



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis

**Eficiencia del carbón activado de residuos
agroforestales en la adsorción de nitratos y
fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiayacu**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Alejandro Alberto Cruz Rengifo

<https://orcid.org/0009-0005-9973-0701>

ASESOR

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Tarapoto, Perú

2024



Esta obra está bajo una Licencia
Creative Commons Atribución -
4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis

**Eficiencia del carbón activado de residuos
agroforestales en la adsorción de nitratos y
fosfatos en las aguas de la microcuenca
Rumiyacu**

Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Autor:

Alejandro Alberto Cruz Rengifo
<https://orcid.org/0009-0005-9973-0701>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis

**Eficiencia del carbón activado de residuos
agroforestales en la adsorción de nitratos y
fosfatos en las aguas de la microcuenca
Rumiyacu**

Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Autor:

Alejandro Alberto Cruz Rengifo

<https://orcid.org/0009-0005-9973-0701>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis

**Eficiencia del carbón activado de residuos
agroforestales en la adsorción de nitratos y
fosfatos en las aguas de la microcuenca
Rumiyacu**

Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Presentado por:

Alejandro Alberto Cruz Rengifo


Sustentado y aprobado el 10 de julio del 2024, por los siguientes jurados:



Presidente de Jurado
Dr. Agustín Cerna Mendoza



Secretario de Jurado
Dr. Jaime Guerrero Marina



Vocal de Jurado
Dr. José Manuel Delgado Bardales



Asesor
Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Tarapoto, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-T
Escuela de Posgrado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

**Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados
y títulos N°**

**Jurado reconocido con Resolución de Consejo Directivo N°106-2020-UNSM/EPG-CD
Escuela de Posgrado / Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales**

A las **10:00 a.m. hrs** del **10 de julio de 2024** inició al acto público de sustentación del trabajo investigación “**Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiayacu**” para optar al grado de **Doctor**, presentado por el **Ing. M.Sc. Alejandro Alberto Cruz Rengifo**, con la asesoría del **Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Dr. Agustín Cerna Mendoza** (presidente del jurado), **Dr. Jaime Guillermo Guerrero Marina** (secretario), **Dr. José Manuel Delgado Bardales** (vocal), y acompañados por el **Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza** (asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución Directoral N°056-2024-UNSM/EPC-RD**.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG – CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **QUINCE (15)**; tal como se deja constar en la siguiente descripción:



Escuela de Posgrado

Criterio	Graduación	Puntaje medio	Jurado 1	Jurado 2	Jurado 3
Aspectos preliminares sobre el informe (50%):					
Originalidad de la investigación.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Claridad en la identificación del problema, hipótesis de trabajo y objetivos propuestos.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Criterio en la selección y tratamiento de la información bibliográfica.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Identificación adecuada de las variables para el estudio. Pertinencia del diseño experimental o muestral, de corresponder.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Redacción científica y cumplimiento de las normas de estilo.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Calidad de los resultados y su tratamiento.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Conclusiones.	Excelente				
	Bueno	1	1	1	1
Aspectos relacionados con la presentación pública (50%):					
Estructura de la exposición	Excelente				
	Bueno	2	2	2	2
	Regular				
Fluidez de la exposición	Excelente				
	Bueno	2	2	2	2
	Regular				
Dominio y suficiencia en el tema (respuestas)	Excelente				
	Bueno	2	2	2	2
	Regular				
Uso del tiempo	Óptimo	2	2	2	2
Puntajes totales		15	15	15	15

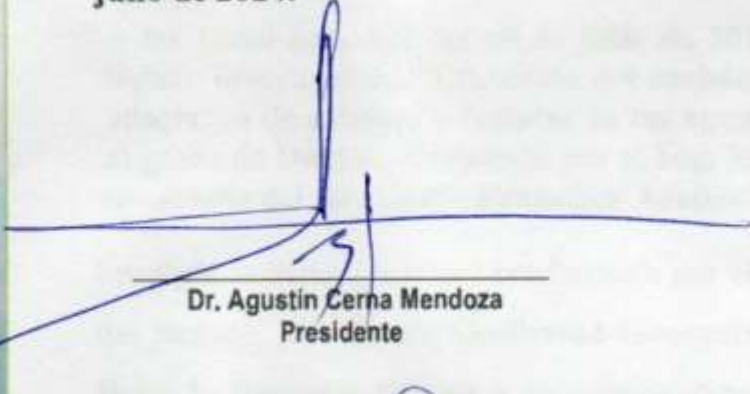
De acuerdo con el Artículo 40° del RG - CTI, la nota obtenida es Quince y correspondiente a la calificación de Bueno. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.



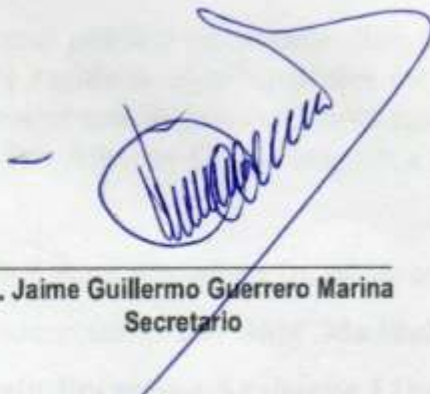
Escuela de Posgrado

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N°
de


Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal
de conformidad, dando por concluido el acto a las 11:45 horas, el mismo día del **10 de
julio de 2024.**



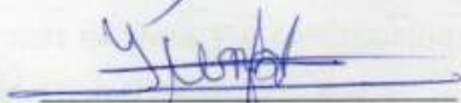
Dr. Agustín Cerna Mendoza
Presidente



Dr. Jaime Guillermo Guerrero Marina
Secretario



Dr. José Manuel Delgado Bardales
Miembro



Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor

© Alejandro Alberto Cruz Rengifo 2024

Todos los derechos reservados



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis

Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiyacu

Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Los suscritos declaran que el presente trabajo de tesis, es original en su contenido y forma.

Alejandro Alberto Cruz Rengifo

Ejecutor

Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

Asesor

Tarapoto, Perú

2024

Declaratoria de autenticidad

Yo, Alejandro Alberto Cruz Rengifo, identificada con DNI N° 01110679, egresado de la Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de San Martín, con la tesis titulada: Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiyaçu.

Declaro bajo juramento que:

- 1) La tesis presentada es de mi autoría.
- 2) He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
- 3) La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 10 de julio de 2024.



Alejandro Alberto Cruz Rengifo

DNI N° 01110679



Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en aguas de la microcuenca Rumiyacu.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental Línea de investigación: Calidad ambiental Sublínea de investigación: Manejo de Residuos y Reciclaje Grupo de investigación: Manejo de Residuos y Reciclaje; Resolución N° 239-2023-UNSM/CF/FE Tipo de investigación: Aplicada</p>
<p>Autor: Alejandro Alberto Cruz Rengifo</p>	<p>Facultad de Ecología Unidad de Posgrado https://orcid.org/0009-0005-9973-0701</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</p>

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificios me han impulsado hacia grandes logros. A mis amigos y compañeros, por compartir desafíos y triunfos, haciendo este viaje memorable. Agradezco a mi familia extendida y seres queridos por su constante ánimo y apoyo. Con gratitud, dedico esta tesis a cada una de las personas mencionadas, quienes han dejado una huella imborrable en mi vida y en mi trayectoria académica.

Alejandro

Agradecimientos

A mis padres por su infinito apoyo y abnegación, así como a Dios por su guía espiritual.

No puedo dejar de expresar mi gratitud a la Universidad Nacional de San Martín, cuya influencia ha sido fundamental en mi desarrollo académico y profesional.

Reconozco especialmente al Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza por su dedicación y orientación.

Finalmente, agradezco a mis colegas, compañeros de estudios y participantes en la investigación por su contribución.

El Autor

Índice general

FICHA DE IDENTIFICACIÓN.....	7
DEDICATORIA.....	8
AGRADECIMIENTOS	9
ÍNDICE GENERAL.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	23
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. ÁMBITO Y CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1.1. Contexto de la investigación	33
3.1.2. Periodo de ejecución.....	33
3.1.3. Autorizaciones y permisos	33
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	34
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	34
3.2. SISTEMA DE VARIABLES	34
3.2.1. Variables principales	34
3.3. PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.3.1. Objetivo específico 1	35
3.3.2. Objetivo específico 2.....	37
3.3.3. Objetivo específico 3.....	38
3.3.4. Objetivo específico 4.....	39
3.3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS Y FOSFATOS EN LA MICROCUENCA RUMIYACU.	40
4.2. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ Y DE ARROZ.	42
4.3. RESULTADO ESPECÍFICO 3. EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CARBÓN ACTIVADO MANUFACTURADO A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ Y DE ARROZ.....	56

4.4. COMPARACIÓN DEL COSTO DE MERCADO DEL CARBÓN ACTIVADO CON UN PRODUCTO LOCAL MANUFACTURADO A PARTIR DE CASCARILLA DE CAFÉ Y DE ARROZ. ...	57
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	70

Índice de tablas

Tabla 1 Estándares de calidad ambiental para el agua – Categoría 4	32
Tabla 2 Descripción de variables por objetivo específico	34
Tabla 3 Equipos de medición para nitratos y fosfatos	36
Tabla 4 Procedimientos de medición de los nitratos y fosfatos	36
Tabla 5 Promedio de las concentraciones iniciales de nitratos y fosfatos en las aguas de la quebrada Rumiyacu	41
Tabla 6 Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz.....	43
Tabla 7 Prueba de Tukey para el factor “velocidad de agitación” – Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz	44
Tabla 8 Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz.....	45
Tabla 9 Prueba de Tukey para el factor “velocidad de agitación” – Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz	46
Tabla 10 Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café	46
Tabla 11 Prueba de Tukey para el factor “velocidad de agitación” – Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café	47
Tabla 12 Prueba de Tukey para el factor “carbonización” – Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café	47
Tabla 13 Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café	48
Tabla 14 Prueba de Tukey para el factor “carbonización” – Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café	49
Tabla 15 Condiciones óptimas empleando carbón activado de cascarilla de arroz y café	50
Tabla 16 Enumeración de los carbones activados con mejores resultados.....	56
Tabla 17 Caracterización de los carbones activados	56
Tabla 18 Comparación costos carbón activado comercial.....	57
Tabla 19 Costo de producción de carbón activado de cascarilla de café y arroz	57
Tabla 20 Prueba ANOVA – grupo Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz.....	80
Tabla 21 Prueba ANOVA – grupo Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz.....	80

Tabla 22 Prueba ANOVA – grupo Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café	81
Tabla 23 Prueba ANOVA – grupo Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café	81

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de carbón activado.	27
Figura 2. Ubicación lugar de estudio	33
Figura 3. Puntos de cosecha de café y arroz de la microcuenca Rumiyacu.....	40
Figura 4. Concentraciones iniciales de los nitratos y fosfatos de las aguas de la quebrada Rumiyacu.	41
Figura 5. Comparación concentraciones iniciales de nitratos y fosfatos vs ECA.....	42
Figura 6. Resumen de eficiencias.	54

RESUMEN

Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiyacu

La adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas superficiales es un tema de investigación crucial procurando alternativas para mejorar la calidad del agua y su sostenibilidad ambiental. En este contexto, el estudio realizado tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en aguas de la microcuenca Rumiyacu, el cual tuvo un periodo de 11 meses, abarcando desde febrero hasta diciembre de 2023. Primero, se determinaron las concentraciones iniciales de nitratos y fosfatos, encontrando valores de 43,95 mg/L y 57,53 mg/L, respectivamente. Luego, se procedió a la obtención de carbón activado utilizando cascarillas de arroz y café como materiales iniciales. Este proceso incluyó la carbonización a diferentes temperaturas (500°C, 600°C y 700°C) durante 30 minutos, junto con la activación química mediante ácido fosfórico (37%). El análisis ANOVA reveló diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de nitratos y fosfatos obtenidas con los distintos tratamientos, mostrando que la velocidad de agitación y la temperatura de carbonización tienen un efecto significativo sobre la adsorción de estos contaminantes. La prueba de Tukey indicó que las velocidades de 100 RPM y 200 RPM, así como las temperaturas de carbonización de 500°C y 600°C, difieren significativamente en la remoción de nitratos y fosfatos al usar carbón de cascarilla de café. Específicamente, fue demostrado que el uso de cascarilla de café como precursor, carbonizado a 600°C, logró la mejor eficiencia en la eliminación de nitratos (97,50%) y fosfatos (67,32%), utilizando 2,0 gramos de carbón activado y una velocidad de agitación de 100 RPM. Posteriormente, se realizó una prueba t de Student para comparar la eficiencia de remoción entre los tratamientos con carbón activado de cascarilla de arroz y café. Los resultados indicaron que, con un nivel de significancia de 0,05, no se encontró diferencia significativa en la efectividad de remoción entre ambos tratamientos, manteniendo la hipótesis nula de que ambos son igualmente efectivos para la remoción de nitratos y fosfatos. Finalmente, se determinó que la producción de carbón activado a partir de estos residuos agroforestales resultó económicamente viable, con un costo de S/27,50 por kilogramo. Esto contrasta favorablemente con el precio comercial de S/39,60 por kilogramo en su presentación más económica. En conclusión, el tratamiento empleando carbón activado de cascarilla de café y de arroz no solo es económicamente viable, sino también altamente eficiente. Este estudio demuestra el potencial de los residuos agroforestales como precursores para la producción de carbón activado, contribuyendo al desarrollo sostenible de los recursos y a la mejora de la calidad del agua.

Palabras clave: adsorción, nitratos, fosfatos, eficiencia, pirólisis.

ABSTRACT

Efficiency of activated carbon from agroforestry waste in the adsorption of nitrates and phosphates in the waters of the Rumiyacu microbasin

The adsorption of nitrates and phosphates in surface waters is a crucial research topic seeking alternatives to improve water quality and its environmental sustainability. In this context, the objective of the study carried out was to evaluate the efficiency of activated carbon from agroforestry waste in the adsorption of nitrates and phosphates in waters of the Rumiyacu microbasin, which had a period of 11 months, spanning from February to December 2023. First, the initial concentrations of nitrates and phosphates were determined, finding values of 43,95 mg/L and 57,53 mg/L, respectively. Then, activated carbon was obtained using rice and coffee husks as initial materials. This process included carbonization at different temperatures (500°C, 600°C and 700°C) for 30 minutes, along with chemical activation using phosphoric acid (37%). The ANOVA analysis revealed statistically significant differences in the concentrations of nitrates and phosphates obtained with the different treatments, showing that the stirring speed and carbonization temperature significantly affect the adsorption of these contaminants. The Tukey test indicated that speeds of 100 RPM and 200 RPM and carbonization temperatures of 500°C and 600°C differ significantly in removing nitrates and phosphates when using coffee husk charcoal. Specifically, it was demonstrated that the use of coffee husks as a precursor, carbonized at 600°C, achieved the best efficiency in the removal of nitrates (97,50%) and phosphates (67,32%), using 2.0 grams of activated carbon and a stirring speed of 100 RPM. Subsequently, a Student's test was performed to compare the removal efficiency between the rice husk and coffee-activated carbon treatments. The results indicated that, with a significance level of 0,05, no significant difference was found in the removal effectiveness between both treatments, maintaining the null hypothesis that both are equally effective for the removal of nitrates and phosphates. Finally, it was determined that the production of activated carbon from these agroforestry residues was economically viable, with a cost of S/27,50 per kilogram. This contrasts favorably with the commercial price of S/39,60 per kilogram in its most economical presentation. In conclusion, treatment using activated carbon from coffee and rice husks is not only economically viable, but also highly efficient. This study demonstrates the potential of agroforestry residues as precursors for the production of activated carbon, contributing to the sustainable development of resources and the improvement of water quality.

Keywords: adsorption, nitrates, phosphates, efficiency, carbonization.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El carbón activado es reconocido globalmente por su capacidad de adsorber diversas sustancias en forma líquida o gaseosa debido a su estructura altamente porosa. Esta propiedad, derivada de una superficie específica considerable, lo hace efectivo en la captura y retención de moléculas contaminantes. Cada gramo puede tener una superficie interna de miles de metros cuadrados, lo que lo convierte en una herramienta clave en la purificación de agua, tratamiento de residuos líquidos y eliminación de contaminantes atmosféricos. La inherente versatilidad lo ha llevado a ser usado en múltiples aplicaciones, desde la desintoxicación de productos químicos hasta el cuidado de la salud pública. (Basso et al., 2014).

En América Latina, específicamente países como Brasil, Colombia y Perú, conocidos por su riqueza en biodiversidad y vastas regiones amazónicas, se destacan como los principales productores de café (Fernández, et al., 2020). Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran amenazados por diversas formas de contaminación, que van desde la deforestación hasta la contaminación del suelo y el agua. A nivel global, la producción de café alcanza aproximadamente 9,5 millones de toneladas anuales, considerando la información generada por la Organización Internacional del Café. Este nivel de producción no solo refleja la demanda mundial de café, sino también la relevancia económica y social de este cultivo en la escena internacional.

La producción primaria del café se inicia con la cosecha, un proceso crucial en el cual se extrae el fruto de la planta de café. Lo relevante para el consumo final del café es la semilla contenida en este fruto, que se asemeja a una cereza o ciruela, rodeada por una cantidad considerable de carne. Para obtener la semilla en su forma limpia y lista para su procesamiento, es necesario separarla de la pulpa que la envuelve. Sorprendentemente, la semilla representa solamente el 20% del peso total del fruto, lo que significa que el 80% restante del material que rodea la semilla se desecha en este proceso de separación. Este dato resalta la eficiencia necesaria en la generación de café y el aprovechamiento máximo de los recursos para obtener el producto final deseado (Blanco, 2024).

En Perú, extensas áreas de cultivo están dedicadas exclusivamente al café y al arroz, destacando la necesidad de examinar el posible impacto ambiental de estas actividades. La producción de café, en particular, genera dos tipos de residuos principales: la pulpa y las aguas mieles, ambos con un pH que oscila entre 4,00 y 4,5. Esta acidez puede

provocar alteraciones significativas en los cuerpos de agua donde se depositan estos desechos (ISF, 2016). Como consecuencia, se produce una acumulación notable de subproductos, como las cascarillas de café y arroz, que actualmente tienen pocas aplicaciones efectivas y eficientes, lo que resalta la necesidad de buscar alternativas sostenibles para su gestión y aprovechamiento.

En octubre, el SISSIC proporcionó un informe detallado sobre el progreso del sembrado durante la campaña agrícola 2018-2019 en San Martín, registrando un total de 26,376 hectáreas sembradas. Este número refleja un aumento significativo de aproximadamente 5,400 hectáreas en comparación con la mediana de los últimos cinco años, según los datos recopilados por el Gobierno Regional de San Martín (GORESAM, 2019). Este incremento en la extensión de tierras cultivadas implica una mayor generación de residuos agrícolas en los diversos sectores productivos de la región, lo que subraya la importancia de implementar estrategias efectivas de gestión de estos desechos para minimizar su impacto ambiental y promover la sostenibilidad en la agricultura.

Los estudios indican que aproximadamente tres cuartas fracciones del peso seco de los productos derivados se componen de pulpa. Por otro lado, el agua utilizada a fin de los procesos de despulpe y transporte de la pulpa pierde el 50% de su masa seco, polucionando así el agua. De esta manera, los residuos agroforestales contribuyen significativamente a la contaminación de las aguas superficiales (Berger et al., 2022). Las microcuencas Rumiyacu, Mishquiyacu, Mishquiyaquillo y Almendra forman parte de la margen derecha de la cuenca del río Mayo. Actualmente, estos bienes se encuentran en un estado de escasez. Esto se debe a la colonización de habitantes en las zonas cercanas a los manantiales de agua, quienes tienden a deforestar estas áreas para convertirlas, en su mayoría, en campos agrícolas para el cultivo de café y pastizales. El resultado de este proceso continuo será la total desaparición de la diversidad biológica, el agotamiento del suelo, la expansión del desierto, la degradación del suelo, la disminución y contaminación de los recursos hídricos, así como la degradación general del medio ambiente (EPS - Moyobamba, 2004).

En un estudio llevado a cabo en las áreas de Conservación Municipal Rumiyacu, Misquillacu y Almendra, se identificaron las principales fuentes de contaminación. Estas incluyen las actividades de limpieza de café y ropa, así como los pozos ciegos ubicados a corta distancia de la quebrada, los cuales están causando la polución del agua. Además, la turbidez del agua, originada en la deforestación y agravada por las lluvias, también se destacó como un problema significativo en la degradación de las riberas.

Estos factores fueron identificados como los principales contribuyentes a la contaminación en estas áreas.

Debido esta problemática, han surgido diversas investigaciones con tecnologías como el carbón activado a base de productos agrícolas, los cuales buscan la descontaminación de las aguas a un bajo costo (Alemayehu et al., 2021). En ese sentido, se planteó el siguiente problema: ¿Cuál es la eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiyacu?, por lo que se persigue como objetivo general: Evaluar la eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en aguas de la microcuenca Rumiyacu. Los objetivos específicos fueron: determinar la concentración de nitratos y fosfatos en la microcuenca Rumiyacu; optimizar el proceso de elaboración de carbón activado a partir de cascarilla de café y de arroz; evaluar las características físicas de carbón activado manufacturado y comparar el costo de mercado del carbón activado con un producto local manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.

Esta investigación se justifica debido a la problemática identificada; teniendo como objetivo mejorar la calidad del agua, evaluada a través de aspectos físicos y químicos. Además, se buscaba proporcionar una solución para el problema generado por las aguas mieles, las cuales tienen impactos ambientales significativos que afectan los recursos naturales, así como la vida social y económica tanto a nivel local como nacional.

La investigación presenta cuatro capítulos iniciando con la introducción, revisión bibliográfica, la metodología y materiales que se emplearon para el desarrollo de la investigación y finalmente los resultados obtenidos de la experimentación, seguidos de las discusiones y conclusiones.

.

.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Ye et al. (2019), investigaron la eliminación de fosfatos en aguas residuales utilizando coagulantes metálicos (aluminio, hierro, calcio y magnesio) y evaluaron la influencia del pH en el proceso. En experimentos, encontraron que el aluminio fue el coagulante más eficiente, eliminando más del 95% de fosfatos a un pH de 5-7. Identificaron especies químicas y mecanismos de reacción, concluyendo que tanto el tipo de coagulante como el pH son factores clave en la eficiencia de la eliminación de fosfatos por coagulación química.

Wan et al. (2019), se enfocaron en el tratamiento de nitratos y fosfatos presentes en aguas residuales secundarias utilizando carbón activado en polvo como agente de adsorción. Mediante una serie de experimentos por lotes, se analizó la eficacia del proceso al ajustar la cantidad de carbón, el nivel de pH y la duración del contacto. Se observaron reducciones de hasta el 95% en los nitratos y el 85% en los fosfatos, con el máximo rendimiento logrado utilizando una dosis de 10 g/L de carbón, un pH de 7 y tiempos de contacto de 240 minutos. Los investigadores, de este estudio sugieren que el uso de carbón activado en polvo podría ofrecer una solución económica y prometedora para tratar simultáneamente los nitratos y fosfatos generadas de plantas de tratamiento.

Chaves y Franceschi (2019), examinaron la efectividad de tres tipos de carbón activado en la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Estos incluyeron carbón activado de origen mineral, vegetal y un tipo artesanal elaborado a partir de tusa de mazorca. Se realizaron pruebas utilizando diversas concentraciones de cada tipo de carbón y se varió el tiempo de contacto en cada caso. Los resultados más alentadores se observaron al emplear una concentración de 20 g/L tanto de carbón de tusa de mazorca como de carbón mineral, con 180 minutos de tiempo de contacto. Según los autores, estas soluciones representan opciones factibles para el tratamiento de residuos en la industria en cuestión.

Cárdenas et al. (2019), evaluaron la remoción de sustancias químicas de aguas residuales municipales mediante adsorción con carbón activado de cáscara de coco;

analizando el efecto de la dosis de carbón, pH y tiempo de contacto sobre la eficiencia de remoción; bajo condiciones optimizadas de 10 g/L de carbón, pH 2 y 90 minutos de contacto, se alcanzaron porcentajes de remoción de 85% para nitrato, 80% nitrito, 92% amonio y 95% fosfato, demostrando que este carbón activado es una opción eficiente para el tratamiento simultáneo de estos contaminantes en aguas residuales municipales.

Haile et al. (2022), utilizaron biocarbón derivado de residuos de palmera datilera para eliminar manganeso y nitrato en sistemas acuosos. Lograron altas eficiencias de eliminación (73,20% para manganeso y 94,94% para nitrato) con una dosis de 0,1 g de biocarbón. En columnas dinámicas, ajustar la profundidad del lecho y reducir el caudal mejoró las eficiencias de eliminación y las capacidades de adsorción (53,78% para manganeso y 45,40% para nitrato). La caracterización confirmó la adsorción de manganeso y nitrato en el biocarbón. Las condiciones óptimas se aplicaron en un estudio de columna de campo, cumpliendo con los estándares de agua potable de la OMS.

Zhang et al. (2020) en su investigación exploraron las capacidades de adsorción de biocarbón para eliminar compuestos de nitrógeno ($\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$) y fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$). El biocarbón no modificado demostró una baja capacidad de adsorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$, mientras que la eliminación de $\text{PO}_4\text{-P}$ se basó en la precipitación con metales/óxidos metálicos. Los biocarbones modificados por metales mostraron una mayor eficiencia en la adsorción de estos contaminantes. Las condiciones ambientales, como temperatura, pH e iones coexistentes, influyeron en la adsorción de N y P. Sin embargo, desafíos como la liberación endógena de nutrientes del biocarbón y la presencia de iones competidores en el agua deben abordarse antes de la aplicación generalizada del biocarbón para la eliminación de N y P.

A nivel nacional

Chauca y Tadeo (2021), realizaron un estudio en Carabayllo, Lima, evaluando filtros compuestos por cáscaras de coco y huevo para reducir fosfatos y nitratos en aguas residuales domésticas. Al variar las proporciones de cáscaras, obtuvieron reducciones significativas de hasta 95% en fosfatos y 85% en nitratos. El filtro más eficaz, consta de 70% de cáscara de coco y 30% de cáscara de huevo, demostrando ser altamente efectivo. Los autores concluyeron que estos filtros ecológicos de bajo costo representan una alternativa para el tratamiento descentralizado de efluentes domésticos y la eliminación de contaminantes en entornos locales.

Sánchez (2022), realizó la producción de carbón activado a partir de cáscaras de plátano para la adsorción de fosfatos. Los experimentos mostraron una capacidad máxima de 14,8 mg de fósforo/g de carbón, con una mayor adsorción en entornos ácidos. Aunque la eficiencia de remoción no fue reportada directamente, estimaciones sugieren un rendimiento cercano al 60% bajo las condiciones estudiadas. En resumen, el carbón activado de cáscara de plátano es un adsorbente prometedor y económico para la eliminación de fosfatos en soluciones acuosas.

Ramos, et al. (2021) estudiaron el uso de coagulantes naturales provenientes de tuna, plátano y papa para reducir fosfatos en aguas residuales de curtiembre en Perú. Mediante pruebas de jarras compararon la eficiencia de estos coagulantes naturales con productos químicos tradicionales como el sulfato de aluminio. Los resultados mostraron que la tuna alcanzó remociones de fosfatos de hasta un 83% con dosis de 300 mg/L, presentando una eficiencia similar a los coagulantes químicos. Los autores concluyeron que los coagulantes naturales representan una alternativa viable, de bajo costo y menor impacto ambiental para el tratamiento de efluentes de curtiembre.

Sánchez (2018), llevó a cabo la caracterización del carbón activado obtenido de la especie de bambú "*Guadua angustifolia Kunt*" utilizando el método químico. Investigó la obtención de carbón a partir de residuos de bambú, como tallos defectuosos y desechos de ramas. Los resultados revelaron propiedades fisicoquímicas notables, como contenido de humedad del 18,54% (M 8) y 26,70% (M 16); material volátil del 11,15% (M 8) y 12,57% (M 16); contenido de cenizas del 35,70 (M 8) y 27,39 (M 16); carbono fijo del 53,15% (M 8) y 60,04% (M 16); pH de 2,74 (M 8) y 2,81 (M 16) y densidad aparente (g/cm^3) de 0,56 (M 8) y 0,30 (M 16). Estos resultados subrayan la factibilidad de obtener carbón activado de alta calidad, presentando un considerable potencial aplicativo en la industria.

Chuquimboques et al. (2019), investigaron la eficacia del biochar derivado del bagazo de caña de azúcar en la eliminación de iones químicos en aguas residuales municipales. A través de 10 tratamientos experimentales, se determinó la dosis óptima de biochar (mg/mL) para lograr una eliminación sinérgica de estos contaminantes. Los resultados indicaron que se alcanzó una eliminación máxima del 95,7%, 94,6%, 72,0% y 57,0% para NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- y NO_3^- , respectivamente, dentro de un intervalo de tiempo de contacto de 3,50 a 3,75 horas y una dosis de biochar de 1,25 a 1,75 mg/mL. La validación de las correlaciones mostró coeficientes de determinación (R^2) de 93,01%, 96,12%, 96,15% y 57,59% para los modelos bivariados de NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- y NO_3^- , respectivamente, con un nivel de significancia del 95%.

A nivel local

Sánchez et al. (2017), su investigación se centra en la evaluación de la condición del agua del río Mayo, Moyobamba, San Martín, Perú. La investigación incluye un análisis de los niveles de contaminación del agua, incluyendo la presencia de nitratos, nitritos y fosfatos. Los resultados del estudio muestran que la condición del agua del río Mayo es afectada por la existencia de contaminantes y que se requieren medidas a fin de optimizar la condición del agua en la región. En general, el estudio sugiere que la presencia de nitratos y fosfatos en el agua es un problema en la región San Martín, Perú y que se necesitan medidas para abordar este problema y optimizar la condición del agua en la región.

Del Águila y Culqui (2020), investigaron la preparación de carbón activado usando cáscaras de plátano y su aplicación en la adsorción de nitratos y fosfatos de aguas contaminadas. El carbón se produjo mediante activación química con $ZnCl_2$, presentando una superficie porosa apta para adsorción. Los experimentos que variaron dosis de carbón y pH mostraron remociones de hasta 92% para nitratos y 89% para fosfatos en condiciones óptimas, alcanzándose el equilibrio a las 3 horas. Los autores concluyeron que esta sustancia constituye una alternativa sostenible y de bajo costo aplicable a la remediación de nitratos y fosfatos en aguas contaminadas de la región San Martín y otras zonas del Perú.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Carbón activado

Los carbones activados, junto con otros tipos de carbón, pertenecen al grupo de los materiales carbonosos, los cuales poseen características estructurales y propiedades análogas a las del grafito. A pesar de que la estructura cristalina del carbón activado guarda cierta similitud con la del grafito, su grado de ordenamiento estructural es inferior. Una de las propiedades más destacables de este material es su extraordinaria porosidad, la cual le confiere la capacidad de desarrollar superficies que abarcan desde los 500 hasta los 1 500,0 metros cuadrados, o incluso más, por cada gramo de carbón. Cabe destacar que la magnitud del área superficial del carbón activado está determinada tanto por el material de origen como por el método de activación empleado durante su producción (Avances Técnicos Cenicafé, 2010).

El carbón activado es un agente capaz de atrapar moléculas orgánicas en sus microporos. Se emplea en la depuración de líquidos y gases, y gracias a su superficie, logra capturar de manera efectiva los compuestos que conferirían color, olor y sabor al agua. La producción de carbón activado se lleva a cabo de materiales con alto contenido de carbono, como madera, turba, cáscaras de coco o aserrín, los cuales se someten a elevadas temperaturas para activarlos y aumentar su capacidad de absorción (Carbotecnia, 2023)

Es un material con una estructura porosa muy desarrollada que se usa en la purificación de líquidos y gases. Se produce a partir de sustancias ricas en carbono, como madera, turba, cáscaras de coco o aserrín, que se someten a altas temperaturas para activarlas y ampliar su capacidad de adsorción. Este proceso de activación, que puede ser térmico o químico, incrementa la superficie del carbón activado, permitiéndole absorber olores y sabores del agua (Himmelblau, 2023).

La estructura cristalina del carbón activado guarda similitud con la del grafito, siendo notablemente poroso y capaz de desarrollar áreas superficiales que varían entre 500 y 1 500,0 metros cuadrados, e incluso más, por cada gramo de carbón. La extensión de esta superficie porosa está condicionada por la materia prima empleada y el proceso de activación seleccionado (Editorial UNCA, 2023).

Composición química

La estructura química es principalmente carbono (C), y puede variar, esto depende de la materia prima utilizada y del método de activación. Por lo general, contiene más del 90% de carbono en peso. Además del carbono, puede contener pequeñas cantidades de hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y trazas de otros elementos. El contenido de cenizas (residuos inorgánicos) también puede estar presente en cantidades muy bajas, generalmente menos del 5% (Honorato & Rodrigues, 2019).

Es importante destacar que el carbón activado es conocido por su estructura porosa y área superficial extremadamente grande, lo que le confiere su capacidad de adsorción de sustancias orgánicas e inorgánicas en líquidos y gases (Honorato & Rodrigues, 2019).

a. Carbono Fijo

- Se refiere a la cantidad de carbono que queda después de que un material se quema a altas temperaturas (Himmelblau, 2023).

- El contenido de carbono fijo se utiliza para determinar el poder calorífico de la madera, que se refiere al porcentaje de energía que se puede obtener de combustión de la madera (Petrucci et al., 2023).

b. Materia Volátil

- La materia volátil se refiere a los componentes orgánicos de una sustancia que se evaporan a temperaturas relativamente bajas. En la química del petróleo, la materia volátil se refiere a los hidrocarburos que se evaporan a temperaturas inferiores a 538°C (1 000°F) y que se pueden recuperar mediante destilación fraccionada. La materia volátil juega un papel crucial en la descripción de los combustibles y en el análisis de su condición y rendimiento (ASTM International, 2021).
- La materia volátil comprende los hidrocarburos que pueden ser extraídos mediante destilación fraccionada y que contribuyen significativamente en el análisis de los combustibles, así como en la evaluación de su calidad y desempeño (Brady y Senese, 2021).

c. Cenizas Totales

Las cenizas totales se definen como la cantidad de desechos inorgánicos que queda luego de la incineración de un ejemplar de alimento a una temperatura específica (Secretaría de Economía, 2022).

Características del carbón activado

Es un material de estructura cristalina altamente porosa que se distingue por su notable afinidad hacia las moléculas gracias a los grupos funcionales en su superficie. Este material influye en el tamaño y en las propiedades de recuperación de los poros. Se clasifica en dos tipos: el carbón activado en forma de polvo, con un diámetro de 0,25mm o menos y el carbón granular, con un diámetro mayor a 0,25mm. Además, su área superficial y su volumen de poros lo convierten en una opción altamente competitiva en el desarrollo de tecnologías sostenibles (Carbotecnia, 2023).

Vamos a explorar ciertas características del carbón activado que se emplean para describir y evaluar su desempeño conforme a los estándares establecidos por la ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales). Estas propiedades incluyen:

- Número de Yodo: Cuantifica el número de miligramos de yodo que un gramo de carbón activado es capaz de adsorber en condiciones específicas. Un índice de

yodo elevado señala una activación eficaz del adsorbente, lo que certifica su confiabilidad para la eliminación de contaminantes de pequeño tamaño, en otras palabras, los de naturaleza microporosa (Du et al., 2021).

- Azul de metileno: La cantidad de Yodo constituye un indicador rápido que permite evaluar su posibilidad de absorción del carbón activado frente a moléculas de gran tamaño (Quisertec, 2002).
- Área de superficie: Se refiere a la extensión de los poros desarrollados en su matriz interna, y sirve como medida de su capacidad de absorción. El carbón activado suele poseer una superficie extremadamente amplia y se distingue por su alta proporción de microporos (poros de menos de 2 nanómetros). Estas características le otorgan propiedades de adsorción notables, las cuales pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones (García, 1996)

Tratamiento de aguas mediante carbón activado

El carbón activado es un sólido con dos propiedades distintivas que lo convierten en una herramienta invaluable para el tratamiento del agua. En primer lugar, tiene la capacidad de atrapar diversas sustancias perjudiciales naturales en sus estructuras porosas eficazmente que deja el recurso hídrico casi sin estas sustancias. El carbón activado tiene el potencial de eliminar el cloro residual libre que queda después de que el compuesto haya llevado a cabo su acción desinfectante. En el tratamiento del agua, esto significa que el carbón activado puede eliminar las cantidades remanentes de agentes oxidantes como el cloro y el ozono, así como los subproductos potencialmente cancerígenos como los trihalometanos que se generan durante estos procesos. El carbón activado absorbe estos productos o catalizando su transformación en tipos limitados e indefensos para el consumo humano (Colom de Morán y Morales de la Cruz, 2011).

2.2.2. Tipos de carbón activado

Según el tamaño de partícula del carbón, se pueden identificar tres variantes: en forma de polvo, gránulos y peletizado (Figura 1).

a) Polvo

El polvo de carbón es un contaminante común en la industria del carbón y puede ser peligroso para la salud si se inhala. El polvo de carbón puede contener partículas de sílice, metales pesados y otros contaminantes que pueden causar enfermedades respiratorias y otros problemas de salud. Además, el polvo de carbón puede ser un

riesgo de explosión en ciertas condiciones, como en las minas de carbón (Chang y Goldsby, 2017).

b) Granular

El carbón activado granular se caracteriza por su notable área superficial y por tener partículas que varían entre 1 mm y 5 mm de tamaño. Su excepcional capacidad de adsorción lo convierte en un componente fundamental en el proceso de aguas desechables durante los desarrollos terciarios. Estos sistemas se encargan de eliminar eficazmente la materia orgánica de los fluidos (Suárez et al., 2014).

c) Peletizado

Los carbones de este tipo presentan formas cilíndricas con diámetros uniformes, pero varían en longitud, que oscila entre 0,8 mm y 4,0 mm, según señala Vásquez (2018). Estos carbones activados se utilizan para llenar absorbentes o unidades de filtración destinadas a la purificación de aire o gas.

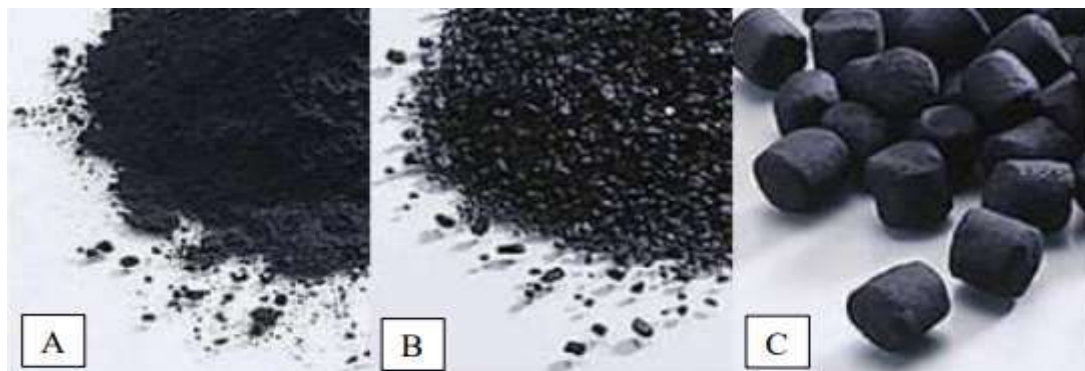


Figura 1
Tipos de carbón activado

2.2.3. Carbón activado y residuos agroforestales

El carbón activado elaborado a partir de residuos agrícolas y sus subproductos constituye una excelente alternativa para la adsorción. Estos materiales representan fuentes renovables de bajo costo, caracterizados por su elevada cantidad de carbono, poca cantidad de cenizas, contenido volátil significativo y una adecuada dureza (Jaya & Indira, 2022).

Residuos de arroz

La cascarilla de arroz, un subproducto de la industria molinera se obtiene tras separar el grano de arroz de los residuos. Este material orgánico se caracteriza por su poca tasa de descomposición, ligereza, buen drenaje y óptima aireación. No obstante, enfrenta

desafíos, como su limitada capacidad para retener humedad y la dificultad para lograr una distribución homogénea (humectabilidad). La humedad de la cascarilla de arroz se sitúa aproximadamente en un 10%, aunque esta cifra varía según la ubicación geográfica (Arévalo, 2009).

Así mismo, estos desechos son materiales abundantes y de bajo costo a base de celulosa. El potencial de utilizar desechos de arroz, como cáscara, paja y salvado, en la producción de biocompuestos es un objetivo crucial de la industria de los compuestos. La composición química es el factor principal que ofrece diversas aplicaciones posibles de los desechos de arroz en materiales basados en biocompuestos (Laftah & Wan, 2021).

A pesar de estas limitaciones, la cascarilla de arroz posee atributos notables. Es una excelente fuente de energía para diversas especies, especialmente para rumiantes, gracias a su elevada cantidad de grasa (12-15%) y almidón (23-28%). Además, presenta pocos grados de lignificación (2,5%) y una fracción fibrosa del 17,5%. Su contenido proteico es significativo y presenta una estructura en aminoácidos esenciales aproximadamente equilibrada. A destacar, su alto contenido en fósforo (1,35%), mayormente en forma de filatos (Arévalo, 2009).

Residuos de café

Siguiendo la perspectiva de Gunter Pauli, experto en sostenibilidad, se estima que la producción mundial de café genera más de 23 millones de toneladas de residuos cada año. Estos residuos abarcan desde la pulpa de las cerezas frescas de café hasta los envases que contienen los granos tostados que llegan al barista favorito (Duncan, 2018).

La cascarilla de café, que representa aproximadamente el 43% del peso de la cereza, se destaca como un residuo significativo que contribuye en gran medida a la contaminación global. Dada su abundancia en peso, este subproducto se convirtió en un área clave de estudio para la creación de nuevos productos. Su composición, rica en azúcares, le confiere un notable potencial industrial (Zheng, 2009).

Según las investigaciones de Zheng (2009), la cascarilla de café exhibe un impresionante poder calorífico de alrededor de 4 180 cal/g o 7 458 kcal/kg. Esta cascarilla está compuesta en un 87,7% por material volátil y tiene un tamaño que oscila entre 0,425 y 2,36 mm de diámetro. Estas propiedades la convierten en una materia prima idónea para la producción de biocombustibles.

2.2.4. Nitratos y fosfatos en aguas superficiales

Los indicadores de contaminación, en muchos casos, se encuentran en concentraciones elevadas y suelen mostrar una estratificación evidente, con las concentraciones más altas predominando en la parte superior de los acuíferos libres o freáticos (Vásquez, 2006).

Los nitratos en el agua son principalmente aprovechados por las algas y los peces para la síntesis de proteínas. Sin embargo, un exceso de nitratos en el agua puede desencadenar enfermedades graves tanto en bebés como en animales domésticos. Por otra parte, el fosfato juega un papel esencial como nutriente para transformar la luz solar en energía utilizable, un proceso crítico para el crecimiento y la reproducción celular (Zhou et al., 2020)

El impacto de los nitratos

Los nitritos y nitratos son compuestos químicos, que se utilizan comúnmente como conservantes en alimentos procesados, mientras que las nitrosaminas son compuestos químicos que se crean cuando los nitritos y nitratos reaccionan con aminas en los alimentos. En general, se aconseja ser cauto al consumir nitritos y nitratos que provienen de alimentos procesados debido a un posible aumento en el riesgo de cáncer. Los nitratos por sí mismos no son tóxicos para la salud humana, pero pueden convertirse en nitrosaminas cancerígenas durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos. Los niveles de nitratos y nitritos pueden variar significativamente en los alimentos, dependiendo de la ubicación y las condiciones de crecimiento (Almudena y Lizaso, 2010).

En los cuerpos de agua, ya sean de origen natural o provenientes de desechos, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos. Estos compuestos se dividen en tres categorías principales: ortofosfatos, fosfatos condensados (entre los que se encuentran los pirofosfatos y metafosfatos) y fosfatos orgánicos. Es posible encontrar estos fosfatos disueltos en el medio acuático, formando parte de partículas o restos de materia, así como en los organismos que habitan en estos ecosistemas. Cabe destacar que los fosfatos pueden tener múltiples orígenes, siendo diversas las fuentes que contribuyen a su presencia en el agua (Severiche et al., 2013).

Los fosfatos pueden encontrarse en agua en forma de solución, partículas o detritos, e incluso en los organismos acuáticos. Su origen es variado; se agregan como parte de ciertos tratamientos de agua y son comúnmente empleados como aditivos en detergentes para el lavado de ropa o limpieza en general. Lamentablemente, el uso de fertilizantes, abonos orgánicos y fitosanitarios, que contienen fosfatos, también contribuye negativamente a la presencia de estos compuestos en el agua. Esto ocurre

cuando, a través de la percolación, estos productos llegan a los acuíferos naturales (IISEHMER, 2015).

Según los ECA para agua, indican en el Decreto supremo N° 004-2017, que el límite máximo de nitratos y fosfatos presentes en el agua, no deben exceder los 50 mg/L y 0,459 mg/L, respectivamente (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.2.5. Tecnologías de absorción de nitratos y fosfatos

Batch o membranas

La captación de nitratos y fosfatos puede llevarse a cabo mediante diversos procedimientos, siendo frecuentes los enfoques de lotes (como en la eliminación biológica) y el uso de columnas de adsorción. También se emplearon disposiciones alternativas, como membranas artificiales fabricadas, abarcando membranas electrolíticas de nanofiltración multicapa (tal como se señala en Hale et al., 2013) y membranas de ósmosis inversa con intercambiadores de polímeros proporcionados por Dow Chemical (Lili et al., 2007).

MIEX

Se ha desarrollado una nueva tecnología de intercambio iónico que combina óxido de hierro hidratado en un sistema de columnas. Esta innovadora metodología ha permitido una regeneración exitosa y ha posibilitado la obtención de estruvita en forma de gránulos fertilizantes. Los estudios han revelado que las partículas regeneradas conservaron su capacidad operacional durante un período de hasta dos años sin presentar una reducción en su efectividad. Además, se ha logrado la remoción conjunta de fósforo y ácidos orgánicos utilizando resinas de intercambio magnético (MIEX), las cuales se complementaron con el uso de coagulantes para precipitar la materia orgánica. Ensayos realizados en bancos de prueba han verificado que, en este caso particular, no se observaron interferencias causadas por la presencia de bicarbonatos, fosfatos, nitratos o sulfatos (Morales et al., 2013).

Se ha aplicado la técnica de separación con superconductores magnéticos en soluciones inicialmente muy diluidas, logrando obtener un producto con una pureza que excede el 98%. En ninguna de estas instancias se detectaron interferencias que impactaran los resultados, y se demostró una eficacia de remoción sumamente alta, superando el 95% en el primer caso y el 90% en el último. No obstante, es claro que los factores determinantes para la capacidad de absorción y desorción varían dependiendo del tipo de material utilizado (Xuechu et al, 2009).

2.2.6. Calidad del agua de la microcuenca Rumiayacu

El Mishquiyacu, una quebrada que cruza la ciudad de Moyobamba de Este a Oeste, desemboca en las aguas del Rumiayacu. A lo largo de su curso, se nutre de pequeñas quebradas que finalmente se unen al río Mayo. La relevancia de la quebrada Mishquiyacu-Rumiayacu radica en que contiene el inicial medio de agua para la población de Moyobamba, que cuenta con más de 85 000,00 habitantes, según el Registro de Usuarios de EPS-Moyobamba SRLTDA (PMO-Moyobamba, 2013).

La microcuenca, debido a sus condiciones geológicas y vegetación, tiene una destacada capacidad para retener agua. Los manantiales, ubicados a 8,5 km al Nor-Este de la ciudad a una altitud de 3032 msnm, generan un caudal de 100 litros por segundo (lps). Aproximadamente 72 lps de este caudal se destinan al abastecimiento de la población. Los habitantes de la microcuenca, cuya principal actividad es la agricultura, utilizan el agua de las quebradas para consumo humano y para el lavado del café. Además, los destinos turísticos como Selva Paraíso y los baños termales de San Mateo, ubicados en la parte media y baja de la microcuenca, son grandes consumidores de agua de esta fuente. Debido a su constante producción, actualmente es inicial medio de agua para la ciudad de Moyobamba (PMO-Moyobamba, 2013).

2.2.7. Marco legal

Estándares de Calidad Ambiental – Agua (ECA).

La implementación de este instrumento es fundamental para regular la concentración o nivel de elementos o sustancias en el agua. Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua establecen las concentraciones que no deben ser sobrepasadas, con el propósito de proteger los recursos hídricos y fomentar el desarrollo sostenible. Estos estándares se dividen en cuatro categorías, según lo establecido en la norma (Instituto de la Calidad Ambiental, 2023). A continuación, se presenta la categoría 4:

Tabla 1
Estándares de calidad ambiental para el agua – Categoría 4

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

- Área geográfica: San Martín
- División territorial: Moyobamba
- Subdivisión administrativa: Moyobamba
- Institución: Universidad Nacional de San Martín
- Unidad académica: Escuela de Posgrado



Figura 2
Ubicación lugar de estudio

3.1.2. Periodo de ejecución

La duración del presente proyecto abarcó 11 meses, desde febrero hasta diciembre de 2023.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se solicitó permiso para el uso del laboratorio de ingeniería Sanitaria de la UNSM.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Los experimentos se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Sanitaria, siguiendo los protocolos de control ambiental y bioseguridad establecidos como política o medida interna.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Durante la realización de esta investigación se aplicaron los principios éticos de conducta responsable en investigación.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

- **Variable independiente (X)**

Carbón activado de residuos agroforestales (cascarilla de café y de arroz).

- **Variable dependiente (Y)**

Adsorción de nitratos y fosfatos en aguas de la microcuenca Rumiyacu

Tabla 2

Descripción de variables por objetivo específico

Objetivo específico № 1: Determinar la concentración de nitratos y fosfatos en la microcuenca Rumiyacu.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Concentración de nitratos y fosfatos	Concentración de Nitratos (NO_3^-)	Espectrofotómetro DR 1900	mg/L
	Concentración de Fosfatos (PO_4^{3-})	Espectrofotómetro DR 1900	mg/L

Objetivo específico № 2: Optimizar el proceso de elaboración de carbón activado a partir de cascarilla de café y de arroz.

Obtención de carbón activado	Empleando ácido fosfórico como agente impregnante	Razón de impregnación	gramos (gr)
		Tiempo	Horas (h)
		Temperatura	°C
Capacidad de reducción de los nitratos y fosfatos	Estableciendo la cantidad de adsorbente y velocidad de mezcla	Cantidad de adsorbente	Gramos (gr)
		Velocidad de agitación	Revoluciones por minuto (rpm)

		Potencial de hidrógeno	Unidades pH
Objetivo específico Nº 3: Evaluar las características físicas de carbón activado manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.			
		Humedad	porcentaje
Caracterización de carbón activado manufacturado	Características físicas	Cenizas	porcentaje
		Carbono fijo	porcentaje
		Materia volátil	porcentaje
Objetivo específico Nº 4: Comparar el costo de mercado del carbón activado con un producto local manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.			
Comparación del costo de mercado de carbón activado vs. carbón activado a partir de cascarilla de café y arroz	Estableciendo el costo de producción de carbón activado de cascarilla de café y arroz	Costo de producción de carbón activado de cascarilla de café y arroz	Nuevos soles (S/).

3.3. Procedimientos de la investigación

3.3.1. Objetivo específico 1

Determinar la concentración de nitratos y fosfatos en la microcuenca Rumiyacu.

- **Selección y ubicación del punto de recolección**

Con la ayuda del GPS se identificaron diversos puntos cercanos a la microcuenca Rumiyacu en donde actualmente se llevan a cabo las actividades de cosecha de arroz y café. El objetivo fue determinar el punto de muestreo más cercano, desde donde las muestras fueron llevados al laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología, en donde se desarrollaron los análisis y tratamientos requeridos.

Toma de muestras

Se llevaron a cabo la recolección de muestra haciendo uso de botellas o recipientes, así mismo, se hizo uso de un cooler de 10 L para así mantener la temperatura de las muestras al momento de ser trasladadas al laboratorio de Ingeniería Sanitaria.

Tabla 3

Equipos de medición para nitratos y fosfatos

Parámetro de estudio	Equipo	Marca
Nitratos	Espectrofotómetro DR 1	HANNA
Fosfatos	900	HANNA

• **Medición de las concentraciones de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiyacu.**

Se analizaron las aguas de la microcuenca Rumiyacu mediante la determinación de las concentraciones de los parámetros de estudio, específicamente los nitratos y fosfatos. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología, utilizando los equipos y materiales necesarios. Durante este proceso, se siguieron detalladamente los protocolos de medición recomendados por cada marca o empresa de los equipos utilizados.

Tabla 4

Procedimientos de medición de los nitratos y fosfatos

Parámetro	Procedimiento
Nitratos	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar en un vaso precipitado 100 mL de la muestra de agua. • Añadir 10 mL en el tubo de ensayo y agregar el reactivo de medición. Homogenizar la mezcla mediante agitación • Estabilizar el equipo (Espectrofotómetro DR1900) • Realizar la medición del parámetro de estudio
Fosfatos	

Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para agua

Se llevó a cabo la comparación de las concentraciones iniciales, por las cantidades indicadas por los ECA para agua de ríos, con la finalidad de demostrar la problemática a tratar.

3.3.2. Objetivo específico 2

Optimizar el proceso de elaboración de carbón activado a partir de cascarilla de café y de arroz.

- **Obtención de carbón activado a partir de cascarilla de café y de arroz**
 1. **Selección y ubicación del punto de recolección:** Se establecieron dos puntos donde se recolectaron la cascarilla de café y arroz para luego ser llevados al laboratorio de Ingeniería Sanitaria para la ejecución del proceso de elaboración del carbón activado
 2. **Lavado de la materia prima:** Una vez obtenido la materia prima (cascarilla de café y arroz) se procedió a limpiarla.
 3. **Secado de la cascarilla de café:** Después del lavado de la materia prima, se procedió al secado regular y recurrente en la estufa.
 4. **Pesado de la cascarilla de café:** Se realizó el pesado de la materia en una balanza analítica, y se seleccionaron las diversas proporciones. Se realizó la carbonización, en una mufla a 500, 600 y 700 °C
 5. **Preparación de carbón activado:** Se procedió a la elaboración del carbón activado con la metodología de la activación fisicoquímica, en donde se usó ácido fosfórico (H_3PO_4) al 37% de concentración.
 6. **Proceso de tratamiento y análisis:**

Una vez obtenido el carbón activado, se procedió a la aplicación del tratamiento a las muestras para su posterior análisis.

- **Capacidad de reducción del carbón activado de los parámetros en estudio (nitratos y fosfatos).**
 1. La cantidad de carbón activado a emplear se realizó por variaciones de peso (1, 1,5 y 2,0 gr) en muestras de 100 mL.
 2. El establecimiento de la velocidad de mezcla adecuada se generó por variaciones de velocidad (100, 200 y 300 rpm).
 3. El tiempo de agitación de la mezcla fue de 3 min para todos los ensayos

4. La determinación del carbón activado obtenido (500, 600, 700 °C), se realizó mediante el análisis del porcentaje de reducción de los parámetros evaluados.

Determinación de los valores de remoción

Se empleó la siguiente fórmula para calcular la eficacia de eliminación de los parámetros analizados en las aguas residuales o aguas mieles (Valencia, et al. 2012).

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{\text{Conc. Entrada} - \text{Conc. Salida}}{\text{Conc. Entrada}} \times 100$$

3.3.3. Objetivo específico 3

Evaluar las características del carbón activado manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.

Preparación de las muestras: Se recolectaron muestras representativas del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de café y del carbón activado obtenido a partir de la cascarilla de arroz.

Determinación del % de Humedad:

- d. Se pesó una muestra de carbón activado y anotó como "Peso inicial" (W_i).
- e. Se secó la muestra en un horno a una temperatura específica hasta que se alcanzó el peso constante. Se anotó el peso final como "Peso seco" (W_s).
- f. Finalmente se aplicó la siguiente fórmula

$$\% \text{ de Humedad} = [(W_i - W_s) / W_i] \times 100$$

Fuente: (Christian et al., 2013)

Determinación del % de Cenizas:

Se quemó una muestra de carbón activado a una temperatura elevada hasta que quede solo ceniza. Luego se pesó la ceniza residual y finalmente se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Cenizas} = [(\text{Peso de la ceniza} / \text{Peso inicial}) \times 100]$$

Fuente: (Christian et al., 2013)

Determinación del % de Carbono Fijo:

- g. Se pesó una muestra de carbón activado y se anotó como "Peso inicial" (W_i).
- h. Se calentó la muestra a una temperatura alta en un ambiente sin oxígeno hasta que dejó de perder peso. Se anotó el peso final como "Peso de carbono fijo" (W_{cf}).
- i. Finalmente se aplicó la siguiente fórmula:

$\% \text{ de Carbono Fijo} = [(W_{cf} / W_i) \times 100]$

Fuente: (Christian et al., 2013)

Determinación del % de Material Volátil:

Se utilizó los resultados anteriores para calcular el % de material volátil. Finalmente se aplicó la siguiente fórmula:

$\% \text{ de Material Volátil} = 100 - (\% \text{ de Humedad} + \% \text{ de Cenizas} + \% \text{ de Carbono Fijo})$

Fuente: (Christian et al., 2013)

3.3.4. Objetivo específico 4

Comparar el costo de mercado del carbón activado con un producto local manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.

Una vez obtenido los resultados del tratamiento empleando carbón activado de cascarilla de café y arroz a nivel laboratorio, se procedió a calcular el costo de producción del producto para posterior a eso compararlo con el costo que conllevaría tratarlo con un carbón activado comercial.

3.3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se emplearon los procesadores informáticos con el objetivo de examinar y procesar de forma secuencial los resultados obtenidos. Se utilizaron los programas siguientes:

Word: para explicar y manejar la información adquirida y recopilada a lo largo del estudio.

Excel: para analizar y organizar los datos cuantitativos que se presentarán a través de tablas y gráficos.

Las concentraciones de los parámetros estudiados fueron evaluadas durante el proceso de desarrollo del proyecto para luego analizar los resultados con los ECA que establece la Normatividad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la concentración de nitratos y fosfatos en la microcuenca Rumiyacu.

Para evaluar la eficacia del tratamiento aplicado en el presente estudio, se procedió a medir las concentraciones de los parámetros mencionados. Para llevar a cabo este proceso, se realizó la recopilación de muestras en un punto estratégicamente seleccionado dentro de la microcuenca Rumiyacu. Sin embargo, previo a esto fue necesario identificar las zonas cercanas a la microcuenca donde se efectúa la cosecha de café y arroz. Una vez localizados estos puntos, se optó por seleccionar el más cercano al río para la toma de muestras de agua. Los puntos identificados se detallan a continuación:

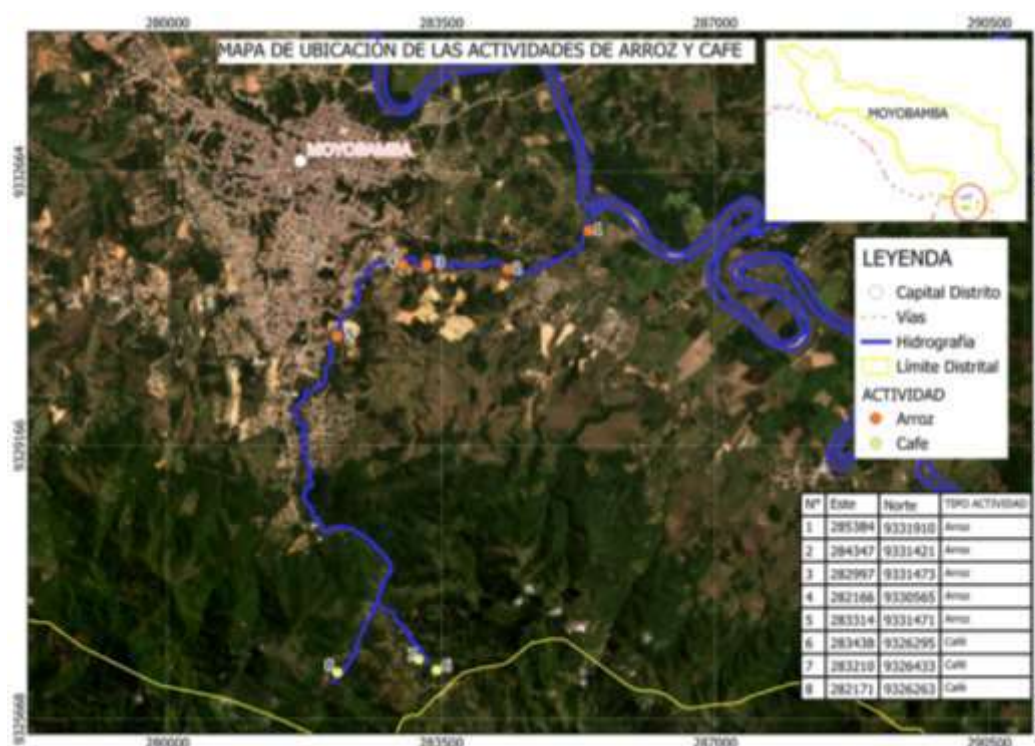


Figura 3
Puntos de cosecha de café y arroz de la microcuenca Rumiyacu.

Para la toma de muestras se tuvo en cuenta una frecuencia quincenal por un lapso de dos meses (Enero y Febrero), con la finalidad de analizar su variabilidad y concentración inicial; considerando que son etapas de actividad agrícola en la zona. Es importante destacar que se recopilaban muestras en los puntos 5 y 8. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

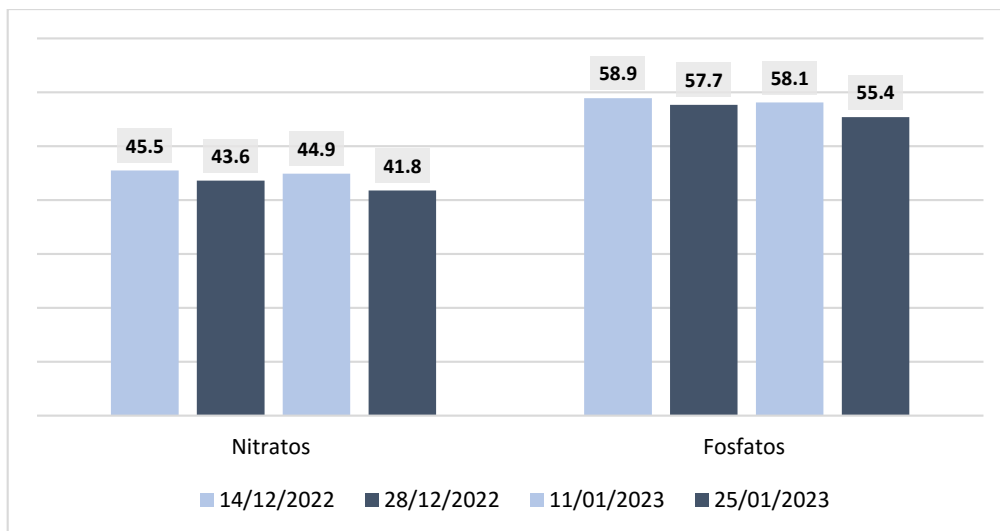


Figura 4

Concentraciones iniciales de los nitratos y fosfatos de las aguas de la quebrada Rumiyacu.

El gráfico refleja la variabilidad en las concentraciones iniciales de nitratos y fosfatos a lo largo de las fechas de muestreo. Se destaca una tendencia decreciente en ambos parámetros a medida que avanza el tiempo. Esta puede deberse a una combinación de diversos factores, los cuales pueden ser las condiciones climáticas, procesos naturales y posibles cambios en las actividades humanas dentro de la microcuenca.

Posteriormente, se calculó el promedio de las concentraciones iniciales obtenidas para cada uno de los parámetros. Estos valores fueron utilizados para llevar a cabo la comparación después del tratamiento.

Tabla 5

Promedio de las concentraciones iniciales de nitratos y fosfatos en las aguas de la quebrada Rumiyacu

Parámetros	Unidad	Concentración
Nitratos (NO_3^-)	mg/L	43,95
Fosfatos (PO_4^{3-})	mg/L	57,53

Se realizó una comparación entre las concentraciones iniciales obtenidas en el análisis y los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para el agua, específicamente los de la Categoría 4. Estos estándares están orientados a la conservación de los cuerpos de agua, y en este caso, se utilizó el criterio E2, que es aplicable a ríos y otros ecosistemas acuáticos, con el fin de proteger el ambiente y los recursos hídricos.

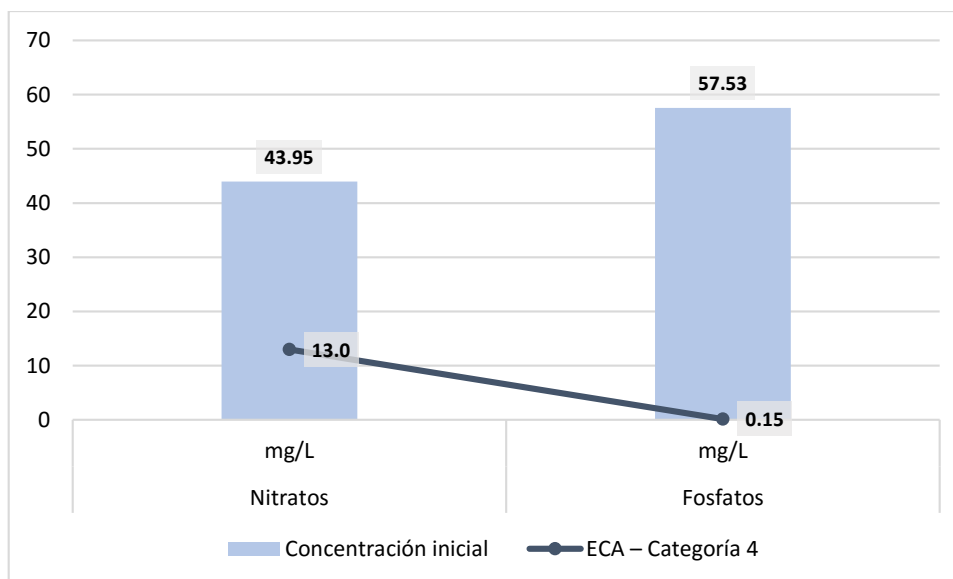


Figura 5
Comparación concentraciones iniciales de nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) vs ECA.

El análisis del gráfico anterior muestra que las concentraciones encontradas en las muestras iniciales de la microcuenca Rumiyacu superan los límites permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Este resultado destaca el problema central de esta investigación. En particular, los niveles de fosfatos son mucho más altos que el límite de 0,15 mg/L, lo que indica un deterioro de la calidad del agua. Asimismo, se detecta un exceso de nitratos, aunque en menor medida

4.2. Optimización del proceso de elaboración de carbón activado a partir de cascarilla de café y de arroz.

En el presente estudio, se llevó a cabo un proceso de carbonización en múltiples etapas para obtener el carbón activado. Esta metodología permitió optimizar el proceso mediante diversos ensayos que emplearon diferentes temperaturas de carbonización. Las materias primas utilizadas consistieron en cascarilla de arroz y café, las cuales fueron expuestas a temperaturas de 500°C, 600°C y 700°C con el fin de determinar el resultado óptimo.

Además, es relevante indicar que actualmente se encuentran mayor cantidad de estudios que emplean otras materias primas, como el endocarpio de coco. Por ello, se buscó alternativas nuevas utilizando productos locales, como la cascarilla de café y arroz, que son fácilmente accesibles en la zona. Por lo general, estos residuos terminan contribuyendo a la contaminación de las fuentes de agua naturales. Es importante resaltar que las materias primas utilizadas fueron recolectadas en los puntos mencionados en el objetivo 1.

En resumen, la optimización del proceso de elaboración de carbón activado se logró mediante la experimentación con diferentes etapas de carbonización y temperaturas, junto con un análisis detallado de los resultados para seleccionar el proceso más adecuado que garantice el mejor resultado.

Para la producción del carbón activado, se procedió a realizar la activación química utilizando una solución de ácido fosfórico al 37% de concentración. En este proceso, se prestó una atención especial a la temperatura de carbonización-activación, ya que esta juega un papel crítico en la formación del centro activo del carbón y en la creación de sus diversos poros, que abarcan macroporos, mesoporos y microporos. Para obtener más detalles sobre este proceso, ver Anexo 1.

La etapa de carbonización de todas las materias primas tuvo una duración de 30 minutos. Es importante destacar que para la implementación del tratamiento se tomaron en cuenta dos factores clave: el peso y la velocidad de agitación. El objetivo fue determinar las condiciones óptimas que permitieran obtener un carbón activado altamente eficiente en la remoción de nitratos y fosfatos. Los resultados del tratamiento se muestran a continuación.

- **Tratamiento con carbón activado a partir de cascarilla de arroz**

Para el proceso siguiente, se utilizó carbón activado derivado de la cascarilla de arroz, producido a temperaturas de 500°C, 600°C y 700°C. Se prepararon muestras de 100 mL de agua de la microcuenca Rumiyacu, a las que se les añadieron cantidades específicas (1,0 g, 1,5 g y 2,0 g), y se sometieron a agitación a tres velocidades diferentes (100, 200 y 300 RPM) para cada muestra. A continuación, se exponen los resultados alcanzados para cada uno de los parámetros investigados:

Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos

Tabla 6

Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz

Carbonización	Cantidades de carbón activado	Velocidades de agitación		
		100 RPM	200 RPM	300 RPM
Concentraciones post tratamiento				
500°C	1,0 g	2,7	1,7	2,2
	1,5 g	1,4	1,0	2,6
	2,0 g	1,8	1,2	2,1
600°C	1,0 g	2,4	2,4	1,4
	1,5 g	2,2	0,8	0,9
	2,0 g	1,9	2,2	d0,9

	1,0 g	3,1	1,5	1,4
700°C	1,5 g	3,7	1,8	1,1
	2,0 g	1,5	1,0	1,2

Los resultados del estudio indican que la eficacia del carbón activado en la reducción de concentraciones varía según la temperatura de carbonización, siendo el más eficiente el producido a 600°C, al utilizar 1,5 gramos de este carbón con una agitación de 200 RPM, se logró una concentración mínima de 0,8. En comparación, el carbón activado a 500°C mostró resultados mixtos, mientras que el obtenido a 700°C fue efectivo al emplear 2,0 gramos a la misma velocidad de agitación. Sin embargo, la carbonización a 600°C se destacó como la opción más consistente y efectiva para este proceso. Estos hallazgos son fundamentales para optimizar el uso del carbón activado en aplicaciones industriales.

Prueba estadística

Al aplicar la prueba estadística ANOVA se halló que la velocidad de agitación tiene un efecto significativo sobre la concentración (Ver anexo 2). Por lo que se procedió a calcular Prueba de Tukey para el factor de velocidad de agitación, a continuación, se exhiben los resultados.

Tabla 7

Prueba de Tukey para el factor "velocidad de agitación" – Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz

Comparación	Diferencia de medias	Valor crítico ($\alpha = 0,05$)	Conclusión
100 - 200	0,7889	0,6335	Significativo
100 - 300	0,7667	0,6335	Significativo
200 - 300	-0,0222	0,6335	No significativo

La prueba de Tukey muestra que las velocidades de 100 RPM y 200 RPM difieren significativamente, al igual que las velocidades de 100 RPM y 300 RPM. No hay diferencia significativa entre las velocidades de 200 RPM y 300 RPM, lo que sugiere que estas dos velocidades de agitación producen resultados similares.

Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos

Tabla 8

Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz

Carbonización	Cantidades de carbón activado	Velocidades de agitación		
		100 RPM	200 RPM	300 RPM
Concentraciones post tratamiento				
500°C	1,0 g	58,1	36,7	46,5
	1,5 g	32,5	34,4	20,5
	2,0 g	39,3	20,2	23,1
600°C	1,0 g	61,0	50,9	47,3
	1,5 g	48,8	45,4	46,0
	2,0 g	51,9	44,4	47,2
700°C	1,0 g	47,5	47,7	20,5
	1,5 g	47,6	33,5	20,1
	2,0 g	33,6	21,5	24,9

Los resultados de la tabla muestran cómo varía la eficacia del carbón activado hecho con cascarilla de arroz carbonizada a diferentes temperaturas para reducir contaminantes. El mejor rendimiento se obtuvo con 2,0 gramos de carbón activado a 500°C y una agitación de 200 RPM, logrando una concentración mínima de 20,2. A 600°C, el carbón era menos efectivo, con concentraciones más altas. En cambio, el carbón activado a 700°C fue prometedor, alcanzando 20,1 de concentración con 1,5 gramos a 300 RPM. En resumen, las temperaturas de 500°C y 700°C son las más efectivas, mejorando con más agitación y más cantidad.

Prueba estadística

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para este conjunto de resultados, revelando que la velocidad de agitación tiene un efecto significativo en las concentraciones después del tratamiento (Ver Anexo 2). Posteriormente, se llevó a cabo la Prueba de Tukey para el factor de velocidad de agitación, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 9

Prueba de Tukey para el factor "velocidad de agitación" – Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz

Comparación	Diferencia de medias	Valor crítico ($\alpha = 0,05$)	Conclusión
100 - 200	9,3444	11,5828	No significativo
100 - 300	11,9333	11,5828	Significativo
200 - 300	2,5889	11,5828	No significativo

Los análisis estadísticos indican que tanto la velocidad de agitación como la interacción entre velocidad y proceso de carbonización tienen un impacto significativo en la concentración final de fosfatos al emplear carbón activado derivado de cascarilla de arroz. Además, se concluye que la velocidad de 100 RPM difiere significativamente de la de 300 RPM, mientras que no se observan diferencias significativas entre las demás velocidades.

- **Tratamiento con carbón activado a partir de cascarilla de café**

En este proceso se utilizó carbón activado derivado de la cascarilla de café, el cual se produjo a temperaturas de 500°C, 600°C y 700°C. Para los ensayos se emplearon muestras de agua de la microcuenca Rumiyacu, de 100 mL cada una, a las que se les añadieron cantidades específicas (1,0 g, 1,5 g y 2,0 g) del producto. Posteriormente, se sometieron a agitación a tres velocidades diferentes para cada muestra. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros en estudio.

Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos

Tabla 10

"Concentraciones post tratamiento del parámetro Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café"

Carbonización	Cantidades de carbón activado	Velocidades de agitación		
		100 RPM	200 RPM	300 RPM
Concentraciones post tratamiento				
500°C	1,0 g	3,1	1,5	2,7
	1,5 g	2,0	1,9	2,7
	2,0 g	1,9	1,9	3,2
600°C	1,0 g	1,0	2,1	1,7
	1,5 g	1,0	2,4	2,6
	2,0 g	1,1	2,1	2,4
700°C	1,0 g	1,0	2,1	1,7
	1,5 g	1,0	2,4	2,6
	2,0 g	1,1	2,1	2,4

El rendimiento óptimo en la reducción de nitratos se logró utilizando 1 gramo de carbón activado producido a temperaturas de 600°C y 700°C, alcanzando una concentración mínima de 1,0, mientras que el carbón activado producido a 500°C fue menos efectivo, mostrando concentraciones más altas. Además, las pruebas indicaron que velocidades de agitación más altas, como 300 RPM, tendían a aumentar las concentraciones de nitratos en comparación con velocidades más bajas. En conclusión, el carbón activado producido a 600°C o 700°C es el más eficaz para este proceso, especialmente cuando se usa a velocidades de agitación más bajas y con menores cantidades de carbón activado.

Prueba estadística

Al aplicar la prueba estadística ANOVA en este grupo de resultados se halló que el factor de velocidad de agitación y carbonización tienen un efecto significativo sobre las concentraciones de fosfatos (Ver anexo 2). Por lo que se procedió a calcular la Prueba de Tukey, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 11

Prueba de Tukey para el factor "velocidad de agitación" – Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café

Comparación	Diferencia de medias	Valor crítico ($\alpha = 0,05$)	Conclusión
100 – 200	-0,8000	0,6173	Significativo
100 – 300	-0,7556	0,6173	Significativo
200 – 300	0,0444	0,6173	No significativo

Tabla 12

Prueba de Tukey para el factor "carbonización" - Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café

Comparación	Diferencia de medias	Valor crítico ($\alpha = 0,05$)	Conclusión
500 – 600	0,6889	0,6173	Significativo
500 – 700	0,6889	0,6173	Significativo
600 – 700	0,0000	0,6173	No significativo

Según las pruebas estadísticas realizadas, tanto la velocidad de agitación como la temperatura de carbonización tienen un impacto significativo en la concentración de nitratos. Las velocidades de agitación de 100 RPM y 200 RPM muestran diferencias notables en su efecto, lo mismo ocurre entre 100 RPM y 300 RPM, mientras que las velocidades de 200 RPM y 300 RPM no presentan diferencias significativas. En cuanto a

la temperatura de carbonización, las temperaturas de 500°C y 600°C, así como 500°C y 700°C, muestran diferencias significativas en su impacto, mientras que no hay una diferencia significativa entre 600°C y 700°C.

Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos

Tabla 13

Concentraciones post tratamiento del parámetro Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café

Carbonización	Cantidades de carbón activado	Velocidades de agitación		
		100 RPM	200 RPM	300 RPM
Concentraciones post tratamiento				
500°C	1,0 g	43,6	35,1	37,4
	1,5 g	29,9	21,3	41,2
	2,0 g	26,3	27,5	30,2
600°C	1,0 g	25,9	35,2	24,3
	1,5 g	22,7	40,1	38,2
	2,0 g	18,8	21,1	21,7
700°C	1,0 g	25,9	35,2	24,3
	1,5 g	22,7	40,1	38,2
	2,0 g	18,9	21,1	21,7

El estudio muestra que el rendimiento óptimo en la reducción de fosfatos se alcanza con 2 gramos de carbón activado producido a 600°C y una agitación de 100 RPM, logrando una concentración mínima de 18,8. El carbón activado a 500°C es menos efectivo, mientras que el carbón a 700°C también es eficiente, con una concentración de 18,9 a 2,0 gramos y 100 RPM. En general, las temperaturas de 600°C y 700°C producen el carbón activado más eficaz, especialmente con mayores cantidades y velocidades de agitación más bajas.

Prueba estadística

Finalmente se aplicó la prueba estadística ANOVA en este grupo de resultados, hallándose que la carbonización, la interacción entre velocidad y cantidad, y la interacción entre velocidad y carbonización tienen un efecto significativo sobre las concentraciones de fosfatos (Ver anexo 21). Por lo que fue necesario aplicar la Prueba de Tukey, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 14

Prueba de Tukey para el factor "carbonización" – Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café

Comparación	Diferencia de medias	Valor crítico ($\alpha = 0,05$)	Conclusión
500 – 600	6,5444	8,2615	No significativo
500 – 700	6,5444	8,2615	No significativo
600 – 700	0,0000	8,2615	No significativo

La prueba de Tukey no muestra diferencias significativas entre las temperaturas de carbonización.

Finalmente, teniendo en cuenta la hipótesis:

H0: Al menos uno de los factores o interacciones (velocidad de agitación, cantidad y carbonización), no tienen un efecto significativo sobre las concentraciones.

H1: Al menos uno de los factores o interacciones (velocidad de agitación, cantidad y carbonización), tienen un efecto significativo.

Interpretación:

Se puede concluir que la velocidad de agitación y la carbonización son los factores que más influyen en las concentraciones, aunque su efecto varía dependiendo del conjunto de datos analizado. Además, algunas interacciones entre factores también pueden tener un efecto significativo en ciertos casos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0) de que ningún factor o interacción tiene un efecto significativo sobre las concentraciones, y se acepta la hipótesis alternativa (H1) de que al menos uno de los factores o interacciones tiene un efecto significativo.

Condiciones óptimas

Considerando los resultados obtenidos en los ensayos anteriores, se identificaron las condiciones experimentales que lograron una reducción significativa tanto de nitratos como de fosfatos. A continuación, se presentan los mejores resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, indicando las condiciones experimentales que condujeron a ello:

Tabla 15
Condiciones óptimas empleando carbón activado de cascarilla de arroz y café

Carbón					
activado a partir de	Carbonización	Cantidades	Velocidad	Nitratos	Fosfatos
Cascarilla de arroz	500 °C	1,5	300 RPM	2,6	20,5
		2,0	200 RPM	1,2	20,2
	600 °C	-	-	-	-
		1,0	300 RPM	1,4	20,5
		1,5	300 RPM	1,1	20,1
		2,0	200 RPM	1,0	21,5
Cascarilla de café	500 °C	1,5	200 RPM	1,9	21,3
		2,0	100 RPM	1,1	18,8
	600 °C	2,0	200 RPM	2,1	21,1
		2,0	100 RPM	1,1	18,9
		2,0	200 RPM	2,1	21,1
		2,0	200 RPM	2,1	21,1

Eficiencia de los carbones activados obtenidos en la adsorción de nitratos y fosfatos

Teniendo en cuenta las condiciones óptimas previamente establecidas, incluyendo la temperatura de carbonización, la cantidad del producto y la velocidad de agitación, a continuación, se presenta el porcentaje de eficiencia para cada uno:

- **Carbón activado a partir de cascarilla de arroz**

Se calculó la eficiencia correspondiente a cada uno de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios:

Temperatura de carbonización 500 °C

1. Primer escenario

Cantidad: 1,5 g

Velocidad: 300 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-2,6)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 94,08\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-20,5)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 64,37\%$$

2. Segundo escenario

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 200 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,2)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 97,27\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-20,2)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 64,89\%$$

Temperatura de carbonización 700 °C**1. Primer escenario**

Cantidad: 1,0 g

Velocidad: 300 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,4)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 96,81\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-20,5)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 64,37\%$$

2. Segundo escenario

Cantidad: 1,5 g

Velocidad: 300 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,1)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 97,50\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-20,1)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 65,06\%$$

3. Tercer escenario

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 200 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,0)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 97,72\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-21,5)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 62,63\%$$

- **Carbón activado a partir de cascarilla de café**

Se ha calculado la eficiencia de los resultados obtenidos en los distintos escenarios utilizando carbón activado producido a partir de cascarilla de café:

Temperatura de carbonización 500 °C**1. Primer escenario**

Cantidad: 1,5 g

Velocidad: 200 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,9)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 95,68\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-21,3)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 62,98\%$$

Temperatura de carbonización 600 °C**1. Primer escenario**

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 100 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,1)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 97,50\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-18,8)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 67,32\%$$

2. Segundo escenario

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 200 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-2,1)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 95,22\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-21,1)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 63,32\%$$

Temperatura de carbonización 700 °C

1. Primer escenario

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 100 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-1,1)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 97,50\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-18,9)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 67,15\%$$

2. Segundo escenario

Cantidad: 2,0 g

Velocidad: 200 RPM

Nitratos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(43,95-2,1)}{43,95} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 95,22\%$$

Fosfatos

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = \frac{(57,53-21,1)}{57,53} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia de remoción} = 63,32\%$$

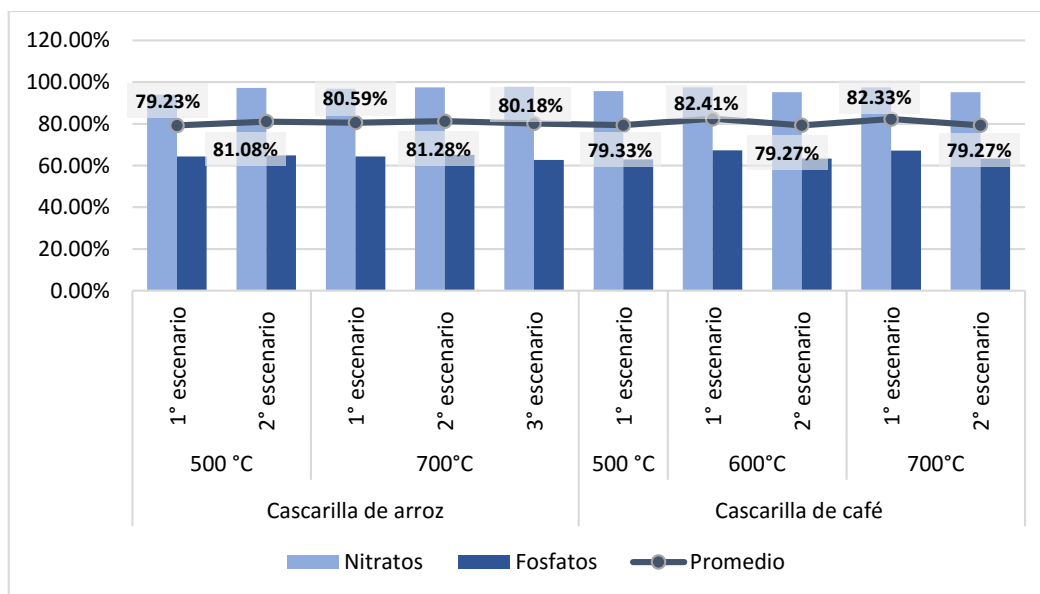


Figura 6
Resumen de eficiencias

El estudio evalúa la efectividad del carbón activado de cascarillas de arroz y café para eliminar nitratos y fosfatos, mostrando que ambos eliminan más del 79% de los nitratos y entre 79,27% y 81,28% de los fosfatos. El carbón de cascarilla de café es ligeramente superior, alcanzando una eficiencia del 82,41% a 600°C y resultados similares a 700°C, mientras que el carbón de cascarilla de arroz es más efectivo a 700°C. Ambos tipos son adecuados para la purificación de agua, pero el carbón de cascarilla de café ofrece un rendimiento ligeramente mejor.

Prueba t de Student

Por último, se llevó a cabo el análisis t de Student con la finalidad de determinar cuál de los dos tratamientos aplicados en la presente investigación (carbón activado a partir de cascarilla de arroz o cascarilla de café) es más eficiente en la remoción de nitratos y fosfatos. Los resultados se muestran a continuación.

Carbón activado a partir de cascarilla de arroz

Remoción obtenida en nitratos

Media: 96,68%

Desviación estándar: 1,30

Remoción obtenida en fosfatos

Media: 64,26%

Desviación estándar: 0,92

Carbón activado a partir de cascarilla de café

Remoción obtenida en nitratos

Media: 96,22%

Desviación estándar: 1,27

Remoción obtenida en fosfatos

Media: 64,82%

Desviación estándar: 1,93

Se procedió con el cálculo del valor de "t" para ambos parámetros analizados.

Para nitratos

$$t = \frac{96,68 - 96,22}{\sqrt{\frac{1,30^2}{5} + \frac{1,27^2}{5}}} = 0,65$$

Para fosfatos

$$t = \frac{64,26 - 64,82}{\sqrt{\frac{0,92^2}{5} + \frac{1,93^2}{5}}} = -0,61$$

Luego se determinó los grados de libertad: $5+5-2 = 8$

Así mismo se halló el valor crítico de "t" para un nivel de significancia de 0,05 y 8 grados de libertad: 2,306

Finalmente, se compara el valor "t" calculado de cada uno de los parámetros con el valor crítico de t.

Para nitratos

$$0,65 < 2,306$$

Para fosfatos

$$-0,61 < 2,306$$

En este caso, la hipótesis nula (H_0) para la prueba t de Student sería:

H_0 : No existe diferencia significativa en la efectividad de remoción entre el tratamiento con carbón activado de cascarilla de arroz y el tratamiento con carbón activado de cascarilla de café.

Interpretación:

Dado que en ambos casos (nitratos y fosfatos) el valor t calculado fue menor que el valor crítico de t, no se cumplieron las condiciones para rechazar la hipótesis nula. Por lo que, teniendo en cuenta un nivel de significancia de 0,05, no se rechaza la hipótesis nula, lo

que significa no se encontró diferencia significativa en la efectividad de remoción entre los dos tratamientos. En conclusión, según el análisis estadístico realizado, se mantiene la hipótesis nula de que ambos tratamientos son igualmente efectivos para la remoción de nitratos y fosfatos.

4.3. Resultado específico 3. Evaluar las características físicas de carbón activado manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz

Considerando los carbones activados previamente obtenidos y utilizados, en el presente objetivo se ha llevado a cabo la caracterización de cada uno de ellos. Para iniciar este proceso, primero se enumeraron los carbones activados empleados:

Tabla 16

Enumeración de los carbones activados con mejores resultados

Carbón activado a partir de	Carbonización	Enumeración
Cascarilla de arroz	500 °C	Carbón activado 1
	600°C	Carbón activado 2
	700 °C	Carbón activado 3
Cascarilla de café	500 °C	Carbón activado 4
	600 °C	Carbón activado 5
	700 °C	Carbón activado 6

A continuación, se presenta la caracterización de cada uno de los carbones indicados en la tabla anterior:

Tabla 17

Caracterización de los carbones activados

Tipo	% de humedad	% carbono fijo	% materia volátil	% de cenizas totales
Carbón activado 1	4,7 %	27,1 %	58,3 %	15,0 %
Carbón activado 2	3,1 %	20,8 %	65,1 %	13,5 %
Carbón activado 3	5,5 %	28,3 %	57,4 %	13,2 %
Carbón activado 4	5,1 %	25,6 %	57,6 %	16,1 %
Carbón activado 5	3,1 %	30,2 %	56,7 %	14,3 %
Carbón activado 6	3,2 %	29,8 %	56,9 %	13,0 %

Considerando los resultados de la caracterización de los carbones activados obtenidos, se destaca el alto porcentaje de material volátil que se registró en todos los casos, especialmente cuando se produjo el carbón activado a una temperatura de 500°C para ambos materiales. Esto sugiere que la temperatura de carbonización tiene una influencia significativa en esta característica. Además, en cuanto al porcentaje de cenizas, se

observa que en todos los casos supera el 10%, lo que podría estar relacionado con la calidad de la materia prima utilizada o la posible presencia de impurezas en la cascarilla de café y arroz. En cuanto al contenido de carbono fijo, se registraron valores por encima del 20% en todos los casos. No obstante, es importante resaltar que el valor más alto se obtuvo cuando se empleó cascarilla de café como materia prima. Este resultado concuerda con los porcentajes de absorción previamente obtenidos al emplear carbón activado obtenido de la cascarilla de café, la cual muestra una mayor eficacia en la adsorción de nitratos y fosfatos.

4.4. Comparación del costo de mercado del carbón activado con un producto local manufacturado a partir de cascarilla de café y de arroz.

Para iniciar la comparación entre el costo del carbón activado comercial y el producido a partir de cascarilla de café y arroz, se seleccionaron inicialmente tres marcas específicas diseñadas para el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se presenta la comparación de costos entre 3 marcas:

Tabla 18
Comparación costos carbón activado comercial

Marca 1	Marca 2	Marca 2
Presentación: 25,0 kg	Presentación: 1,0 kg	Presentación: 500 gr
Tipo: Granular	Tipo: Polvo	Tipo: Granular
Precio: S/ 950,00	Precio: S/ 55,00	Precio: S/ 30,00
Envío: S/ 40,00	Envío: S/ 15,00	Envío: S/ 15,00
Precio x kg: S/ 39,60	Precio x kg: S/ 70,00	Precio x kg: S/ 75,00

Una vez determinado el costo por kilogramo de cada uno de los carbones activados comerciales, procedimos a calcular el costo de producción de un kilogramo de carbón activado elaborado a partir de cascarilla de arroz y café a escala de laboratorio. Esto se hizo teniendo en cuenta una capacidad de producción de 8 kilogramos, y los costos laborales están directamente relacionados con la producción de esta cantidad.

Tabla 19
Costo de producción de carbón activado de cascarilla de café y arroz

Carbón activado a partir de cascarilla de café y arroz			
Materia prima	S/	-	
Mano de obra	S/	100,00	
Químico activante (H ₃ PO ₄)	S/	40,00	1 litro
Alquiler de laboratorio	S/	40,00	x día
	S/	80,00	2 días

Costo de producción (8 kg)	S/ 220,00
Precio x kg	S/ 27,50

Considerando los resultados obtenidos en el cálculo del costo de producción de 1 kilogramo de carbón activado, a partir de cascarilla de arroz o café, podemos concluir que estos costos son considerablemente más bajos en comparación con los carbones activados comerciales destinados al tratamiento de agua que hemos analizado previamente. El costo de producción fue de S/27,50 por kilogramo, además, es importante mencionar que el costo de producción disminuiría significativamente si se incrementa la cantidad producida.

Además, es fundamental destacar el empleo de materiales orgánicos en la presente investigación, los cuales, son normalmente desechados en las cercanías de fuentes de agua natural. La transformación de estos materiales en carbón activado ofrece la oportunidad de darles un uso más beneficioso al emplearlos para la eliminación de contaminantes presentes en el agua, lo que contribuye a una gestión más sostenible de los recursos y a la mejora de la calidad del agua.

4.5. Discusión de resultados.

El estudio de Ye et al. (2019) se centra en la eliminación química de fosfatos en aguas residuales mediante coagulantes metálicos de aluminio, hierro, calcio y magnesio. Sus resultados enfatizan la importancia de la selección del coagulante y el pH para una alta eficiencia de remoción, destacando al aluminio como el más efectivo, alcanzando más del 95% de eliminación a un pH entre 5-7. Esta investigación complementa la presente tesis, que evalúa la eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en aguas de la microcuenca Rumiyacu. Tanto el enfoque del autor como el de la presente tesis ofrecen perspectivas valiosas para abordar la problemática relacionada con la calidad del agua, cada uno con sus propias ventajas y consideraciones específicas. La selección del método más adecuado dependerá de los recursos disponibles y de los objetivos establecidos para la gestión de las aguas en el contexto particular de la microcuenca Rumiyacu.

La investigación de Wan et al. (2019) se enfoca en la remoción conjunta de nitratos y fosfatos presentes en aguas residuales que han pasado por un tratamiento secundario, empleando la técnica de adsorción con carbón activado en polvo como material adsorbente. Los resultados obtenidos evidenciaron una elevada eficiencia en el proceso, alcanzando porcentajes de remoción de hasta un 95,0% para los nitratos y un 85,0% en el caso de los fosfatos. A partir de estos hallazgos, los investigadores llegaron a la conclusión de que el carbón activado en polvo representa un adsorbente con un

gran potencial y un costo relativamente bajo para la eliminación de nitratos y fosfatos en los efluentes provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Al comparar este estudio con la presente tesis, que emplea carbón activado derivado de residuos agroforestales, se puede apreciar una diferencia en cuanto a los materiales adsorbentes utilizados. No obstante, ambos enfoques han demostrado resultados alentadores en términos de la remoción de nitratos y fosfatos, lo que sugiere la posibilidad de implementar diversas estrategias para hacer frente a esta problemática.

La tesis se enfoca en evaluar la eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales para adsorber nitratos y fosfatos en aguas. A diferencia de estudios anteriores que utilizaron carbón activado de cáscara de coco (Cárdenas et al., 2019), el uso de residuos agroforestales se muestra como una solución económica y altamente eficiente. Los resultados muestran tasas de eliminación de hasta un 97,50% para nitratos y un 67,32% para fosfatos, demostrando la eficacia de esta técnica. Además, el uso de materiales agroforestales destaca la sostenibilidad y el aprovechamiento responsable de recursos locales, subrayando la innovación y el potencial de esta investigación para mejorar la calidad del agua de manera significativa.

En un estudio previo realizado por Sánchez (2018), se centró en investigar el uso de materiales orgánicos, específicamente bambú de la especie "*Guadua angustifolia Kunt*", para la elaboración de carbón activado mediante la aplicación del método químico. Los resultados alcanzados en este trabajo evidenciaron la viabilidad de producir carbón activado de alta calidad utilizando como materia prima los residuos generados durante el proceso de aprovechamiento del bambú, tales como tallos con defectos, desechos provenientes de las ramas y las partes superiores terminales de la *Guadua angustifolia Kunth*. Este descubrimiento respalda la idea de que los residuos agroforestales tienen el potencial de ser una fuente efectiva para la fabricación de carbón activado de alta calidad. La información obtenida en esta investigación es de gran relevancia para el presente estudio, cuyo objetivo principal es evaluar la eficiencia del carbón activado producido a partir de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos presentes en las aguas de la microcuenca Rumiyacu.

CONCLUSIONES

Se demuestra que el carbón activado producido a partir de residuos agroforestales, como la cascarilla de café y arroz, es altamente eficiente en la adsorción de nitratos y fosfatos presentes en las aguas de la microcuenca Rumiyacu. Se lograron porcentajes de remoción superiores al 79% para nitratos y para fosfatos oscila entre 79,27% y 81,28% en los mejores escenarios evaluados. Esto evidencia el potencial de estos residuos como materia prima para la producción de carbón activado, con el propósito de mejorar la calidad del agua mediante la eliminación de contaminantes.

Se determina que las concentraciones iniciales de nitratos (43,95 mg/L) y fosfatos (57,53 mg/L) en la microcuenca Rumiyacu superan los Estándares de Calidad Ambiental para agua, evidenciando la necesidad de implementar tratamientos para reducir estos niveles contaminantes.

El proceso de elaboración de carbón activado a partir de cascarilla de café y arroz se optimiza mediante la experimentación con diferentes temperaturas de carbonización (500°C, 600°C y 700°C), cantidades (1,0 g, 1,5 g y 2,0 g) y velocidades de agitación (100 RPM, 200 RPM y 300 RPM). Las pruebas estadísticas ANOVA y Tukey confirman que la velocidad de agitación y la temperatura de carbonización tienen un efecto significativo sobre las concentraciones. Las condiciones óptimas se alcanzaron con el carbón activado de cascarilla de café, producido a 600°C, aplicando 2,0 gramos y una velocidad de 100 RPM, logrando un 97,50% y 67,32% en la eliminación de nitratos y fosfatos, respectivamente.

La prueba t de Student no muestra diferencias significativas en la efectividad de remoción entre el carbón activado obtenido de cascarilla de café y el de cascarilla de arroz, lo que indica que ambas fuentes de materia prima son igualmente eficientes para la adsorción de nitratos y fosfatos en aguas contaminadas.

La caracterización física del carbón activado revela que los productos obtenidos a partir de cascarilla de café presentan un mayor porcentaje de carbono fijo en comparación con los de cascarilla de arroz, lo que influye en su mayor eficiencia en la adsorción de nitratos y fosfatos.

El costo de producción del carbón activado a partir de residuos agroforestales (S/ 27,50 por kilogramo) resulta significativamente más económico en comparación con los carbones activados comerciales destinados al tratamiento de agua, lo que resalta su viabilidad económica y sostenibilidad al aprovechar materiales orgánicos que son normalmente desechados.

RECOMENDACIONES

Implementar el uso de carbón activado producido a partir de residuos agroforestales como la cascarilla de café y arroz para el tratamiento de aguas contaminadas, aprovechando su alta eficiencia en la remoción de estos contaminantes.

Monitorear los niveles de nitratos y fosfatos en las fuentes de agua natural, como la microcuenca Rumiyacu, para identificar oportunamente la necesidad de implementar tratamientos de remoción de estos contaminantes y así cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos; por lo que se deben de establecer monitoreos periódicos considerando periodos de siembra y cosecha de los productos agrícolas. Logrando optimizar los costos operativos en la Planta de Tratamiento del Agua-Moyobamba.

Llevar a cabo investigaciones adicionales para optimizar aún más el proceso de elaboración de carbón activado a partir de residuos agroforestales con el fin de maximizar la eficiencia de remoción de contaminantes.

Realizar estudios complementarios para caracterizar exhaustivamente las propiedades físicas y químicas del carbón activado obtenido a partir de diferentes residuos agroforestales, con el objetivo de comprender mejor los factores que influyen en su eficiencia de adsorción y optimizar su uso en el tratamiento de aguas contaminadas.

Promover el uso del carbón activado a partir de residuos agroforestales en el tratamiento de aguas contaminadas, especialmente en comunidades rurales, como una alternativa económica y sostenible para mejorar la calidad del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemayehu, Y., Asfaw, S. & Terfie, T. (2021). Reusing Coffee Processing Wastewater and Human Urine as a Nutrient Source: Effect on Cabbage Cultivation. *Waste and Biomass Valorization*, 12(11), 6165–6175. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01451-9>
- ASTM International. (2021). D3175-18 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. Recuperado el 14 de octubre de 2023, de <https://www.astm.org/Standards/D3175.htm>
- Arévalo, R. (2009). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://www.espoch.edu.ec>
- Almudena, A. y Lizaso, J. (2010). Nitritos nitratos y nitrosaminas. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid, España.
- AWWA (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua*. McGraw-Hill. 5ta edición. Colombia
- Avances Técnicos Cenicafé. (2010). Gerencia Técnica/ Programa de Investigación Científica. Fondo Nacional del Café. ISSN-0120-0178.
- Basso, M., Cerrella, E. & Cukierman, A. (2014). Remoción de Cadmio (II) de soluciones acuosas mediante carbón activado preparado a partir de caña. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Berger, M., Canty, S. W. J., Tuholske, C., & Halpern, B. S. (2022). Sources and discharge of nitrogen pollution from agriculture and wastewater in the Mesoamerican Reef region. *Ocean & Coastal Management*, 227, 106269. ISSN 0964-5691. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106269>
- BBC NEWS (2020). Los científicos latinoamericanos que lograron producir electricidad con desechos del café. *Diario Mundial*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45940884>
- Blachnio, M., Derylo-Marczewska, A., Charmas, B., Zienkiewicz-Strzalka, M., Bogatyrov, V., & Galaburda, M. (2020). Activated Carbon from Agricultural Wastes for Adsorption of Organic Pollutants. *Molecules*, 25(21), 5105. <https://doi.org/10.3390/molecules25215105>
- Blanco, B. (2024). Usos alternativos de los subproductos del café. *Productores Sostenibles*. <https://quecafe.info/usos-alternativos-subproductos-cafe/>

- Brady, J. y Senese, F. (2021). Química: La ciencia central. México: Pearson Educación.
- Britannica (2023). Adsorption. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/adsorción>
- Bravo, K. & Garzon, A. (2017). Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de “coco” (cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Colombia.
- Carbajal, A. & Delgado, A. (2018). Obtención de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y cuesco de coco, para la adsorción de oro de soluciones cianuradas (Tesis de grado). Universidad del Valle. Colombia.
- Carbotecnia. (2023). ¿Qué es el carbón activado y para qué sirve? Recuperado el 14 de octubre de 2023, de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/que-es-carbon-activado/>
- Cárdenas, J., Gómez, J., & Gómez, L. (2019). Optimización de la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales. SciELO Perú. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000100009&script=sci_abstract
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). Química. México: McGraw-Hill. <https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/pdf/libros/quimica/Chang-QuimicaGeneral7thedicion.pdf>
- Chauca, L. y Tadeo, J. (2021). Reducción de fosfatos y nitratos en efluentes domésticos mediante filtros a base de cáscaras de Cocos nucifera y huevo de Gallus gallus domesticus en Carabayllo, Lima 2022. Revista de Investigación Académica
- Chaves, J. y Franceschi, M. (2019). Eficiencia de remoción de materia orgánica mediante carbón activado, en agua residual de la industria lechera (Tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Colombia.
- Christian, G. D., Dasgupta, P. K., & Schug, K. A. (2013). Analytical Chemistry, 7th Edition. ISBN: 978-0-470-88757-8.
- Chuquimboques, J., Vergara, J. y Mendoza, J. (2019). Optimización de la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales. Revista de la Sociedad Química del Perú, 85(1), 85-96. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2019000100009&lng=es&tlng=es.

- Clima de Cambios – PUCP (2019). ¿Las aguas residuales generan sustancias que dañan el medio ambiente? Noticias. (En Línea).
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/>
- Colom de Morán, E. y Morales de la Cruz, M. (2011). Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia. Gobierno de la República, Gabinete Específico del Agua, Guatemala.
- Dirección General de Salud Ambiental (2010). Evaluación de los resultados de los monitoreos realizados a los Recursos Hídricos en la cuenca del río Rímac, en el marco del Convenio N.º 002-2009/MINSA, correspondiente al periodo de agosto a diciembre de 2009. Informe técnico 001860-2010/DEPA-APRHI/DIGESA. Lima: Web de DIGESA:
http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2009/RIO_RIMAC_DIGESA-SEDAPAL_2009.pdf
- Del Águila, C. y Culqui, D. (2020). Eliminación de nitratos y fosfatos de aguas contaminadas utilizando carbón activado de cáscara de plátano. Ciencia y Tecnología, 14(2), 159- 170.
- Du, C., Liu, B., Hu, J., & Li, H. (2021). Determination of iodine number of activated carbon by the method of ultraviolet–visible spectroscopy. Materials Letters, 285, 129137.
<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.129137>
- Duncan, L. (2018, October 9). What Goes Around: How Coffee Waste is Fueling a Circular Economy. Daily Coffee News.
- Editorial UNCA. (2023). Recuperado el 22 de septiembre de 2023, de <https://www.unca.edu.ar/editorial/>
- EPS Moyobamba (2004). Diagnóstico participativo de las áreas de Conservación Municipal RUMIYACU, MISQUILLACU, ALMENDRA.
- Fernández, Y., Sotto, K. & Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. Producción+ Limpia, V. 15(1), P. 93-110.
- García, S. R. (1996). Caracterización de carbonizados por microscopía electrónica de barrido y química superficial. Trabajo de Grado. Departamento de Química, Universidad Nacional, Bogotá.

Gobierno Regional de San Martín - GORESAM (2019). San Martín muestra un incremento de 26% de la superficie sembrada de arroz.
<https://www.regionsanmartin.gob.pe/web/Noticias?url=noticia&id=5459>

Hale S., Alling, V., Martinsen, V., Mulder, J., Breedveld, G. & Cornelissen, G. (2013). The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars. Volume 91, Pages 1612-1619.

Haile, Y., Banu, F. & Ibrahim, S. (2022). Manganese and nitrate removal from groundwater using date palm biochar: Application for drinking water, Environmental Advances, Volume 8. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100237>.

Hernández, et al. (2000). Metodología de la Investigación. 6ta. Ed. México DF: McGRAW-HILL. 95 – 151 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

Himmelblau, D. M. (2023). Principios básicos y cálculos en ingeniería química. México: Prentice Hall. <https://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2015/06/Principios-Básicos-y-Cálculos-en-Ingeniería-Química-6ª-edición-David-M.-Himmelblau-Prentice-Hall.pdf>

Honorato, R. & Rodrigues, C. A. (2019). Activated carbons: Historical and recent advances. In Activated Carbons for Water and Wastewater Treatment (pp. 1-29). Springer.

IISEHMER (2015). El fosfato en el agua. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/fosfato-agua.html>

Instituto de la Calidad Ambiental (2023). ECA para agua. [https://institutoambiental.pe/eca-para-agua/#:~:text=Los%20Est%C3%A1ndares%20de%20Calidad%20Ambiental%20\(ECA\)%20para%20agua%20son%20de,la%20preservaci%C3%B3n%20del%20medio%20ambiente.](https://institutoambiental.pe/eca-para-agua/#:~:text=Los%20Est%C3%A1ndares%20de%20Calidad%20Ambiental%20(ECA)%20para%20agua%20son%20de,la%20preservaci%C3%B3n%20del%20medio%20ambiente.)

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021). Producción de café se incrementó 17,0% en julio de 2021. Nota de prensa N° 146. Lima: Web del Instituto Nacional de Estadística e Informática: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-146-2021-inei.pdf>.

ISF (2016). Tecnologías apropiadas para la caficultura. Aprovechamiento y tratamiento de residuos. Primera edición. Praid in Perú. Cajamarca. Perú.

- Jaya, M. & Indira, C. (2022). The Role of Activated Carbon in Water Treatment. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108349>.
- Jezeer, R. & Verweij, P. (2015). *Café en Sistema Agroforestal - doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú*. Hivos, The Hague, Holanda.
- Jones, J. C. (1982). *Coal: Its Properties, Analysis, Classification, Geology, Extraction, Uses and Distribution*. Wiley.
- Laftah, W. & Wan, W. (2021). Rice Waste-Based Polymeric Compounds for Packaging Applications: A Review. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S1621-S1629. <https://doi.org/10.1177/096739112111046775>.
- Lili, G., Jiane, Z., Bangmi, X., Peng, L. & Xia, H. (2012). Zeolite (Na) modified by nano-Fe particles adsorbing phosphate in rainwater runoff. *Journal of Environmental Sciences*, Volume 24, March 2012, Pages 1929-1933.
- Lozada, J. (2014). *Investigación aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria*. Quito: Revista CienciAmerica - Universidad Tecnológica Indoamérica. Vol. 3 (1) 34 – 39 pp. ISSN: 1390-9592.
- López, D. (2012). Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad fisicoquímica del agua de la Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega. *Revista Científica FAREM Estelí. Ciencias Ambientales*.
- Marsh, H. & Rodriguez, F. (2006). *Activated Carbon*. London y otras. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780080444635/activated-carbon>
- Ministerio del Ambiente (2017). Decreto Supremo N° 004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Ministerio del Ambiente - Perú. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- MINSA (2010). Reglamento de agua para consumo humano. Perú: s.n. DS N° 031-2010-SA. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.
- Medina, K. & Manrique, R. (2018). Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas. Revisión y estudios de caso. *Revista Nacional de Ingeniería*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Molina, M., Pérez, V., & Rodríguez, F. (1994). El carbón activado en procesos de descontaminación. Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Alicante, España, 32, 1259.
- Morales, M., Comerford, N., Guerrini, I., Falcao, N., Reeves, J. (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. *Soil Use and Management*, doi: 10.1111/sum. 12047, Journal Compilation.
- Obregón, D. (2014). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2023). *Química General*. México: Pearson Educación.
- Poznyak, T., Tapia, R., Vivero, J., & Chairez, I. (2006). Effect of pH to the decomposition of aqueous phenols mixture by ozone. *Journal of the Mexican Chemical Society*. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2006000100006
- PMO - MOYOBAMBA (2013). Plan maestro optimizado de la EPS-MOYOBAMBA SRL. Moyobamba. Perú.
- Quisertec. (2002). QUISERTEC S.A. Recuperado de: <http://www.quisertec.com/productos/quimicos/embotelladoras/carbonesactivados>
- Radovic, L. R. (1994). *Introduction to Carbon Science*. Taylor & Francis.
- Ramos, R., Pasache, M. y Leiva, C. (2021). Uso de coagulantes naturales para reducir la concentración de fosfatos en aguas residuales de curtiembre. *Ciencia Amazónica*, 10(1), 74-82.
- Rodríguez, E., Giraldo, L. & Moreno, J. (2014). Modificación de la química superficial de carbones activados. Efecto de la oxidación con soluciones de HNO₃ y H₂O₂ sobre la remoción de cadmio (II) en solución acuosa. *Afinidad*, LXXI.
- Sánchez, C. (2018). Caracterización de carbón activado a partir de bambú "Guadua Angustifolia Kunth" utilizando el método químico. Universidad Nacional Agraria de la Molina. *Rev. Alicia*. Concytec. Perú.
- Sánchez, F. (2022). Adsorción de fosfatos en carbón activado preparado a partir cáscara de plátano. *Quimica Nova*, 45(3), 307–314

- Sánchez, J., Vásquez, J., & Córdova, J. (2017). Evaluación de la calidad del agua del río Mayo en la ciudad de Moyobamba, San Martín, Perú. *Revista de Investigación Académica*.
- Secretaría de Economía. (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2021, Productos y servicios. Criterios sanitarios para la clasificación y determinación de la calidad microbiológica de los alimentos y bebidas no alcohólicas envasados. México: Diario Oficial de la Federación.
- Severiche, C., Luna, J., & González, H. (2013). Evaluación analítica para determinación del fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico. *Ingenium*, 7(17) pp. 37-4.
- Simplilearn. (2023). What is productivity: definition and measurement of efficiency. <https://www.simplilearn.com/what-is-productivity-and-how-to-define-and-measure-it-article>
- Skarstrom, C. A. (1958). *Analytical Methods for Coal and Coal Products*. Academic Press.
- Suárez, J., Jácome, J. A., & Ures, P. (2014). Fichas técnicas de etapas de proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Serie pretratamientos. Sistemas de desbaste (FT-PRE-001). ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14618.13769>
- TechDictionary. (2012). What does component mean? Techopedia. <https://www.techopedia.com/definition/3217/component>
- Tyonote. (2021). What is a product? Definition, Characteristics, Levels and Types. <https://tyonote.com/product/>
- UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (2009). Manual de agroforestería para zonas secas y semiáridas. Guatemala: UNCCD, 102 p
- Valencia, et al. (2012). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nátaga en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Bogotá: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2012. Vol 15 (1) 77–86 pp.
- Vásquez (2006). Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*. 22(3). p.1-9.
- Vergara M. S. (2002). Índices de Calidad de Agua y Diversidad Ictiológica como indicadores de Ecogestión del Río Mayo- Región San Martín - Perú. Universidad Nacional de Trujillo.

- Vestgarden, L.S. (2001). Carbon and nitrogen turnover in the early stage of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needle litter decomposition: Effects of internal and external nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry* 33:465- 474.
- Vilca, R. (2011). Principios básicos de los acuerdos de compensación de los servicios Ecosistémicos de las Microcuencas Rumiayacu, Mishquiyacu y Almendra. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Martín.
- Wan, D., Qu, J., Wong, J., Li, A., Ru, J. (2019). Removal of phosphate and nitrate from secondary effluent using activated carbon. *Journal of Cleaner Production*, 212, 426- 433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.049>
- Wang, Z. et al. (2021). Efficient removal of nitrate and phosphate from water by calcined ZnAlFe-layered double hydroxides. *Journal of Environmental Sciences*, 103, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.005>
- Xuechu C., Hainan K., Deyi W., Xinze W., Yongyong L. (2009). Phosphate removal and recovery through crystallization of hydroxyapatite using xonotlite as seed crystal. *Journal of Environmental Sciences*, Volume 21, Issue 5, Pages 575-580
- Ye, F., Li, Y., & Li, Y. (2019). Insight into chemical phosphate removal from wastewater by metals: The role of metal species and pH. *Journal of Environmental Management*, 243, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.117>
- Zhang, M., Gelardi, D., Huang, L., Khan, E., Mašek, O., Parikh, S., Yong, O. (2020). Evaluating biochar and its modifications for the removal of ammonium, nitrate, and phosphate in water. *Water Research*, Volume 186. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116303>.
- Zheng, Y., Pam, Z., Zhang, R. (2009) Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. *Int J Agric&Biol Eng.* 2, 51-58
- Zhou, B., Cai, X., Wang, S., & Yang, X. (2020). Analysis of the Causes of Cyanobacteria Bloom: A Review. *Journal of Resource Ecology*, 11, 405–413.

ANEXOS

Anexo 1. Proceso obtención carbón activado cascarilla arroz y café

INFORME DE LA OBTENCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE ARROZ Y CAFÉ

El primer paso para la obtención de carbón activado fue seleccionar las materias primas adecuadas. En la presente investigación se utilizó como materias primas las cascarillas de arroz de especie (*Oryza sativa*) y los residuos de cascarillas de café de variedad (*Catimoro*).

• Carbón activado obtenido de cascarilla arroz

El proceso de obtención de carbón activado a partir de arroz implica varias etapas, desde la preparación de la materia prima hasta la activación del carbón. A continuación, se presenta un procedimiento general que describe el proceso de obtención de carbón activado de arroz:

Materiales requeridos:

- Arroz (cáscaras de arroz).
- Horno.
- Agente activador (ácido fosfórico).
- Mufla FURNACE FO110CR
- Equipo de seguridad (guantes, gafas protectoras, mascarilla, etc.).

1. Obtención de la cascarilla, lavado y secado

Se recolectó la cascarilla de un molino de la ciudad de Moyobamba, se trasladó a la facultad de ecología, laboratorio de Ingeniería Sanitaria. Lave con abundante agua destilada las cáscaras de arroz para eliminar cualquier impureza o suciedad. Luego, se procedió, a secar completamente para eliminar el exceso de humedad. El arroz debe estar completamente seco antes de continuar.



2. Secado de la cascarilla de arroz

Se procedió a secar la cascarilla de arroz en estufa a una temperatura de 90° por 24 horas, hasta reducir la humedad de la misma.



3. Molienda de la cascarilla

La materia prima fue triturada en molino manual doméstico, se convirtió en partículas más pequeñas para aumentar su área superficial y facilitar la impregnación.

4. Tamizado

Se tamizó el polvo obtenido, mediante un tamizador N° 30, para obtener lo más fino posible.



5. Impregnación

Se colocaron las partículas de arroz tamizado en crisoles adecuados y se agregó una cantidad adecuada de ácido fosfórico (H_3PO_4), con una relación de gramos de polvo con volumen (mL) en proporción de 1:1. Se mezcló bien para asegurar una distribución homogénea del ácido sobre el arroz.



6. Carbonización

Se colocó en la mufla los crisoles impregnados impregnado con ácido fosfórico. Se realizó la carbonización ajustando la temperatura de 500°C, 600°C, 700°C, utilizando crisoles con tapa por un tiempo de 2 horas, una llegada a la temperatura indicada se procedió a carbonizar: 500° C (30 min); 600°C (30 min); 700°C (30 min).



7. Lavado, secado.

Los carbones obtenidos fueron lavados con abundante agua destilada. Tratando de neutralizar los pH de los carbones. Después de neutralizarlos los carbones fueron secados en una estufa 90° en 24 horas



8. Trituración y tamizado

Se empleó mortero para triturar los carbones y una malla de acero N° 30. El polvo fue seleccionado para los procesos de tratamiento.



9. Lavado, secado.

Los carbones obtenidos fueron lavados con abundante agua destilada. Tratando de neutralizar los pH de los carbones. Después de neutralizarlos los carbones fueron secados en una estufa 90° en 24 horas.



10. Trituración y tamizado

Se empleó mortero para triturar los carbones y una malla de acero N° 30. El polvo fue seleccionado para los procesos de tratamiento.



- **Carbón activado obtenido de cascarilla de café**

El proceso de obtención de carbón activado a partir de cáscaras de café involucró varias etapas, desde la preparación de la materia prima hasta la obtención del producto final. A continuación, se presenta el procedimiento completo desarrollado:

Materiales requeridos:

- ❖ Cáscaras de café (obtenidas de residuos de café).
- ❖ Horno para secado.
- ❖ Molino o trituradora.
- ❖ Tamiz o criba.
- ❖ Ácido fosfórico (agente impregnante).
- ❖ Horno o reactor de carbonización.
- ❖ Agente activador (opcional, como vapor de agua o dióxido de carbono).
- ❖ Equipo de seguridad (guantes, gafas protectoras, mascarilla, etc.).

1. Obtención de la materia prima

Se recogió la cascara del café un total de 4 kg, que son los residuos del proceso de despulpado, asegurando que las cascara estén limpias y libres de impurezas; la cual fue trasladada a la facultad de ecología al laboratorio de Ingeniera Sanitaria.

2. Secado de la cascara de café

Se procedió a secar la cascara de café en la estufa ajustando una temperatura de 90 °C por 24 horas.



3. Molienda de cascara de café

Se trituro las cascara de café secas mediante un molino manual doméstico, para reducirle hasta proporciones o partículas más pequeñas. Esto aumentará el área superficial y mejorará la eficiencia del proceso de impregnación y activación.

4. Tamizado

Se procedió pasarlas por un tamizar en la malla de acero N° 30, con el fin de eliminar partículas excesivamente grande o irregular.



5. Impregnación

Se colocaron las partículas de cascara tamizadas en crisoles para la impregnación del agente activante, mezclando el polvo obtenido de la cascara de café con el ácido fosfórico (H_3PO_4) con una relación de gramos de polvo de café con volumen (mL) de ácido fosfórico en proporción de 1:1 respectivamente, por un lapso de 24 horas a temperatura ambiente.



6. Carbonización

Se realizó la carbonización en la mufla a una temperatura de 500°C, 600°C, 700°C, utilizando crisoles con tapa por un tiempo de 2 horas, una llegada a la temperatura indicada se procedió a carbonizar: 500° C (30 min); 600°C (30 min); 700°C (30 min).



7. Lavado, secado.

Los carbones obtenidos fueron lavados con abundante agua destilada. Tratando de neutralizar los pH del carbón. Los carbones obtenidos fueron secados en una estufa 90° en 24 horas.



8. Trituración y tamizado

Se empleó mortero para triturar los carbones y una malla de acero N° 30. El polvo fue seleccionado para los procesos de tratamiento.



Anexo 2. Prueba estadística ANOVA**Tabla 20***Prueba ANOVA – grupo Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de arroz*

Fuente de variación	SC	GL	CM	F0	F		Conclusión
					Crítico ($\alpha = 0.05$)	Valor P	
Velocidad (a)	1,8612	2	0,9306	5,2775	3,6337	0,0173	Rechazar H0
Cantidad (b)	0,1356	2	0,0678	0,3844	3,6337	0,6866	Aceptar H0
Carbonización (c)	1,1422	2	0,5711	3,2382	3,6337	0,0654	Aceptar H0
a x b	1,9911	4	0,4978	2,8225	3,0069	0,0591	Aceptar H0
a x c	0,5733	4	0,1433	0,8128	3,0069	0,5350	Aceptar H0
b x c	0,2044	4	0,0511	0,2898	3,0069	0,8807	Aceptar H0
a x b x c	0,5422	8	0,0678	0,3843	2,5916	0,9146	Aceptar H0
Error	2,8222	16	0,1764				
Total	9,2722	42					

Tabla 21*Prueba ANOVA – grupo Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de arroz*

Fuente de variación	SC	GL	CM	F0	F		Conclusión
					Crítico ($\alpha = 0.05$)	Valor P	
Velocidad (a)	1233,4356	2	616,7178	10,4635	3,6337	0,0012	Rechazar H0
Cantidad (b)	256,7156	2	128,3578	2,1778	3,6337	0,1454	Aceptar H0
Carbonización (c)	316,0956	2	158,0478	2,6830	3,6337	0,0988	Aceptar H0
a x b	559,6356	4	139,9089	2,3735	3,0069	0,0959	Aceptar H0
a x c	737,4400	4	184,3600	3,1286	3,0069	0,0436	Rechazar H0
b x c	619,4422	4	154,8606	2,6283	3,0069	0,0730	Aceptar H0

a x b x c	901,3600	8	112,670 0	1,9122	2,591 6	0,127 7	Aceptar H0
Error	942,7200	16	58,9200				
Total	5566,844 4	42					

Tabla 22*Prueba ANOVA – grupo Nitratos empleando carbón activado de cascarilla de café*

Fuente de variación	SC	GL	CM	F0	F		Conclusión
					Crítico ($\alpha = 0.05$)	Valor P	
Velocidad (a)	6,0867	2	3,0433	18,1905	3,6337	0,0001	Rechazar H0
Cantidad (b)	0,2267	2	0,1133	0,6774	3,6337	0,5218	Aceptar H0
Carbonización (c)	5,2267	2	2,6133	15,6310	3,6337	0,0002	Rechazar H0
a x b	0,4533	4	0,1133	0,6774	3,0069	0,6175	Aceptar H0
a x c	0,1533	4	0,0383	0,2292	3,0069	0,9184	Aceptar H0
b x c	0,0533	4	0,0133	0,0798	3,0069	0,9875	Aceptar H0
a x b x c	0,0533	8	0,0067	0,0399	2,5916	0,9999	Aceptar H0
Error	2,6756	16	0,1672				
Total	14,9289	42					

Tabla 23*Prueba ANOVA – grupo Fosfatos empleando carbón activado de cascarilla de café*

Fuente de variación	SC	G L	CM	F0	F		Conclusión
					Crítico ($\alpha = 0.05$)	Valor P	
Velocidad (a)	133,8356	2	66,9178	2,230 6	3,6337	0,139 2	Aceptar H0
Cantidad (b)	165,1556	2	82,5778	2,752 6	3,6337	0,093 8	Aceptar H0
Carbonización (c)	280,6489	2	140,324 4	4,677 5	3,6337	0,025 0	Rechazar H0
a x b	780,8422	4	195,210 6	6,507 0	3,0069	0,002 6	Rechazar H0

a x c	441,4889	4	110,372 2	3,679 1	3,0069	0,025 5	Rechazar H0
b x c	264,4889	4	66,1222	2,204 1	3,0069	0,112 9	Aceptar H0
a x b x c	480,0400	8	60,0050	2,000 2	2,5916	0,111 1	Aceptar H0
Error	480,0400	16	30,0025				
Total	3026,540 0	42					

Anexo 3. Rollo fotográfico





Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiayacu

por Alejandro Alberto Cruz Rengifo

Fecha de entrega: 03-dic-2024 11:34a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2539344343

Nombre del archivo: TESIS_ALEJANDRO_CRUZ_25.10.2024_1.docx (13.96M)

Total de palabras: 18341

Total de caracteres: 102133

Eficiencia del carbón activado de residuos agroforestales en la adsorción de nitratos y fosfatos en las aguas de la microcuenca Rumiayacu

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

tesis.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad Nacional de San Martín

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.ucss.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

<1%