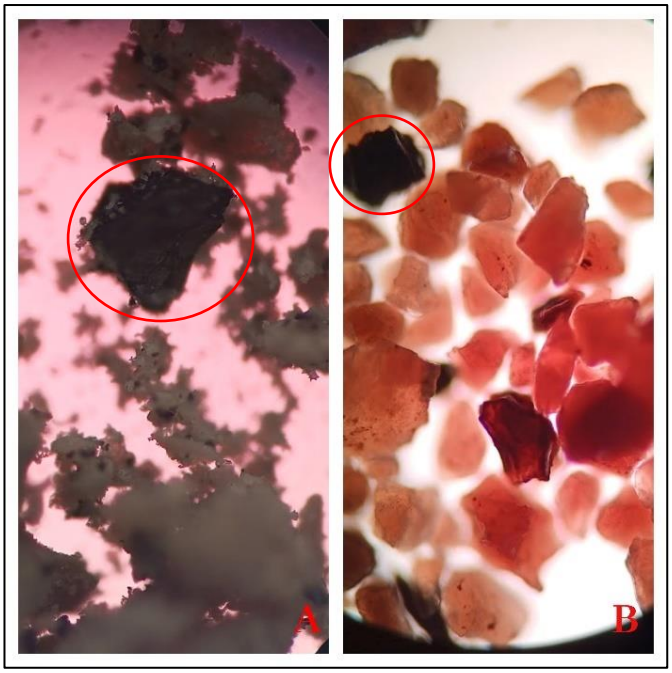


Figura 5. Caracterización del carbonato de calcio mediante microscopía óptica

A) Carbonato de calcio tamizado, sin tratamiento adicional; **B)** Carbonato de calcio tamizado y lavado con agua destilada

El microscopio óptico es un dispositivo electrónico que permite la visualización de estructuras que el ojo humano a simple vista no puede percibir, ayudando a la identificación de estructuras moleculares **(Dorantes, 2018)**. Las partículas de carbonato de calcio obtenidas posen un tamaño de 0.5 y 1 mm, mismas que son difíciles de visualizar de manera natural. Según lo mencionado por **Shahid et al., (2019)** la importancia de caracterizar las partículas de carbón de hueso es evidenciar la total transformación del hueso en carbonato de calcio. En la **Figura 5** se observa la diferencia de un carbonato de calcio solo tamizado y otro lavado con agua destilada. En la **Figura 5B** se puede observar el color blanco propio del carbonato de calcio, las partículas aparentan estar amarilladas dado la luz de iluminación del equipo **(Dorantes, 2018)**.

En la **Figura 5** se puede evidenciar la presencia de partículas color negro (marcadas con un círculo rojo), las cuales son partículas de carbón normal que no han logrado convertirse en carbonato de calcio. Esto debido a que **(Kaseva, 2006)** menciona que para lograr obtener carbonato de calcio las muestras deber ser sometidas a una temperatura entre 500 – 700 °C, sin embargo, para el presente estudio se aplicó una temperatura de 500 °C constante durante 2 horas. Motivo por el cual los trozos grandes de hueso, en su centro no se convirtió en carbonato cálcico.

3.1.2.Evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros

Con la ayuda del equipo de test de jarras se llevó a cabo la evaluación de la efectividad del carbonato de calcio obtenido a partir del hueso de *B. taurus,* en la disminución de la concentración de flúor en el agua. Acorde a lo recomendado por **Valenzuela et al., (2011)**, de emplear el equipo HACH de test de jarras en una agitación continua de 60 rpm, se cambió la metodología, donde se llevó a cabo un proceso de homogenización de 3 minutos a 300 rpm. Con la finalidad de asegurar que todas las partículas de carbonato de calcio reaccionen con el agua muestra. Luego de ello se aplicó una agitación continua de 120 rpm durante 15 minutos. Dichos cambios se aplicaron dado que las partículas de carbonato de calcio no lograban suspenderse durante el proceso como se puede observar en la **Figura 6,** disminuyendo la eficiencia de la evaluación.

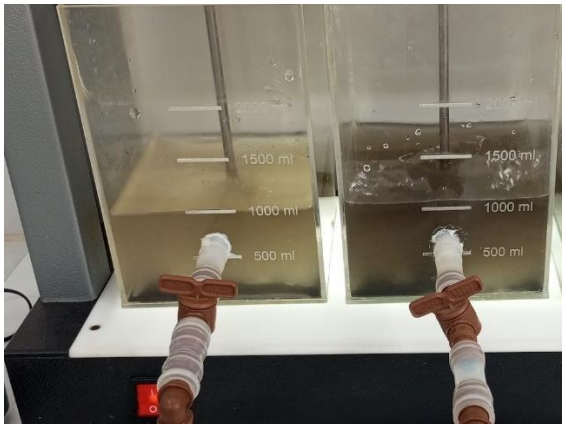


Figura 6. Partículas de carbonato de calcio precipitadas durante el proceso del equipo de Test de Jarras

La evaluación del carbonato de calcio en la eliminación de fluoruros en el agua potable se llevó a cabo de dos maneras. La primera se realizó con las partículas de carbón solo tamizadas, mientras la segunda técnica fue realizada con las partículas de carbón lavadas con agua destilada. Como se puede observar en la **Tabla 5** y **Tabla 6** los valores de fluoruros en el control varían. Esto se debe a que las muestras de agua se tomaron en distintos días para su análisis. **Pinzón et al., (2024)**, menciona que la calidad de agua proveniente de vertientes puede variar según las condiciones ambientales. Los niveles de fluoruros en el agua de vertientes, como es el caso de la vertiente Jun Jun pueden verse influenciadas por el contacto con fertilizantes ricos en fosfato, herbicidas e insecticidas; además de factores antropogénicos

(Chowdhury et al., 2019). En el caso de las muestras de agua para el análisis, las mismas fueron tomadas en días lluviosos y días calurosos, he ahí la importancia de medir cada día el blanco de estudio.

Tabla 5. Evaluación de la efectividad del carbón tamizado de hueso de animales bovinos en la eliminación de fluoruros en el agua

Replicas	Tratamientos						
	Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6
		1,25 g/L	2,5 g/L	3,75 g/L	5 g/L	6,25 g/L	7,5 g/L
R1	2,39	0,68	0,26	1,2	2,29	2,05	1,95
R2	2,19	0,62	0,31	1,25	2,05	1,96	1,96
R3	2,26	0,61	0,35	1,29	2,25	1,86	1,92
R4	2,1	0,65	0,29	1,27	1,99	2,02	1,96
R5	2,82	0,6	0,28	1,31	2,8	1,94	1,95
R6	2,24	0,62	0,22	1,22	2,16	1,99	1,98
R7	2,33	0,66	0,31	1,26	2,29	2,13	1,99
R8	2,26	0,68	0,28	1,31	2,14	2,5	1,95
R9	2,31	0,61	0,23	1,26	2,16	2,23	1,96
R10	2,36	0,63	0,25	1,27	2,5	1,94	1,6
Yi.	23,260	6,360	2,780	12,640	22,630	20,620	19,220
$\bar{y}i.$	2,326	0,636	0,278	1,264	2,263	2,062	1,9220
Des.	0,193000	0,029515	0,039665	0,035340	0,236270	0,186416	0,114678
Var.	0,037249	0,000871	0,001573	0,001249	0,055823	0,034751	0,013151

Como se puede observar en la **Tabla 5** los tratamientos con carbonato de calcio efectuados en el agua de la vertiente Jun Jun, poseen resultados favorables en la eliminación de fluoruros. Los mejores tratamientos que se puede considerar son T1 y T2. Dado que logran eliminar los fluoruros casi en su totalidad, de manera gráfica se puede analizar mejor estas variaciones. Para ello se calculó el valor promedio en entre las 10 réplicas por cada tratamiento. Como se observa en la **Figura 7,** partiendo desde el control la concentración de fluoruros, baja notablemente en los primeros tratamientos, mientras que a partir del tratamiento T3 la efectividad del tratamiento comienza a disminuir.

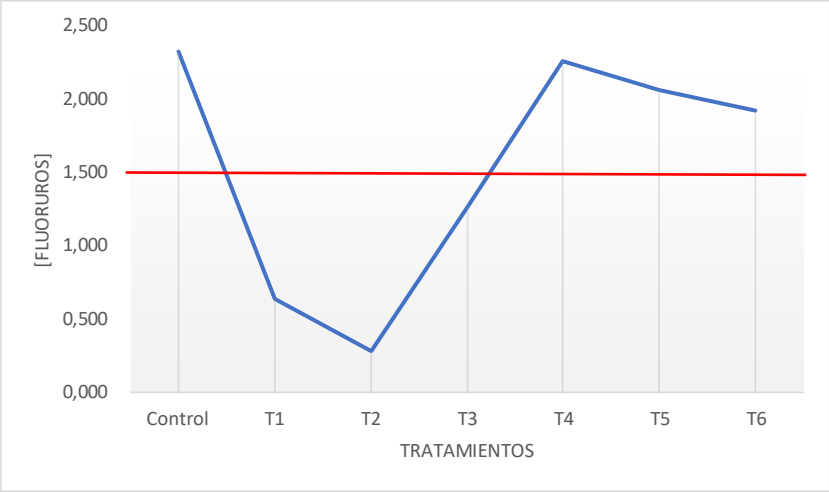


Figura 7. Evaluación de carbón de hueso tamizado en la eliminación de fluoruros

Nota: La línea roja indica el límite máximo de Fluoruros de 1.5 mg/L

Para mejorar el proceso, el lavado con agua destilada ayudó a la eliminación de los residuos demasiado pequeños que causa la turbidez del agua **(Marín & Arriojas, 2020)**. Como se puede observar en la **Tabla 6** la eliminación de fluoruros varia notablemente en comparación con la **Tabla 5**. Dado que **Levya et al., (2015)**, menciona que entre más pequeñas sean las partículas de carbonato de calcio obtenidas del carbón de hueso, mayor es la eficiencia de absorción de fluoruros. Una vez aplicado el lavado con agua destilada, se puede observar que en los valores de la **Tabla 6** la mejor eficiencia se encuentra en los tratamientos T4 y T6.

Tabla 6. Evaluación de la efectividad del carbón de hueso de animales bovinos lavado con agua destilada en la eliminación de fluoruros en el agua

Replicas	Control	Tratamientos					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
		1,25 g/L	2,5 g/L	3,75 g/L	5 g/L	6,25 g/L	7,5 g/L
R1	2,01	1,81	1,35	1,29	0,79	0,91	0,68
R2	1,98	1,72	1,31	1,25	0,71	0,89	0,65
R3	1,99	1,61	1,28	1,22	0,75	0,86	0,63
R4	2,03	1,88	1,33	1,31	0,81	0,93	0,69
R5	2,05	1,8	1,32	1,31	0,71	0,92	0,68
R6	1,98	1,74	1,28	1,22	0,69	0,86	0,63
R7	1,88	1,65	1,25	1,26	0,72	0,85	0,61
R8	1,91	1,83	1,27	1,28	0,78	0,86	0,63
R9	1,96	1,63	1,25	1,26	0,75	0,84	0,62
R10	2,03	1,89	1,29	1,27	0,71	0,91	0,66
Yi.	19,82	17,56	12,93	12,67	7,42	8,83	6,48
$\bar{y}i.$	1,982	1,756	1,293	1,267	0,742	0,883	0,6480
Des.	0,053914	0,102002	0,033682	0,031990	0,040497	0,032677	0,028206
Var.	0,002907	0,010404	0,001134	0,001023	0,001640	0,001068	0,000796

De manera gráfica se puede analizar como la concentración de fluoruros en el agua de la vertiente Jun Jun empiezan a disminuir, la **Figura 8** detalla como partiendo desde la concentración promedio del control, empieza a disminuir de manera favorable. Los picos más bajos son los tratamientos T4 y T6.

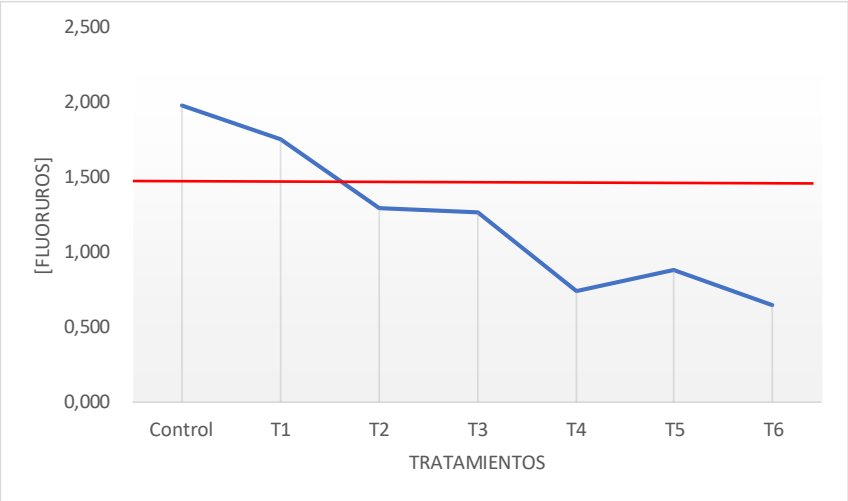


Figura 8. Evaluación de carbón de hueso lavado con agua destilada en la eliminación de fluoruros

Nota: La línea roja indica el límite máximo de Fluoruros de 1.5 mg/L

Al evaluar la efectividad del carbonato de calcio obtenido del carbón de hueso, mediante el uso del equipo de test de jarras. Se puede evidenciar en la **Figura 9,** que al finalizar el proceso en el fondo de las jarras se precipita el fluoruro de calcio (CaF_2) formado tras la reacción de los iones de fluoruro (F^-) y los iones de calcio (Ca^{2+}) presentes en el carbón de hueso cuya estructura posee carbonato de calcio ($CaCO_3$). El Fluoruro de calcio no es soluble agua, razón por la cual precipita **(Basantes et al., 2019)**.

Sin embargo, como se observa en la **Figura 9A** después de dejar precipitar el fluoruro de calcio formado, el agua se vuelve turbia, esto se debe al tamaño de las partículas de carbonato de calcio. **Kaseva, (2006)**, recomienda que el tamaño ideal se encuentra entre 0.5 y 1 mm. Dado la baja eficiencia del tamizaje como se observó en la **Figura 5A** existen pequeños pedazos de carbonato de calcio adheridos a las partículas de interés. Lo que causa que durante el proceso de mezclado queden suspendidas en el agua, según **Shahid et al., (2019)**, estas pequeñas partículas suspendidas si ayudan en la eliminación de fluoruros, pero se obtiene una baja calidad de agua en cuanto a turbidez con valores de hasta 100 NTU. Razón por la cual en la **Tabla 5** se puede observar que se necesita una menor cantidad de carbonato de calcio para eliminar la concentración de fluoruros a niveles permisibles.

A diferencia de la **Figura 9B** se puede observar que luego del reposo del equipo de test de jarras, el agua vuelve a su estado cristalino. Esto se debe a que las partículas de carbonato de calcio fueron lavadas con agua destilada antes de ser sometidas a reacción con el agua a analizar. En los tratamientos T1, T2, T3, T4 los valores de turbidez se encuentra en valores de entre 1.30 y 1.38 NTU, cercanos a los valores del agua sin tratar. En los tratamientos T5, T6 el agua posee cierto grado de turbidez a simple viste con un valor de 6.8 y 8.7 NTU, respectivamente. Como se observa en **Tabla 6** dado la eliminación de las partículas pequeñas, se necesita una mayor cantidad de carbonato de calcio para eliminar el fluoruro del agua.

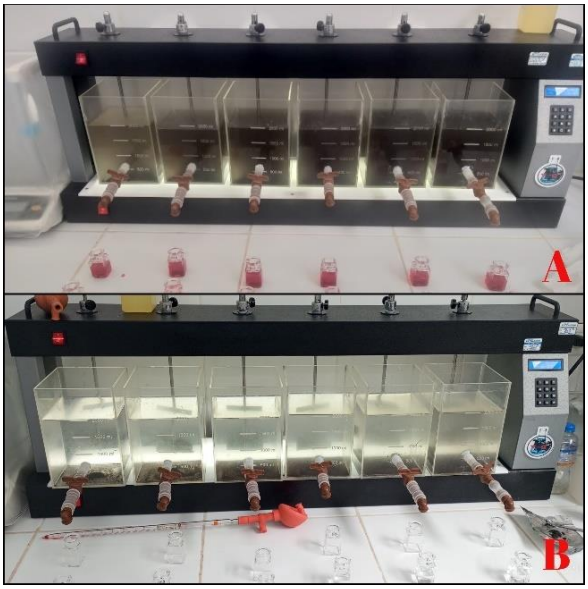


Figura 9. Diferencia entre el empleo del carbón de hueso tamizado y el carbón de hueso lavado con agua destilada

A) Evaluación con carbón de hueso únicamente tamizado **B)** Evaluación con carbón de hueso lavado con agua destilada

De manera general, la eliminación o reducción de los niveles de concentración de fluoruros en el agua, se debe al carbonato de calcio e hidroxiapatitas presentes en el carbón de hueso **(Levya et al., 2015)**. Las hidroxiapatitas actúan como un imán ante la presencia de fluoruros en soluciones acuosas, atrayéndolas hacia la partícula de carbón. Los fluoruros se adhieren al carbonato de calcio, dando lugar

a la formación de fluoruro de calcio **(Basantes et al., 2019)**. La hidroxiapatita es considerada como el mejor material para la adsorción de fluoruros en el agua potable de consumo **(Levya et al., 2015)**.

Acorde al estudio realizado por **(Levya et al., 2015)**, la eliminación de los fluoruros ocasionada por las hidroxiapatitas no se da por intercambio iónico. El principal proceso de adsorción se da por interacciones electroestáticas. Las interacciones electroestáticas son fuerzas de atracción o repulsión que se dan entre dos objetos que poseen cargas eléctricas **(Almonte García, 2014)**. En el presente estudio los iones de fluoruro (F^-) poseen carga negativa, mientras el calcio (Ca^{2+}) y las hidroxiapatitas [$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] al cual se adhieren poseen carga positiva.

El proceso de adsorción de fluoruros se da debido la porosidad que posee el carbón de hueso **(Levya et al., 2015)**. La porosidad de las partículas se encuentra definida por el proceso de carbonización, es decir por la temperatura y el tiempo empleado recomendado por **(Kaseva, 2006)**. En el estudio realizado por **Levya et al., (2015)** se determinó el área específica, volumen y diámetro promedio de los poros del carbón de hueso, mediante el método de fisisorción de nitrógeno en bajas temperaturas (BET). Los cuales se encuentran en 69 - 117 m^2/g; 0.225 – 0.64 cm^3/g; 11.1 – 11.2 nm; respectivamente.

La caracterización de la superficie, distribución de tamaños y morfología de las partículas de carbón de hueso se puede apreciar de manera eficiente mediante el uso de un Microscopio Electrónico de Barrido **(Levya et al., 2015)**. Como se puede observar en la **Figura 10,** la presencia de los poros en la partícula del carbón de hueso.

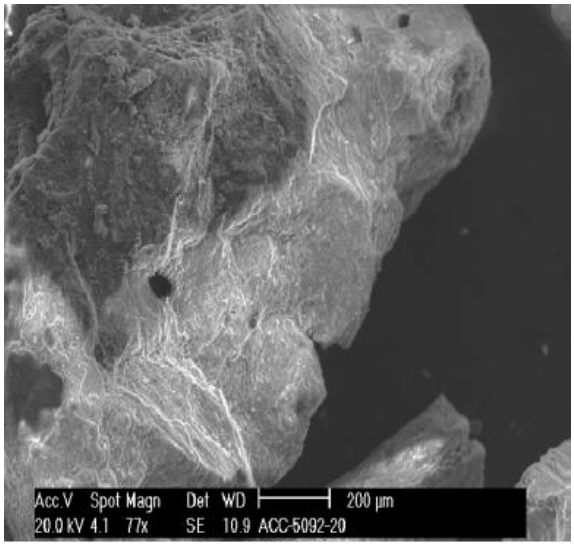


Figura 10. Imagen SEM de la partícula de carbón de hueso con un factor de magnificación de 77

Fuente: Imagen tomada de **(Levya et al., 2015)**.

Dado la evaluación de la efectivad de carbón de hueso en la disminución detallado en la **Tabla 6**, se midió la concentración residual de Ca y Mg, siendo como tal la dureza del agua. A pesar de que el tratamiento T4 y T6 son los mejores. El nivel de dureza del tratamiento T6 es elevado, como se puede observar en la **Tabla 7.**

Tabla 7. Análisis de la dureza del agua trata con el carbón de hueso

	[Ca] mg/L CaCO3	[Mg] mg/L CaCO3	Dureza mg/L CaCO3
Control	50,97	7,996	58,966
T1	56,25	8,33	64,58
T2	96,65	8,21	104,86
T3	159,34	8,15	167,49
T4	256,25	7,98	264,23
T5	356,26	8,14	364,4
T6	331,83	7,99	339,82

En el estudio presentado por **Pérez, (2016)** se considera que la dureza permitida para el agua potable de consumo humano debe encontrarse ente 80 a 100 mg/L como CaCO3. Sin embargo, la OMS recomiendo que la dureza del agua para consumo humano no debe ser mayor a 50 mg/L. Como se observa en la **Tabla 7** los valores de dureza obtenidos se centran acorde al recomendado por **Pérez,**

(2016). En Costa Rica el límite de dureza en el agua potable de consumo humano se encuentra entre 400 y 500 mg/L de CaCO3 como máximo **(Pérez, 2016)**. Por ende, a pesar de que el tratamiento T6 es el más efecto en la eliminación de fluoruros; este posee el nivel más elevado de dureza. Motivo por el cual el tratamiento T4 es el más idóneo a aplicar en el tratamiento de agua potable.

La dureza del agua en cierto punto es considerada como buena para la salud, dado que el cuerpo necesita de la presencia de calcio para el fortalecimiento y cuidado de los huesos, mientras el magnesio ayuda en los procesos metabólicos **(Pérez, 2016)**. Los niveles elevados en la dureza del agua pueden producir daños en la salud; partiendo desde el daño a la piel, formación de cálculos renales, endurecimiento del cabello, daño al sistema nervioso, incluso hasta llegar al aparecimiento de varios tipos de cáncer **(Pérez, 2016)**. El daño que ocasiona a la salud la dureza del agua, sigue siendo aún un tema amplio de discusión.

3.1.3. Diseño y adaptación del bio-filtro de agua potable a base de carbón de hueso de animales bovinos de B. taurus.

El bio-filtro adaptado como se puede observar en la **Figura 11** es de fácil uso y fácil de adaptar a cualquier grifo de agua. En la **Figura 11A** se puede observar la combinación del carbón de hueso de *B. taurus* con el carbón activo, el cual venia con el filtro. Mientras en la **Figura 11B** se puede apreciar el filtro de membrana y la estructura plástica del filtro comercial al cual se adató la composición de interés. Según lo mencionado por **(Arrocha et al., 2019)** el carbón activo posee la función de disminuir los niveles de alcalinidad y turbidez presentes en el agua. El carbón activo ayuda a retener las partículas del carbón de hueso pequeños que hayan quedado, además de reducir los niveles de calcio que se puedan producir.



Figura 11. Diseño del biofiltro a base del carbón de hueso

Para la adaptación del bio-filtro se seleccionó un domicilio al azar en el cual se conectó al grifo que más utilizan para beber agua. Como se puede observar en la **Figura 12A** el bio-filtro diseñado está libre de fugas permitiendo el libre paso de agua además de brindar agua libre de contaminantes (**Figura 12B)**. El libre acceso al potable es una materia importe de salud, razón por la cual municipios y entidades privadas han desarrollado inversiones en el tratamiento de agua obtenidas de fuentes naturales **(Villafuerte et al., 2020)**. Sin embargo, existen ciertos elementos químicos que no son removidos a pesar de los tratamientos como es el caso de los fluoruros **(Pancca & Palomino, 2022)**.



Figura 12. Bio-filtro a base de carbón de hueso conectado al grifo de agua

3.1.4. Análisis de la efectividad del bio-filtro en la disminución de fluoruros en el agua potable de consumo humano

Una vez que el Bio-Filtro ha sido adaptado al grifo de agua potable, como se observa en la **Figura 12**, se midió la calidad del agua en diferentes semanas para evaluar la efectividad del mismo. Debido al tiempo se realizó 4 evaluaciones en cuanto semanas, con un promedio de fluoruro residual de 1.3125 mg/L como se puede observar en la **Tabla 8**. Acorde a lo requerido por **Inec, (2020)**, el agua tratada con el Bio-Filtro se encuentra dentro de la normativa INEN 1108-2020 la cual establece un límite máximo de 1.5 mg/L de la concentración de fluoruros. Dejando una ventana abierta a la investigación y mejoramiento de la eficacia del Bio-Filtro.

Tabla 8. Análisis semanal de la efectividad del Bio-Filtro de uso doméstico

Semana	Bio-Filtro	Sin-Biofiltro
	Fluoruro mg/L	Fluoruro mg/L
1	1,31	2,01
2	1,26	2,14
3	1,36	1,99
4	1,32	2,16
Promedio	1,3125	2,075

Para poder realizar el escalado de planta (EP), se ha estableció la **Ecuación 1**, la cual detalla el caudal con el cual va a trabajar y la relación con la concentración ideal evaluada en la **Tabla 6**.

$$EP = Caudal * Concentración\ ideal$$

Ecuación 1. Requerimientos para el escalado de planta

Una vez conocidos los valores con que se va a trabajar la ecuación daría el siguiente resultado:

$$EP = 6\frac{\cancel{L}}{\cancel{s}} * \frac{3600\ \cancel{s}}{1\ h} * \frac{5\cancel{g}}{\cancel{L}} * \frac{1\ Kg}{100\ \cancel{g}}$$

$$EP = 1080\ Kg/h$$

El caudal viene expresado en unidades de L/s, para lo cual es necesario transformar las unidades a L/h; seguido de que la concentración ideal viene dada en unidades de g/L y se necesita transformar a Kg/L. Esto con la finalidad de obtener datos cercanos a la realidad. Para el caudal de 6 L/s que posee la vertiente Jun Jun se necesita la cantidad de 1080 Kg de carbón de hueso por cada hora de paso de agua. Esto debido al tamaño de las partículas de carbón de hueso de *B. taurus* recomendado por **Kaseva, (2006)**. El tamaño de las partículas de 0.5 y 1 mm son ideales para escala de laboratorio y uso doméstico **(Levya et al., 2015)**.

Para poder aplicar la metodología del presente estudio, se debería omitir el paso de molienda del carbón de hueso, con la finalidad de trabajar con el hueso carbonizado de mayor tamaño, dado la cantidad de agua que se va a tratar a nivel de planta. El carbón de hueso puede ser colocado en una bandeja de aireación antes de entrar al tanque de almacenamiento, para evitar la dispersión del mismo y se contamine el agua. Las bandejas o torres de aireación ayudan a eliminar contaminantes de gran tamaño **(Macías et al., 2018)**. Debido los distintos tamaños de los poros de las bandejas, el carbón de hueso puede ser aplicado en las bandejas y agregar un filtro de gravilla de distintos tamaños para eliminar algún residuo en el agua.

En el presente estudio no se ha determinado el tiempo de vida útil de las partículas del carbón de hueso, hasta que dejen de tener efecto en la adsorción de fluoruros. Razón por la cual el campo para nuevas investigaciones es muy amplio, con el uso del carbón de carbón de hueso a nivel de planta. Donde se puede determinar el tamaño ideal del carbón, el tiempo de vida útil, y el sistema que se puede implementar para que el agua entre en contacto de manera con el carbón de hueso; entre otros.

3.1.5.Análisis de la calidad de agua de la vertiente "Jun Jun"

El cantón San Pedro de Pelileo, el departamento de agua potable y saneamiento es el encargo de asegurar la distribución segura de agua potable hacia el poblado. La calidad del agua es analizada diariamente en el laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo ubicado en el cerro Teligote. La calidad del agua que se distribuye se encuentra definida por características químicas, físicas, microbiológicas, biológicas y radiológicas **(Villafuerte et al., 2020)**. En el caso de los análisis realizados en el GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo, se llevan a cabo según la normativa INEN 1108 – 2020. Para el presente estudio se realizó el análisis detallado en la **Tabla 8.**

Tabla 9. Calidad del agua de consumo humano procedente de la vertiente Jun Jun

Muestras de entrada									
N°	Lugar	Fluoruros mg/L	Aluminio mg/L	Conduc.	Color	TDS	pH	Turb.	T (C°)
1	Vertiente Jun Jun	2,19	0,08	560	0	272	7,11	1,36	21,4
2	Vertiente Jun Jun	2,09	0,079	558	0	270	7,1	1,35	21,3
3	E.T.A. Benítez	2,4	0,076	559	0	271	7,13	0,55	14,3
4	S.T.A Benítez	2,45	0,075	539	0	261	7,52	0,39	14
5	E.T.A. El Corte	2,88	0,076	558	0	270	7,3	0,46	13,8
6	S.T.A. El Corte	1,89	0,078	559	0	271	7,35	0,89	13,9
7	E.T.A. El Tambo	1,71	0,077	554	0	268	7,39	0,97	13,8
8	S.T.A. El Tambo	1,08	0,081	550	0	170	7,6	0,31	14,5
9	Domicilio 1	2,03	0,08	345	0	165,9	7,68	0,3	14,3
10	Domicilio 2	1,98	0,079	347	0	167,1	7,7	0,35	15,4

La vertiente Jun Jun ubicada en el cantón Cevallos, es una de las fuentes de agua utilizadas por parte del GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo. Como se puede observar en la **Tabla 8** la calidad de agua de la vertiente no presenta contaminantes peligrosos para salud. El único parámetro que se encuentra fuera la normativa es el Fluoruro. Como se puede evidencia los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 son los que exceden la normativa vigente INEN 1108-2020 la cual dispone un límite permisible de fluoruros de 1.5 mg/L. El punto 9 (**Tabla 8**) es el único que se encuentra libre de fluoruro, dado que en el tanque El Tambo el agua de salida es mezclada con el agua tratada en la planta de Teligote, cabe recalcar que es el único tanque que recibe un tratamiento en el agua. Los tanques de Benítez, El corte reciben tratamientos de cloración, sin eliminar el flúor del agua. Como se puede observar en la **Figura 13** la toma de muestras en puntos estratégicos fue fundamental para asegurar la calidad de los datos obtenidos.



Figura 13. Toma de muestras de agua

De manera más específica en la **Figura 14** se puede observar cómo varían los niveles de fluoruros de la vertiente Jun Jun. La línea de color rojo es el límite permisible de 1.5 mg/L establecido por la normativa INEN 1108-2020. Como se puede observar con excepción de punto 8, todos exceden el límite permisible. Los niveles excesivos de flúor en el agua es el principal causante de la fluorosis crónica **(Gu et al., 2020)**. Además, se puede destacar daños sistémicos dentro del sistema nervioso, cardiovascular, endócrino. A pesar de que el origen de la fluorosis dental no se encuentra totalmente definida, una de las principales causas es el contacto diario con el agua **(Gu et al., 2020)**. En el estudio realizado por **(Shahid et al., 2019)** se puede mencionar daño en los riñones, hígado y cerebro producto de las elevadas concentraciones de flúor en el agua.

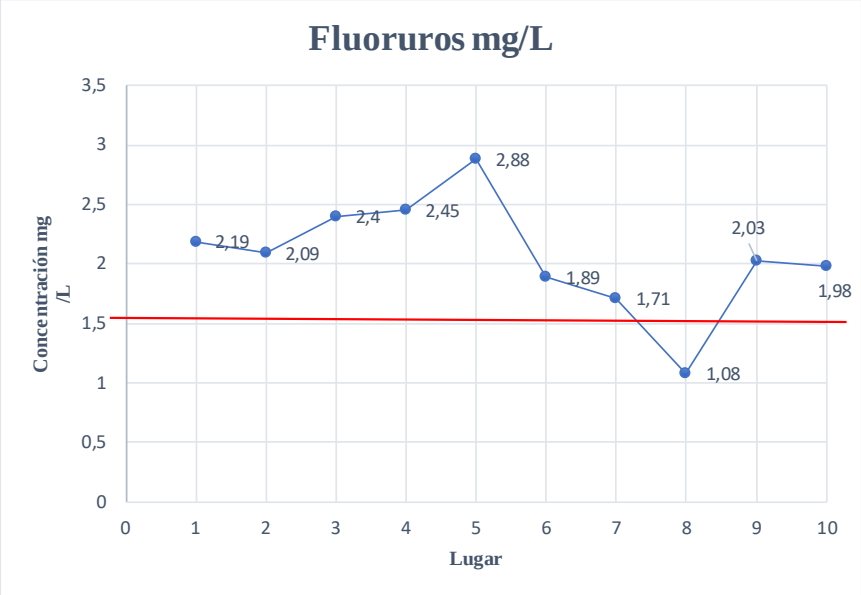


Figura 14. Concentración de fluoruros en el agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun

El aluminio residual es otro de los elementos presentes en la muestra de agua. Como se puede observar en **Figura 15** los niveles de aluminio son mínimos. El aluminio es considerado como como una intoxicación silenciosa, causando daños en el sistema respiratorio, sistema nervioso, sistema óseo, además de producir daños hepáticos y renales **(Sevillano et al., 2024)**. Acorde a lo descrito por **Van Dyke et al., 82021)** en agua potable de consumo el aluminio debe encontrarse en 0.03 y 0.2 mg/L. Como se observa en la **Figura 15** las 10 muestras analizadas se encuentran dentro del rango recomendado por **Van Dyke et al., (2021)**.

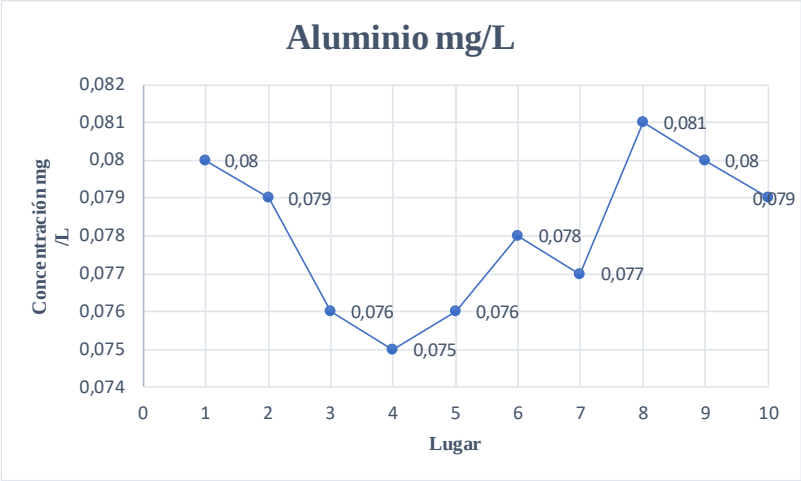


Figura 15. Concentración de Aluminio en el agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun

Los niveles de turbidez obtenidos en las muestras de agua, muestra la cristalinidad que posee la misma, como se puede observar en la **Figura 16.** Este parámetro define unas de las características principales del agua de consumo humano, la cual es la transparencia y cristalinidad **(Villafuerte et al., 2020)**. El agua debe estar libre de contaminantes como tierra o cualquier sustancia que la vuelva turbia u opaca.

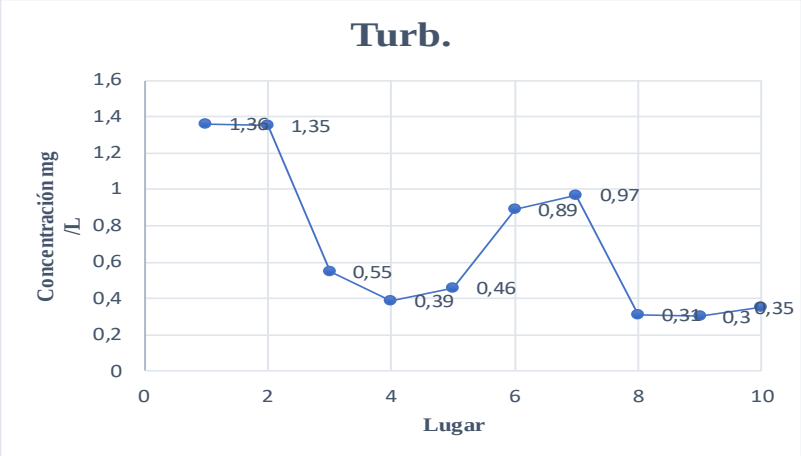


Figura 16. Turbidez del agua de consumo humano de la vertiente Jun Jun

El agua procedente de la vertiente Jun Jun, es apta para el consumo humano, de manera directa. Dado que la misma cumple con los parámetros establecidos por la norma INEN 1108-2020. La concentración de flúor es la única que afecta a la calidad de la misma, pero se puede implementar sistemas de eliminación, como es la propuesta del presente estudio.

3.1.6. Evaluación de la efectividad de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros

Como se puede observar en la **Tabla 9**, los niveles se flúor si se reducen al efectuar el proceso con PAC al 10 %, pero los niveles de aluminio tienden a subir. En las 3 concentraciones evaluadas con PAC, los niveles de Fluoruro alcanzan el límite permisible por la norma INEN 1108-2020.

Tabla 10. Evaluación de la efectividad de PAC al 10 % en la disminución de la concentración de fluoruros

Análisis Efectividad PAC al 10 %						
N°	20 ppm		30 ppm		40 ppm	
	Fluoruros	Aluminio	Fluoruros	Aluminio	Fluoruros	Aluminio
1	1,43	0,208	2,01	0,4	0,99	0,817
2	1,47	0,206	1,85	0,409	0,91	0,815
3	1,35	0,203	0,65	0,401	0,87	0,82
4	0,9	0,205	0,97	0,406	1,16	0,817
5	0,94	0,201	0,8	0,402	1,35	0,813
6	0,78	0,209	1,33	0,406	0,31	0,816
7	1,12	0,201	1,09	0,4	0,72	0,8
8	1,09	0,204	1,2	0,402	0,92	0,814
9	1,33	0,206	1,29	0,4	1,18	0,812
10	1,16	0,208	1,09	0,405	1,22	0,815

De manera más detallada se puede analizar la disminución de la concentración de fluoruros en el agua, mientras las concentraciones de aluminio aumentan, en la **Figura 17**. En la evaluación a 20 ppm se puede observar (**Figura 17A**) que la concentración de fluoruros disminuye, pero la concentración de aluminio se encuentra dentro de los rangos recomendados en niveles de 0.2 mg/L **(Van Dyke et al., 2021)**. Los niveles de Aluminio residual en la **Figura 12C** sobrepasan el límite permisible. En la **Figura 17C** la concentración de fluoruros es baja, apta el consumo, pero el aluminio residual es elevado. El tratamiento de agua con PAC es un método rápido y económico de realizar por parte de los municipios, sin embargo, al emplear concentraciones elevadas del mismo al flocular el aluminio se queda suspendido en al agua **(Pancca & Palomino, 2022)**.

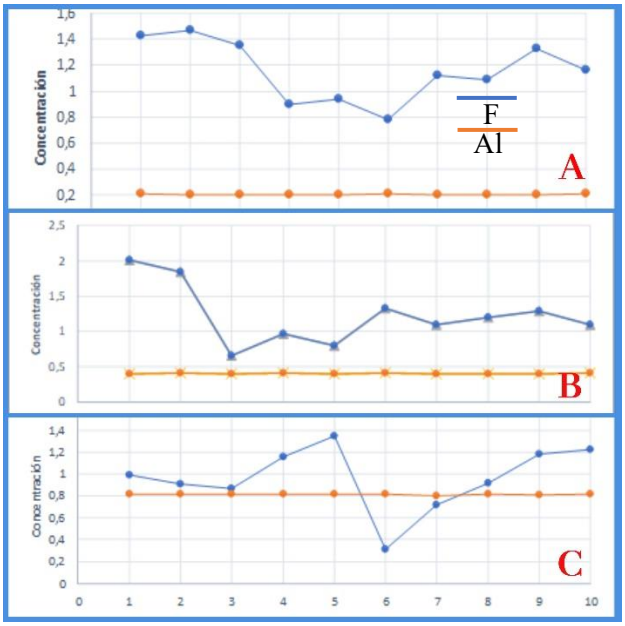


Figura 17. Evaluación de PAC al 10 % a distintas concentraciones en la disminución de fluoruros

A) Evaluación a 20 ppm; **B)** Evaluación a 30 ppm; **C)** Evaluación a 40 ppm

Para resaltar los resultados obtenidos en el presente estudio, se realizó el análisis de tres muestras en un laboratorio acreditado, en el Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS) del INAMHI. Las muestras destinadas para el análisis externo fueron: el agua de la vertiente Jun Jun, el agua luego de la evaluación con el tratamiento T4 con 10 g/2L o a su vez 5g/L de carbón de hueso y el agua tratada con el bio-filtro diseñado. Como se puede observar en el **Anexo 2**. Las cuales se encuentran cercanos a los obtenidos en el presente estudio.

Tabla 11. Valores obtenidos por el INAMHI

Muestra	Fluoruros mg/L
Agua de la vertiente Jun Jun	2.14
Tratamiento T4 con 10 g/2L o a su vez 5g/L de carbón de hueso	0.80
Agua tratada con el bio-filtro diseñado	1.06

3.2. Verificación de la hipótesis

Para el análisis del diseño experimental se utilizó lo valores de carbón de hueso lavado con agua destilada detallados en la **Tabla 6**, con la finalidad de obtener valores más veraces asegurando la mejor calidad de agua para la distribución a la ciudadanía. Dichos valores se encuentran detallados en la **Tabla 9.**

Tabla 12. Diseño experimental sobre la evaluación de la efectividad del carbón de hueso en la adsorción de fluoruros

	Repeticiones										DCA			
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	Yi.	ȳi.	Des.	Var.
T1	1,81	1,72	1,61	1,88	1,8	1,74	1,65	1,83	1,63	1,89	17,56	1,756	0,102	0,010
T2	1,35	1,31	1,28	1,33	1,32	1,28	1,25	1,27	1,25	1,29	12,93	1,293	0,034	0,0011
T3	1,29	1,25	1,22	1,31	1,31	1,22	1,26	1,28	1,26	1,27	12,67	1,267	0,032	0,001
T4	0,79	0,71	0,75	0,81	0,71	0,69	0,72	0,78	0,75	0,71	7,42	0,742	0,040	0,002
T5	0,91	0,89	0,86	0,93	0,92	0,86	0,85	0,86	0,84	0,91	8,83	0,883	0,033	0,001
T6	0,68	0,65	0,63	0,69	0,68	0,63	0,61	0,63	0,62	0,66	6,48	0,648	0,028	0,001
										Y..	65,89			

Para el resumen de DCA, se detalló una tabla con los calculo principales detallados en la **Tabla 11.**

Tabla 13. Diseño completamente al azar de la evaluación de carbón de hueso en la disminución de fluoruros en el agua

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	F Tabla
Tratamientos	5	8,75	1,750	33,732	2,13
Error	54	2,80	0,052		
Total	59	11,55			

Como se puede observar en la **Tabla 10**, el valor F calculado es mayor que el valor F de tabla, dando como conclusión la aceptación de la hipótesis nula. La hipótesis nula detalla que: El carbón de hueso de *B. taurus* ayuda en la disminución de fluoruros presente en el agua de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo. Por ende, si se ha encontrado una diferencia significativa en los tratamientos.

Para identificar el mejor tratamiento se realizó una prueba de medias:

Tabla 14. ANOVA de los diferentes tratamientos del carbón de hueso

Grupos	*Cuenta*	*Suma*	*Promedio*	*Varianza*
Control	10	19,82	1,982	0,0029067
T1	10	17,56	1,756	0,0104044
T2	10	12,93	1,293	0,0011344
T3	10	12,67	1,267	0,0010233
T4	10	7,42	0,742	0,00164
T5	10	8,83	0,883	0,0010678
T6	10	6,48	0,648	0,0007956

Al realizar el ANOVA de los 10 tratamientos, se puede observar que los tratamientos T4 y T6 son los mejores en comparación al control. Logrando disminuir la concentración de fluoruros en un 62.56 % y 67.31 %, respectivamente. Sin embargo, a pesar de que el tratamiento T6 posee el mayor porcentaje de efectividad, el tratamiento más adecuado es el tratamiento T4, dado los niveles de calcio residuales luego de la evaluación en el equipo de teste de jarras.

Tabla 15. Análisis de Varianzas

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	15,44577714	6	2,57429619	949,81353	8,87E-60	2,246407983
Dentro de los grupos	0,17075	63	0,002710317			
Total	15,61652714	69				

Se ha evidenciado que, si existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, dado que el valor F calculado es mayor al valor crítico F. De manera adicional el valor de p=8,87E-60 es menor al p value de 0.05 del 95% del nivel de confianza determinado para la confiabilidad del análisis.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El carbón de hueso de animales bovino (*B. taurus*), posee altas concentraciones de hidroxiapatitas y carbonato de calcio en su estructura. Razón por la cual se evaluó su efectividad en la disminución de la concentración de Flúor en el agua potable de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo, dando como resultado la efectiva remoción de fluoruros presente en agua. Los resultados obtenidos fueron respaldados por el Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS) del INAMHI.
- Las partículas de hueso calcinado de *B. taurus,* fueron caracterizadas mediante el empleo del microscopio óptico. Donde se evidenció las características físicas de las hidroxiapatitas y carbonato de calcio, cuya estructura es de color blanco, en forma de pequeños cristales. Las partes del hueso que poseen la mayor concentración de hidroxiapatitas y carbonato de calcio fueron la metáfisis, epífisis proximal y epífisis distal. De manera bibliográfica se identificó la porosidad de las partículas del hueso calcinado de *B. taurus*, la cual ayuda a mejorar la eficiencia de adsorción de fluoruros.
- Para determinar la concentración ideal y necesaria del carbón de hueso para la eliminación de fluoruros en el agua de consumo humano, se evaluó diferentes concentraciones de carbón de hueso, donde la concentración de 5 g/L fue la ideal. Dado que logró eliminar los fluoruros de una concentración promedio inicial de 1.982 mg/L a una concentración de 0.742 mg/L. Sin embargo, a pesar de que con una concentración de carbón de hueso 7.5 g/L se logró disminuir la concentración de fluoruros a 0.648, este tratamiento no es efectivo dado que se elevada fuera de los rangos máximos la concentración de calcio y dureza del agua. La concentración de 5 g/L de carbón de hueso fue escogida para la implementación y diseño del Bio-Filtro de uso doméstico. El Bio-Filtro de uso doméstico fue adaptado con la mezcla del carbón de hueso y carbón activado para mejorar la eliminación de fluoruros en el agua. Finalmente fue implementado en el grifo de un domicilio, donde logró disminuir la concentración de fluoruros una concentración inicial de 1.98 mg/L a una concentración de salida de 1.26 mg/L. Los resultados obtenidos fueron respaldados por el Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS) del INAMHI.
- Las plantas de tratamiento de agua potable por parte de las municipalidades, realizan el tratamiento de agua mediante el empleo de PAC en distintas concentraciones dependiendo de las condiciones del agua cruda. Sin embargo, a pesar de que el PAC ayuda en la eliminación de agentes contaminantes como turbidez, agentes microbiológicos entre otros. No posee mayor efectividad en la eliminación de fluoruros, dado que se requiere elevadas concentraciones para

poder reducir los niveles de Flúor en el agua. Como consecuencia se tiende a elevar el Aluminio residual que es perjudicial para salud humana, además de que se aumentaría los costos en las plantas de tratamiento.

4.2. Recomendaciones

- Obtener el carbón de hueso a diferentes temperaturas entre 500 – 700 °C. Con la finalidad de evaluar la mejor temperatura, y poder identificar la total transformación del hueso en carbonato de calcio. Además de caracterizar con el microscopio que la mayor parte de hueso se haya convertido en las partículas de interés.
- No quedarse solo con lo que los autores dicen o recomiendan, si no buscar siempre algo más, jugar con las condiciones y aplicar algo adicional o nuevo que ayude a mejorar el rendimiento de los resultados. Al final especificar los cambios y adicionales que se ha realizado con su respectiva justificación.

MATERIALES DE REFERENCIA

1. Referencias Bibliográficas

Alkurdi, S., Al-Juboori, R., Bundschuh, J., & Hamawand, I. (2019a). Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. In *Environment International* (Vol. 127, pp. 704–719). https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065

Alkurdi, S., Al-Juboori, R., Bundschuh, J., & Hamawand, I. (2019b). Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. In *Environment International* (Vol. 127, pp. 704–719). https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065

Almonte García, L. F. (2014). Estudio de interacciones electrostáticas de biomóleculas en medio líquido por microscopia y espectroscopia de fuerzas. *Dialnet*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=71773&info=resumen&idioma=SPA

Arrocha, F., Guevara, C., Gonzalez, M., Rivas, F., & Delgado Serrano, R. (2019). Evaluación de filtros de carbón activado basado en cáscaras de frutas (piña, plátano, coco, naranja). *Revista de Iniciación Científica: RIC, ISSN-e 2413-6786, ISSN 2412-0464, Nº. Extra 5, 2019 (Ejemplar Dedicado a: Revista de Iniciación Científica - Edición Especial N°3), Págs. 79-83*, *5*, 79–83. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9485532&info=resumen&idioma=ENG

Basantes, E., Cáceres del Salto, A., Lozano, C., & Cocha, L. (2019a). Aplicación del método de Nalgonda para la reducción de fluoruros de las fuentes de agua de las comunidades Atapo Culebrillas y Santa Teresa, Ecuador. *Ciencia Digital*, *3*(3.4.). https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..872

Basantes, E., Cáceres del Salto, A., Lozano, C., & Cocha, L. (2019b). Aplicación del método de Nalgonda para la reducción de fluoruros de las fuentes de agua de las comunidades Atapo Culebrillas y Santa Teresa, Ecuador. *Ciencia Digital*, *3*(3.4.). https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..872

Cáceres, S., Hernández, E., & Leiva, L. (2018). Elementos fisiológicos y fisiopatológicos en la Fluorosis dental. *Mediciencias UTA*, *2*(2), 2. https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v2i2.48.2018

Cho, D. W., Han, Y. S., Lee, J., Jang, J. Y., Yim, G. J., Cho, S., Lee, J. S., & Cheong, Y. W. (2020). Water defluorination using granular composite synthesized via hydrothermal treatment of polyaluminum chloride (PAC) sludge. *Chemosphere*, *247*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125899

Chowdhury, A., Adak, M. K., Mukherjee, A., Dhak, P., Khatun, J., & Dhak, D. (2019). A critical review on geochemical and geological aspects of fluoride belts, fluorosis and natural materials and other sources for alternatives to fluoride exposure. *Journal of Hydrology*, *574*, 333–359. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.04.033

Cornelissen, E. R., Harmsen, D. J. H., Blankert, B., Wessels, L. P., & van der Meer, W. G. J. (2021). Effect of minimal pre-treatment on reverse osmosis using surface water as a source. *Desalination*, *509*. https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115056

Damtie, M. M., Woo, Y. C., Kim, B., Hailemariam, R. H., Park, K. D., Shon, H. K., Park, C., & Choi, J. S. (2019). Removal of fluoride in membrane-based water and wastewater treatment technologies: Performance review. *Journal of Environmental Management*, *251*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109524

Das, D., & Nandi, B. K. (2020). Simultaneous removal of fluoride and Fe (II) ions from drinking water by electrocoagulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *8*(1). https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103643

Diez, D., López, M., Colmán, D., González, C., Navarro, N., Morínigo, M., Araujo, S., Cáceres, A., Pizzurno, J., & Yubero, F. (2019). Concentración de fluoruro en agua subterránea y su relación con los niveles de calcio sérico en niños residentes en el distrito de Loreto, Concepción, Paraguay. *Memorias Del Instituto de Investigaciones En Ciencias de La Salud*, *17*(2). https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2019.017.02.24-035

Dorantes, E. L. (2018). El microscopio óptico. *Uno Sapiens Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 1*, *1*(1), 1–2. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/3381

Dueñas, C., & Hinojosa, L. (2021). Calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*, *1*(3). https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i3.19

Ecopura. (2024). *Agua Destilada: Usos y características*. https://www.ecopuranorte.com/caracteristicas-agua-destilada

Figueroa, J. L., Rodríguez, A., Cole, F., Mundo, V., Muñoz, A., Figueroa, J. C., Boudart, Z., Rojo, M., Bautista, S., Sánchez, B., & Roberts, E. (2023). Water for everyone? Water intermittency among Mexican households. *Salud Publica de Mexico*, *65*. https://doi.org/10.21149/14783

Garcés, M., Reinoso, D., Aldás, F., & Vaca, G. (2022). Ion fluor sobre la salud humana, efectos y mecanismo. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de La Salud. Salud y Vida*, *6*(3). https://doi.org/10.35381/s.v.v6i3.2318

Gary, D. (2009). *QUÍMICA ANALÍTICA sexta edición* (McGrawHill, Ed.). 2009. http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/AnalisisInstrumental/images/Quimica_Analitica.pdf

Grijalva Endara, A. de las M., Jiménez Heinert, M. E., & Ponce Solórzano, H. X. (2020). Desmineralización del agua como respuesta ante el cambio climático. *RECIMUNDO*, *4*(4). https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.22-36

Grzegorzek, M., Majewska-Nowak, K., & Ahmed, A. E. (2020). Removal of fluoride from multicomponent water solutions with the use of monovalent selective ion-exchange membranes. *Science of the Total Environment*, *722*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137681

Gu, L. S., Wei, X., & Ling, J. Q. (2020). [Etiology, diagnosis, prevention and treatment of dental fluorosis]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi = Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi = Chinese Journal of Stomatology*, *55*(5), 296–301. https://doi.org/10.3760/CMA.J.CN112144-20200317-00156

Herrera, S., Gómez, L., & Cabrera, P. (2020). Influencia del uso del Carbonato de calcio(CaCO3) en la alcalinización y sedimentación del jugo de caña. *Centro Azúcar*, *47*(3), 70–82. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000300070&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Inec. (2020a). Agua Potable. Requisitos. Nte Inen 1108. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, *1108*(5), 1–10.

Inec. (2020b). Agua Potable. Requisitos. Nte Inen 1108. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, *1108*(5), 1–10. https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf%0Ahttp://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf

Kaseva, M. E. (2006). Optimization of regenerated bone char for fluoride removal in drinking water: A case study in Tanzania. *Journal of Water and Health*, *4*(1), 139–147. https://doi.org/10.2166/wh.2005.062

Kumari, U., Siddiqi, H., Bal, M., & Meikap, B. C. (2020). Calcium and zirconium modified acid activated alumina for adsorptive removal of fluoride: Performance evaluation, kinetics, isotherm, characterization and industrial wastewater treatment. *Advanced Powder Technology*, *31*(5). https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.02.035

Lee, R. J., Van Orden, D. R., Cox, L. A., Arlauckas, S., & Kautz, R. J. (2016). Impact of muffle furnace preparation on the results of crystalline silica analysis. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *80*, 164–172. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.06.002

Levya, R., Medellín, H., & Flores, J. (2015). Carbonizado de hueso: adsorbente preparado a partir de residuos de huesos de animales. Adsorción de fluoruro en solución acuosa. *Boletín Del Grupo Español Del Carbón, ISSN-e 2172-6094, Nº. 36, 2015, Págs. 2-5*, *36*, 2–5. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5210386&info=resumen&idioma=ENG

Lino, J. (2020). Sistema Óseo de vacunos. *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.*, 5–24.

López, O., Yáñez, L., & Flores, J. (2022). Algunas Especies Leñosas Que Se Utilizan Para Elaborar Carbón Vegetal En San Luis Potosí. *TLATEMOANI. Revista Académica de Investigación*, *40*, 121–139. https://doi.org/10.51896/tlatemoani/ixit7183

Macías, J., Rojas, J., & Villamar, F. (2018). Evaluation of the potable water system of the Cabecera Parroquial Caracol and proposal of improvements. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia E Investigaci ´on*, *3*(ICCE 2018), 50. https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp61-75p

Marín, T., & Arriojas, D. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos nucífera) a nivel de laboratorio. *Revista ION: Investigación, Optimización y Nuevos Procesos En Ingeniería, ISSN-e 2145-8480, ISSN 0120-100X, Vol. 33, Nº. 2, 2020 (Ejemplar Dedicado a: Revista ION), Págs. 99-110*, *33*(2), 99–110. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7834110&info=resumen&idioma=ENG

Mayorga, D., Tapia, I., Paredes, L., & Caicedo, J. (2019). Diseño y Construcción de un filtro de agua vegana. *Ciencia Digital*, *3*(3), 337–355. https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.649

Muhamad, N., Makhtar, S. N. N. M., Abdullah, N., Pauzi, M. Z. M., Mahpoz, N. M. ammar, Othman, M. H. D., Jaafar, J., Abas, K. H., Fadil, N. A., & Rahman, M. A. (2021). Composite zeolite hollow fiber membrane for the removal of nickel using forward osmosis. *Journal of Water Process Engineering*, *40*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101806

Pancca, O., & Palomino, G. (2022). Remoción del fluoruro en agua potable por precipitación-floculación con policloruro de aluminio y lechada de cal. *Revista Ciencia Agraria*, *1*(2), 7–16. https://doi.org/10.35622/j.rca.2022.02.001

Pérez, E. (2016). Quality control of water for human consumption in the region of the West in Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, *29*, 3–14. https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884

Perveen, S., & Amar-Ul-Haque. (2023). Drinking water quality monitoring, assessment and management in Pakistan: A review. In *Heliyon* (Vol. 9, Issue 3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13872

Pinzón, F., García, C., & Avila, J. (2024). Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores en el Río Toribio de Ciénaga – Magdalena. *Citas*, *10*(1), 46–63. https://doi.org/10.15332/2422409x.9666

Revelo, I., Enríquez, D., Espinosa, D., Peña, A., Bolaño, I., Moná, Y., Peña, C., Prado, D., Ardila, L., López, J., Cortes, Y., Muñoz, J., Muñoz, J., Sánchez, J., Erazo, Y., López, L., Mosquera, A., Pérez, D., Ordoñez, Y., … Paz, S. (2021). Determination of the Fluoride Content in Water of Aqueducts of Cauca (Colombia) by Ion Exchange Chromatography. *Biological Trace Element Research*, *199*(12), 4867–4875. https://doi.org/10.1007/s12011-020-02569-y

Rini, Suryanto, H., Hari, P. D., Syukri, D., Jaswandi, Kurniawan, F., & Makky, M. (2023). Application of Nanocellulose Biofilter from Pineapple Peel Waste for Water Microbes Removal. *Journal of Environmental and Public Health*, *2023*. https://doi.org/10.1155/2023/5823207

Rodríguez, G., & Cabello, R. (2019). Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana, más allá del alarmismo. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, *12*(1). https://doi.org/10.4067/s0719-01072019000100006

Rodríguez, J., Ortiz, D., Rodríguez, E., & Santos, E. (2018). Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. *Revista Lasallista de Investigación*, *15*(2), 118–130. https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a9

Salado, D. (2024). *Hidroxiapatita y selenio: Protagonistas emergentes en la lucha contra el cáncer Hydroxyapatite and selenium: Emerging players in the fight against cancer 1 *Susana 1. 32*.

Sevillano, S., Fuenzalida, J., Farfán, M., & Terreros, K. (2024). Toxic effects of aluminum: a silent poisoning. *Revista de Neuro-Psiquiatria*, *87*(2), 169–180. https://doi.org/10.20453/rnp.v87i2.5224

Shahid, M. K., Kim, J. Y., & Choi, Y. G. (2019). Synthesis of bone char from cattle bones and its application for fluoride removal from the contaminated water. *Groundwater for Sustainable Development*, *8*, 324–331. https://doi.org/10.1016/J.GSD.2018.12.003

Shanker, A. S., Srinivasulu, D., & Pindi, P. K. (2020). A study on bioremediation of fluoride-contaminated water via a novel bacterium Acinetobacter sp. (GU566361) isolated from potable water. *Results in Chemistry*, *2*. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2020.100070

Solanki, Y., Agarwal, M., Gupta, A., Gupta, S., & Shukla, P. (2022a). Fluoride occurrences, health problems, detection, and remediation methods for drinking water: A comprehensive review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 807). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150601

Solanki, Y., Agarwal, M., Gupta, A., Gupta, S., & Shukla, P. (2022b). Fluoride occurrences, health problems, detection, and remediation methods for drinking water: A comprehensive review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 807). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150601

Srivastava, S., & Flora, S. (2020). Fluoride in Drinking Water and Skeletal Fluorosis: a Review of the Global Impact. *Current Environmental Health Reports*, *7*(2). https://doi.org/10.1007/s40572-020-00270-9

Takabait, F., Mahtout, L., Pérez Villarejo, L., Carrasco Hurtado, B., & Sánchez Soto, P. J. (2016). Preparation of calcium carbonate as nanoparticles from inorganic precursors and sucrose as additive with potential application as biomaterial. *Boletin de La Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, *55*(5). https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2016.01.006

Thongsamer, T., Vinitnantharat, S., Pinisakul, A., & Werner, D. (2023). Fixed-bed biofilter for polluted surface water treatment using chitosan impregnated-coconut husk biochar. *Environmental Pollution*, *334*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122137

Torres, C. A., García, C. A., García, J. C., García, M. C., & Pacheco, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública*, *19*(4), 453–459. https://doi.org/10.15446/RSAP.V19N4.56039

Valenzuela, L., Ramírez, J., Sol, J., & Reyes, J. (2011a). Alternativas para la eliminación doméstica de fluor en el agua de consumo humano. *Informacion Tecnologica*, *22*(2), 23–32. https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200004

Valenzuela, L., Ramírez, J., Sol, J., & Reyes, J. (2011b). Alternativas para la eliminación doméstica de fluor en el agua de consumo humano. *Informacion Tecnologica*, *22*(2), 23–32. https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200004

Van Dyke, N., Yenugadhati, N., Birkett, N. J., Lindsay, J., Turner, M. C., Willhite, C. C., & Krewski, D. (2021). Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer's disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. *Neurotoxicology*, *83*, 157–165. https://doi.org/10.1016/J.NEURO.2020.04.002

Villafuerte, I., Maximiliano, J., Intriago, P., Ronaldo, A., & Navarrete, R. (2020). Evaluation of the potable water system of the "Cabecera Parroquial Caracol" and proposal of improvements. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies: JBES, ISSN-e 2576-0971, Vol. 4, Nº. 2, 2020 (Ejemplar Dedicado a: July - December), Págs. 61-75*, *4*(2), 61–75. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888280&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888280

2. Anexos

Anexo 1. Certificado de autenticidad de resultados por parte del GAD de San Pedro de Pelileo

G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN PEDRO DE PELILEO

DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Pelileo, 17 de Enero de 2025

Yo, **Sánchez Aldaz Erick Fabricio** con cédula de ciudadanía **180527557-3**, declaro la veracidad y autenticidad de la obtención de los datos, durante el Desarrollo del Proyecto de Titulación **"Evaluación de la efectividad del carbón de hueso de animales bovinos (*Bos taurus*) en la disminución de la concentración de Flúor en el agua potable de consumo humano del Cantón San Pedro de Pelileo."** Obtenidos en el Laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable de Teligote del GAD del Cantón San Pedro de Pelileo. Los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 1. Calidad del agua proveniente de la Vertiente Jun Jun.

	Muestras de entrada								
N°	**Lugar**	**Fluoruros mg/L**	**Aluminio mg/L**	**Conduc.**	**Color**	**TDS**	**pH**	**Turb.**	**T (C°)**
1	Vertiente Jun Jun	2,19	0,08	560	0	272	7,11	1,36	21,4
2	Vertiente Jun Jun	2,09	0,079	558	0	270	7,1	1,35	21,3
3	E.T.A. Benítez	2,4	0,076	559	0	271	7,13	0,55	14,3
4	S.T.A Benítez	2,45	0,075	539	0	261	7,52	0,39	14
5	E.T.A. El Corte	2,88	0,076	558	0	270	7,3	0,46	13,8
6	S.T.A. El Corte	1,89	0,078	559	0	271	7,35	0,89	13,9
7	E.T.A. El Tambo	1,71	0,077	554	0	268	7,39	0,97	13,8
8	S.T.A. El Tambo	1,08	0,081	550	0	170	7,6	0,31	14,5
9	Domicilio 1	2,03	0,08	345	0	165,9	7,68	0,3	14,3
10	Domicilio 2	1,98	0,079	347	0	167,1	7,7	0,35	15,4

SAN PEDRO DE PELILEO AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO RECIBIDO
17 ENE 2025
Hora: 14:04 Anexos:
Firma:

G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN PEDRO DE PELILEO - AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Tabla 2. Efectividad del PAC al 10% en la eliminación de fluoruros en el agua.

Análisis Efectividad PAC al 10 %

N°	20 ppm		30 ppm		40 ppm	
	Fluoruros	Aluminio	Fluoruros	Aluminio	Fluoruros	Aluminio
1	1,43	0,208	2,01	0,4	0,99	0,817
2	1,47	0,206	1,85	0,409	0,91	0,815
3	1,35	0,203	0,65	0,401	0,87	0,82
4	0,9	0,205	0,97	0,406	1,16	0,817
5	0,94	0,201	0,8	0,402	1,35	0,813
6	0,78	0,209	1,33	0,406	0,31	0,816
7	1,12	0,201	1,09	0,4	0,72	0,8
8	1,09	0,204	1,2	0,402	0,92	0,814
9	1,33	0,206	1,29	0,4	1,18	0,812
10	1,16	0,208	1,09	0,405	1,22	0,815

Tabla 3. Efectividad del carbón de hueso de animales bovinos *B. taurus* en la eliminación de fluoruos en el agua de la vertiente Jun Jun.

Replicas	Tratamientos						
	Control	T1	T2	T3	T4	T5	T6
		1,25 g/L	2,5 g/L	3,75 g/L	5 g/L	6,25 g/L	7,5 g/L
R1	2,01	1,81	1,35	1,29	0,79	0,91	0,68
R2	1,98	1,72	1,31	1,25	0,71	0,89	0,65
R3	1,99	1,61	1,28	1,22	0,75	0,86	0,63
R4	2,03	1,88	1,33	1,31	0,81	0,93	0,69
R5	2,05	1,8	1,32	1,31	0,71	0,92	0,68
R6	1,98	1,74	1,28	1,22	0,69	0,86	0,63
R7	1,88	1,65	1,25	1,26	0,72	0,85	0,61
R8	1,91	1,83	1,27	1,28	0,78	0,86	0,63
R9	1,96	1,63	1,25	1,26	0,75	0,84	0,62
R10	2,03	1,89	1,29	1,27	0,71	0,91	0,66
Yi.	19,82	17,56	12,93	12,67	7,42	8,83	6,48
ȳi.	1,982	1,756	1,293	1,267	0,742	0,883	0,6480
Des.	0,053914	0,102002	0,033682	0,031990	0,040497	0,032677	0,028206
Var.	0,002907	0,010404	0,001134	0,001023	0,001640	0,001068	0,000796

Atentamente,

Sánchez Aldaz Erick Fabricio

180527557-3

G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN PEDRO DE PELILEO - AGUA POTABLE Y ALCANTA

Anexo 2. Validez obtenida por parte de INAMHI

INAMHI

INFORME DE RESULTADOS

RC38-09
N°. 25-002
Pág. 1 de 2

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Laboratorio Nacional De Calidad De Aguas Y Sedimentos

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 15-005".

INFORMACIÓN DEL USUARIO:

USUARIO:	Universidad Técnica de Ambato		
PERSONA DE CONTACTO:	Sánchez Aldaz Erick Fabricio		
DIRECCIÓN:	Ambato		
TELÉFONO CONVENCIONAL / CELULAR:	0983576483	E-mail:	esanchez5573@uta.edu.ec

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

MÉTODO DE MUESTREO:	NA			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN MUESTRAS:	09/01/2025	10:00	**Orden de Trabajo:**	**OT-25-002**
LUGAR DE ANÁLISIS:	LANCAS - Nuñez de Vela N36-15 y Corea			
FECHAS DE ANÁLISIS DEL:	09/01/2025		**AL:**	10/01/2025
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	15/01/2025			

Código de Muestra	Matriz	Identificación o Código	Lugar toma de muestra	Fecha toma de muestra	Hora toma de muestra	Coordenadas
M-25-002	Agua De Consumo	Vertiente Jun Jun	Vertiente Jun Jun, Ubicado	08/01/2025	8:30	NR
Observaciones / Condición de recepción de la muestra						
NA						

Referencias: NR: No Reporta | NA: No Aplica

OBSERVACIONES:

- El laboratorio se hace responsable de toda la información suministrada en el presente informe, excepto de la información proporcionada por el usuario (Los datos proporcionados por el usuario se muestran con fondo gris). LANCAS se compromete a mantener la confidencialidad mediante previa aceptación de la oferta y acuerdo de servicios.
- El Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos, LANCAS no realizará declaraciones de conformidad e interpretación de resultados con una especificación o norma, por lo que no se establecerá la regla de decisión.
- Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. LANCAS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
- Los resultados se aplican a la muestra tal como se la recibió. LANCAS declina toda responsabilidad por el muestreo o toma de muestra externo realizado.
- Este informe no es válido sin la firma del Coordinador de Laboratorio y el sello de LANCAS.
- El informe no podrá ser reproducido parcialmente, salvo autorización escrita de LANCAS.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la reconocida Norma Internacional ISO/IEC 17025. Esta acreditación demuestra competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio. Para ver el documento puede revisarlo: https://goo.su/VUNVDz

Autorizado por:
Dra. Jeaneth Cartagena
Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS)
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador

ENSAYOS EN LABORATORIO				
Párametros	**Método Interno LANCAS**	**Método de Referencia**	**Unidades**	**Valor**
Fluoruros	PE14	Standard Methods Ed 24th, 2023. 4500 F- D	mg/L	2,14
REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:				
No aplica				

Autorizado por:

Dra. Jeaneth Cartagena

Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL
DE CALIDAD DE AGUA
Y SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS)
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador

INAMHI

INFORME DE RESULTADOS

RC38-09
N°. 25-003
Pág. 1 de 2

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Laboratorio Nacional De Calidad De Aguas Y Sedimentos

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 15-005".

INFORMACIÓN DEL USUARIO:

USUARIO:	Universidad Técnica de Ambato		
PERSONA DE CONTACTO:	Sánchez Aldaz Erick Fabricio		
DIRECCIÓN:	Ambato		
TELÉFONO CONVENCIONAL / CELULAR:	0983576483	**E-mail:**	esanchez5573@uta.edu.ec

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

MÉTODO DE MUESTREO:	NA			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN MUESTRAS:	09/01/2025	10:00	**Orden de Trabajo:**	**OT-25-002**
LUGAR DE ANÁLISIS:	LANCAS - Nuñez de Vela N36-15 y Corea			
FECHAS DE ANÁLISIS DEL:	09/01/2025		**AL:**	10/01/2025
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	15/01/2025			

Código de Muestra	Matriz	Identificación o Código	Lugar toma de muestra	Fecha toma de muestra	Hora toma de muestra	Coordenadas
M-25-003	Agua De Consumo	Concentración a 10 ppm test de Jarras	Laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable GAD Municipal del Cantón San Pedro de Pelileo	08/01/2025	10:00	NR
Observaciones / Condición de recepción de la muestra						
NA						

Referencias: NR: No Reporta | NA: No Aplica

OBSERVACIONES:

- El laboratorio se hace responsable de toda la información suministrada en el presente informe, excepto de la información proporcionada por el usuario (Los datos proporcionados por el usuario se muestran con fondo gris). LANCAS se compromete a mantener la confidencialidad mediante previa aceptación de la oferta y acuerdo de servicios.
- El Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos, LANCAS no realizará declaraciones de conformidad e interpretación de resultados con una especificación o norma, por lo que no se establecerá la regla de decisión.
- Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. LANCAS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
- Los resultados se aplican a la muestra tal como se la recibió. LANCAS declina toda responsabilidad por el muestreo o toma de muestra externo realizado.
- Este informe no es válido sin la firma del Coordinador de Laboratorio y el sello de LANCAS.
- El informe no podrá ser reproducido parcialmente, salvo autorización escrita de LANCAS.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la reconocida Norma Internacional ISO/IEC 17025. Esta acreditación demuestra competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio. Para ver el documento puede revisarlo: https://goo.su/VUNVDz

Autorizado por:
Dra. Jeaneth Cartagena
Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos - LANCAS
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador

ENSAYOS EN LABORATORIO				
Párametros	**Método Interno LANCAS**	**Método de Referencia**	**Unidades**	**Valor**
Fluoruros	PE14	Standard Methods Ed 24th, 2023. 4500 F- D	mg/L	0,80
REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:				
No aplica				

Autorizado por:

Dra. Jeaneth Cartagena

Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS)
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador

INAMHI

INFORME DE RESULTADOS

RC38-09
N°. 25-004
Pág. 1 de 2

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
Laboratorio Nacional De Calidad De Aguas Y Sedimentos

"Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 15-005".

INFORMACIÓN DEL USUARIO:

USUARIO:	Universidad Técnica de Ambato		
PERSONA DE CONTACTO:	Sánchez Aldaz Erick Fabricio		
DIRECCIÓN:	Ambato		
TELÉFONO CONVENCIONAL / CELULAR:	0983576483	**E-mail:**	esanchez5573@uta.edu.ec

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

MÉTODO DE MUESTREO:	NA			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN MUESTRAS:	09/01/2025	10:00	**Orden de Trabajo:**	**OT-25-002**
LUGAR DE ANÁLISIS:	LANCAS - Nuñez de Vela N36-15 y Corea			
FECHAS DE ANÁLISIS DEL	09/01/2025		**AL:**	10/01/2025
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	15/01/2025			

Código de Muestra	Matriz	Identificación o Código	Lugar toma de muestra	Fecha toma de muestra	Hora toma de muestra	Coordenadas
M-25-004	Agua De Consumo	Biofiltro de uso doméstico	Domicilio donde fue conectado el Biofiltro	08/01/2025	11:30	NR
Observaciones / Condición de recepción de la muestra						
NA						
Referencias: NR: No Reporta | NA: No Aplica						

OBSERVACIONES:

- El laboratorio se hace responsable de toda la información suministrada en el presente informe, excepto de la información proporcionada por el usuario (Los datos proporcionados por el usuario se muestran con fondo gris). LANCAS se compromete a mantener la confidencialidad mediante previa aceptación de la oferta y acuerdo de servicios.
- El Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos, LANCAS no realizará declaraciones de conformidad e interpretación de resultados con una especificación o norma, por lo que no se establecerá la regla de decisión.
- Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. LANCAS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
- Los resultados se aplican a la muestra tal como se la recibió. LANCAS declina toda responsabilidad por el muestreo o toma de muestra externo realizado.
- Este informe no es válido sin la firma del Coordinador de Laboratorio y el sello de LANCAS.
- El informe no podrá ser reproducido parcialmente, salvo autorización escrita de LANCAS.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la reconocida Norma Internacional ISO/IEC 17025. Esta acreditación demuestra competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio. Para ver el documento puede revisarlo: https://goo.su/VUNVDz

Autorizado por:
Dra. Jeaneth Cartagena
Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS)
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador

ENSAYOS EN LABORATORIO				
Párametros	**Método Interno LANCAS**	**Método de Referencia**	**Unidades**	**Valor**
Fluoruros	PE14	Standard Methods Ed 24th, 2023. 4500 F- D	mg/L	1,06
REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:				
No aplica				

Autorizado por:

Dra. Jeaneth Cartagena

Coordinador de Laboratorio

INAMHI
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS - LANCAS

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS)
Dirección: Nuñez de Vela N36-15 y Corea
Telf: (593) 3971100 ext. 81201 - 81202 - 81203
Correo: lancas@inamhi.gob.ec
Quito - Ecuador