



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA
PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN
AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO,
PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieros Ambientales

Autores:
Calvopiña Granja Iles Alejandra
Cuñez Prado Carlos Nicolas

Tutor:
Agreda Oña José Luis

LATACUNGA- ECUADOR
Agosto 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Ileis Alejandra Calvopiña Granja, con cédula de ciudadanía N° 0503882367; y Carlos Nicolás Cuñez Prado, con cédula de ciudadanía N° 1751178706 declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”**, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Agreda Oña, Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 16 de agosto del 2024

Ileis Alejandra Calvopiña Granja

Estudiante

CC: 0503882367

Carlos Nicolás Cuñez Prado

Estudiante

CC: 1751178706

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CALVOPÍÑA GRANJA ILEIS ALEJANDRA**, identificada con cédula de ciudadanía N° 0503882367, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema, en calidad de Rectora y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico:

Fecha de inicio de la carrera: Octubre 2020 – Marzo 2021

Fecha de finalización: Abril - Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

Tema: **“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido LA CEDENTE declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de LA CESIONARIA el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo LA CEDENTE podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de LA CEDENTE en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 16 días del mes de agosto del 2024.

Ileis Alejandra Calvopiña Granja

LA CEDENTE

Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema

LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CUÑEZ PRADO CARLOS NICOLAS**, identificado con cédula de ciudadanía N° 1751178706, de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema, en calidad de Rectora y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024**” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico:

Fecha de inicio de la carrera: Octubre 2020 – Marzo 2021

Fecha de finalización: Abril - Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

Tema: “**DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga a los 16 días del mes de agosto del 2024.

Carlos Nicolas Cunez Prado
EL CEDENTE

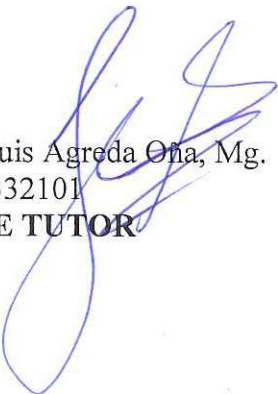
Dr. Idalia Eleonora Pacheco Tigsalema
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”, de Calvopiña Granja Iles Alejandra; y, Cuñez Prado Carlos Nicolas, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.
C.C: 0401332101
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Calvopiña Granja Ileis Alejandra y Cuñez Prado Carlos Nicolás, con el título de Proyecto de Investigación: **“DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSEGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Lcdo. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.
C.C: 0501444582
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Jaime Rene Lema Pillalaza, Mg.
C.C: 1713759932
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.
C.C: 0502188451
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi que me permitió ser parte de la carrera de Ambiente donde se forjaron todos los conocimientos que he adquirido, a mis profesores que formaron parte de mi vida estudiantil universitaria, por sus enseñanzas y directrices para ser una excelente profesional. A mi docente y tutor de proyecto de investigación, Ing, José Luis Agreda, que me brindó todo el conocimiento y tiempo para que el proyecto se desarrolle de manera adecuada. A mis padres que siempre estuvieron apoyándome moral y económicamente en mis estudios. A mi colega, Carlos, por darse el tiempo de conocerme y nunca dejarnos de lado desde que empezamos la carrera hasta culminarla. Gracias a todos los que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

Ileis Alejandra Calvopiña Granja.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi y sus docentes durante toda esta travesía, donde sus guías y enseñanzas ayudaron a forjar a toda una generación. También agradezco la calidez con la que fui recibido y con la misma calidez con la que me dan la despedida. A mi docente y tutor de proyecto de investigación, Ing, José Luis Agreda, que a pesar de las inquietudes y dificultados del proyecto supo estar presente y en servicio de cualquiera de nuestras inquietudes. A mi padre, madre y hermana, quienes fueron mi principal motivación y fuerza durante todo mi trayecto académico. También agradezco a mi familia quien estuvo apoyándome durante toda mi travesía. A mi colega, Ileis, por aparecer en mi vida y apoyarme, incluso cuando la vida parezca difícil y sobresalir juntos a cualquier travesía. Gracias por aparecer en el momento perfecto.

Agradezco a todas las personas que influyeron en mi vida y me han puesto en este momento; sin todos ustedes hoy no sería la persona que soy.

Carlos Nicolás Cuñez Prado.

DEDICATORIA

A mi mamá Sylvia, que siempre estuvo en todos los momentos de mi vida desde que tengo memoria, motivándome con todo el cariño, escuchándome y siendo una increíble mamá. A mi abuelita Alicia, que aparte de enseñarme que la fortaleza nace del amor, y que estudiar es una de las cosas más importantes en la vida, siempre me dejaba notas diciéndome cuanto me quiere y lo valiosa que soy, antes de irme a estudiar en las mañanas desde que era una niña, las cuales guardo en mi corazón para siempre con mucho afecto. A Nicolás, que desde que me conoció nunca ha soltado mi mano y siempre ha creído en mí, de esta manera, apoyándome y amándome, me enseñó que el verdadero amor existe y lo bonita que es la vida con las personas adecuadas. A mi padre, Rubén, por nunca irse de mi lado y apoyarme de todas las formas posibles.

Ileis Alejandra Calvopiña Granja.

DEDICATORIA

A mi mamá Gloria, que me ha apoyado y amado durante todo este tiempo, quien ha sido mi guía en toda mi vida, quien considero a mi ser de gran confianza. A mi papá Juan, que me ha demostrado el significado del valor y responsabilidad, quien pone su mejor esfuerzo en todo y quien me ha demostrado que la palabra de un caballero es siempre inquebrantable. A mi hermana Doménica, quien me ha animado y quien llego a mi vida como una fuente de confianza y valor. A mi pareja Ileis, a quién amo con todo mi ser por ser mi apoyo y compañía durante todos estos meses, la persona por quien mis letras y mis sueños tienen un significado más profundo que un progreso académico. La luna está hermosa esta noche.

Carlos Nicolás Cuñez Prado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSÉGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”

Autores:

Calvopiña Granja Ileis Alejandra

Cuñez Prado Carlos Nicolás

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un filtro a base de plumas de gallina con grava que reduzca la concentración de metales pesados que se encuentran en las aguas residuales provenientes de las descargas industriales y urbanas del sector Joseguango Alto. En la metodología se realizó una fase de campo, donde se hizo un muestreo para la caracterización de las aguas residuales para analizar la concentración de plomo y aluminio, antes y después del tratamiento. Este proceso incluyó el tratamiento previo de hidrólisis con hidróxido de sodio en las plumas de gallina para asegurar la absorción de metales pesados y el diseño del filtro. Se aplicó un diseño experimental, se realizaron tres tratamientos dos de estos con diferentes cantidades de plumas 10 g, 30 g y con 5cm de grava en cada filtro y un testigo de solo grava con estos se evaluó la eficacia de la grava y las plumas en la remoción de metales pesados. Además, se utilizó el software ANOVA para analizar la eficiencia ambiental y se calcularon TIR (tasa interna de retorno) y VAN (valor actual neto) para evaluar la eficiencia económica. En el análisis de la calidad del agua, se observó que los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad) estaban elevados debido a la presencia de materia orgánica con un DQO de 3,4 g/L, el aluminio con 0,32 mg/L y el plomo registro 0,14 mg/L en el agua residual. El tratamiento con plumas 30 g y grava 5 cm demostró mejor eficacia con una remoción aproximadamente el 98% de estos metales. La porosidad de las plumas contribuyó al diseño eficiente de los filtros. Además, desde una perspectiva económica, el análisis de la Tasa Interna de Retorno presento un 44% lo cual indica que el filtro es más rentable comparado con otros métodos convencionales y el Valor Actual Neto se obtuvo un 19118,94 lo cual sugiere que el filtro de plumas de gallina ofrece un rendimiento superior.

Palabras claves: metales pesados, contaminación, hidrólisis, hidróxido de sodio.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “DESARROLLO DE FILTRO DE GRAVA Y PLUMAS DE GALLINA PARA LA REMOCIÓN DE LOS IONES PLOMO Y ALUMINIO EN AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR JOSÉGUANGO ALTO, PARROQUIA MULALÓ, PROVINCIA COTOPAXI, 2024”

Autores:

Calvopiña Granja Ileis Alejandra

Cuñez Prado Carlos Nicolás

ABSTRACT

The main objective of the research project was to develop a filter based on chicken feathers with gravel to reduce the concentration of heavy metals found in wastewater from industrial and urban discharges from Joseguango Alto sector. The methodology included a field phase, wastewater characterization sampling was carried out to analyze the concentration of lead and aluminum before and after treatment. This process included the hydrolysis pretreatment with hydroxide partner in the chicken feathers to ensure the absorption of heavy metals and the design of the filter. An experimental design was applied, three treatments were carried out, two with different amounts of feathers 10 g, 30 g and with 5 cm of gravel in each filter and a control of only gravel to evaluate the effectiveness of gravel and feathers in the removal of heavy metals. In addition, ANOVA software was used to analyze environmental efficiency and IRR (internal rate of return) and NPV (net present value) were calculated to evaluate economic and environmental efficiency. In the water quality analysis, it was observed that the physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, total dissolved solids, salinity and COD) were elevated due to the presence of organic matter with a COD of 3.4 g/L, aluminum with 0.32 mg/L and lead registering 0.14 mg/L in the wastewater. The treatment with 30 g feathers and 5 cm gravel showed better efficacy with a removal of approximately 98% of these metals. The porosity of the feathers contributed to the efficient design of the filters. In addition, from an economic perspective, the Internal Rate of Return analysis showed a 44% which indicates that the filter is more cost effective compared to other conventional methods and the Net Present Value was 19118.94 which suggests that the chicken feather filter offers superior performance.

Keywords: heavy metals, contamination, hydrolysis, sodium hydroxide.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE APROVACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
<i>AGRADECIMIENTO</i>	ix
<i>AGRADECIMIENTO</i>	x
<i>DEDICATORIA</i>	xi
<i>DEDICATORIA</i>	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS	5
6.1. General.	5
6.2. Específicos.	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIONES A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO - TÉCNICA	6
8.1. Agua	6
8.1. Metales pesados	7
8.2. Parámetros importantes de calidad de Agua en descargas urbanas.	10
8.3. Demanda Química de Oxígeno	11
8.4. Diseño experimental	11
8.5. Filtros percoladores.	12
8.6. Tratamientos Secundarios con biopelícula.	12

8.7.	Plumas de gallina (<i>Gallus domesticus</i>) como residuos aprovechables para el tratamiento de agua.	12
8.8.	Hidrolisis Alcalina con Hidróxido de Sodio para el tratamiento de plumas.	14
8.9.	Grava	15
9.	HIPÓTESIS	15
10.	PREGUNTA CIENTÍFICA	15
11.	MARCO LEGAL	16
12.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	17
12.1.	Tipos de Métodos	17
12.2.	Fase de campo	18
12.3.	Fase de laboratorio	19
12.4.	Instrumentos	27
13.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
13.1.	Sitio de estudio	28
13.2.	Muestreo de agua	29
13.3.	Caracterización del agua residual	29
13.4.	Diseño de filtro percolador	31
13.5.	Características fisicoquímicas del agua antes y después del tratamiento	32
13.6.	Obtención de residuos a través de la industria avícola.	33
13.7.	Tratamiento de plumas	33
13.8.	Análisis DQO	34
13.9.	Análisis de aluminio (Al)	35
13.10.	Análisis de Plomo	37
13.11.	Análisis ANOVA	39
13.12.	Análisis Económico	45
14.	COMPROBACION DE LAS HIPOTESIS	46
15.	RESPUESTA DE PREGUNTA CIENTIFICA	46
16.	IMPACTOS TÉCNICOS	46
16.1.	SOCIALES	46
16.2.	AMBIENTALES	46

16.3.	ECONÓMICOS	47
17.	CONCLUSIONES	47
18.	RECOMENDACIONES	48
19.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.	4
Tabla 2. Actividades relacionadas a los objetivos específicos planteados	6
Tabla 3. Distribución de filtros según el DCA	23
Tabla 4. Lista de instrumentos usados en los objetivos	27
Tabla 5. Valores de Aluminio y plomo comparada con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Acuerdo Ministerial 097-A	29
Tabla 6. Valores de parámetros fisicoquímicos	31
Tabla 7. Resultados de los parámetros para el diseño del filtro percolador	31
Tabla 8. Datos obtenidos por multiparámetros antes y después del tratamiento de plumas y gravas	32
Tabla 9. Efectividad de las plumas de gallina y grava en disminución de DQO en g/L	35
Tabla 10. Efectividad de las plumas de gallina y grava en disminución de aluminio.	36
Tabla 11. Resultados de las repeticiones del diseño experimental para la disminución de aluminio	37
Tabla 12. Valores obtenidos a través de la prueba de grava y plumas en plomo	38
Tabla 13. Resultados de los tratamientos para la remoción de plomo	39
Tabla 14. Análisis de varianza de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio	40
Tabla 15. Análisis de varianza (concentración Al)	41
Tabla 16. Análisis de varianza para reconocer la eficacia de las plumas de gallina en plomo	43
Tabla 17. Análisis de varianza para reconocer la eficacia de las plumas de gallina en plomo.	44
Tabla 18. Resultados del VAN y TIR	46
Tabla 19. Presupuesto del método convencional y filtros de plumas el proyecto	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Estructura de la pluma</i>	13
Figura 2. Dimensión del filtro	21
Figura 3. Representación del lecho filtrante	21
Figura 4. Mapa del sitio de estudio	29
Figura 5. Diseño de filtro de vidrio con lecho filtrante de plumas de gallina.	31
Figura 6. Registro de plumas y desechos orgánicos	33
Figura 7. Vista macroscópica de plumas antes y después del tratamiento	34
Figura 8. Curva de eficiencia de DQO de Grava y Plumás	35
Figura 9. Curva de eficiencia de los filtros en Aluminio	36
Figura 10. Curva de eficiencia de los filtros	37
Figura 11. Curva de eficiencia entre grava y plumas en plomo	38
Figura 12. Curva de eficiencia entre los filtros de grava, plumas 10 g y 30 g en plomo	39
Figura 13. Análisis estadístico de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio	41
Figura 14. Análisis estadístico de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio	42
Figura 15. Análisis estadístico a cerca de la eficiencia del tratamiento de plumas de gallina	43
Figura 16. Análisis estadístico a cerca de la eficiencia del tratamiento de plumas de gallina en plomo	45

1. INFORMACIÓN GENERAL

TEMA:

“Desarrollo de filtro de grava y plumas de gallina para la remoción de los iones plomo y aluminio en aguas residuales del sector Joseguango Alto, parroquia Mulaló, provincia Cotopaxi, 2024”

Fecha De Inicio:

Abril de 2024

Fecha De Finalización:

Agosto de 2024

Lugar de ejecución:

Sector Joseguango Alto, parroquia Mulaló, provincia Cotopaxi

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN), carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

Estudiantes: Srta. Ileis Alejandra Calvopiña Granja y Sr. Carlos Nicolas Cuñez Prado

LECTOR 1: Lcdo. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.

LECTOR 2: Ing. Jaime Rene Lema Pillalaza, Mg.

LECTOR 3: Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.

Área de Conocimiento:

Ingeniería, industria y construcción, tecnología de protección del medio ambiente y Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

Adaptación del Recurso Hídrico, Economía Circular, Protección Ambiental y Sostenibilidad.

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Conservación del Recurso Hídrico

Línea de Vinculación de la Facultad:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo Humano y Social.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo del proyecto se enmarca en la elaboración de un innovador sistema de filtración que no perjudica al medio ambiente (Vilatuña, 2023). Se emplean plumas de gallina, un subproducto proporcionado como residuo de la industria avícola, por su propiedad de adsorción, gracias a la queratina que albergan (Gina, Curvelo, Huertas-Días, & Ortega, 2017). Con este proyecto se pretende solventar el problema de la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos de las aguas residuales generadas por industrias, que en la actualidad representa un notable desafío medioambiental y de salud pública.

El planteamiento experimental del proyecto incluye la construcción de filtros de diferentes espesores y pruebas de filtración con aguas residuales contaminadas. Los resultados preliminares han mostrado una alta eficiencia en la remoción de estos contaminantes, con una reducción significativa en los niveles de aluminio y plomo, así como en la DQO. Este proyecto no sólo ofrece una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales, sino que también promueve la reutilización de los residuos avícolas, contribuyendo a una economía circular.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En las últimas décadas, la presencia de metales pesados en las aguas residuales provenientes de industrias es un tema preocupante. En un estudio realizado en Ecuador, se evaluó la presencia de plomo, mercurio y arsénico en leche cruda de Machachi, Provincia de Pichincha (De la Cueva, Naranjo, Puga, & Aragón, 2021). Este estudio demuestra que las plumas de gallina retienen metales pesados, incluyendo aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y plomo.

La existencia de metales pesados presenta un riesgo tóxico para la salud de las personas y del medio ambiente; generando todo tipo de infección en la piel y una afección en la biodiversidad cercana a la descarga final del agua residual (Leiva & López, 2022). Para abordar este problema, se propone el uso de plumas de gallina como medio filtrante, siendo el empleo de residuos de plumas como adsorbente una forma respetuosa con el medio ambiente a la hora de limpiar la contaminación ambiental (Arroyo & Castro, 2023). Esta estrategia tiene varias ventajas. Dado que las plumas de gallina son un subproducto de la industria avícola, su uso como filtro contribuye a la reutilización y reducción de residuos (Vilatuña, 2023). Estudios anteriores han demostrado que las plumas de gallina tienen la capacidad de retener metales pesados como aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso y plomo (Polo, Figueroa, Leyva, & Tuya, 2014). La razón radica en que los residuos insolubles de plumas de gallina contienen creatinina no tóxica, material con una gran capacidad para adsorber contaminantes inorgánicos

(Arafa & Walaa, 2014); Además, su estructura porosa facilita la adsorción de estos contaminantes (Vilatuña, 2023).

La introducción de este filtro en la industria fomentará una economía circular, reducirá el impacto medioambiental y los costes operativos en comparación con otros métodos tradicionales. Al desarrollar esta tecnología se fomenta la participación comunitaria y se sensibiliza sobre la importancia de la gestión sostenible del agua con el objetivo de ser un modelo para las comunidades y sectores industriales.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El uso de plumas de gallina como medio filtrante utiliza un subproducto de la industria avícola, reduciendo los residuos y fomentando la reutilización. En comparación con otros medios filtrantes, las plumas de gallina son económicas y fáciles de conseguir. De esta manera se benefician tanto las industrias como el medio ambiente.

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

Beneficiarios Directos	Beneficiarios Indirectos
La parroquia Joseguango Bajo - 752 habitantes	Cantón Latacunga - 170 489 habitantes

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La concentración de metales pesados en las superficies acuáticas representa un grave riesgo para el medio ambiente, principalmente en las zonas industriales y urbanas. La presencia de metales como el aluminio y el plomo es potencialmente tóxica y puede generar graves problemas para la población y el medio ambiente (García, 2020). En Ecuador, estudios recientes han identificado altas concentraciones de plomo en aguas residuales, lo que ha generado preocupación sobre la salud pública (De la Cueva et al., 2021).

Las industrias son generadoras de grandes volúmenes de aguas residuales con elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión, grasas y aceites, además de compuestos orgánicos (Viera, 2015). Si bien la mayor parte de los agentes contaminantes de estas aguas son orgánicos, también pueden contener metales pesados debido al uso de equipos y productos químicos en los procesos de elaboración (Fabregas, 2023).

La permanencia prolongada de estos compuestos puede causar patologías neurológicas, reumáticas y afecciones cardiovasculares en los seres humanos, así como afectar de forma negativa a la biodiversidad acuática (Grosso, 2023). Los métodos de tratamiento de aguas convencionales, como la precipitación química y la filtración, pueden ser muy costosos y generar residuos derivados que requerirían una gestión complementaria (García, 2020). Además, en muchas empresas sin una regularización apropiada, las aguas residuales no se someten a tratamiento antes de ser vertidas al desagüe, lo que incrementa el daño (IAQUA, 2023).

Precisamente las plumas de pollo, un rico subproducto del sector avícola, constituyen en este campo una alternativa innovadora y respetuosa con el medio ambiente por su potencial de adsorción de metales pesados (Martinez, 2014). El principal componente de las plumas de pollo es la queratina, una proteína fibrosa con una notable afinidad por los iones metálicos (Polo et al., 2024). Sin embargo, se necesitan estudios para optimizar su uso y evaluar su eficiencia en la eliminación de aluminio y plomo, los metales pesados más abundantes y peligrosos en las aguas residuales (Calero, 2023).

6. OBJETIVOS

6.1. General.

Generar un sistema de remoción de metales Pesados de aguas residuales a partir de un filtro elaborado con plumas de gallinas.

6.2. Específicos.

- Caracterizar las concentraciones de plomo y aluminio de las aguas residuales y los materiales de filtración para establecer las condiciones idóneas de diseño.
- Diseñar un sistema de remoción de contaminantes utilizando los datos de caracterización para la evaluación del desempeño de sistema.
- Determinar la eficiencia económica y ambiental de los filtros.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIONES A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades relacionadas a los objetivos específicos planteados

OBJETIVO ESPECÍFICO	METODOLOGÍA	ACTIVIDADES	RESULTADO ESPERADO
Caracterizar las concentraciones de plomo y aluminio de las aguas residuales y los materiales de filtración para establecer las condiciones idóneas de diseño.	las Toma de Muestras. Caracterización de agua. Tratamiento de plumas y grava.	Muestreo de Caracterización con multiparámetros. Caracterización de metales pesados Interpretación de resultados Tratamiento de plumas de gallina.	Tabla 3 de resultados. Los valores de los parámetros presenten un cambio al pasar por los tratamientos, mostrando así su eficacia.
Diseñar un sistema de remoción de contaminantes utilizando los datos de caracterización para la evaluación del desempeño de sistema.	Diseño de Filtro Percolador. Evaluación de eficiencia del filtro de plumas y grava.	Diseño del lecho filtrante. Procedimiento de filtrado. Medición de aluminio, medición de plomo y medición de DQO.	Sistema de función, Anexos Tablas de valores, Curvas de nivel
Determinar si los filtros son eficientes tanto económicamente como ambientalmente para futuras implementaciones en los campos operativos.	Análisis económico con TIR y VAN. Análisis ambiental con Software ANOVA.	Eficiencia del Filtro RESULTADOS VS NORMA ACUERDO 097 A MAATE Análisis de Varianza (ANOVA) VAR TIR	Tablas de análisis de varianza, figuras de diagrama de barra.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO - TÉCNICA

8.1. Agua

El agua, compuesta por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, es un recurso finito y esencial para la vida en la Tierra. Cubre alrededor del 70% de la superficie terrestre en forma de océanos, lagos, ríos y manantiales (Fernandez Cirelli, 2012). Es un elemento esencial para el mantenimiento de la vida en el planeta, la continuación de los ciclos vitales, el uso cotidiano de la humanidad y la regulación del clima global (Naciones Unidas, 2024). Los océanos y las masas de agua actúan como termorreguladores que absorben y liberan gradualmente el calor.

El 97,5% del agua del planeta se encuentra en los océanos, el 2,5% restante es agua dulce, un recurso esencial para la humanidad (Fernández, 2012). De este último porcentaje, aproximadamente dos tercios están congelados en glaciares o permanecen como nieve en las regiones montañosas, antárticas y árticas (Blanco, 2017). El agua dulce se distribuye de forma desigual, concentrándose principalmente en seis países: Brasil, Rusia, Canadá, Estados Unidos, China e India; más del 40% de los ríos del mundo fluyen a través de estos países (Toledo, 2002). El río Amazonas, el mayor de ellos, representa el 16% de la descarga total de los ríos del mundo. Además, cerca del 27% del agua dulce de la Tierra procede de las cinco grandes cuencas fluviales: el Amazonas, el Ganges-Bramaputra, el Congo, el Yangtsé y el Orinoco (National Geographic, 2023).

8.1. Metales pesados

Los metales pesados son identificados por ser elementos químicos con alta toxicidad. Según la función biológica, estos se pueden dividir en dos categorías oligoelementos, los cuales son vitales para varios procesos biológicos, y metales pesados sin una función biológica conocida (Vallarino, 2011).

Estos elementos son tóxicos ambientales muy peligrosos, entre algunas de sus características están persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, lo cual hace que estos permanezcan en los ecosistemas por prolongados periodos de tiempo, ya que su eliminación natural puede llegar a demorarse cientos de años (Heredia, 2017).

8.1.1. Propiedades de los metales pesados.

La categoría de metales pesados incluye 65 elementos de la tabla periódica con números atómicos mayores a 20 y densidades relativas mayores a 5 g/cm³ en forma elemental (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). Estos elementos poseen diversas características fisicoquímicas y

biológicas, y pueden encontrarse como iones libres; además, participan en reacciones redox que pueden ser potencialmente tóxicas para los seres bióticos y abióticos del medio donde se encuentren (Beltrán & Gómez, 2016). Los metales pesados se dividen en tres categorías según sus funciones y efectos biológicos como son los metales esenciales, que tienen funciones biológicas conocidas y son necesarios en cantidades traza como nutrientes para los organismos los cuales son Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo y W; los metales tóxicos, que pueden ser perjudiciales incluso en bajas concentraciones como Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Ti, Pb, Al y los metaloides que son Ge, As, Sb y Se; y metales no esenciales, que no son tóxicos y cuyos efectos biológicos son desconocidos como Rb, Cs y Sr (Benitez, Pabón, Sarria, & Gallo, 2020).

8.1.2. Fuentes de metales pesados.

Los metales pesados son originados por diversas fuentes, se encuentran naturalmente en los suelos, acumulados durante la formación de las capas terrestres desde hace miles de años y son utilizados en numerosos procesos industriales, estos también están integrados en diversas actividades humanas actualmente (Heredia, 2017). Entre los principales factores que impactan negativamente los ecosistemas debido a la contaminación por metales pesados, se encuentran las acciones antropogénicas en las cuales destacan principalmente las operaciones mineras y de fundición, así como otras actividades industriales (Pabón, Benitez, Sarria, & Gallo, 2020). Existen muchos metales vitales para la industria como el cromo, ampliamente utilizado para el revestimiento plástico, galvanoplastia, curtido y acabado de cueros, pigmentos y conservantes de madera (Beltrán & Gómez, 2016); el cadmio, empleado en la fabricación de baterías recargables de uso doméstico de níquel-cadmio, agentes anticorrosivos y pigmentos. Otro de los elementos más nocivos es el mercurio, que tiene seis fuentes principales de contaminación: deposición atmosférica, erosión, emisiones antropogénicas, materiales agrícolas, minería y emisiones industriales y de combustión (Cardona, 2021). En aguas subterráneas naturales y superficiales, el contenido de mercurio suele ser inferior a 0.5 µg/L, pero en aguas residuales cercanas a depósitos minerales y otros sitios contaminados, la concentración es mucho mayor y sobrepasa los límites permisibles (Ministerio de Medio Ambiente, 2000). El plomo es un contaminante que se libera al ambiente debido a la minería y la quema de combustibles fósiles, y se utiliza en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos y dispositivos de protección contra rayos X (Polo & Sulca, 2019). Estos metales representan una severa amenaza para todos los seres vivos y el medio natural donde se

desarrollan debido a su persistencia y capacidad de bioacumulación, naturaleza no biodegradable y toxicidad que se presentan en bajas concentraciones (Pabón, Benitez, Sarria, & Gallo, 2020). La presencia de metales en los ecosistemas es preocupante, ya que todos los organismos dependen de un equilibrio adecuado en sus hábitats. Dependiendo de la actividad, estos metales llegan a los ecosistemas. Estas actividades contribuyen significativamente a la contaminación del agua, con tasas que pueden alcanzar aproximadamente 200 millones de metros cúbicos al día (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & Gonzáles, 2016).

8.1.3. Contaminación del agua por metales pesados

Los metales pesados, con alta densidad y peso atómico superior a 20, representan un grave problema ambiental a nivel mundial. La toxicidad en concentraciones bajas, representan un grave problema ambiental a nivel mundial, donde la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados preocupa especialmente a quienes dependen de los ríos para abastecerse de agua (Pabón, Benitez, Sarria, & Gallo, 2020). El aumento de la concentración de metales pesados en el agua proviene principalmente de actividades humanas con fines domésticos e industriales, así como para abastecer la agricultura y la generación de energías (Campaña & Nieto, 2011), estos impactos afectan no sólo a la salud humana, sino también a las economías locales y nacionales debido a la reducción de los costes sanitarios y de la productividad.

8.1.4. Plomo

El plomo, con número atómico 82 y peso atómico 207, presenta un color azulado y forma diversas sales, óxidos y compuestos organometálicos. En la industria, los compuestos más relevantes del plomo son los óxidos y el tetraetilo de plomo, y se utilizan para formar aleaciones con estaño, cobre, arsénico, bismuto, cadmio y sodio (Poma, 2008). Este metal se encuentra en minerales de uranio y torio debido a la división radiactiva. Los minerales comerciales suelen contener alrededor de un 3% de plomo, aunque en algunos casos pueden llegar hasta un 10%. Antes de la fundición, los minerales pueden acumular hasta un 40% o más de plomo (ATSDR, 2007). El plomo también se puede emplear como aditivo antidetonante en la gasolina, en baterías, joyería, latas de conserva, tintes para el cabello, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, municiones, soldaduras, plomadas, armamento, radiación atómica e insecticidas (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

8.1.5. Aluminio

El aluminio, con el símbolo Al y número atómico 13, es un metal ampliamente presente en la corteza terrestre, generalmente combinado con otros elementos (Rodríguez H. , 2024). Además, es fácilmente accesible para la ingestión humana a través del agua potable (Carboctenia, 2023). Según Rodríguez (2024), aunque no es tóxico en pequeñas cantidades, la exposición prolongada al aluminio está relacionada con enfermedades como alzhéimer, temblores severos y daños en el sistema nervioso central.

8.2. Parámetros importantes de calidad de Agua en descargas urbanas.

8.2.1. Potencial Hidrógeno (pH).

El pH es una unidad de medida para determinar la concentración de iones de hidrógeno que permite estimar la acidez o alcalinidad de una masa de agua, a partir en una escala de 1 a 14, siendo los valores más bajos ácidos y los más altos alcalinos o básicos (Lorena García, Arguello, Parra, & Pincay Pilay, 2019). Se estima que, para el consumo humano y para la preservación de la flora y fauna, el pH no debe ser superior a 9 ni inferior a 6.

8.2.2. Temperatura

La temperatura es un parámetro fundamental para conocer la calidad del agua, representada con la unidad de grado Celsius °C o grados Kelvin K. La temperatura se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa (Etecé, 2024). Los cambios rápidos de temperatura afectan al pH, a la cantidad de oxígeno que puede disolverse, a la tasa metabólica de los organismos y afectan a las propiedades químicas del agua (HANNA, 2024).

8.2.3. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales son una medida de materia inferior a 2 micras siendo un buen indicador de la calidad de agua, resultado de la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos presentes en el agua (Jácome, 2014). La USEPA clasifica los sólidos disueltos totales como un contaminante secundario y recomienda un máximo de 500 mg/L para el agua potable (Sigler & Bauder, 2005). Esta norma secundaria se establece a causa de los elevados SDT causantes de la turbidez y el mal sabor del agua.

8.2.4. Unidades Prácticas de Salinidad

La salinidad es la cantidad de sal disuelta en el agua. En las masas de agua naturales, la salinidad suele medirse en cloruro de sodio (Ambulkar, 2023). Según la NASA (2024) la salinidad de los océanos se define en gramos de sal por 1000 gramos de agua, definiéndose un gramo de sal por 1000 gramos de agua como unidad práctica de sal (PSU). El número de PSU se define como el número de gramos de sal por 1000 gramos de agua (Marínez & Martínez, 2006).

8.2.5. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es una propiedad física que mide la capacidad de un material o sustancia para permitir el paso de la corriente eléctrica a través de él. Se expresa mediante el símbolo σ y depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son excelentes conductores porque tienen abundancia de electrones débilmente ligados, lo que les permite moverse libremente (TME, 2022).

8.3. Demanda Química de Oxígeno

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro esencial en el tratamiento de aguas residuales y saneamiento (Leiva S. , 2024). Representa la cantidad de oxígeno necesaria para descontaminar el agua proveniente de áreas urbanas, viviendas individuales, aguas pluviales, alcantarillado o fosas sépticas (HANNA instruments, 2024). En términos sencillos, el DQO mide la cantidad total de oxígeno requerida para oxidar todas las sustancias orgánicas presentes en una muestra de agua mediante un proceso químico (Air Liquide, 2023). Este dato es fundamental para evaluar la calidad del tratamiento y la depuración del agua. Además, el DQO se utiliza para establecer tasas y autorizar vertidos de aguas tratadas al medio ambiente natural (Déniz, 2010).

8.4. Diseño experimental

8.4.1.1. Diseño Completamente Aleatorizado (DCA)

Este tipo de diseño se denomina completamente aleatorizado (DCA), es el más sencillo de los diseños, ya que todos los experimentos se ejecutan al azar, los posibles efectos ambientales

y temporales se distribuyen por igual entre los tratamientos y sólo se consideran dos fuentes de variación, los tratamientos y los errores aleatorios. También se denomina ANOVA de un factor, un diseño en el que se selecciona una muestra aleatoria de tamaño n de k poblaciones. k poblaciones diferentes se clasifican como tratamientos o grupos diferentes en función de un criterio, y este criterio es el factor de análisis.

El modelo que describe este experimento y cada observación es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde, μ es el parámetro de escala común en los tratamientos, llamado media global, τ_i es un parámetro que mide el efecto del tratamiento i y ε_{ij} es el error atribuible a la medición Y_{ij} .

8.5. Filtros percoladores.

Los filtros percoladores son sistemas de tratamiento de aguas residuales ampliamente reconocidos en la ciencia ambiental, estos sistemas utilizan la percolación, que es el paso lento y continuo del agua a través de un medio poroso, como la grava o la roca (IAQUA, 2023).

El proceso es simple pero extremadamente efectivo: las aguas residuales se rocían sobre el filtro percolador y, a medida que se filtran a través del medio, los microorganismos presentes en la superficie descomponen y oxidan los contaminantes orgánicos, limpiando el agua de manera efectiva estos no requieren energía eléctrica para funcionar y contribuyen a minimizar el impacto negativo de las aguas residuales en nuestros ecosistemas acuáticos y terrestres ; además son sistemas flexibles y adaptables, diseñados para satisfacer diversas capacidades de tratamientos (Blanco, 2017).

8.6. Tratamientos Secundarios con biopelícula.

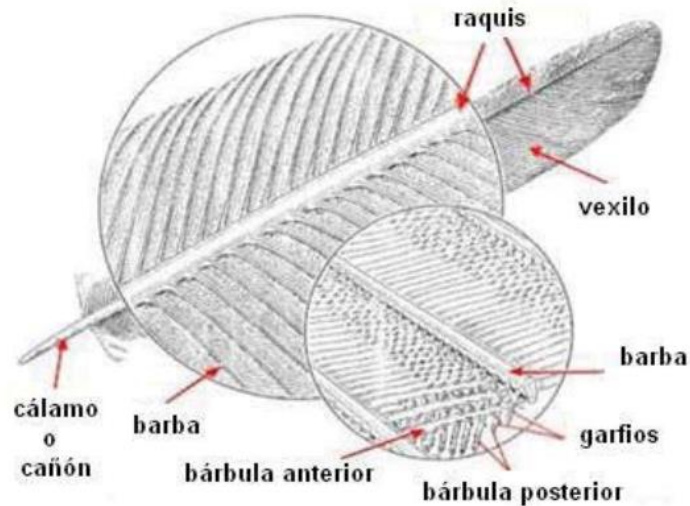
El tratamiento secundario por biopelícula es un proceso en el que las aguas residuales se ponen en contacto con una biopelícula para eliminar los contaminantes antes de que el agua tratada se vierta al medio ambiente, como ríos, lagos u océanos (Gil, et al., 2023). Esta tecnología se utiliza para mejorar la calidad del agua y reducir la carga de contaminantes antes de su vertido al medio natural (Ortega & Hernández, 2018).

8.7. Plumas de gallina (*Gallus domesticus*) como residuos aprovechables para el tratamiento de agua.

Las plumas están compuestas por un eje central llamado raquis, que proporciona rigidez a la estructura (Florida, 2019). La parte del raquis que está insertada en la piel del ave se llama

cálamo y forma un hueco debido a la falta de vasos sanguíneos una vez que la pluma ha dejado de crecer; a este hueco se le llama ombligo inferior (Gil F. , 2017). El raquis tiene dos márgenes donde crece el vexilo, que es la parte visible de la pluma. El vexilo está formado por barbillas que parten en dos lados opuestos del raquis, creando una lámina (Alonso, 1995) (Figura 1).

Figura 1. Estructura de la pluma



Nota: Tomado por (Rodríguez A. , 2013)

Las plumas de gallina contienen una mayor proporción de proteína queratina. En estas plumas, las cadenas polipeptídicas están unidas por enlaces de hidrógeno y disulfuro (Jain, Jain, & Agrawal, 2012). Se consideran una fibra proteínica, ya que aproximadamente el 83% de su composición está formado por diferentes proteínas. La queratina es una de las principales proteínas presentes en las plumas de las aves, representando entre el 85% y el 90% del total de proteínas en estas estructuras (Vilatuña, 2023).

8.7.1. Proteínas como componente esencial de la queratina.

La estructura primaria de una proteína es la secuencia lineal de aminoácidos que la componen; en los genes se codifica esta secuencia única, para determinar la función precisa de la proteína (Calderón, 2006). Por otro lado, la estructura secundaria describe cómo se pliega la cadena de aminoácidos. Los patrones más frecuentes son las hélices α (hélices alfa) y las láminas β (láminas beta), que afectan a la función y a la forma tridimensional de la proteína.

Las proteínas, cuya característica principal es su alto contenido de nitrógeno (alrededor del 16%), se componen de cadenas de aminoácidos. Estos aminoácidos se enlazan mediante enlaces peptídicos, que se forman entre los grupos carboxilo y α -amino (imino), con liberación de agua durante el proceso. Además de su función estructural, las proteínas desempeñan roles vitales en procesos celulares y metabólicos (Marínez & Martínez, 2006).

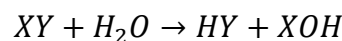
8.7.1.1. Queratina

Pertenecientes a la familia de los filamentos intermedios, las queratinas son proteínas estructurales características y distintivas de toda célula epitelial. Aparte de sus funciones estructurales, las queratinas tienen funciones especializadas, como promover la proliferación, regular la síntesis de proteínas cerca de las heridas y regular la distribución de melanina y orgánulos (Da Freitas, Saenz, Ruiz, & Gonzales, 2013).

Según Quintero (2017), la queratina se divide en dos tipos: α y β . La α -queratina se caracteriza por tener puentes de disulfuro en su estructura, lo que le confiere una gran resistencia. Se encuentra presente en materiales como la lana de oveja, el pelo, las uñas y la piel; las β -queratinas, que se encuentran en las escamas de reptiles y las plumas de aves, estas tienen una estructura molecular compuesta por láminas β -plegadas, formadas por cadenas polipeptídicas antiparalelas unidas mediante enlaces de hidrógeno (Nelson, 2008). Aunque la queratina nativa es insoluble en agua y solventes orgánicos, mediante tratamientos químicos o enzimáticos es posible digerirla a pesar de su alta estabilidad química.

8.8. Hidrolisis Alcalina con Hidróxido de Sodio para el tratamiento de plumas.

La hidrólisis es una reacción que se produce cuando el agua se disocia en iones hidronio e hidroxilo, que reaccionan con iones de otros compuestos inorgánicos y orgánicos mediante esta separación, según se muestra a continuación:



La descomposición de esta proteína por hidrólisis podría liberar aminoácidos solubles en agua, lo que podría dar lugar a un líquido cremoso para aplicaciones industriales. La capacidad de hidrolizar este material podría contribuir a la creación de productos útiles en situaciones en las que se necesite una amplia variedad y gran cantidad de aminoácidos, y podría proporcionar un uso alternativo para la estructura dura y fibrosa de los tejidos (Quintero, Huertas, & Ortega, 2017).

Para la degradación de esta proteína en el presente trabajo se investigó el método del sulfuro de sodio (Na₂S) que, aplicado en diferentes concentraciones, favorece la lisis de la queratina presente en las plumas. Este método promueve la escisión de los enlaces disulfuro y, junto con el tratamiento con hidróxido de sodio NaOH, provoca la hidrólisis de la proteína. Al romper los enlaces que caracterizan la estructura de la queratina presente en las plumas de gallina, esta se puede convertir en una proteína soluble (Quintero, Huertas, & Ortega, 2017).

Orjuela (2021) menciona en un artículo de la Universidad Nacional de La Plata que para lograr la solubilización es importante la modificación de la estructura rompiendo las uniones intramoleculares como los puentes disulfuro y enlaces de menor energía como los puentes de hidrógeno, para así no afectar los enlaces peptídicos.

8.9. Grava

La grava es un material compuesto por pequeñas piedras o fragmentos de roca que se encuentra en yacimientos RAE (2024), compuesta principalmente por rocas ricas en cuarzo y cuarcita. Su uso es diverso, y uno de los más relevantes es en sistemas de filtración. En estos sistemas, la grava se coloca en la parte inferior como soporte para los medios filtrantes (como arena y carbón activado) que están por encima de ella (Carboctenia, 2023). Además, evita la compactación de los medios filtrantes, asegurando un flujo constante y uniforme de agua a través del sistema de filtración (Posso, 2012).

8.9.1. Andesita

La andesita es una roca ígnea, volcánica, de composición intermedia, originada a partir del enfriamiento rápido del magma al llegar a superficie. A nivel mundial es reconocida por su uso como material de construcción (Cuello, et al., 2020).

9. HIPÓTESIS

H₀: Los filtros elaborados con plumas y grava no tiene efectividad en aguas residuales para remover metales pesados (Pb y Al).

H_a: Los filtros con pluma y grava tiene efectividad en las aguas residuales para remover metales pesados (Pb y Al).

10. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Las plumas de gallina en la implementación de un filtro de agua absorben de manera adecuada los metales pesados?

11. MARCO LEGAL

Para la investigación y desarrollo de este tema, se han considerado la Constitución de la República del Ecuador, así como sus disposiciones, acuerdos, leyes, reglamentos, ordenanzas y decretos. Esto se enmarca en un contexto ambiental y social, con un enfoque específico en la conservación, gestión y uso sostenible de la biodiversidad.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Para esta investigación, se establecen que el agua es un recurso fundamental e inalienable y garantizan el acceso al agua como un derecho de todos (art 12, Constitución de la República). También declaran la preservación del medio ambiente, la protección de los ecosistemas, la biodiversidad y el patrimonio genético del país como un bien público y promueven el "sumak kawsay" (buen vivir) (art 14, Constitución de la República).

En relación con tecnologías limpias y fuentes de energía no contaminantes, el Estado fomentará su adopción (art 318, Constitución de la República). Los servicios públicos de saneamiento, abastecimiento de agua potable y riego serán prestados exclusivamente por el Estado o por entidades jurídicas comunitarias (art 411, Constitución de la República). Además, el Estado supervisará la conservación, restauración y gestión integral de los recursos hídricos, las cuencas hidrográficas y los caudales ecológicos relacionados con el ciclo del agua. Se promoverá la eficiencia energética y el uso de prácticas y tecnologías sostenibles, sin comprometer la soberanía alimentaria ni el equilibrio ecológico (art 413, Constitución de la República).

LEY ORGANICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

CAPITULO III DERECHOS DE LA NATURALEZA

Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida (art. 64, LORHUAA).

CAPITULO VI

GARANTIAS PREVENTIVAS

Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público (art. 80, LORHUAA).

TITULO V
INFRACCIONES, SANCIONES Y RESPONSABILIDADES

CAPITULO I
INFRACCIONES

Según el Art. 151, apartado “c” menciona entre infracciones graves:

“9. Verter aguas contaminadas sin tratamiento o sustancias contaminantes en el dominio hídrico público”

“10. Acumular residuos sólidos, escombros, metales pesados o sustancias que puedan contaminar el dominio hídrico público, del suelo o del ambiente, sin observar prescripciones técnicas”

ACUERDO MINISTERIAL 097-A

5.2.4.6 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la TABLA 9 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios

12. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

12.1. Tipos de Métodos

12.1.1. Cualitativo

Este enfoque se centró en comprender las experiencias y procesos asociados al fenómeno específico bajo estudio. En este caso, el objetivo consiste en aprovechar las características, especialmente la concentración de plomo y aluminio del agua residual antes y después de pasar

por los filtros de plumas de gallina y grava. Para determinar la eficiencia del filtro de plumas se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, PSU, SDT, DQO). Para llevar a cabo esta investigación, se utilizaron varias técnicas: primero, una revisión bibliográfica para comprender la importancia de los parámetros y los materiales utilizados en la construcción del filtro; además, se tomaron muestras una sola vez en el mes de Junio. Luego, se realizó la caracterización del agua, evaluando la concentración de los metales pesados y los parámetros fisicoquímicos. Esta caracterización permitió comprender el estado del agua y comparar los límites permisibles según el acuerdo ministerial 097-A.

Adicionalmente, antes de diseñar el filtro, se sometieron las plumas y la grava a un tratamiento para asegurar que ambos materiales cumplieran con las condiciones necesarias para la absorción de metales pesados (Pb y Al).

Para el segundo objetivo, se consideraron las plumas y la grava después de su tratamiento. Utilizando los datos de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y PSU, se elaboraron los filtros de pluma aplicando las fórmulas del diseño del filtro percolador. Una vez elaborado el filtro, se determinaron el caudal y la altura del lecho. Finalmente, se evaluó la calidad del agua, comparándola antes y después de pasar por el filtro. Este proceso permitió verificar la eficacia del diseño de filtros de pluma en la remoción de contaminantes.

12.1.2. Cuantitativo

En este enfoque de investigación científica se basa en la medición objetiva de fenómenos mediante datos numéricos. Como tercer objetivo, se aplicó un diseño experimental en la fase de laboratorio para verificar la eficacia de eliminación del plomo y el aluminio. Se realizaron tres tratamientos con diferentes cantidades de plumas en cada filtro. Además, también se evaluó la eficacia de la grava y las plumas en la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO). Para analizar las eficiencias ambiental y económica, se realizó una técnica inferencial que incluía ANOVA para la parte ambiental e TIR (tasa interna de retorno) y NPV (valor actual neto) para la parte económica.

12.2. Fase de campo

12.2.1. Investigación Bibliográfica.

Se analizaron documentos, informes y registros relacionados con los filtros de plumas de pollo y se compararon con los resultados de los filtros. En particular, se examinaron las pruebas

de calidad del agua realizadas en el laboratorio. Esto incluyó una evaluación de las concentraciones de metales pesados (aluminio y plomo) antes y después de pasar por el filtro. Además, se analizaron los datos estadísticos obtenidos en cada prueba. De esta forma se identificaron patrones y tendencias en el rendimiento del filtro y posibles áreas de mejora.

12.2.2. Toma de muestras

Se siguieron las generalidades y disposiciones establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013, se seleccionó como punto de muestreo el desagüe donde convergen todas las descargas de agua. Para caracterizar el agua, se recolectó una muestra de 6 litros una vez el miércoles 7 de junio de 2024, de 3:00 p.m. a 4:00 p.m., ya que coincidían las descargas de agua residual. Se almacenó a baja temperatura para no alterar las concentraciones de los componentes en las muestras.

12.3. Fase de laboratorio

12.3.1. Observación directa

Mediante la observación directa, se estudió el proceso de filtración y se recopilaron datos relevantes. Se registrarán los parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, la temperatura, los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica. Además, se evaluaron la eficiencia de filtración del filtro y se documentan los resultados.

12.3.1.1. Caracterización del agua

Durante el levantamiento en campo, se llevaron a cabo una medición de plomo y aluminio, antes de pasar por cualquier tratamiento, utilizando el método de APHA 3113 B para plomo y 3500 Al b para aluminio. Después, se analizaron los parámetros fisicoquímicos utilizando un sensor multiparámetro HI 9829. Estos medidores multiparamétricos portátiles caracterizaron el agua a través de múltiples propiedades, como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la turbidez. Sin embargo, para la determinación de DQO se realizó el método de 5220 D para verificar la eficiencia de cada filtro.

Los resultados se organizaron en tablas de valores para realizar una comparativa entre las cuatro muestras tomadas en junio.

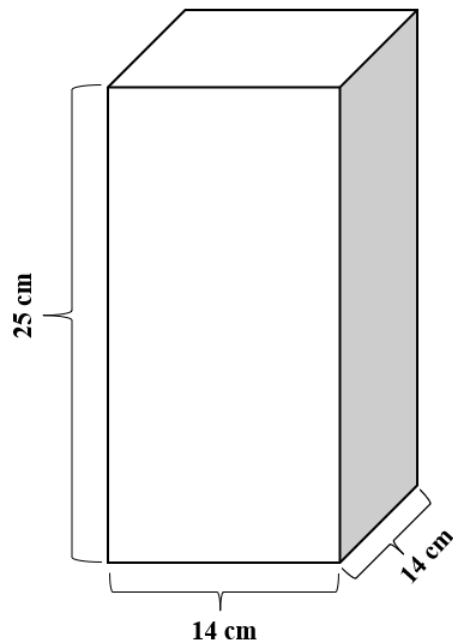
12.3.2. Tratamiento de plumas de gallina

Para el tratamiento de plumas se utilizó la metodología de Rahmani (2020), que consiste en: El tratamiento inicial es crucial para eliminar impurezas no deseadas de las plumas de gallina y, al mismo tiempo, conferirles propiedades adsorbentes. Se eliminan sustancias como sangre, restos de piel y polvo de las plumas. Para lograrlo, se utilizan dos auxiliares: detergente para eliminar la suciedad y hidróxido de sodio para desengrasar las plumas.

Para el proceso se utilizó agua a 40°C en un vaso de precipitados sobre una placa calefactora. Después se añadieron las plumas, el detergente y el hidróxido de sodio. La temperatura se aumentó gradualmente hasta 50°C y se mantuvo durante 20 minutos, seguidos de los cuales se vació el baño. Tras el proceso de descrudado, se procedió al aclarado para eliminar los residuos auxiliares. Sólo se utilizó agua destilada para el aclarado de las plumas, que se realizó a temperatura ambiente durante 15 minutos. Por último, las plumas tratadas se secaron en un horno presurizado a 35°C.

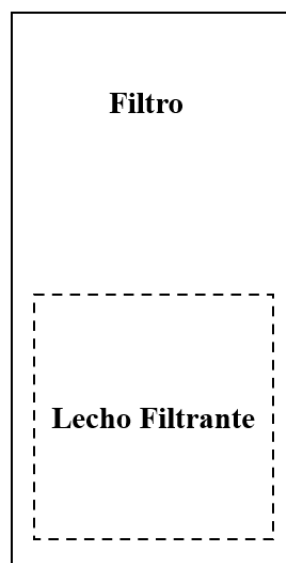
12.3.3. Diseño de filtro percolador

Para diseñar el filtro, se consideró el caudal de un recipiente con un volumen de 3153,775 m³. Se utilizó vidrio de 4mm de espesor como material para el filtro, con dimensiones de 14 cm de largo, 14 cm de ancho y 20 cm de alto, tal como se muestra en la figura 2. Además, en la base del filtro se perforó un agujero de 4 cm de diámetro para permitir el paso del agua tratada. Estas medidas son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo en la filtración de metales pesados como el plomo y el aluminio.

Figura 2. Dimensión del filtro

Para proporcionar soporte al filtro, se empleó un soporte de plástico con una longitud de 20 cm. En el centro de este soporte, se realizó un agujero de 4 cm de diámetro por donde fluirá el agua tratada.

Para la determinación del lecho filtrante se tomó en consideración una trayectoria vertical, con poco movimiento lateral, se puede considerar al filtro percolador como un ejemplo de proceso con flujo en pistón. Se utilizó el modelo Bruce y Merkens para el diseño del filtro percolador sin recirculación (Hernández, 2013), tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Representación del lecho filtrante

12.3.3.1. *Determinación del caudal (Q)*

Para el diseño de filtro de plumas, sin recirculación, con tasa de remoción de plomo y aluminio se utilizó las ecuaciones de Romero (2008):

En el proceso de medición del caudal de agua, se puede observar el flujo en el sistema o medir el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se calcula el caudal aproximado dividiendo el volumen del recipiente entre el tiempo registrado.

12.3.3.2. *Diseño del lecho filtrante*

$$V_{lecho} = A * H$$

Donde:

- (A) es el área superficial del filtro (m²).
- (H) la altura del lecho filtrante (m).
- (Vlecho) volumen del lecho filtrante

La altura del lecho filtrante depende del tiempo de retención hidráulica (TRH) deseado; el TRH es el tiempo que permanece el agua en el filtro.

$$H = \frac{TRH}{Q}$$

Donde:

- (Q) caudal en m³/hora
- (TRH) Tiempo de Retención Hidráulica en horas

12.3.4. *Diseño Experimental*

Para la realización del estudio experimental de la investigación se realizó un diseño de completamente aleatorizado (DCA).

Variabes Independientes: Tipos de tratamientos.

Variable Dependiente: Concentración de metales pesados remanentes en el agua después del tratamiento.

Se realizó experimentos replicados para cada tratamiento. Luego se midió la concentración de metales pesados antes y después del tratamiento.

12.3.4.1. *Diseño Completamente Aleatorizado (DCA)*

Para el Diseño de Completamente Aleatorizado (DCA), se han establecido tres filtros distintos para cada análisis. El primer filtro, denominado Tratamiento 1 (T1), está compuesto exclusivamente de grava con una profundidad de 10 cm. En un filtro de agua, la grava actúa como un lecho de drenaje, permitiendo que el agua fluya sin obstáculos mientras atrapa partículas más grandes y sedimentos.

Los otros dos filtros utilizan plumas tratadas. En este caso, los dos filtros adicionales utilizan plumas tratadas y se compactan con una capa de grava. Además, las plumas se dividen en dos espesores diferentes: uno de 10 g y otro de 30 g. Cada uno de estos espesores corresponde a un tratamiento distinto, siguiendo el orden establecido. La tabla 1 muestra los detalles de estos tratamientos.

Para la distribución aleatoria de los filtros se realizó en un tiempo intercalado, donde el agua residual es pasada por diferentes tipos de filtros como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Distribución de filtros según el DCA

Filtros	Repeticiones			
	1	2	3	4
Grava (A)	A1	A2	A3	A4
Plumas 10g (B)	AB1	AB2	AB3	AB4
Plumas 30gr (C)	AC1	AC2	AC3	AC4

12.3.5. *Proceso colorimétrico de DQO*

Para la determinación del DQO se utilizó la metodología de Burgos (2018), la cual hace uso del método 5220 D del Standard Methods (SM).

Para evaluar el consumo de dicromato en una muestra, se observa el cambio en la absorbancia. Las muestras de agua se absorben a longitudes de onda específicas debido al color característico del cromo trivalente (Cr^{3+}) y el cromo hexavalente (Cr^{6+}). Para cuantificar la cantidad de cromo trivalente en una muestra después del proceso de digestión, se mide la absorbancia de la muestra en espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm.

Según la metodología de Burgos (2018):

Realizó el proceso de digestión en las muestras de agua y en un blanco de reactivo. El blanco de reactivo es simplemente una muestra de agua desionizada que se maneja de la misma manera que las muestras reales. Es importante que el blanco de reactivo se utilice de forma consistente

durante todo el lote de reactivo. La digestión es un paso crucial para descomponer los componentes de las muestras y prepararlas para su análisis posterior.

Una vez completada la digestión, se dejó enfriar tanto las muestras como el blanco de reactivo. Esto asegura que las temperaturas sean consistentes antes de realizar las mediciones.

Se colocó un vial en blanco (sin muestra) en el espectrofotómetro y ajustándolo a cero. Esto garantiza que cualquier absorbancia registrada posteriormente se deba exclusivamente a los componentes presentes en las muestras.

Finalmente, se colocaron las muestras en el espectrofotómetro y se registró las lecturas. La absorbancia medida proporcionó información sobre la concentración de los componentes específicos en las muestras.

12.3.6. Análisis de concentración de metales pesados

Se realizaron 2 análisis cuantitativos para determinar la concentración inicial de los metales pesados (aluminio, plomo) y DQO en las aguas residuales. Estos análisis se llevaron a cabo mediante técnicas como espectrofotometría o APHA 3113 B, específicas para cada metal y la técnica de dicromato para evaluar el DQO. Además, se midió las concentraciones antes y después de pasar por el filtro, utilizando técnicas analíticas apropiadas.

Para evaluar la concentración de cada metal pesado después de pasar por los filtros, se llevó a cabo un análisis individual para cada tratamiento y repetición. En total, se realizaron 12 mediciones para cada metal pesado.

12.3.6.1. Medición de aluminio

Para la detección de aluminio se utilizó del método de medición 3500 Al b, basado en (ASTM International, 2017):

Se comienza a llenar un vaso precipitado con 50 mL de muestra. A continuación, se añade un paquete del reactivo aluminio A (HI 93712^a-0) y se mezcla hasta que se disuelva completamente. Luego, se agrega otro paquete del reactivo aluminio B (HI 93712^a-0) y se mezcla de igual manera.

Se preparan dos cubetas, cada una con 10 mL de muestra, marcadas como #1 y #2. En la cubeta #1, se añade un paquete del reactivo aluminio C (HI 93712^a-0), se coloca la tapa y se agita suavemente hasta que el reactivo se disuelva por completo; esta cubeta se considera el blanco de referencia.

La primera cubeta (#1) se coloca en el espectrofotómetro para medir los resultados en mg/L de aluminio (Al^{3+}). Después de establecer el cero de medición, se retira la muestra en blanco y se inserta la cubeta #2 en el instrumento.

12.3.6.2. APHA 3113 B para la medición de Plomo

El Método APHA 3113 B es una técnica utilizada para la determinación de metales en el agua mediante espectrometría de absorción atómica electrotermal. Este método es parte de los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, desarrollados por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF).

12.3.6.2.1. Medición de Plomo

Según los Standard Methods, la muestra se prepara utilizando un procedimiento adecuado de digestión de metales. Luego, el digestato se analiza utilizando un espectrómetro de absorción atómica con horno de grafito (GFAA) para cuantificar los metales presentes en la muestra y el rango de concentración aplicable varía según el análisis.

Se deben seguir los requisitos de control de calidad especificados en la Sección 3020 de los Standard Methods, por último, se debe tener un tiempo máximo de retención de 6 meses.

12.3.7. Estadística Inferencial

Al formular hipótesis nulas y alternativas, se realizarán pruebas estadísticas para determinar si existe una diferencia significativa en la remoción de metales pesados y DQO entre el agua sin filtrar y el agua tratada con el filtro de plumas de gallina. Para esto, se aplicará el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si los resultados observados son estadísticamente significativos.

12.3.7.1. ANOVA para la Remoción de Metales Pesados

Para desarrollar una metodología detallada de ANOVA (Análisis de Varianza) basada en un libro sobre análisis y diseño de experimentos (Gutiérrez & de la Vara, 2008), podemos seguir estos pasos:

Definición del problema y objetivos, también se evaluará la eficacia de diferentes tratamientos para la remoción de metales pesados en aguas residuales. Luego, se determinará si existen diferencias significativas en la eficacia de los tratamientos.

12.3.7.1.1. *Análisis de Datos con ANOVA:*

Hipótesis Nula (H0): No hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Hipótesis Alternativa (H1): Hay al menos una diferencia significativa entre los tratamientos.

Nivel de Significancia: Generalmente, se utiliza un nivel de significancia de 0.05.

Comparar el valor F calculado con el valor crítico de F para determinar si se rechaza o no la hipótesis nula.

12.3.7.2. *Análisis económico*

12.3.7.2.1. *Valor Actual Neto (VAN)*

Para el cálculo económico del VAN se utilizó de la metodología realizada por Mete (2014).

Para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto mediante el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), se estimarán los flujos de efectivo netos que el proyecto generará a lo largo de su vida útil. Estos flujos pueden incluir ingresos, costos operativos, inversiones adicionales y desinversiones. Se seleccionará una tasa de descuento apropiada que refleje el costo de oportunidad de los fondos invertidos. Esta tasa podría basarse en la tasa de interés de mercado u otros factores relevantes.

Formula:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \textit{Inversión Inicial}$$

Donde:

- (CF_t) es el flujo de efectivo neto en el período (t).
- (r) es la tasa de descuento (tasa de interés).
- (n) es el número total de períodos.

Si el VAN resultante es mayor que cero, el proyecto es viable y generará beneficios netos.

Se resta la inversión inicial del VAN calculado:

$$VAN - \textit{Inversión Inicial}$$

Si el resultado es positivo, el proyecto es viable desde una perspectiva financiera.

Se realizan pruebas de sensibilidad variando la tasa de descuento y los flujos de efectivo para evaluar la robustez de los resultados. Y por último se presenta una conclusión sobre la viabilidad del proyecto en función del VAN calculado.

12.3.7.2.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se usó de la metodología de Mete (2014).

Para evaluar la rentabilidad de un proyecto mediante la TIR, se proyectarán los flujos de efectivo netos que se espera que genere el proyecto a lo largo de su vida útil. Estos flujos pueden incluir ingresos, costos operativos, inversiones adicionales y desinversiones. Además, se determinará una tasa de descuento apropiada que refleje el costo de oportunidad de los fondos invertidos. Esta tasa puede basarse en la tasa de interés de mercado u otros factores relevantes. Por lo cual se calculará el TIR usando la siguiente formula:

$$TIR = \frac{\text{Flujo de Caja Neto}}{\text{Inversión Inicial}} \times 100\%$$

Donde:

- El Flujo de Caja Neto representa la diferencia entre los ingresos y los costos en cada período.
- La Inversión Inicial es el monto invertido al inicio del proyecto.

Si la TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada, el proyecto es rentable.

Se comparará la TIR calculada con la tasa mínima de rentabilidad exigida por el inversor o la empresa. Si la TIR supera esta tasa, el proyecto se considera viable. Y Se realizarán pruebas de sensibilidad variando la tasa de descuento y los flujos de efectivo para evaluar la robustez de los resultados. Y por último se presentará una conclusión sobre la rentabilidad del proyecto en función de la TIR calculada.

12.3.7.2.3. Análisis de Resultados

Luego, se recopilaron los datos y se realiza el análisis de varianza. Si el valor p obtenido en el ANOVA es menor que un nivel de significancia predeterminado (por ejemplo, 0.05), entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos dos de las clases de los profesores tienen calificaciones promedio significativamente diferentes.

12.4. Instrumentos

Tabla 4. Lista de instrumentos usados en los objetivos

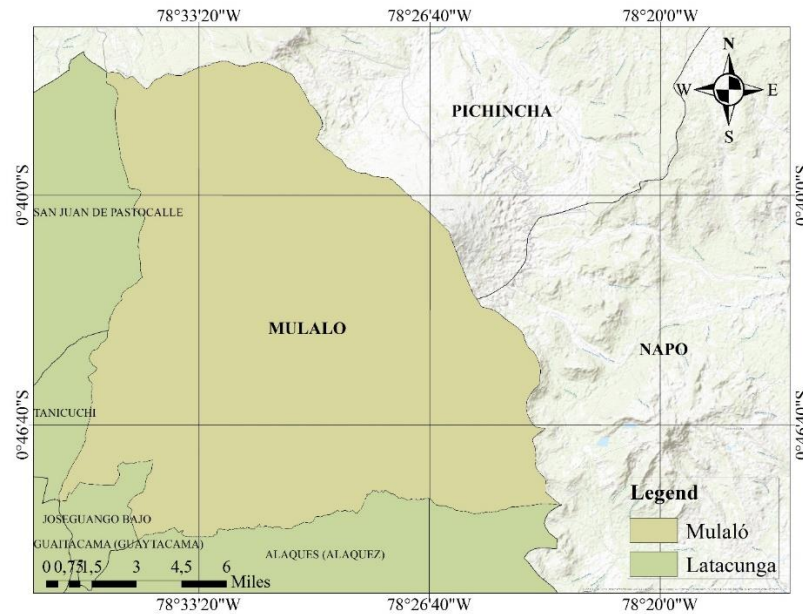
Objetivos	Instrumentos	Insumos	Equipos
-----------	--------------	---------	---------

Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, PSU, SDT) de las aguas residuales y los materiales de filtración para establecer las condiciones idóneas de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Vestimenta de laboratorio • Vaso Precipitado • Filtros 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidróxido de sodio (Lejía) • Detergente • Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetros • Horno de secado
Diseñar un sistema de remoción de metales pesados (Pb y Al) utilizando los datos de caracterización para la evaluación del desempeño de sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Vestimenta de laboratorio • Tubos de ensayo • Mandil • Vaso Precipitado • Filtros generados 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos para DQO • Paquetes de reactivo aluminio A, B y C HI 93712^a-0 • Ácido Nítrico (HNO₃) • Espectrómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito (GFAA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético • Biorreactor • Espectrofotómetro • Horno de Grafito
Determinar la eficiencia económica y ambiental de los filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora 	<ul style="list-style-type: none"> • - 	<ul style="list-style-type: none"> • Infostat

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

13.1. Sitio de estudio

En el sector Joséguango Alto de la parroquia de Mulaló, ubicada en el cantón de Latacunga provincia de Cotopaxi, es una de las 10 parroquias rurales en esa región se encuentra a 19 km al norte de la ciudad de Latacunga el territorio de Mulaló abarca una extensión de 50942,48 hectáreas y su altitud varía desde los 300 MSNM en la cabecera parroquial hasta las estribaciones del Cotopaxi donde la temperatura se aproxima a 0 °C (GADPR MULALÓ, 2023).

Figura 4. Mapa del sitio de estudio

13.2. Muestreo de agua

Se recolectó 7 litros de agua residual obtenida del punto de muestreo. Se llevaron las muestras al laboratorio de la Universidad a una temperatura fría para la conservación de la muestra y así determinar las características fisicoquímicas del agua.

13.3. Caracterización del agua residual

13.3.1. Caracterización de plomo y aluminio en agua residual

Las aguas residuales antes del tratamiento registraron concentraciones inferiores al límite permitido, por lo que se cumple esta norma de calidad del agua, como se muestra en la Tabla 5. Para el aluminio, la concentración es de 0,32 mg/L, sin superar el límite permitido de 5 mg/L. Para el plomo, la concentración es de 0,14 mg/L, respetando también el límite permitido de 0,2 mg/L.

Tabla 5. Valores de Aluminio y plomo comparada con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Acuerdo Ministerial 097-A

	7/7/2024		Acuerdo Ministerial 097-A		Cumple/No cumple
Aluminio	0,32	mg/L	5	mg/L	Cumple
Plomo	0,14	mg/L	0,2	mg/L	Cumple

13.3.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos

Estos parámetros son de gran relevancia, ya que determinan la condición física y biológica del medio acuático. Durante el estudio de cuatro semanas, se registraron valores para evaluar la calidad del agua. Según se muestra en la tabla 6, se analizaron seis parámetros distintos utilizando un multiparámetro. En los resultados se indican una variación relativa en los parámetros en comparación entre cada semana, cambios que no son significativos.

Según Gaibor (2014), las aguas residuales de las industrias se ven afectadas debido al uso de materiales de limpieza y desinfección que pueden ser tanto productos básicos como ácidos. En el caso de las industrias, se realiza una limpieza diaria de los instrumentos utilizados, donde también se lleva a cabo una limpieza total de la industria cada mes. Esto implica que los materiales de limpieza y desinfección se descarguen en el desagüe, que está directamente conectado al alcantarillado.

En la tabla 5 p presenta los valores de los parámetros según el Acuerdo Ministerial 097-A para descargas en agua dulce; demostrando como el potencial de hidrógeno cumple con los parámetros permitidos, sin embargo, sus valores aun así se consideran bajos, variando entre 6,17 y 6,28. Es relevante destacar que, aunque los parámetros de TDS (sólidos totales disueltos), PSU (unidades prácticas de salinidad) y CE (conductividad eléctrica) no se mencionan específicamente en el Acuerdo Ministerial 097-A, su influencia en el agua dulce es significativa.

La concentración de TDS refleja la calidad del agua. Cuanto mayor sea la concentración, peor será la calidad. Por lo tanto, es fundamental monitorear los niveles de TDS para evaluar la pureza del agua. Debido a ello se puede considerar una concentración elevada en cada una de las muestras tomadas.

Aunque no se incluya en el acuerdo, la PSU es un parámetro tóxico para personas, animales y plantas. Su presencia puede afectar significativamente el medio ambiente, especialmente cuando el agua dulce entra en contacto con organismos vivos. Por lo tanto, es crucial mantener su concentración lo más baja posible para evitar riesgos. Aunque los niveles actuales en las muestras tomadas son bajos, aún podrían reducirse aún más.

La conductividad eléctrica es un parámetro crucial para evaluar la presencia de contaminantes. Representa la capacidad del agua para conducir electricidad y está relacionada con la cantidad de iones presentes (Suarez, 2006). Valores elevados de CE pueden indicar la presencia de contaminantes, como sales disueltas, metales pesados o productos químicos. Por lo que, para mantener un ambiente acuático saludable, se recomienda que la CE sea lo más baja posible.

Tabla 6. Valores de parámetros fisicoquímicos

Parámetros	7/7/2024	Acuerdo Ministerial 097A	Cumple/No cumple
pH	6,21	6 - 9	Si cumple
Temperatura	18,98 °C	Condición natural ± 3	Si cumple
TDS	292 mg/L	No aplica	Si cumple
PSU	0,28	No aplica	Si cumple
CE	0,72 ms/cm	No aplica	Si cumple

13.4. Diseño de filtro percolador

Se fabricaron cinco filtros de vidrio, cada uno con un grosor de 4 mm. En la base de cada filtro, se perforó un agujero de 4,5 cm de diámetro, al cual se conectó una tubería de desagüe. Cada filtro tiene una altura de 20 cm, como se muestra en la figura 5. Estos filtros fueron colocados sobre un soporte de plástico para asegurar su estabilidad y funcionamiento adecuado.

Figura 5. Diseño de filtro de vidrio con lecho filtrante de plumas de gallina.

En la tabla 7 se muestra el caudal es de 0.3 metros cúbicos por segundo (m^3/s), el volumen es de 3153.3 metros cúbicos (m^3) y la altura del lecho es de 0.07 metros (m).

Tabla 7. Resultados de los parámetros para el diseño del filtro percolador

Parámetros	Valor	Unidad
------------	-------	--------

Q	0,3	m ³ /s
Vol	3153,75	m ³
TRH	10512,5	s
As	1512	m ²
H	0,0027	m
Vlecho	4,09	m ³

13.5. Características fisicoquímicas del agua antes y después del tratamiento

En la Tabla 8, se compararon los valores antes y después del tratamiento, y se observaron cambios significativos en cada parámetro evaluado. En particular, en el pH se identificó un valor de 6,4. Al analizar el tratamiento que involucra solo plumas de gallina (Tp), se encontró que el cambio en el pH no fue significativo en comparación con el pH antes del tratamiento ni con el tratamiento que solo utilizó grava (Tg). Sin embargo, es importante destacar que este valor de pH superó el límite mínimo permisible según las normas establecidas en el acuerdo ministerial 097-A.

En cuanto a la temperatura, no se observó una variación significativa; el agua mantuvo su temperatura en un rango estrecho, oscilando entre 18,43°C y 18,98°C, lo cual está cercano a la temperatura ambiente recomendada en el acuerdo ministerial 097-A.

Según Gaibor (2014), la conductividad eléctrica (CE) refleja la presencia de cloruro sódico en los efluentes generados. Esto se debe al proceso de salazón al que se someten los quesos. Después de utilizar la mezcla de agua con sal (salmuera), esta se vierte junto con otros efluentes, lo que altera la conductividad. La abundancia de iones puede indicar la presencia de contaminantes no deseados. Los resultados de la tabla 2 muestran que la CE disminuyó significativamente en el Tp en comparación con la muestra antes del tratamiento y Tg. Esto demuestra una reducción de contaminantes no deseados en el agua. si importancia.

Tabla 8. Datos obtenidos por multiparámetros antes y después del tratamiento de plumas y gravas

	Antes	Después (Tp)	Después (Tg)	Acuerdo Ministerial 097 ^a
pH	6,21	6,4	6,36	6-9
Temperatura	18,98 °C	18,43 °C	18,6 °C	Condición natural ±3

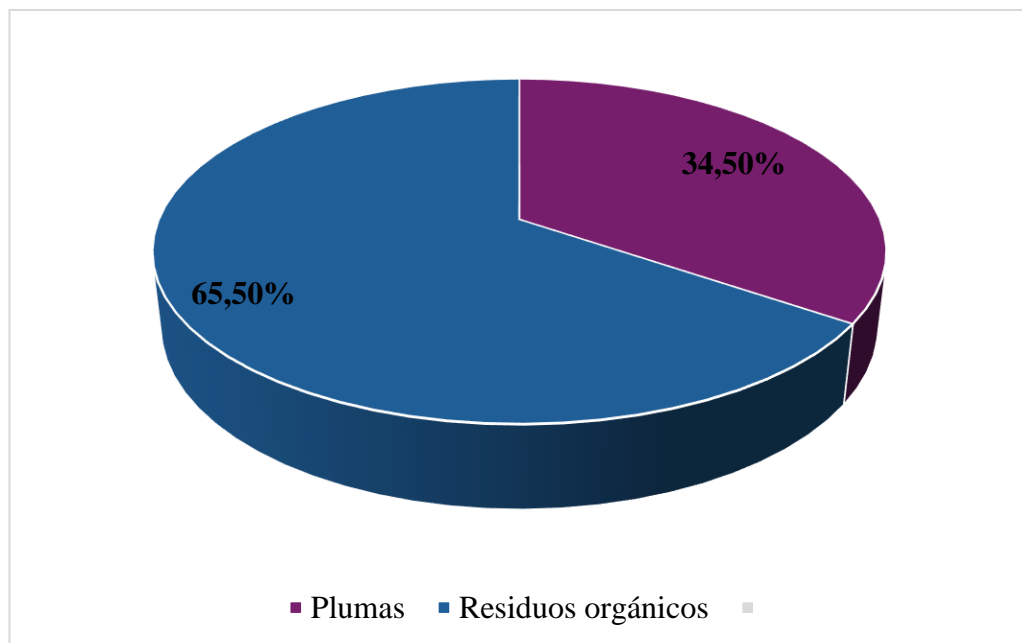
TDS	292	mg/L	223	mg/L	207	mg/L	No aplica
PSU	0,28	PSU	0,21	PSU	0,28	PSU	No aplica
CE	0,72	ms/cm	0,44	ms/cm	0,57	ms/cm	No aplica

Elaborado por: Ileys Calvopiña y Carlos Cuñez

13.6. Obtención de residuos a través de la industria avícola.

Se recogió un total de 120 gramos de plumas de gallina en la zona de San Felipe, ciudad de Latacunga (figura 6). En esta cantidad se registró un 34,50% de plumas, un 65,50% de desechos orgánicos (Sangre, grasa, uñas y piel). La presencia de estos últimos no es necesaria en el proceso de filtración, por lo que se efectuó el tratamiento de remoción de los desechos mencionados.

Figura 6. Registro de plumas y desechos orgánicos



13.7. Tratamiento de plumas

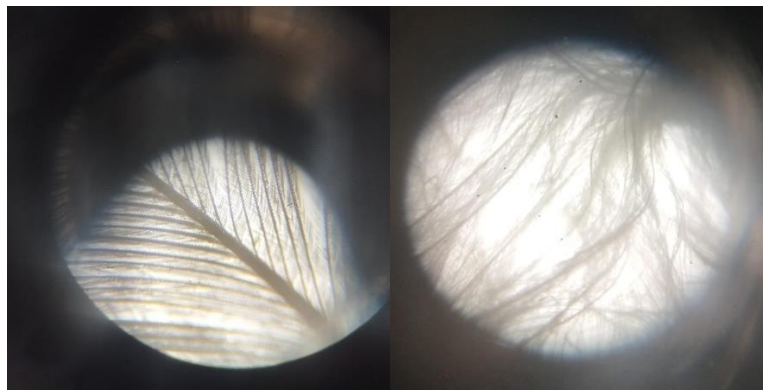
Según Orjuela y Zaritzky (2021), para el tratamiento de plumas es conveniente hacer una solución de 3 a 5% de hidróxido de sodio a 60 °C por 1 hora. Para el siguiente proyecto se utilizó la solución al 0,04% de lejía por cada 100 mililitros, por lo que la concentración utilizada

para 1000 mililitros fue 0,04 gramos durante 1 hora a 60 °C. La concentración se determinó mediante la siguiente relación:

$$\frac{10ml}{1000ml} \rightarrow \frac{0,04g}{?g} = \frac{1000ml * 0,04g}{100ml} = 4g$$

La figura 7 muestra cómo cambió la estructura de las plumas cuando se pusieron en contacto con una solución de hidróxido de sodio y se introdujeron en un horno de secado. La grasa y la sangre adheridas a las plumas se eliminaron, aumentando la porosidad y dejando una superficie adsorbente, lo que facilita la retención de partículas.

Figura 7. Vista macroscópica de plumas antes y después del tratamiento



13.8. Análisis DQO

Para evaluar la eficacia de las plumas de gallina en la remoción de contaminantes de las aguas residuales de industrias, llevamos a cabo una comparación entre un filtro basado en grava y otro basado en plumas. Utilizando un diseño experimental sencillo, se analiza los datos de ambos filtros.

En el estudio de caracterización del agua residual generada por una industria, se encontró que la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) supera el límite permisible (Gaibor, 2014). Esto sugiere una afectación en el cuerpo de agua dulce, lo que podría provocar cambios en el ecosistema circundante al receptor de agua dulce.

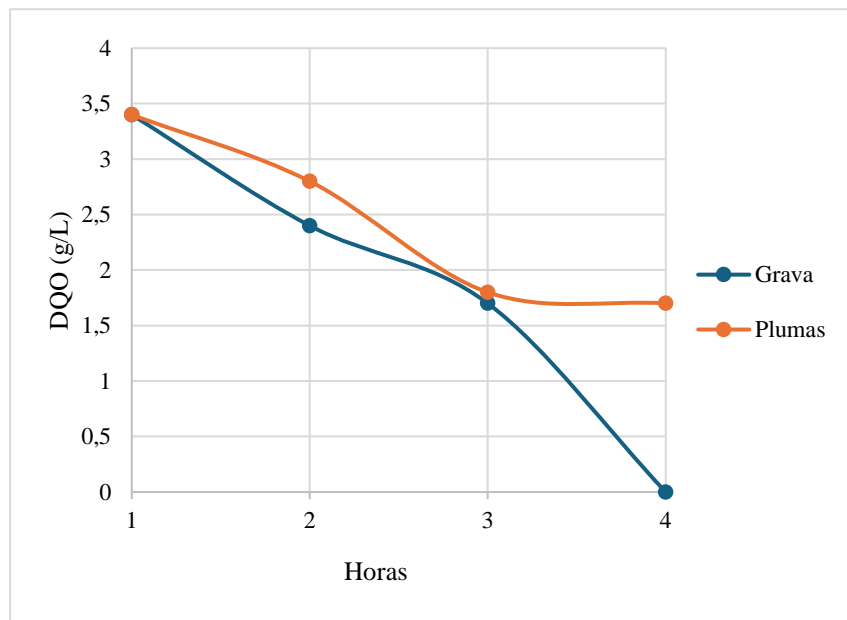
En los resultados obtenidos, según la tabla 9, indican que la grava es más efectiva para retener los contaminantes presentes en las aguas residuales de industrias. En cada repetición, la grava redujo significativamente la concentración de contaminantes en comparación con las plumas de gallina, que mostraron una menor capacidad de eliminación.

Tabla 9. Efectividad de las plumas de gallina y grava en disminución de DQO en g/L

Filtros	Pretratamiento (g/L)	Tratamiento 1 (g/L)	Tratamiento 2 (g/L)	Tratamiento 3 (g/L)
Grava	3,4	2,4	1,7	0,0
Plumas (15gr)	3,4	2,8	1,8	1,7

En el estudio, se utilizaron dos tipos de filtros, ambos sometidos al mismo pretratamiento con una concentración inicial de 3,5 g/L, la cual excede el límite máximo permitido de 0,5 g/L según el acuerdo ministerial 097-A. A pesar de que ambos tratamientos lograron reducciones similares en DQO, manteniéndose muy por debajo del límite permitido, se observó una diferencia significativa en la contaminación residual entre los dos filtros.

Específicamente, el filtro de grava demostró una considerablemente menor presencia de contaminantes en las aguas residuales en comparación con el otro filtro (como se muestra en la Figura 8). Esto sugiere que el uso de grava como medio filtrante puede ser más efectivo para la remoción de contaminantes en este contexto.

Figura 8. Curva de eficiencia de DQO de Grava y Plumas

Elaborado por: Ileis Calvopiña y Carlos Cuñez

13.9. Análisis de aluminio (Al)

Para determinar la eficacia de las plumas de gallina con la grava como materiales de filtración. Según la tabla 10, al utilizar 15 gramos de plumas de gallina, se logra una remoción casi completa del aluminio, alcanzando casi el 100%. Sin embargo, es interesante notar que, aunque el valor inicial de aluminio en el agua estaba muy por debajo del límite permisible, después de pasar por el filtro de plumas de gallina, el nivel de aluminio aumentó significativamente. En contraste, el filtro de grava apenas logró remover aluminio.

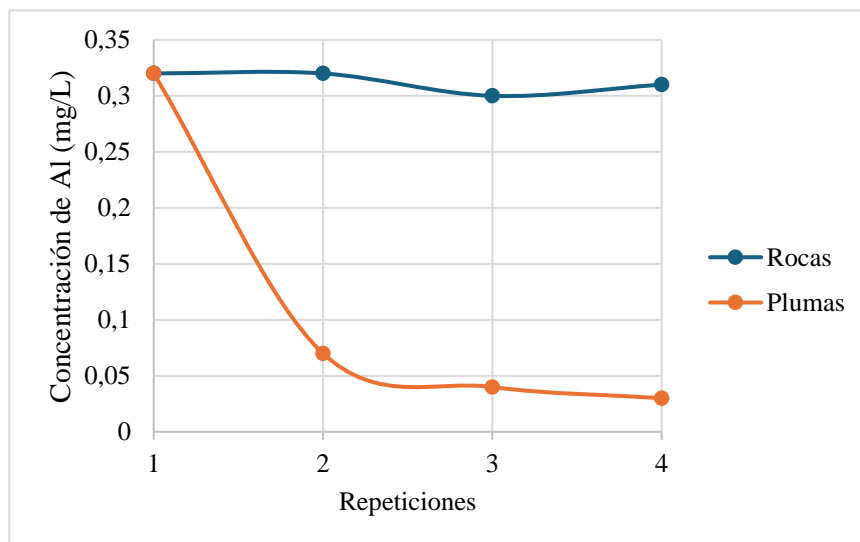
Tabla 10. Efectividad de las plumas de gallina y grava en disminución de aluminio.

Filtro	Pretratamiento (mg/L)	Tratamiento 1 (mg/L)	Tratamiento 2 (mg/L)	Tratamiento 3 (mg/L)
GRAVA	0,32	0,32	0,3	0,31
Plumas (15gr)	0,32	0,07	0,04	0,03

Elaborado por: Ileis Calvopiña y Carlos Cuñez

En la figura 9, se observa que la concentración de aluminio disminuyó a medida que se realizaron más repeticiones. Por otro lado, la grava, que inicialmente contenía la misma cantidad de aluminio, no logró reducir significativamente su concentración. Este hallazgo sugiere que las plumas de gallina pueden ser una opción más efectiva para la remoción de aluminio en comparación con la grava.

Figura 9. Curva de eficiencia de los filtros en Aluminio



Según Polo (2024), el uso de las plumas de gallina logró un porcentaje de remoción del 94,2 % para el aluminio, lo que resultó en un valor por debajo del límite permisible. En el caso de este proyecto, se observó una disminución del 96,88% al utilizar un filtro compuesto por 10

gramos de plumas de gallina junto con una pequeña cantidad de grava. Además, al emplear 30 gramos de plumas junto con grava, se alcanzó una remoción del 100%, lo cual es un resultado muy significativo (Tabla 11). Estos hallazgos respaldan la eficacia de las plumas de gallina en la remoción de aluminio, corroborando los resultados previamente mencionados.

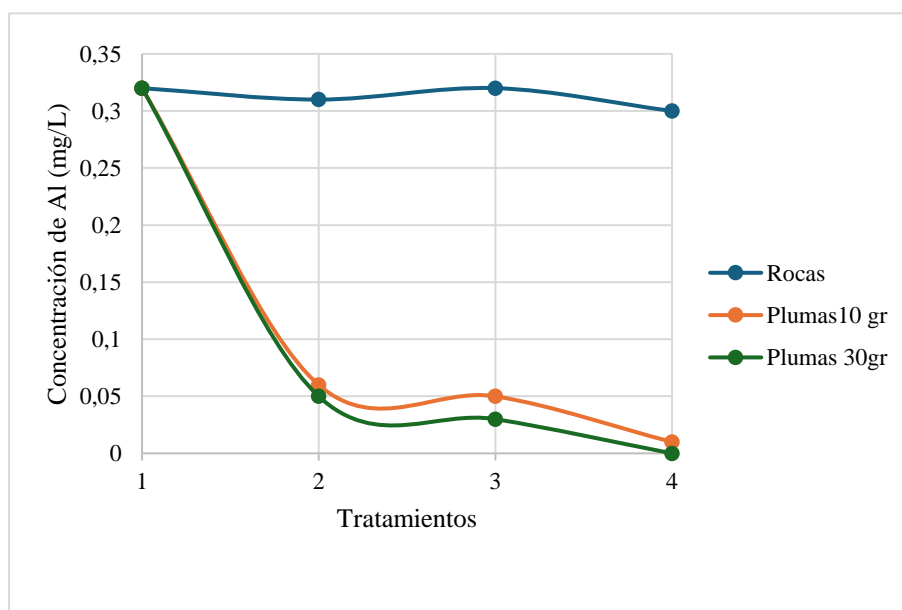
Tabla 11. Resultados de las repeticiones del diseño experimental para la disminución de aluminio

Filtro	Pretratamiento (mg/L)	Tratamiento 1 (mg/L)	Tratamiento 2 (mg/L)	Tratamiento 3 (mg/L)
grava	0,32	0,31	0,32	0,3
Plumas 10 gr	0,32	0,06	0,05	0,01
Plumas 30gr	0,32	0,05	0,03	0,00

Elaborado por: Ileis Calvopiña y Carlos Cuñez

Para el análisis sobre la eficacia del filtro de plumas, se ha observado que a medida que aumenta la cantidad de plumas, también aumenta la capacidad de absorción de aluminio. Esto se evidencia en la figura 10, donde se aprecia que al incrementar en 30 gramos la cantidad de plumas, la concentración de aluminio disminuyó con cada repetición. Sin embargo, es importante destacar que el filtro de 10 gramos también mostró resultados consistentes en su capacidad de retener aluminio. Es decir, ambos filtros demostraron un desempeño similar en la eliminación de este metal.

Figura 10. Curva de eficiencia de los filtros



13.10. Análisis de Plomo

En el análisis del contenido de plomo (tabla 12), se determinó que el valor inicial antes de pasar por los filtros era de 0,14 mg/L. Aunque esta concentración está por debajo del límite permisible, es relevante considerar que proviene de una industria, lo que la hace significativa. Curiosamente, al someter la muestra al filtro de grava, no se observó ningún cambio en la concentración de plomo. Sin embargo, al pasarla por el filtro de 20 gramos de plumas, se obtuvo una concentración de 0,00 mg/L, considerablemente menor que la inicial. Esto sugiere que el filtro de plumas es más eficaz para retener el plomo presente en el agua residual.

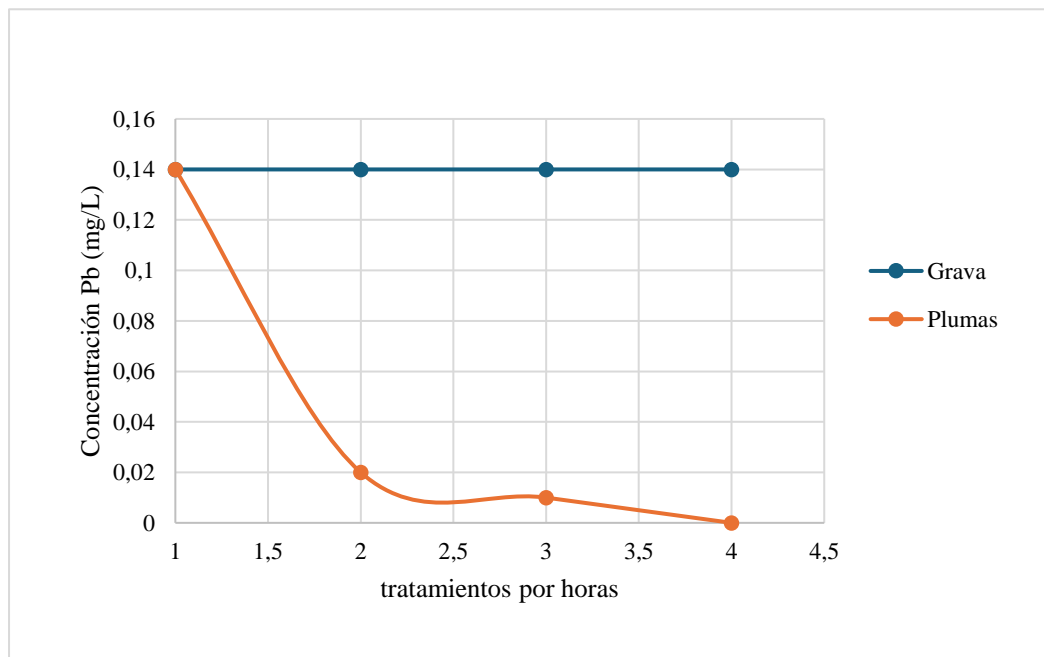
Tabla 12. Valores obtenidos a través de la prueba de grava y plumas en plomo

Filtro	Pretratamiento (mg/L)	Tratamiento 1 (mg/L)	Tratamiento 2 (mg/L)	Tratamiento 3 (mg/L)
Grava	0,14	0,14	0,14	0,14
Plumas	0,14	0,02	0,01	0,00

Elaborado por:

En la Figura 11 se evidencia la eficacia de las plumas en la reducción de la concentración de plomo. Es importante destacar que la eficacia de las plumas como material de filtración puede depender de varios factores, como el tipo de agua residual, la preparación de las plumas y las condiciones específicas del proceso de filtración.

Figura 11. Curva de eficiencia entre grava y plumas en plomo



La evidencia en la tabla 13, sobre la eficacia de las plumas en la reducción de la concentración de plomo es coherente con investigaciones previas en el campo de la purificación del agua. Estudios han demostrado que las plumas, debido a su estructura porosa y su capacidad

de adsorción, pueden ser efectivas para retener metales pesados como el plomo. Según Polo (2023), se logró una remoción del 98%, incluso cuando se enfrentó a una concentración muy elevada en comparación con los límites permisibles.

En esta investigación, se determinó que, a pesar de tener una concentración inicial por debajo del límite permisible, hubo una remoción de plomo de hasta el 99% y el 100% entre ambos filtros de plumas. Esto sugiere que las plumas como material de filtro pueden ser altamente efectivas en la eliminación de plomo en aguas residuales.

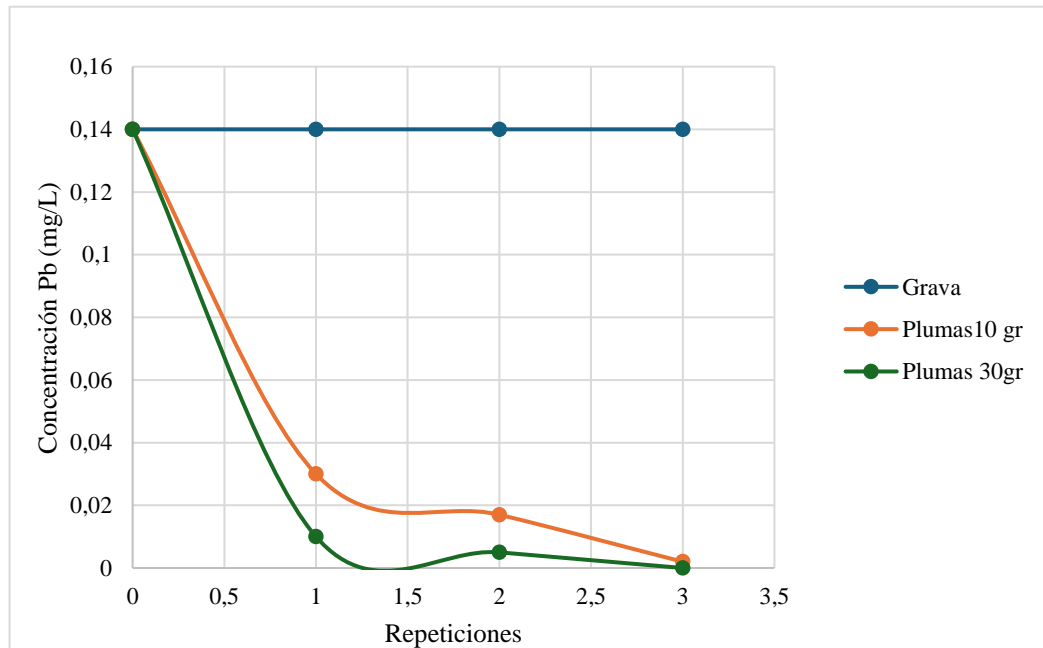
Tabla 13. Resultados de los tratamientos para la remoción de plomo

Filtro	Pretratamiento (mg/L)	Tratamiento 1 (mg/L)	Tratamiento 2 (mg/L)	Tratamiento 3 (mg/L)
Grava	0,14	0,14	0,14	0,14
Plumas 10 gr	0,14	0,03	0,017	0,002
Plumas 30gr	0,14	0,01	0,005	0

Elaborado por: Ileis Calvopiña y Carlos Cuñez

La eficacia aumenta a medida que la concentración inicial de plomo disminuye. Sin embargo, incluso cuando la concentración es alta, las plumas logran una remoción significativa, como se evidenció en la investigación de Polo (2023) (Figura 12).

Figura 12. Curva de eficiencia entre los filtros de grava, plumas 10 g y 30 g en plomo



13.11. Análisis ANOVA

13.11.1. Aluminio

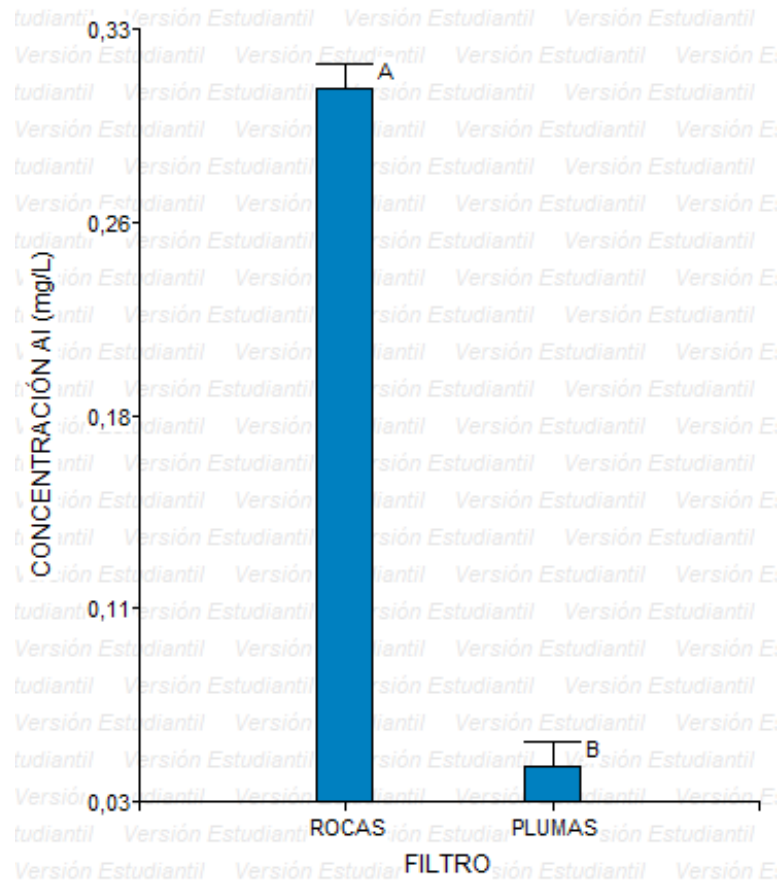
13.11.1.1. Eficacia de Filtro

El análisis estadístico presentado en la Tabla 14 revela que el valor de (F) es 1.17 y el (p)-valor es 0.3532, ambos correspondientes al modelo y a los filtros utilizados para evaluar la eficacia de las plumas de gallina en aluminio. Dado que el (p)-valor excede el umbral comúnmente aceptado de 0.05, no se proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto implica que las diferencias entre los tratamientos analizados no alcanzan significancia estadística, lo cual se ve reflejado también en el valor de (F); este último sugiere que no hay una variación significativa entre las medias de los grupos cuando se toma en cuenta la variabilidad dentro de cada grupo.

Tabla 14. Análisis de varianza de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	1,06	2	0,53	1,17	0,3532
FILTROS	1,06	2	0,53	1,17	0,3532
ERROR	4,06	9	0,45		
Total	5,11	11			

En la Figura 13, se evidencia que el filtro de plumas supera al filtro de solo rocas en términos de eficacia. La gráfica de barras muestra dos columnas: la primera, etiquetada como “ROCAS”, alcanza una concentración de 0.33 mg/L, mientras que la segunda columna, marcada como “PLUMAS”, registra una concentración significativamente menor de aproximadamente 0.03 mg/L. Esta última se encuentra notablemente más cerca del eje horizontal del gráfico, lo cual indica un nivel más bajo de concentración y sugiere un rendimiento cercano al valor mínimo deseado para considerar efectiva la filtración. Este contraste visual entre ambas barras resalta el impacto positivo y considerable que las plumas tienen como material filtrante en el proceso de purificación del agua.

Figura 13. Análisis estadístico de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio

13.11.1.2. Eficacia de plumas en aluminio

Se llevó a cabo un análisis estadístico detallado de los resultados obtenidos de tres tratamientos distintos. Los datos presentados en la Tabla 15 muestran un valor F de 160.49 y un valor p inferior a 0.05, lo que indica una significancia estadística elevada en la eficacia de remoción de aluminio utilizando plumas de gallina. Estos resultados no solo subrayan la efectividad de los tratamientos, sino que también sugieren que las diferencias observadas son estadísticamente significativas y no productos al azar.

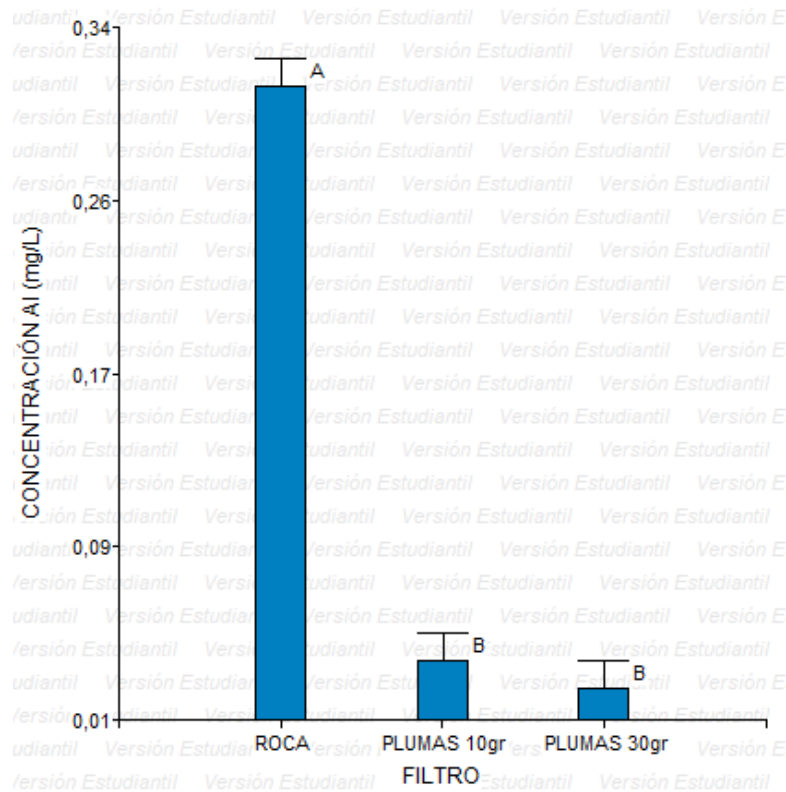
Tabla 15. Análisis de varianza (concentración Al)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	0,15	2	0,08	160,49	<0,0001
FILTROS	0,15	2	0,08	160,49	<0,0001
ERROR	2,90E-03	6	4,8		
Total	0,16	8			

La Figura 14 confirma lo observado en la Tabla 13, donde se evidencia que el tratamiento con 30 gramos de plumas de gallina presenta una remoción de aluminio bastante baja,

alcanzando casi 0.01 mg/L, en comparación con el valor inicial de 0.34 mg/L antes del tratamiento. Esto sugiere que, a mayor cantidad de plumas, la eficacia en la remoción de aluminio aumenta significativamente. En contraste, el tratamiento utilizando solo grava no muestra cambios apreciables en los niveles de aluminio

Figura 14. Análisis estadístico de la eficiencia de las plumas de gallina en aluminio



13.11.2. Plomo

13.11.2.1. Eficacia de filtro de plumas

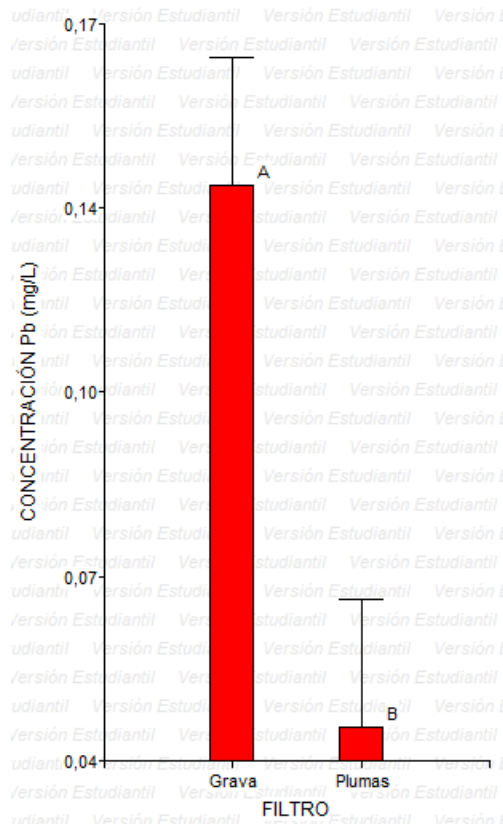
Para verificar la remoción de plomo (Pb), se ingresaron los resultados obtenidos en el laboratorio en el software ANOVA. El análisis mostró un valor de F de 8.86 y un valor de p de 0.0247. Estos resultados indican una significancia estadística entre los tratamientos, ya que un valor de p menor a 0.05 demuestra la eficacia de uno de los tratamientos sobre los otros. En este caso, el tratamiento con plumas mostró una adsorción significativamente mayor, lo que confirma que este método es el más eficaz para la remoción de plomo (tabla 16).

Tabla 16. Análisis de varianza para reconocer la eficacia de las plumas de gallina en plomo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	1	0,02	8,86	0,0247
FILTRO	0,02	1	0,02	8,86	0,0247
Error	1,00E-02	6	2,10E-03		
Total	0,03	7			

Según la figura 15, el análisis de barras determina que el tratamiento con plumas no solo redujo los niveles de plomo a menos de 0.001 mg/L, sino que también superó a otros métodos como el uso de grava, que no logró adsorber ninguna cantidad de Pb. Estos hallazgos subrayan la capacidad superior de las plumas para adsorber iones de plomo, probablemente debido a su estructura fibrosa que proporciona numerosos sitios de adsorción. Por lo tanto, el uso de plumas como material de filtración no solo es efectivo, sino también una solución sostenible y económica para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

Figura 15. Análisis estadístico a cerca de la eficiencia del tratamiento de plumas de gallina



13.11.2.2. Eficacia de plumas en plomo

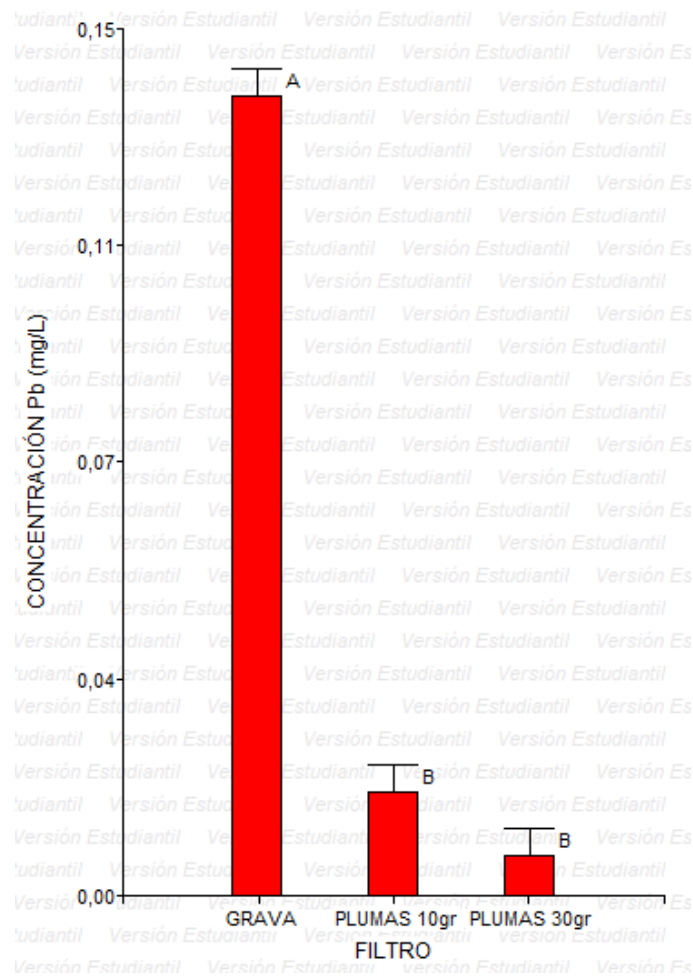
En la Tabla 17, se observa un valor de F considerablemente alto de 228,03, acompañado de un valor de p menor a 0,0001. Estos resultados indican una alta significancia estadística entre los tratamientos evaluados, que incluyen filtros de plumas de 10 gramos, 30 gramos y grava. La significancia estadística sugiere que las diferencias observadas en la remoción de plomo entre los tratamientos reflejan diferencias importantes en la eficacia de los tratamientos. La notable eficacia del filtro de plumas de 30 gramos se debe a su mayor superficie de adsorción en comparación con el filtro de 10 gramos y la grava. La estructura fibrosa de las plumas ofrece numerosos sitios de adsorción, lo que facilita la captura de iones de plomo. Además, al comparar los tratamientos, se observa que, aunque todos los métodos evaluados son efectivos hasta cierto punto, el filtro de plumas de 30 gramos destaca significativamente en términos de eficiencia.

Tabla 17. Análisis de varianza para reconocer la eficacia de las plumas de gallina en plomo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,02	228,03	<0,0001
FILTRO	0,03	2	0,02	228,03	<0,0001
Error	4,40E-04	6	7,40E-05		
Total	0,03	8			

El análisis de barras generado mediante el software ANOVA ilustra los diferentes tratamientos y sus niveles de remoción de plomo (Pb). En la Figura 16, se puede observar que el tratamiento con solo grava no logró adsorber ninguna cantidad de Pb. En contraste, el tratamiento con 30 gramos de plumas demostró ser el más eficaz, alcanzando niveles de remoción extremadamente bajos, inferiores a 0.001 mg/L.

Figura 16. Análisis estadístico a cerca de la eficiencia del tratamiento de plumas de gallina en plomo



13.12. Análisis Económico

Para evaluar la rentabilidad de los filtros de pluma, se utilizó el Valor Actual Neto (VAN) para determinar si el proyecto es viable. El VAN considera los flujos de efectivo futuros ajustados al valor presente. Para llegar a esta conclusión, se realizó un presupuesto para todo el proyecto, asumiendo un período de cuatro años. Además, se comparó el presupuesto de la industria con un método de limpieza que requiere mantenimiento (ver anexo). Si el VAN resulta positivo, como se muestra en la tabla 18, significa que el proyecto es rentable, ya que genera más ingresos que el método convencional. Por otro lado, al calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) utilizando una tasa de interés del 15%, se obtiene un valor superior al costo de oportunidad, lo que sugiere que el proyecto ofrece un rendimiento superior.

Tabla 18. Resultados del VAN y TIR

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Método convencional	30550	32062	29942	30000
Filtro de plumas	13495,62	13495,62	13495,62	13495,62

Tabla 19. Presupuesto del método convencional y filtros de plumas el proyecto

VAN	TIR
19118,94	44%

14. COMPROBACION DE LAS HIPOTESIS

Los análisis de varianza confirman que la hipótesis aleatoria, que sugiere que el filtro de plumas y grava es efectivo para la remoción de aluminio y plomo, es válida. En todas las comparaciones, se obtiene un valor de p menor a 0,05 y un valor de F superior, lo que lleva a rechazar por completo la hipótesis nula.

15. RESPUESTA DE PREGUNTA CIENTIFICA

Las plumas de gallina son adecuadas para la implementación de un filtro de agua ya que remueven más del 98% de metales pesados.

16. IMPACTOS TÉCNICOS

16.1. SOCIALES

Este método, accesible para la comunidad, aprovecha las plumas de pollo que normalmente se descartan y no solo contribuye a mejorar la calidad del agua en el río local, también beneficia a la comunidad local de la zona. Además, estas plumas pueden ser especialmente beneficiosas para las comunidades agrícolas. Al aprovechar este recurso renovable de manera sostenible, se promueve una gestión más responsable de los desechos y se contribuye al bienestar ambiental y social de Joseguango Alto.

16.2. AMBIENTALES

El uso de filtros de plumas de pollo en la remoción de plomo y aluminio de aguas residuales puede disminuir la concentración de estos metales pesados en el medio acuático, lo que contribuye notablemente a la calidad del agua. En comparación con otros métodos de

tratamiento, estos filtros son altamente viables, ya que aprovechan de manera sostenible los desechos avícolas que generalmente se descartan en vertederos y pueden generar lixiviados. Además, al incinerar las plumas sin las medidas adecuadas, se liberan CO₂ y SO₂. Es crucial gestionar adecuadamente las plumas usadas para evitar la contaminación secundaria del medio ambiente, y se recomienda enviarlas a un gestor ambiental certificado.

16.3. ECONÓMICOS

Según este estudio las plumas de gallina son un material que se desecha por lo tanto la realización y uso de un filtro a base de ese material promueve la economía circular aprovechando los recursos, esto determina que es rentable y fácil de realizar porque puede sustituir los filtros convencionales.

17. CONCLUSIONES

- En el análisis de la calidad del agua, se evidenció lo elevado que están los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad) debido a la presencia de materia orgánica y metales pesados en el agua residual. Tanto el tratamiento con plumas como el de grava demostraron eficacia en la remoción de estos metales. Cabe destacar que la porosidad de las plumas contribuyó al diseño eficiente de los filtros.
- Durante el análisis de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de filtración, se observaron diferencias notables entre el filtro de plumas y la grava. El pH, la conductividad eléctrica (CE), los sólidos disueltos totales (SDT) y la salinidad (PSU) experimentaron cambios significativos al pasar por el filtro de plumas, mientras que la grava no mostró una mejora sustancial. Además, el filtro de plumas cumplió con los límites permisibles establecidos por el acuerdo ministerial 097-A. Un hallazgo relevante fue el aumento en la porosidad de las plumas, lo cual contribuyó al diseño eficiente de los filtros. Aunque se observó una mejora poco significativa en el pH (de 6,24 a 6,4), los SDT disminuyeron, indicando una mayor pureza del agua.
- El uso de 30 gramos de plumas de gallina demostró ser altamente efectivo en la eliminación de plomo y aluminio. La concentración inicial de 0.32 gramos de aluminio se redujo significativamente a 0.0001 gramos, lo que representa una disminución impresionante. En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el filtro de grava fue el más efectivo, la concentración inicial de 3.4 g/L se redujo

drásticamente a 0.0002 g/L. Estos resultados sugieren que tanto las plumas de gallina como la grava pueden ser soluciones viables para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales. Además, desde una perspectiva económica, el análisis de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) demostró que el proyecto es rentable en comparación con el método convencional.

18. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al GAD parroquial de Mulaló que se realicen las debidas evaluaciones de calidad de agua periódicamente al menos cada mes en los desagües urbanos y rurales del sector.
- En caso de que el GAD parroquial o una empresa privada opte por el diseño del filtro, se debe implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar la eficacia del filtro de plumas en condiciones prácticas. Esto permitirá ajustes oportunos y garantizará un rendimiento constante.
- Si una empresa pública o privada utiliza el filtro de plumas de gallinas, es importante no exceder el límite de uso de las plumas, ya que cada gramo de pluma tiene una capacidad limitada para retener metales pesados. Para su disposición, se debe confiar en un gestor ambiental especializado.

19. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Air Liquide. (16 de octubre de 2023). ¿Qué es la DQO? – Tratamiento de aguas residuales. *Air Liquide*. Obtenido de <https://es.airliquide.com/soluciones/tratamiento-aguas/que-es-la-dqo-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Alonso, A., De la Fuente, J., Flores, J., García, L., Garza, T., Nava, H., & Soberon, G. (1995). *La Ciencia Es Para Todos*. Obtenido de Fondo de Cultura Económica: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec_8.htm
- Ambulkar, A. (27 de marzo de 2023). Recuperado el 25 de julio de 2024, de Enciclopedia Británica: <https://www.britannica.com/science/salinity>
- Arafa, M., & Walaa, M. (2014). Heavy metals and trace elements levels in milk and milk products. *Food Measure*, 8, págs. 381–388. Obtenido de Food Measure:

https://www.researchgate.net/publication/271660385_Heavy_metals_and_trace_elements_levels_in_milk_and_milk_products

- Arroyo, E., & Castro, O. (2023). Aprovechamiento de los residuos orgánicos (plumas de pollo de los mercados) aplicando economía circular al proceso de obtención de queratina para su uso en cosmética. *Universidad de Lima*. Obtenido de <https://cris.ulima.edu.pe/es/projects/aprovechamiento-de-los-residuos-org%C3%A1nicos-plumas-de-pollo-de-los->
- ASTM International. (22 de Junio de 2017). *Standard Test Method for Aluminum in Water*. Obtenido de ASTM International: <https://www.astm.org/d0857-17.html>
- ATSDR. (Agosto de 2007). Resumen de Salud Pública Plomo. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Riesgo de Enfermedades*.
- ATSDR. (Octubre de 2014). *Agencia para Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de ATSDR: www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.html
- Beltrán, M. E., & Gómez, A. M. (25 de Julio de 2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Universidad Militar Nueva Granada*.
- Benitez, R., Pabón, S. E., Sarria, R., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. Obtenido de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/1734/2569>
- Blanco, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo. *Cuadernos de estrategia*(186), págs. 21-70. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115629>
- Burgos, C., Hernández, N., & Estrada, P. (2018). Validación de la metodología analítica para la determinación de DQO en agua natural y residual por métodos colorimétrico y titulométrico (Reflujo Cerrado). *Investigación Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 3(2). Obtenido de <https://revistas.sena.edu.co/index.php/riads/article/view/1990>
- Calderón, J. (2006). PROTEÍNAS: REDEFINIENDO ALGUNOS CONCEPTOS. *Vol 54* (2), págs. 143-147. Obtenido de <http://www.scielo.org.co>
- Calero, V. (2023). *El desarrollo del proyecto se enmarca en la elaboración de un innovador sistema de filtración que no perjudica al medio ambiente. Se emplean plumas de pollo, un subproducto proporcionado como residuo de la industria avícola, por su propiedad de adsorción.*. Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec>

- Campaña, A., & Nieto, C. (2011). *Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla*. Obtenido de Foro de los Recursos Hídricos: <https://camaren.org/contaminacion-de-las-aguas-y-politicas-para-enfrentarla/>
- Carboctenia. (15 de mayo de 2023). *¿Qué es un filtro de lecho profundo?* Obtenido de Carboctenia: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo/>
- Carboctenia. (26 de enero de 2023). Metales pesados en el agua. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/>
- Cardona, M. I. (2021). Estrategias de prevención y mitigación de impactos ambientales a causa de los vertimientos de mercurio a las fuentes hídricas en Colombia. *Unidad Central Del Valle Del Cauca*.
- Cuello, A., Rojas, E., Lascarro, F., & Manco, D. (2020). Determinación del uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria cerámica. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1). doi:<https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3579>
- Da Freitas, L., Saenz, A. M., Ruiz, Á., & Gonzales, F. (2013). Queratinocitos y queratinización. *Dermatología Pediátrica Latinoamericana*, 11(1). Obtenido de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-740654?lang=es>
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga, B., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *LA GRANJA*, 33(1), págs. 21-30. Obtenido de <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/33.2021.02>
- Déniz, F. (2010). Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. *UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89102>
- Etecé. (6 de marzo de 2024). Temperatura. *concepto*. Obtenido de Temperatura
- Fabregas, J. (2023). *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*. España: SIGMAFAD. Obtenido de <https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Fernandez Cirelli, A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. Obtenido de Revista Química Viva No.3: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://w>

- www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf&ved=2ahUKEwicxtTgq5WHAxURSDABHX_tB0oQFnoECAyQAQ&usg=AOvVaw1VgMiuqh8T394wAE53GrS7
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), págs. 147-170. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Florida, N. (2019). Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572019000300008
- GADPR MULALÓ. (2023). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI*. Obtenido de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Mulaló: <https://mulalo.gob.ec/cotopaxi/actualizacion-del-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-la-parroquia-mulalo/>
- Gaibor, J. A. (2014). Caracterización del agua residual generada en la planta de lácteos el salinero-parroquia Salinas-cantón Guaranda para el diseño de una planta de tratamiento. *Investigación Talentos*, 1(1), págs. 107-110. Obtenido de <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/92/121>
- García, A. (2020). *Contaminación por metales pesados en el agua*. Colombia: Ecología Verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>
- Gil, F. (2017). Anatomía específica de las aves: Aspectos funcionales y clínicos. *Unidad Docente de Anatomía y Embriología*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.um.es/anatvet-interactivo/interactividad/aaves/anatomia-aves-10.pdf&ved=2ahUKEwjZ7JPtwsWHAxWYSjABHeyKD2gQFnoECBIQAQ&usg=AOvVaw2ltw9Esk-Q7eRYAC7K-OIB>
- Gil, M. J., Lázaro, N., Lázaro, M., Torres, M. B., Miravet, A., & Vaquero, N. (2023). El papel del biofilm en la cicatrización de las heridas. *Revista Sanitaria de Investigación*. Obtenido de <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/el-papel-del-biofilm-en-la-cicatrizacion-de-las-heridas/>
- Gina, A., Curvelo, W., Huertas-Días, E., & Ortega, D. (2017). Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. *UGCiencia*. doi:<http://10.18634/ugcj.23v.0i.767>

- Grosso, G. (2023). *Metales pesados en el agua*. México: Carbotecnia. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/>
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. *Mc Graw Hill*. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- HANNA instruments. (2024). Proceso de medición de Aluminio. *HANNA instruments*. Obtenido de <https://hannainst.ec/productos/linea/analisis-de-agua/reactivos-de-aluminio-100-pruebas/>
- Heredia, D. R. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN vol.21*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&tlng=es
- Hernández, J. C. (2013). Diseño de un modelo experimental de filtro percolador utilizando Estopa de coco como medio filtrante para la reducción de Nitrogeno y Fosforo total de las aguas residuales domésticas procedentes de la planta piloto de tratamiento AuroraII. *Revista Científica Agua, Saneamiento y Ambiente*, 8(1). doi:<https://doi.org/10.36829/08ASA.v8i1.1486>
- Herrera, O., & Corpas, F. (2014). *REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL LÁCTEA UTILIZANDO MICROORGANISMOS BENÉFICOS*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Obtenido de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php>
- IAQUA. (2023). *El Impacto de las Aguas Residuales en la Industria Láctea: Problemas y Soluciones*. España: Instituto del Agua. Obtenido de <https://institutodelagua.es>
- Ionita, E. (2022). *La producción de leche en Ecuador*. Quito: Veterinaria Digital. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>
- Jácome, J. A. (2014). VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (RANGO BAJO, RANGO MEDIO, RANGO ALTO), SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Y SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS EN MATRICES DE AGUA CLARA Y RESIDUAL EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8461>

- Jain, R., Jain, P. C., & Agrawal, S. C. (2012). Feather degradation by *Streptomyces exfoliatus* CFS 1068. *Annals of microbiology*, 62, págs. 973-987. Obtenido de <https://annalsmicrobiology.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13213-011-0336-0>
- Leiva, D., & López, R. (2022). Metales pesados en la producción ganadera lechera. *Ciencia Latina*, 6(1), págs. 3629-3645. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1758>
- Leiva, S. (2024). Determinacion de la remoción de DQO Y DBO5 en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac. *Universal Continental*. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14036>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co>
- Lorena García, S., Arguello, A., Parra, R., & Pincay Pilay, M. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. En *INNOVA Research Journal* (págs. 59 - 71). Obtenido de INNOVA Research Journal: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/909>
- Marínez, O., & Martínez, E. (2006). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *21*(2).
- Martinez, A. (2014). *Plumas de pollo para limpiar el agua de metales pesados?* México: Iagua. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/mexico/14/07/17/¿plumas-de-pollo-para-limpiar-el-agua-de-metales-pesados-52177>
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: Su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Difusión cultural y científica*, 7(7). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2014000100006
- Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua en España*. España: Centro de Publicaciones Secretaria general Técnica Ministerio de Medio Ambiente.
- Naciones Unidas. (2024). *El agua: en el centro de la crisis climática*. Obtenido de Acción por el Clima: <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water>
- NASA. (2024). *Salinity / Density*. Obtenido de EARTHDATA: <https://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceSalinity>
- National Geographic. (3 de Mayo de 2023). *Curiosidades sobre el río más grande del mundo*. Obtenido de National Geographic:

- <https://www.nationalgeographicla.com/viajes/2023/05/las-5-curiosidades-sobre-el-rio-mas-grande-del-mundo>
- Nelson, D. (2008). *Principios de la bioquímica* (139-200 ed.). OMEGA. Obtenido de <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvsc1/1513>
- Orjuela, J. M., & Zaritzky, N. E. (2021). Evaluación de las condiciones del proceso de extracción de queratina mediante hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio. *Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de La Plata*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/128136>
- Ortega, S., & Hernández, E. (2018). Biopelículas microbianas y su impacto en áreas médicas: fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 75(2). doi:<https://doi.org/10.24875/bmhim.m18000012>
- Pabón, S., Benitez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una Revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-83672020000100009&script=sci_arttext
- Polo, C., & Sulca, L. (2019). Metales Pesados: fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Revista de La Facultad de Ciencias*. Obtenido de <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cs/article/view/842>
- Polo, R., Figueroa, M., Leyva, M., & Tuya, B. (2014). Uso de plumas de pollo como medio filtrante para la remoción de metales pesados en aguas ácidas. *Hatun Yachay Wasi*, 3(1), págs. 77-85. Obtenido de <http://revistas.utea.edu.pe/index.php/hyw/article/view/59>
- Poma, P. (Junio de 2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Añales de la Facultad de Medicina*, 69(2).
- Posso, D. M. (2012). Análisis de la operación y mantenimiento de la filtración en gravas de flujo ascendentes a escala real. *Universidad del Valle*. Obtenido de Universidad del Valle: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/f38d710e-8fec-4166-8cbd-141eb48f7f4c>
- Quintero, G., Huertas, W. A., & Ortega, E. (2017). Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. *UGCiencia*, 23, pág. 81.87. Obtenido de <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/767>
- Rahmani, A., Raizada, P., Lima, E., Giannakoudakis, D., Sivamani, S., Dontsova, T., & Hosseini, A. (2020). Uso de plumas de pollo y cáscara de huevo para sintetizar un nuevo

- carbón activado magnetizado para la sorción de iones de metales pesados. *Tecnología Bioambiental*, 297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122452>
- Real Academia Española. (29 de junio de 2024). *Grava*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/grava?m=form>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), pág. 66.77.
- Rodríguez, A. (2 de septiembre de 2013). *Selección de plumaje de razas inglesas pesadas*. Obtenido de <https://razascanariospostura.blogspot.com/2013/09/seleccion-del-plumajeen-inglesas.html>
- Rodríguez, H. (15 de enero de 2024). *Propiedades del aluminio (Al)*. Obtenido de National Geographic: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221
- Romero, J. A. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios*. Escuela Colombia de Ingeniería.
- Sigler, A., & Bauder, J. (2005). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. *Northern Plains & Mountains*. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%25202012-11-15-SP.pdf&ved=2ahUKEwiyrvvfk7qHAXV0QzABHXwSAyoQFnoECCAQAQ&usg=AOvVaw3huEGG1EJNDNVE_aBHcRYx
- Suarez, D. (2006). *CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN AGUAS POR EL METODO ELECTROMETRICO*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- TME. (21 de marzo de 2022). ¿Qué es la conductancia? Conductividad eléctrica de metales, agua y otros materiales. *Electronic Components*. Obtenido de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/45336/que-es-la-conductancia-conductividad-electrica-de-metales-agua-y-otros-materiales/>
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*(64), págs. 9-18. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906402>
- Vallarino, C. C. (2011). *DETECCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA*. INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA,, Mexico. Obtenido de <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx>

Viera, L. (2015). *Tratamiento de efluentes de industrias lácteas en reactores anaerobios de alta carga*. España: Dialnet. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=57365>

Vilatuña, D. (2023). *Elaboración De Un Filtro A Base De Plumas De Pollo Para El Tratamiento De Aguas Residuales Textiles A Escala De Laboratorio Que Permita La Remoción De Colorante Resultante De Los Procesos De Tintorería De Fibras Sintéticas*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13428>