

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y
Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS VEGETALES DE PODA DE ÁREAS
VERDES PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON
APLICACIÓN EN ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ORO EN PROCESOS
HIDROMETALÚRGICOS**

Tesis presentada por el Bachiller:

Astorga Beltrán, Helbert Ludgardo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Asesora:

Dra. López Casaperalta de Díaz, Patricia

Yaneth

Arequipa- Perú

2023

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 23 de Agosto del 2023

Dictamen: 006692-C-EPIM-2023

Visto el borrador del expediente 006692, presentado por:

2013801351 - ASTORGA BELTRAN HELBERT LUDGARDO

Titulado:

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS VEGETALES DE PODA DE ÁREAS VERDES PARA LA
ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON APLICACIÓN EN ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN
DE ORO EN PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



**45482246 - ORTIZ ROMERO DERLY DAVID
DICTAMINADOR**



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS VEGETALES DE PODA DE ÁREAS VERDES PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO CON APLICACIÓN EN ADSORCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ORO EN PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to White Bear Lake School District Trabajo del estudiante	1 %
3	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
4	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
5	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
7	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

DEDICATORIA

“Dedico esta tesis a mi papá que me supo apoyarme además de siempre exigiéndome para ser un mejor profesional y a mi mamá que supo apoyarme dándome ánimos para no rendirme y lograr mis metas, además a todos mis familiares y amigos que me dieron una mano para poder seguir adelante”

AGRADECIMIENTO

“Estoy muy agradecido a mis profesores de la carrera que supieron guiarme en este proceso, además de agradecer a mis jurados que guiaron en la elaboración de la tesis”

RESUMEN

Actualmente a nivel mundial se utilizan diferentes estrategias de reutilización de materias orgánicas para su transformación en carbón activado el cual es un adsorbente carbonáceo que tiene la facultad de eliminar macropartículas como polvo, tierra, químicos, toxinas y bacterias en múltiples industrias, entre ellas la minera, sin embargo, actualmente la adquisición del carbón activado tiene un alto coste y a medida que transcurre el tiempo este valor tiende a incrementarse. Múltiples estudios también han corroborado que el carbón activado es muy útil en los procesos de adsorción de oro en empresas mineras, pero para poder utilizarlo correctamente es necesario determinar sus valores de eficiencia. Debido a ello el objetivo de la siguiente investigación es elaborar carbón activado a base de los restos que quedan tras la poda de las áreas verdes para su aplicación como adsorbente en la recuperación de oro en minería; para ello se realizó la caracterización del carbón activado así como su porcentaje de adsorción, para ello se utilizó como método las normas ASTM D 3173-87 (determinación de humedad), ASTM D 3172-89 (determinación de ceniza), ASTM D 3175-89 (determinación de material volátil), ASTM D 3172-89 (determinación de carbono fijo) y la norma ASTM D 2854 (determinación de la densidad aparente). Los resultados mostraron que respecto a la caracterización el porcentaje de humedad para este estudio son de 7.17%; el porcentaje de ceniza tiene un valor de 30.83%; el material volátil alcanza un valor de 88.01%; el porcentaje de carbono fijo fue de 26.01% y finalmente la densidad aparente alcanzó valores de 0,24%. Finalmente, la cinética de adsorción para la recuperación de oro con un tiempo de adsorción de entre 30 a 210 minutos es de 95.55%; mientras que la capacidad de adsorción con un tiempo de adsorción de entre 30 a 210 minutos es de 0.96 mg/g.

Palabras clave: residuos vegetales; carbón activado; adsorción y recuperación de oro

ABSTRACT

Currently worldwide different strategies are used to reuse organic materials for their transformation into activated carbon which is a carbonaceous adsorber that has the ability to eliminate macroparticles such as dust, soil, chemicals, toxins and bacteria in multiple industries, including mining, however, currently the acquisition of activated carbon has a high cost and as time passes this value tends to increase. Multiple studies have also corroborated that activated carbon is very useful in gold adsorption processes in mining companies, but in order to use it correctly it is necessary to determine its efficiency values. Due to this, the objective of the following research is to elaborate activated carbon based on the remains that remain after the pruning of the green areas for its application as an adsorbent in the recovery of gold in mining; for this, the characterization of activated carbon as well as its percentage of absorption was carried out, for this the standards ASTM D 3173-87 (determination of humidity), ASTM D 3172-89 (determination of ash), ASTM D 3175-89 (determination of volatile material), ASTM D 3172-89 (determination of fixed carbon) and ASTM D 2854 (determination of bulk density) were used as a method. The results showed that regarding the characterization the percentage of humidity for this study are 7.17%; the percentage of ash has a value of 30.83%; volatile material reaches a value of 88.01%; The percentage of fixed carbon was 26.01% and finally the bulk density reached values of 0.24%. Finally, the adsorption kinetics for gold recovery with an adsorption time of between 30 to 210 minutes is 95.55%; while the adsorption capacity with an adsorption time of between 30 to 210 minutes is 0.96 mg/g.

Keywords: plant residues; activated carbon; adsorption and recovery of gold.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Preguntas de investigación	3
1.3.1. Preguntas de investigación del problema general	3
1.3.2. Preguntas de investigación del problema específico.....	4
1.4. Línea de investigación	4
1.5. Palabras clave.....	4
1.6. Aporte del desarrollo de la tesis	11
CAPÍTULO II.....	12
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1. Estado de arte	12
2.1.1. Métodos de tratamiento de metales pesados	12
2.1.2. Carbón activado químicamente modificado.....	13

2.1.3. Lixiviación de oro y carbón activado.....	14
2.1.4. Reutilización de residuos de poda	16
2.2. Antecedentes de la investigación	18
2.3. Hipótesis	21
2.4. Variables.....	22
2.4.1. Variable independiente	22
2.4.2. Variable dependiente.....	22
CAPÍTULO III.....	25
3. MARCO METODOLÓGICO.....	25
3.1. Alcance y limitaciones	25
3.1.1. Alcance	25
3.1.2. Limitaciones	25
3.2. Tipo y diseños de la investigación	25
3.2.1. Tipo de investigación	25
3.2.2. Diseño de investigación.....	26
3.3. Población, muestra o universo.....	26
3.3.1. Población.....	26
3.3.2. Muestra	26
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.4.1. Técnicas de recolección de datos	26
3.4.2. Instrumentos	26
3.4.3. Metodología de la investigación	27
CAPÍTULO IV	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	31
4.1 Análisis e interpretación de resultados	31
4.1.1. Obtención de muestra de solución de lixiviación de mineral de oro	31

4.1.2. Caracterización de los residuos de poda de las áreas verdes aplicales para la elaboración de carbón activado.....	35
4.1.3. Elaboración y caracterización de carbón activado a partir del residuo de poda	42
4.1.4. Determinación de la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado-Proceso de adsorción del carbón activado	49
4.1.5. Determinar la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado	60
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	70
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	23
Tabla 2 Técnicas e instrumentos de recolección de la información	27
Tabla 3 Factores y niveles.....	30
Tabla 4 Humedad de la madera.....	36
Tabla 5 Determinación del porcentaje de la ceniza	38
Tabla 6 Determinación del porcentaje de material volátil	39
Tabla 7 Determinación del carbono fijo	41
Tabla 8 Determinación de la densidad aparente	42
Tabla 9 Determinación de la humedad.....	43
Tabla 10 Determinación del porcentaje de la ceniza	45
Tabla 11 Determinación del porcentaje de material volátil	46
Tabla 12 Determinación del carbono fijo	48
Tabla 13 Determinación de la densidad aparente.....	48
Tabla 14 Determinación del rendimiento del carbón vegetal.....	50
Tabla 15 Determinación del rendimiento del carbón activado	52
Tabla 16 Determinación del porcentaje de eficiencia del proceso de adsorción en tres corridas	54
Tabla 17 Determinación de la eficiencia del proceso de adsorción en tres corridas	56
Tabla 18 Determinación de la capacidad de adsorción en tres corridas.....	58
Tabla 19 Resumen de resultados	59
Tabla 20 Resultados de proceso de adsorción incluida la eficiencia.....	61
Tabla 21. Tabla del Analisis de Varianza (ANOVA)	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vaso residual con poda madera.....	36
Figura 2 Crisoles con ceniza de madera	38
Figura 3 Material volátil de madera	40
Figura 4 Muestras de carbón activado	44
Figura 5 Muestras de ceniza de carbón activado	45
Figura 6 Muestras de material volátil	47
Figura 7 Residuos vegetales para el carbón vegetal	50
Figura 8 Carbón vegetal elaborado.....	51
Figura 9 Carbón activado.....	52
Figura 10 Carbón activado.....	55
Figura 11 Carbón activado.....	56
Figura 12 Comparativa de la capacidad de adsorción	62
Figura 13. Concentración de oro vs Tiempo a 850 μm	63
Figura 14. Concentración de oro vs Tiempo a 425 μm	63
Figura 15. Concentración de oro vs Tiempo a 180 μm	64
Figura 16. Resultados de tendencia comparando la concentración final y tiempo considerando el tamaño de partícula de 850 (μm), 425 (μm) y 180 (μm)	65
Figura 17. Grafica ANOVA	68
Figura 18. Grafica de interacciones de variables	69

INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes son parte obligatoria de edificaciones municipales como parques, empresas industriales y mineras. Estas áreas deben de ser constantemente reguladas para ello se realiza la poda de plantas, arbustos o árboles y como resultado es que se generan residuos los cuales tienen una potencialidad importante para utilizarlos en diferentes industrias entre ellas destaca la generación del carbón activado, que constituye un adsorbente carbonáceo con la facultad de eliminar macropartículas como polvo, tierra, químicos, toxinas y bacterias en múltiples industrias, entre ellas la minera, sin embargo, actualmente la adquisición del carbón activado tiene un alto coste y a medida que transcurre el tiempo este valor tiende a incrementarse. Muchas investigaciones han podido determinar que el carbón activado es útil en los procesos de adsorción de oro en empresas mineras, pero para poder utilizarlo adecuadamente se hace fundamental determinar sus valores de eficiencia. Debido a ello el objetivo que se persigue en esta investigación es la elaboración de carbón activado a base de los restos generados en la poda de las áreas verdes para aplicarla como adsorbente en la recuperación de oro en minería; configurándose como objetivos particulares: Caracterizar los residuos de poda de las áreas verdes aplicables para la elaboración de carbón activado, elaborar carbón activado a partir del residuo de poda, caracterizar el carbón activado que se obtenga, y finalmente definir su capacidad como adsorbente de oro. En relación con lo descrito, se consideró un estudio explicativo y experimental con el que se realizó la caracterización del carbón activado, así como su porcentaje de adsorción, para ello se utilizó como método las normas ASTM D 3173-87 (determinación de humedad), ASTM D 3172-89 (determinación de ceniza), ASTM D 3175-89 (determinación de material volátil), ASTM D 3172-89 (determinación de carbono fijo) y la norma ASTM D 2854 (determinación de la densidad aparente). El carbón activado también fue sometido al

testeo con las normas anteriormente mencionadas. Por otra parte, considerando la velocidad adsorción como característica principal para el diseño de sistemas de adsorción, factor que se basa principalmente en la interacción del adsorbato – adsorbente, y otros factores que se vinculan estrechamente con la de adsorción, dentro del estudio se vio oportuno la evaluación de las variables de adsorción

CAPÍTULO I

1.PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Al día de hoy, hay un enfoque especial en el uso de diferentes tipos de biomasa de bajo costo como fuentes sostenibles de carbón activado para eliminar los contaminantes minerales y orgánicos de los efluentes (Gupta & Khatri, 2019; Osman et al., 2019), así también para la recuperación de metales críticos. Los residuos de madera procedentes de industrias forestales, así como los residuos de poda, son uno de los subproductos carbonosos más disponibles y de bajo costo que podrían utilizarse como precursores para producir carbón activado (Kyzas et al., 2016).

Las áreas verdes son parte obligatoria de edificaciones municipales como parques, empresas industriales y mineras. Es de carácter obligatorio mantener un porcentaje destinado para áreas verdes que va de acuerdo al tamaño que ocupa la edificación. Esta área debe ser mantenida y para ello se efectúa la poda de las plantas, arbustos o árboles que posee, es aquí que el residuo que se genera especialmente en las empresas, ya es desconocido debido a que el servicio de poda lo llevan algunas empresas contratistas y se encargan de retirar los residuos que se generan producto de la poda, pero es posible brindar un uso adicional a parte del residuo generado, como por ejemplo, transformarlo a

carbón activado, para un aprovechamiento adicional, ya que como parte de la problemática la adquisición de carbón activado en el mercado tiene un valor relativamente alto y conforme pasa el tiempo, su valor tiende a subir, por lo que la aplicación de los restos de poda para la elaboración de carbón activo resultaría adecuada, aunque es necesario la determinación de su eficiencia como adsorbente del oro para asegurar su utilidad.

Con todo lo mencionado es entonces que se genera la siguiente interrogante: ¿Es posible aprovechar los residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes para la obtención de carbón activado y sea eficiente en el proceso de adsorción de oro en los procesos mineros?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Elaborar carbón activado a partir de los residuos de poda de las áreas verdes para la aplicación en el proceso de adsorción y recuperación de oro desarrollados en laboratorio.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos de poda de las áreas verdes aplicables para la elaboración de carbón activado.
- Elaborar de carbón activado a partir del residuo de poda.
- Caracterizar el carbón activado obtenido de los residuos de poda.
- Determinar la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Preguntas de investigación del problema general

¿Es posible aprovechar los residuos orgánicos generados por la poda de áreas verdes para la obtención de carbón activado y sea eficiente en el proceso de adsorción de oro en los procesos mineros?

1.3.2. Preguntas de investigación del problema específico

- ¿Qué características presenta el residuo de poda que es útil para la elaboración de carbón activado?
- ¿Cómo se obtendrá carbón activado a partir de los residuos de poda?
- ¿Qué características presenta el carbón activado obtenido a partir del residuo de poda?
- ¿Cuál será la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado?

1.4. Línea de investigación

Uso eficiente de energías: Esta línea de investigación tiene como finalidad estudiar y analizar de manera eficiente las energías en las operaciones de minería con el objetivo de optimizar e innovar las tecnologías para mejorar las operaciones mineras.

1.5. Palabras clave

a. Carbón activado

Constituye un tipo de material carbonoso, que tiene una estructura micro porosa jerárquica bien definida, área específica alta, volumen de poro grande y productos químicos de superficie ajustables. En la etapa inicial del desarrollo del carbón activado, el carbón se consideraba el mejor precursor para producir carbón activado debido a su alto contenido de carbono. Debido a la naturaleza limitada y no renovable del carbón, la formación del carbón activado en base de otros recursos renovables de bajo coste como la biomasa o cualquier

residuo sólido rico en carbono se ha transformado en una fuente de investigación (Ouyang et al., 2020).

b. Residuos vegetales

La mayoría de los biorresiduos estudiados son residuos vegetales, que normalmente se dejan descomponer o se queman para fertilizar la tierra de plantación después de la cosecha. Los desechos biológicos también incluyen residuos de plantas que no son comestibles y deben desecharse después de consumir las partes comestibles. Por lo que, el alto contenido de carbono de estos materiales, lo vuelven adecuados para la producción de adsorbentes. Además, la conversión de estos materiales de desecho en adsorbentes agrega valor comercial a estos productos, que de otro modo requieren un costo adicional para su eliminación (Wong et al., 2018).

c. Elaboración del carbón activado

Este material carbonoso puede producirse a través de dos técnicas: La primera de ellas es la activación física, seguida por la activación química. De este modo, los transformadores deben ser pretratados antes de que se lleve a cabo la activación; dicho pretratamiento involucra a su vez distintas operaciones como el lavado, secado por radiación solar o en algún equipo de secado, luego de lo cual deber ser triturado, molido y tamizado para separarse todo el material que cumpla con la fracción requerida.

De la operación de lavado con agua, esta es importante debido a que mediante ello puede reducirse algunos contaminantes orgánicos, arenas, polvo u otras impurezas que estuviesen en la ceniza (Rashidi & Yusup, 2017).

d. Caracterización del carbón activado

Después de varias décadas de intensas investigaciones en torno a la síntesis, caracterización y aplicaciones de los carbones activados, aún no se puede deducir una descripción completa y detallada de su microestructura ni de sus cualidades como material de adsorción; incluso a pesar de haberse realizado estudios utilizando técnicas experimentales avanzadas como la difracción de rayos X o evaluación microscópica electrónica por transmisión y alta resolución (HRTEM). Como consecuencia, se han desarrollado modelos atomísticos adecuados tratando de describir su estructura atómica para comprender sus diferentes propiedades y ayudar a adaptarlos para propósitos específicos. Una descripción detallada de los carbones activados debe incluir: (i) las características del precursor crudo y los carbones producidos, mediante análisis final, proximal o térmico, capacidad de adsorción (índice de yodo, índice de azul de metileno o adsorción de fenol), (iii) química de la superficie, ya sea mediante análisis de espectroscopia o titulación de Boehm y, (iv) indicios de su micro/nanoestructura promedio (González-García, 2018).

e. Análisis térmico

El análisis térmico se ha convertido en un estudio obligado cuando se describe por primera vez en la literatura al precursor seleccionado a partir del cual se produce carbón activado; puesto que las curvas TGA/DTA son la huella dactilar. En un termograma típico de TGA, los gráficos muestran una primera pérdida inicial de peso correspondiente con el procedimiento de calentamiento por el cual se elimina la humedad de la materia y que se realiza entre 25 a 150 °C. La segunda etapa (150-400 °C), la mayoría de las veces es

la de mayor pérdida de peso, correspondiente a la carbonización primaria o pirólisis activa, resultado de la eliminación de materias volátiles y alquitranes. Esta etapa se puede dividir en dos partes correspondientes a la descomposición de hemicelulosas (180-270 °C) y celulosas (270-400 °C) (Cazetta et al., 2011; Hayashi et al., 2002; Lozano-Castelló et al., 2001). La tercera etapa, que comienza en el rango de 400 a 550 °C, indica la descomposición de una estructura con alta estabilidad (Lozano-Castelló et al., 2001). Por encima de 550 °C, la pérdida de peso es pequeña, lo que indica que se ha formado la estructura básica del carbón. Por encima de 550 °C, la pérdida de masa es pequeña y se vuelve casi constante. Quedan algunas trazas de celulosa y hemicelulosas residuales. La lignina está presente como fracción mayoritaria; siendo que su descomposición es más difícil. De hecho, se sabe que la descomposición de la lignina se produce lentamente desde los 200 hasta los 900 °C (Cazetta et al., 2011; Lozano-Castelló et al., 2001).

f. Análisis último y próximo

De acuerdo con el estándar D3176-15 de la Sociedad Estadounidense para Pruebas de Materiales (ASTM), el análisis final incluye la cuantificación de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre en un material (como se encuentra en los productos gaseosos de su completo). combustión), la determinación de cenizas, en su conjunto, y el cálculo de oxígeno por diferencia.

Los análisis finales y proximales también se informan comúnmente como características de los carbones activados. El análisis final se realiza para detectar cambios en el contenido de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de las muestras dentro de las etapas de conversión de materia prima en carbón

activado. Adicionalmente, en la ASTM se encuentran disponibles más técnicas para evaluar carbohidratos activados; algunos de ellos incluyen tamaño de partícula, capacidad de adsorción y penetración en varias atmósferas. Hace algunos años, era común reportar el pH del carbón activado siguiendo el procedimiento ASTM D3838-80; sin embargo, el pH se refiere a soluciones acuosas en lugar de sólidos. Por esta razón, el uso del Punto de Carga Cero (PZC) para describir el estado cuando la densidad de la carga eléctrica superficial de un sólido resulta cero es la más adecuada. En la literatura es posible encontrar varias técnicas para calcular el PZC, como se mencionó anteriormente (González-García, 2018).

g. Análisis lignocelulósico

Los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina en los precursores dependen de muchos factores (especies vegetales, origen, condiciones climáticas, calidad y acondicionamiento, entre otros) y tienen una fuerte influencia en la estructura final y propiedades del activado. carbones. Su cuantificación no es tan sencilla. Por otro lado, el método ASTM D 1106-96 con el cual se determina la cantidad de lignina, y el método T 203 cm-99 de la Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel (TAPPI) para la determinación de alfa-, beta- y gamma- celulosa en pulpa son ampliamente utilizados (González-García, 2018).

h. Difracción de rayos X en polvo (CRD)

En una primera aproximación, la forma del diagrama XRD nos da una idea del grado de orden/desorden de la estructura del carbón activado. Un reflejo redondo, no totalmente formado y/o muy ancho ubicado en $2\theta \approx 26^\circ$,

relacionado con la estructura de grafito 002, es indicativo del apilamiento de unas pocas capas similares al grafeno en el carbón activado. Esta característica está mal descrita en varios trabajos. Aun cuando los diagramas XRD presentan las características antes mencionadas, los autores afirman que la estructura del carbón activado es “amorfa”. Sin embargo, hoy en día se ha descrito que los átomos de carbono presentan un orden de corto alcance a lo largo de las direcciones "a" o "c" y se pueden demostrar fácilmente mediante el uso de las ecuaciones de Scherrer. El grado de los carbones activados puede determinarse mediante una simple comparación de las intensidades de las reflexiones (002) y (100), cuando aparece en el difractograma, entre la muestra y un grafito utilizado como referencia (González-García, 2018).

i. Características textuales

Hasta el momento se conocen múltiples técnicas con las cuales puede analizarse la textura porosa, destacándose la adsorción física de gases, porosimetría de mercurio, dispersión de pequeño ángulo (SAS), ya sea de neutrones SANS o rayos X-SAXS, microscopía TEM o SEM, o de túnel, calorimetría de inmersión, etc. Posiblemente el análisis de las curvas isotérmicas de adsorción - desorción de nitrógeno llevada a bajas temperaturas constituya el mecanismo estándar de mayor aplicación cuando se busca caracterizar sólidos porosos, ya que proporciona información esencial en cuanto al área superficial, los volúmenes de los poros, y el PSD que conforma el carbón activado. De las isothermas de adsorción/desorción la característica que constantemente es analizada corresponde a su forma, clasificándola en seis tipos (desde microporo a superficies mesoporosas y heterogéneas), hasta dar una idea de la textura porosa del material en estudio (Sing et al., 1985).

j. Capacidad de adsorción del carbón activado

Cuando no es posible realizar la medición de adsorción/desorción de nitrógeno de los carbones, la capacidad de adsorción da una idea aproximada de la superficie disponible en el carbón activado, teniendo en cuenta que el tamaño de la molécula adsorbida es proporcional al número de partículas disponibles. sitios físicos de adsorción. Los adsorbatos más comunes utilizados como referencia son:

- Número de Yodo: Representa los miligramos de yodo adsorbidos de una solución acuosa por cada gramo de carbón activado en el momento en que la concentración de yodo del filtrado residual es de 0,02 M. Por otro lado, si bien el número de yodo no proporciona necesariamente un valor de la capacidad del carbón para adsorber otras especies y simplemente puede usarse como una aproximación del área de superficie para algunos tipos de carbón activado; debe tenerse en cuenta que no se puede generalizar ninguna relación entre el área superficial y el número de yodo (González & Pliego- Cuervo, 2013).
- Índice de azul de metileno (MBI): El valor MBI indica la capacidad como adsorbente del carbón activado para aquellas moléculas que comparten una dimensión similar a la del azul de metileno, conceptualmente el MBI representa los mililitros estándar de la solución MB decolorada por cada 0.1 gramos de carbón activo (base seca). La Prueba Estándar ASTM para MBI de Arcilla es el procedimiento más comúnmente utilizado al momento de determinar la actividad de la arcilla en los laboratorios de procesamiento de minerales y relaves derivados de las arenas bituminosas. Pudiendo aplicarse también en carbones activados cuando se busca el

cálculo del área superficial activa del material en función de las dimensiones de la molécula de MB (Hang & Brindley, 1970).

1.6. Aporte del desarrollo de la tesis

Este estudio busca trazar la metodología adecuada para tratar los residuos de poda que pueden ser convertidos a carbón activado, para de esta manera tener un aprovechamiento a través de su uso como adsorbente de oro en los procesos en minería.

El carbón activado se prepara a partir de muestras con elevada densidad orgánica, es por eso que los residuos de poda, especialmente de los troncos, pueden cumplir con esta posibilidad, y a través de un tratamiento térmico podemos obtener carbón activado, cuya función es atrapar por adsorción los metales preciosos que se encuentran en una solución rica luego de un proceso de lixiviación, en este caso probar que tendrá efectividad en la adsorción de oro en solución.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado de arte

2.1.1. Métodos de tratamiento de metales pesados

De acuerdo a Supiyeva et al. (2020), la liberación de varios iones de metales pesados nocivos para el ambiente se ha constituido como una problemática de índole importante tanto desde el aspecto ambiental como económico, debido a su toxicidad y uso generalizado. Por lo tanto, el desarrollo de métodos simples, rápidos y eficientes ha seguido siendo de interés para monitorear los iones metálicos en el ambiente, en particular en medios acuosos. Entre las técnicas de mayor uso con respecto a la determinación de iones metálicos pesados se resalta: la espectrofotometría de absorción atómica o “AAS”, así como la espectrometría de masas o de emisión de plasma acoplado inductivamente conocidos como ICP-MS o ICP-OES respectivamente, voltámetro de redisolución anódica, cromatografía iónica y espectroscopia de fluorescencia.

Según Chen et al. (2020), la sensibilidad y la selectividad de estos métodos suelen ser insuficientes cuando se busca determinar directamente los iones metálicos a un nivel de concentración muy bajo en muestras ambientales de matriz compleja. Estos problemas pueden superarse mediante la combinación de técnicas eficaces de preconcentración y/o separación con determinación posterior. Los métodos de separación y preconcentración implican varios procedimientos, incluida la extracción líquido-líquido, el intercambio iónico y la precipitación química.

Chen et al. (2020), también indica que estos métodos tradicionales de separación y/o preconcentración de iones de metales pesados suelen consumir mucho tiempo y requieren volúmenes relativamente grandes de disolventes de alta pureza. El método

más potente y ampliamente utilizado para el pretratamiento de muestras ambientales es la extracción en fase sólida (SPE). Esto se debe a sus ventajas de alta recuperación, rápido tiempo de extracción y separación de fases, alto factor de enriquecimiento, bajo costo y bajo consumo de solventes orgánicos sobre la extracción líquido-líquido. También se han utilizado una gran variedad de adsorbentes como extractores en fase sólida para la preconcentración de iones metálicos, como alúmina, resinas, celulosa y gel de sílice.

2.1.2. Carbón activado químicamente modificado

De acuerdo con Olvera y Domanski (2019), el carbón activado (CA) es el adsorbente más utilizado en el control de la contaminación ambiental entre todos los adsorbentes debido a su manejo sencillo, gran área de superficie, alta capacidad de adsorción, estructura porosa, adsorción selectiva y altos estándares de pureza. La naturaleza y concentración de los grupos funcionales del carbón activado pueden modificarse mediante diversos tratamientos superficiales.

Chen et al. (2020), indica que existen varios métodos de tratamientos superficiales de carbón activado como métodos oxidativos y no oxidativos. Se han utilizado para la modificación de su región interfacial mediante el aumento de grupos funcionales superficiales. En general, la adsorción de iones con CA se ha investigado intensamente. En estudios previos, la presencia de grupos complejantes protonables en la superficie de CA, como grupos carboxílicos, lactónicos y fenólicos, ha sido ampliamente investigada, sin embargo, los estudios reportados a CA modificada son relativamente menos. La modificación química del carbón activado con agentes quelantes orgánicos mejora su región interfacial, mejorando su selectividad y capacidad para monitorear iones de metales pesados en el medio ambiente.

Supiyeva et al. (2020) indica que, en los últimos años, el efecto de la modificación de los grupos funcionales superficiales del carbón activado sobre el comportamiento de adsorción con iones de metales pesados ha sido una preocupación continua. Por ejemplo, el carbón activado funcionalizado con agentes complejantes, como violeta de pirocatecol, ditiocarbamato de pirrolidina de amonio y 5,5-difenilimidazolidina-2,4-diona (fenitoína) logra el enriquecimiento de varios iones de metales pesados después de la modificación de AC con agentes quelantes, como violeta de pirocatecol para Cu, Mn, Co, Cd, Pb, Ni y Cr. Por lo tanto, existe un interés creciente por la preparación de CA modificada con grupos funcionales de superficie específicos para unirse selectivamente al analito de interés.

Albishri y Marwani (2016) indican que los estudios enfocados en el carbón activado deben de tener como finalidad explorar el efecto de la CA modificada en cuanto a selectividad y capacidad de adsorción de iones metálicos. La preparación del adsorbente implica una modificación química del CA que permite unirse al Au (III) antes de su determinación mediante ICP-OES en condiciones óptimas. Se debe de prestar atención a los parámetros que controlan la captación máxima del ion de metal pesado objetivo en condiciones de lote, incluidos los efectos del pH, la concentración de Au (III), el tiempo de agitación y los iones coexistentes comunes. Los resultados deben de también mostrar el estudio cinético.

2.1.3. Lixiviación de oro y carbón activado

Altinkaya et al. (2020) indica que el cianuro es el lixivante predominante utilizado para extraer oro debido a su fuerte complejación con el oro y la simplicidad técnica del proceso de lixiviación, sin embargo, el uso de cianuro puede traer desafíos en términos de aspectos ambientales, de salud y seguridad. Además, se puede observar una cinética de lixiviación lenta y un alto consumo de cianuro en presencia de

minerales refractarios, materia carbonosa y minerales de oro con contenido de cobre, lo que aumenta los costos de procesamiento. Sin embargo, los métodos alternativos como el uso de tiosulfato, haluros, tiourea, tiocianato, carbones activados y bisulfuro son menos tóxicos, económicos y con alta eficiencia de proceso para desafiar el cianuro en la producción industrial de oro.

Altinkaya et al. (2020) dice que el oro es un metal esencial en la economía y las tecnologías, la mayor parte del oro se produce a partir de la minería y la cianuración es el método principal utilizado para la extracción de oro, siendo el producto $\text{Au}(\text{CN})$, en donde la adsorción con carbón activado ha sido el principal enfoque comercial para recuperar oro de una solución de $\text{Au}(\text{CN})$ desde la década de 1970. En el siglo XXI, se llevaron a cabo la exploración de nuevos materiales y muchos trabajos experimentales y de modelado para comprender mejor los mecanismos de adsorción de $\text{Au}(\text{CN})$ con carbón activado.

Albishri y Marwani (2016) muestran que en múltiples estudios se han revisado distintos materiales con los que podría recuperarse el oro, como son el carbón activado, materiales a base de grafeno y algunos otros materiales. También se han revisado estudios experimentales y de modelado relacionados con el mecanismo de adsorción de $\text{Au}(\text{CN})$ sobre carbón activado, lo que proporcionó a diversos estudios una mejor comprensión del proceso de adsorción. También existen diversos estudios que discuten acerca de la cinética de la adsorción de $\text{Au}(\text{CN})$, el papel de los defectos estructurales y el tamaño de los poros en la mejora de la capacidad de carga.

2.1.4. Reutilización de residuos de poda

Lui et al. (2022), en las últimas décadas, dice que los residuos verdes han ido incrementándose de forma progresiva y rápida en casi todos los países esto como respuesta a la rápida urbanización y expansión de los espacios verdes urbanos. En 2017, se registró en general alrededor de 2 mil millones de Ton. de residuos sólidos urbanos, de los cuales los residuos verdes representaron alrededor del 11 %. Estos residuos tienen un contenido de lignocelulosa relativamente alto, que en promedio consiste en 27% a 57% de celulosa, 11% a 55% de hemicelulosa y 3% a 22% de lignina en base a materia seca. Debido a su estructura compleja y estabilidad biológica, estos residuos tardan mucho en descomponerse en la naturaleza. Esto no solo tiene un impacto negativo en la estética visual de un área, sino que también aumenta los riesgos de incendio y produce metano relacionado con el cambio climático.

Cao et al. (2018) sostiene que deben gestionarse los residuos verdes de tal forma en que pasen de ser residuos a materiales de riqueza, debe ser una parte fundamental de la administración urbana, para ello se debe de propiciar su transformación en bioproductos de alto valor y bioenergía mediante tecnologías de reciclaje adecuadas cumple con los requisitos de bioeconomía promoviendo la transición a la economía circular alineándola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, como el ODS 12.5 y 11.6 que apuntan a la reducción de la cantidad de residuos generados, y a mitigar el impacto ambiental durante la gestión de residuos (ONU, 2015).

Rincón et al. (2021) muestra que las consideraciones ambientales relacionadas con el desarrollo sostenible abordadas especialmente en las últimas décadas han conllevado al surgimiento de una tendencia por el aprovechamiento de residuos. En particular, se pretende utilizar los residuos forestales, agrícolas y agroalimentarios como fuente de

nuevos productos capaces de sustituir a los derivados del petróleo. Las principales fracciones de pared celular vegetal de estas materias primas pueden ser separadas y purificadas para su posterior aplicación en distintas aplicaciones industriales. Igualmente, Zaw et al. (2018) reafirman que las pectinas son polisacáridos esenciales en el desarrollo de las plantas, siendo encontradas especialmente en el tejido de crecimiento activo en las plantas leñosas. Y resaltan que desde hace algunos años estas materias, han despertado cada vez más el interés particularmente como ingrediente funcional con gran potencial en áreas como cosmética, alimentos, productos farmacéuticos, productos para el cuidado personal y películas activas para el envasado de alimentos.

Liuzzi et al. (2017) indica que las características funcionales de las pectinas se encuentran vinculadas claramente con su estructura, en gran medida afectadas por el método de extracción. Tradicionalmente, las pectinas se extraen de los subproductos del procesamiento de alimentos utilizando condiciones de extracción ácidas severas a un pH muy bajo. Además, estos métodos requieren una alta proporción de sólido a líquido y grandes volúmenes de disolvente. Como resultado, el impacto ambiental es notablemente alto, incluido el uso extensivo de energía y agua. Las tecnologías de extracción de pectina más innovadoras incluyen las extracciones asistidas por ultrasonido, microondas, enzimas o con agua subcrítica, así como el procesamiento a alta presión (HPP). De estas, Liuzzi et al. (2017) muestra que la extracción empleando agua subcrítica (SWE) está considerado como método sustentable en comparación con los convencionales, permitiendo el aislamiento de polisacáridos preservando su funcionalidad y masa molecular. Las condiciones subcríticas modifican las propiedades del agua, incluida la viscosidad, la difusión, la polaridad y la tensión superficial de densidad. Este proceso, además de efectivo, ha demostrado ser escalable

a escala piloto bajo condiciones subcríticas en la que el agua debe estar con la suficiente presión para mantener su estado líquido entre su punto de ebullición y crítico, mientras reduce su polaridad como solvente en función al aumento de la temperatura. El agua subcrítica a temperaturas inferiores a 150°C, puede extraer compuestos fenólicos simples, mientras que a temperaturas más altas es capaz de hidrolizar polisacáridos (hemicelulosa y celulosa) para producir azúcares simples y oligómeros de azúcares. Además, si SWE se realiza secuencialmente (S-SWE) en un tiempo fijo y aumentando la temperatura de extracción, es posible separar los diferentes componentes de la biomasa lignocelulósica.

2.2. Antecedentes de la investigación

Gracia (2017) menciona en su estudio que la síntesis del carbón activado se realizó por activación física y química, aplicándose un flujo bajo de nitrógeno y dióxido de carbono; y la impregnación de dos precursores (síntesis de virutas de pino y cascarilla de arroz) y ácido fosfórico. Tras ello el carbón fue modificado empleando hierro a través de un proceso hidrotérmico en microondas, y realizándose un pretratamiento de oxidación con permanganato de potasio. Posterior a lo cual se llevó a cabo una caracterización de los precursores como del carbón activado por medio de un análisis proximal de cenizas, espectroscopia de infrarrojo, pH superficial, BET y difracción de rayos X. Adicional a ello se aplicó test de adsorción a varios valores de pH, revelándose que la cáscara de los granos de arroz presenta un considerable porcentaje de cenizas, y optándose por ello a las virutas de pino que presentaron una mayor pureza. Los AC tratados fisicoquímicamente presentaron grupos de cetonas, quinonas y un pH entre 7.8 a 9.5; mientras que las AC químicas presentaron lactonas y carboxilos con un pH menor al otro (3.0 a 6.8), en base a lo cual se activó el carbón con dióxido de carbono y con cloruro de zinc y luego sometidos

a impregnación con hierro para elevar sus tasas de adsorción, mejorando así su capacidad adsorbente.

Silva (2017) en su estudio sobre la síntesis de CA a base de fibras de achiote (residuo agroindustrial) realizaron dicha síntesis dividiendo la producción en dos fases: una primera parte en la que se sintetiza el carbono y se somete a experimentos de adsorción con arsénico considerando un diseño experimental tipo 2k con reactivos químicos (activadores) evaluando valores de impregnación y temperatura de carbonización en el proceso. Como parte de la fase siguiente se llevaron a cabo las caracterizaciones fisicoquímicas por espectroscopia infrarroja FTIR identificando mediante ello la presencia de grupos carboxílicos lo que sugirió que el mecanismo de adsorción puede ser la atracción electrostática, así mismo los resultados mostraron que el carbón obtenido tenía una alta capacidad para adsorber arsénico con un rendimiento de 54.10%, cuando es producido a 400°C y bajo un coeficiente de impregnación de 0.5 gramos de ZnCl_2 por gramo de biomasa; dicha capacidad fue corroborada de acuerdo con el índice de yodo cuyo valor resultó 375.3 mg/g,

Solis et al. (2012) en su estudio produjeron carbón activado en base a tres importantes residuos de la agroindustria proveniente de Veracruz en México, tales residuos fueron: cáscara de naranja, cascarilla de café y bagazo. Para la activación física el proceso se basó en el calcinamiento de las muestras en mufla a 600°C; mientras que para la activación química la impregnación de las muestras predeshidratadas se llevó con ácido fosfórico al 20, 40 y 85% por 16 horas, y una carbonización de 1 hora a 500°C. Luego de lo cual cada muestra fue evaluada en la remoción de compuestos cromóforos de la primera extracción del ingenio azucarero y del jugo de caña clarificado, las curvas de adsorción resultantes se ajustaron al modelo Freundlich, mostrándose que el proceso depende esencialmente del tipo de precursor, el procedimiento de activación y la concentración del activador.

Concluyendo que el carbón activado vía química y producido a partir de las cáscaras y bagazo de café es el que tiene mayor rendimiento y eficiencia de eliminación puesto que absorbieron entre 86.1% y 98.2% del color de guarabo respectivamente, y 82.1% a 77% de los colores del jugo.

Suárez (2018) en su investigación examinó la facilidad con la que puede ser preparado y caracterizado el carbón activado elaborado a partir de material lignocelulósico (coco) por reacción química con H_3PO_4 . Para la elaboración empleó dos fuentes de cáscara de coco, una proveniente de Perú y otra de Ecuador, la activación la llevó con H_3PO_4 al 50% y 773K por una hora. El carbón terminado se caracterizó fisicoquímicamente de acuerdo a las normas ASTM determinando las características del área superficial específica que mostro ser moderadamente alta con valores de $657m^2/g$ y $794m^2/g$ para cada una de las variedades. Con respecto a la isoterma de N_2 realizada a $77^\circ C$ esta concordó con una Isoterma Tipo I, determinándose además que las propiedades del material carbonoso se ven relacionadas con el nivel, naturaleza, tiempo y temperatura de activación. La activación se llevo por pirolisis (carbonización seguida de activación).

Ponce (2018) en su estudio resaltan la eficiencia y rentabilidad de la producción y aplicación de carbón activo (CA) a base de cáscaras de coco, esto con base a investigaciones previas sobre dicha materia prima. Para este estudio la capacidad de CA de coco se probó en la remoción de Pb y Fe de las aguas potables de Paragasha (región Pasco) siendo por tanto un estudio con un alcance importante en la medida que podría representar una alternativa ecológica y económica para el agua potable limpia y remoción de metales, llegando a beneficiar a las personas de esta región. El estudio comprendió un diseño cuasi-experimental, recolectándose datos por medio de observación, muestreo y la propia preparación del CA, los monitoreos se realizaron a tiempos de 90 y 120 minutos.

Gonzales y Teruya (2014) mencionan en su estudio que, si bien la demanda general va en aumento, la producción de carbón activado en el Perú es muy especial en el sentido de producción irregular en todo el país. Aunque no existe información exacta sobre cuándo se consumía y/o producía carbón vegetal en el país, se sabe que a medida que la industria azucarera peruana creció, los ingenios azucareros requirieron limpieza de equipos para reducir o eliminar la contaminación o cambiar la calidad de este producto endulzante. riesgos para. En el Perú este trabajo se realiza y aún se realiza desde la década de abril a mayo del año que coincide con la época de labores de cultivo de la caña de azúcar, por lo que no existe oferta de caña de azúcar. Al mismo tiempo, las fábricas de azúcar aprovechan este tiempo para limpiar equipos y mantener las líneas de producción, donde todavía se usa carbón activado para mantener olores y colores desagradables en la fábrica. Alrededor de la década de 1970, se convierte en la empresa Rayón y Celanese S.A. Ha instalado una pequeña planta procesadora para la activación química del carbón, cuyo principal objetivo es abastecer a las fábricas de azúcar; la temporada de producción de esta fábrica depende de la temporada de consumo de los ingenios azucareros y esto demuestra que solo existe un gran consumidor estacional en el mercado nacional. La empresa comenzó produciendo un promedio de 50 toneladas por mes, aunque en ciclos irregulares; la materia prima era originalmente aserrín en espiral para carbón en polvo, luego se cambió a carbón granulado hecho de cáscaras de café.

2.3. Hipótesis

Los residuos de poda (troncos o tallos) son aptos para pasar a procesos de calcinación, por lo que se espera que se conviertan en carbón activado y presenten una capacidad eficiente en la adsorción de oro, para procesos de recuperación en minería convencional.

2.4. Variables

2.4.1. Variable dependiente

- Eficiencia de adsorción de oro del carbón activado (%)

2.4.2. Variable independiente

- Tiempo de adsorción (min)
- Tamaño de partícula de carbón (μm)

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Variable independiente: Parámetros óptimos para la obtención de carbón activado	Diversos estudios han demostrado que el carbón activado posee una gran superficie y características especiales de porosidad que podrían ser adsorbentes comercialmente potenciales.	Debe considerarse parámetros importantes como: Temperatura y adsorción. La adsorción usualmente se utiliza para el análisis inicial de las características texturales de los materiales. Mientras que la metodología de superficie de respuesta resulta apropiada para la evaluación de valores óptimos en el proceso de activación para preparar carbones activados que sean utilizados en un determinado proceso tecnológico en este caso para almacenar oro.	-Tiempo de absorción -Tamaño de partícula de carbono	Tiempo de absorción en minutos Tamaño de partícula micrómetro	Observación - Softwares de codificación - Revisión documental	- Ficha de recolección de datos - Estudio técnico - Software de procesamiento de datos - Revisión documental

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Variable Dependiente: Eficiencia de adsorción del carbón activado (%)	Se considera que el carbón activado al ser un material poroso que además presenta una significativa área superficial cuenta con la capacidad para adsorber diferentes sustancias desde gases hasta líquidos.	Se deben de realizar ensayos a escala de laboratorio y por duplicado en donde es necesario considerar absorbentes y absorbatos.	Adsorción de oro mediante carbón activado	Porcentaje de recuperación de oro	- Observación - Softwares de codificación - Revisión documental	- Ficha de observación - Estudio técnico - Software de procesamiento de datos - Revisión documental

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance y limitaciones

3.1.1. Alcance

Demostrar que se puede obtener carbón activado a partir de residuos de poda y puede ser aplicables para la absorción de oro aplicando diferentes pruebas en laboratorio para poder ver su efectividad en la absorción de este.

3.1.2. Limitaciones

No hay antecedentes que estén relacionado a la producción de carbón activado en base a los residuos de poda que sean una guía para el presente estudio, por lo que es mayor el interés por determinar la factibilidad de este material para la adsorción y recuperación de oro en procesos hidrometalúrgicos. Por otro lado, no hay disposición continua de la materia prima, esta limitación se rige en función al tiempo de poda de las áreas verdes en la infraestructura de plantas mineras además de las municipalidades y edificios aledaños a la mina.

3.2. Tipo y diseños de la investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Investigación Explicativa: Se encarga de encontrar las causas de los hechos fijando posibles relaciones de causa-efecto, bajo esta clase de investigación pueden determinarse las causas (post facto) y los efectos (experimentos) evaluando las hipótesis, los hallazgos y conclusiones que se generan representan en general lo más profundo del conocimiento.

3.2.2. Diseño de investigación

Investigación experimental: El estudio realizado corresponde a este diseño considerando que bajo este el investigador actúa conscientemente sobre el tema de investigación, además de que el propósito de estos estudios es comprender directamente el efecto del propio comportamiento del investigador como un mecanismo. o comportamiento. Métodos para probar tus hipótesis (Bernal, 2010).

3.3. Población, muestra o universo

3.3.1. Población

Involucra los residuos de poda de las áreas verdes que forman parte de la infraestructura de plantas mineras además de las municipalidades y edificios aledaños a la mina.

3.3.2. Muestra

La muestra se encuentra conformada por los residuos de poda del árbol de molle presente en la planta procesadora, exclusivamente de los troncos que es la parte con mayor densidad orgánica útil para la fabricación del carbón activado.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- Observación sistemática directa
- Observación sistemática indirecta
- Observación experimental

3.4.2. Instrumentos

Como instrumentos para recolectar la información se empleó todo lo detallado en la Tabla siguiente:

Tabla 2*Técnicas e instrumentos de recolección de la información*

Etapas	Instrumentos	Resultados
Recolección de los residuos de poda en áreas verdes para su caracterización y análisis	Ficha de recolección de datos de campo	Conocimiento de las condiciones iniciales de la materia prima
Caracterización de la materia prima	Fichas de recolección de datos de laboratorio	Caracterización física y química de los residuos de poda
Obtención del carbón activado	Fichas de recolección de datos de laboratorio	Carbón activado para la adsorción de oro en procesos hidrometalúrgicos
Caracterización de carbón activado	Fichas de recolección de datos de laboratorio	Caracterización física y química de carbón activado obtenido en base a residuos de poda
Comprobación de adsorción de oro mediante el carbón activado	Fichas de recolección de datos de laboratorio	Adsorción y remoción de oro en procesos hidrometalúrgicos

Nota: Elaboración propia

3.4.3. Metodología de la investigación

Se realizarán los siguientes pasos:

- 1) Recolección de muestra: Se recolecta muestras con elevada densidad orgánica, como los troncos(molle), que pueden cumplir con esta posibilidad ya que soportaran un tratamiento térmico.
- 2) Las muestras de poda son obtenidas, y posteriormente trozadas para el proceso de carbonización.
- 3) Caracterización de residuos de la poda: Para realizar la caracterización se prepararán seis muestras de las cuales se determinará el porcentaje de humedad

acorde con el procedimiento ASTM D2016-74; posteriormente se eligen tres muestras para la evaluación del contenido de cenizas ASTM D1102-84 y tres muestras más para que se determine la cantidad de volátiles por ASTM D1762-84. Estas determinaciones se realizaron con el fin de analizar el potencial de los residuos obtenidos después de la poda en áreas verdes y puedan considerarse como precursor para la elaboración de carbón activado que se aplique a la adsorción y extracción de oro.

- 4) Síntesis de carbón activado - Se realiza la activación física. Carbonización: los trozos de madera son enviados al horno eléctrico, dentro de unos crisoles con tapa, para evitar que el material orgánico tenga mucho contacto con el oxígeno del ambiente, las condiciones de operación son:

Precalentamiento del horno a 300°C en un tiempo de 2 horas

Carbonización de la madera: a Temperatura: 700°C durante 6 horas.

El proceso ocurrente será trabajado a presión atmosférica.

Enfriamiento: El horno es apagado de tal modo que enfriara hasta alcanzar la temperatura ambiente, y pueda retirarse las muestras. Eso ocurre en un lapso de 24 h.

- 5) Caracterización del carbón activado: Las muestras estudiadas se caracterizaron en relación al porcentaje de cenizas, humedad y densidad aparente.
- 6) Triturado y tamizado: El material luego de la carbonización y enfriamiento pasa por una etapa de reducción de tamaño hasta alcanzar los tamaños requeridos para el experimento, estos van de acuerdo a lo siguiente:

Tamaño de partícula (um)	180	425	850
--------------------------	-----	-----	-----

7) Recolección de muestra lixiviada: La muestra será proporcionada por la empresa minera, un volumen de 5 litros luego del proceso de lixiviación por cianuración.,
Ley en solución - Concentración de oro: 5 mg/L, - pH : 11, - Conductividad: 3543 ppm, - Densidad: 1,09g/ml

8) Proceso de adsorción con carbón activado: Se realizará la instalación del equipo de adsorción de oro. En esta etapa el carbón activado va captando el complejo auro-cianuro presente en la solución.

Se maneja los siguientes tiempos de adsorción:

Tiempo de adsorción (min)	15	120	180
---------------------------	----	-----	-----

Se debe tener en cuenta que el proceso de adsorción se lleva a cabo en matraces de 125 ml, para todos los experimentos trazados en el diseño experimental.

En caso de la cantidad de carbón va en relación a 1gr por litro de solución de lixiviación.

9) Para realizar los ensayos experimentales se ha considerado las variables descritas en, siendo determinantes en el desarrollo del procedimiento para obtener el carbón activado en base a los residuos de poda. El diseño aplicado para esta etapa estuvo basado en un Diseño en Bloques Completamente Aleatorizado, con el propósito de evaluar la concentración de ácido y la temperatura.

10) Clase de diseño: Diseño en Bloques Completamente Aleatorizado

Diseño Base:

- Número de factores experimentales: 2
- Número de respuestas: 1
- Número de ejecuciones: 9
- Número de réplicas: 2

Tabla 3

Factores y niveles

Factores	Etapa	Variables	Niveles		
			1	2	3
A	Adsorción	Tamaño de partícula (um)	180	425	850
B		Tiempo de adsorción (min)	15	120	180

Nota: Se puede observar los diferentes factores y niveles en la etapa de activación física.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis e interpretación de resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos sobre el proceso de conversión del orgánico producto de poda, a carbón activado, en el que se comprueba la efectividad de la adsorción en laboratorio, empleando solución muestra de un lixiviado de mineral de oro. Se detalla también el proceso por el que el mineral en planta paso para que se pueda obtener la muestra de solución de lixiviación con contenido de oro.

4.1.1. Obtención de muestra de solución de lixiviación de mineral de oro

La muestra es obtenida a partir de una planta procesadora de mineral aurífero, proveniente del pueblo de Progreso a 2 horas de Chayhuhuacho en Apurímac, la planta está en proceso de formalización por lo que aún no tiene un nombre en especial, y está considerada como pequeña minería. A continuación, se describe el proceso por el que el mineral aurífero pasa.

Figura 1.

Tanque de lixiviación para 3 TM, de mineral molido



Es aquí que en lixiviación se toma la muestra de solución para las pruebas que desarrollan en puntos más adelante en la presente investigación.

La empresa proporciona un volumen de 5 litros, para poder desarrollar la experiencia correspondiente de probar la eficiencia del carbón activado preparado a partir de los residuos de poda. Este volumen se le aplica el análisis de oro en solución para iniciar como punto de partida para los ensayos de adsorción.

Figura 2.

Proceso de mineral de oro de la planta procesadora del pueblo de Progreso en Apurímac

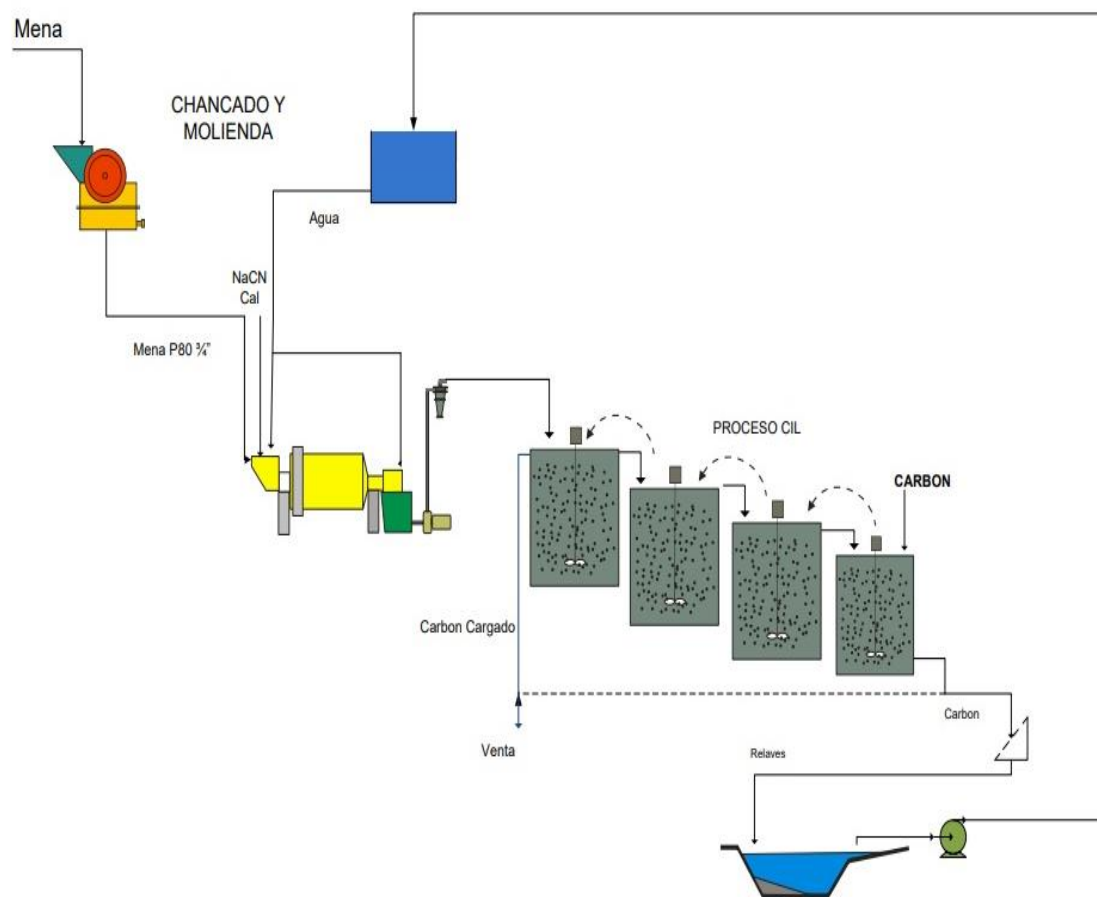
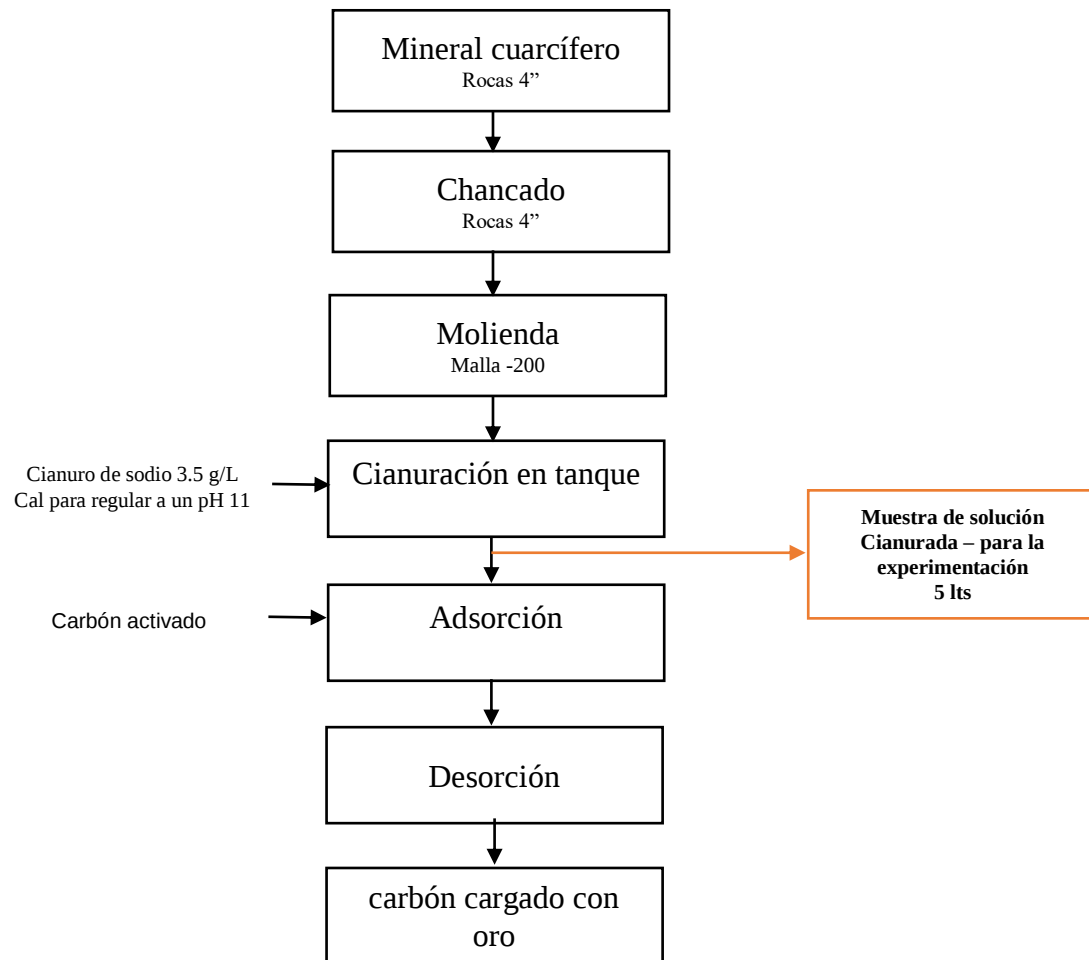


Figura 3.

Proceso de obtención de muestra de cianuración con contenido de oro de acuerdo al proceso en planta



- Características de la muestra obtenida:

Volumen: 5 lts

Ley en solución - Concentración de oro: 5 mg/L

pH: 11

Conductividad: 3543 ppm

Densidad: 1,09g/ml

4.1.2. Caracterización de los residuos de poda de las áreas verdes aplicales para la elaboración de carbón activado

Los residuos se generan a través de la actividad relacionada al mantenimiento del área verde de las empresas mineras, para lo cual la materia que se considera útil será a partir del árbol de molle que tiene presencia en la procesadora minera. Como primer paso es necesario que se caracterice la madera, para ello se deben de considerar las siguientes características.

1) Determinación de la humedad

El porcentaje de humedad refiere la relación entre la masa de agua y los gramos de madera seca (sin restos de agua). Se utiliza como método la norma ASTM D 3173-87. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde:

m_1 : Peso inicial de la muestra (g)

m_2 : Peso de la muestra después del secado (g)

La medición del % de humedad se realizará por triplicado.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4*Humedad de la madera*

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Humedad	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	80.93	82.97	82.83	6.86	0.62	8.60%
2	79.70	81.73	81.57	7.88		
3	81.00	83.07	82.93	6.76		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

De acuerdo con la Tabla es apreciable que el porcentaje de humedad media para las 3 muestras es de 7.17 de humedad en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.62 con un coeficiente de variación del 9.00%.

Figura 1*Vaso residual con poda madera*

Nota: Se puede observar 4 beakers con residuos de poda.

2) Determinación de ceniza

La ceniza de madera es un material que se obtiene quemando madera en una chimenea o estufa. Aunque la ceniza de madera a menudo se considera un desecho, tiene muchos usos dentro y alrededor del hogar. La ceniza vegetal contiene una considerable cantidad de carbonato de potasio, calcio, magnesio, y demás minerales que resultan claves para las plantas, por lo que tiene la ventaja de poder ser empleado como fertilizante en caso no contengan metales pesados u algún otro contaminante. Debido a que suele ser fuertemente alcalino, puede mezclarse con agua y dejarse en el aire durante un tiempo para neutralizarlo parcialmente por la acción del CO₂ en la atmósfera. Se utiliza como método la norma ASTM D 3172-89 (02). En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_4}{m_2} \times 100$$

Donde:

m₂: Peso de la muestra húmeda (g)

m₄: Peso de las cenizas de la muestra (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5*Determinación del porcentaje de la ceniza*

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Ceniza	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	94.50	111.85	99.59	29.34	1.31	4.23%
2	92.19	114.09	99.06	31.37		
3	92.96	109.64	98.26	31.77		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

Figura 2*Crisoles con ceniza de madera*

Nota: Se puede observar 3 crisoles con muestras de ceniza de madera.

De la tabla antes mostrada puede apreciarse que el porcentaje promedio de ceniza para las 3 muestras es de 30.83 en donde la desviación estándar tiene un valor de 1.31% con un coeficiente de variación del 4.00%.

3) Determinación del material volátil

Se consideran como materia volátil los desprendimientos gaseosos producto del calentamiento que experimenta una materia orgánica o inorgánica. Se utiliza como método la norma ASTM D 3175-89 (02). En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Material volátil} = \left(\frac{m_2 - m_4}{m_2} \times 100 \right) - H$$

Donde:

m_2 : Peso inicial de la muestra (g)

m_4 : Peso de la muestra seca (g)

H: Porcentaje de humedad

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6

Determinación del porcentaje de material volátil

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Materia volátil	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	92.49	93.47	92.53	89.06		
2	94.72	95.69	94.80	83.87	3.73	4.23%
3	93.28	94.22	93.30	91.11		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el promedio del material volátil de las 3 muestras es de 88.01 en donde la desviación estándar tiene un valor de 3.73 con un coeficiente de variación del 4.00%..

Figura 3

Material volátil de madera



Nota: Equipo para realizar el procedimiento.

4) Determinación de carbono fijo

Aquella porción de materia que no es volatilizada y por el contrario experimenta una calcinación estando en estado sólido. Analíticamente este porcentaje resulta de la diferencia en cuanto a humedad residual, cenizas y material volátil. Se utiliza como método la norma ASTM D 3172-89 (02). En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carbon. fijo} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Materia volátil} - \% \text{ Cenizas}$$

Tabla 7*Determinación del carbono fijo*

Nro.	Carbono Fijo	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1.00	25.26	3.33	12.79%
2.00	23.12		
3.00	29.65		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el promedio del carbono fijo de las 3 muestras es de 26.01 de humedad en donde la desviación estándar tiene un valor de 3.33 con un coeficiente de variabilidad del 13.00%.

5) Determinación de Densidad Aparente

Está definida por la relación entre la sustancia de la pared celular y el espacio hueco que se halla en la madera, siendo por tanto un valor proporcional que puede ser calculado en base a la masa y el volumen global. Como método puede emplearse la norma ASTM D 2854. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$Densidad\ aparente\ (\frac{g}{cm^3}) = \frac{m}{volumen\ global}$$

En la tabla puede apreciarse que el promedio de la densidad aparente de las 3 muestras es de 0.24 en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.01 con un coeficiente de variación del 5.00%

Tabla 8*Determinación de la densidad aparente*

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	80.93	93.32	50.00	0.25	0.01	5.07%
2	79.70	92.15	50.00	0.25		
3	81.00	92.36	50.00	0.23		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el promedio de la densidad aparente de las 3 muestras es de 0.24 en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.01 con un coeficiente de variación del 5.00%

4.1.3. Elaboración y caracterización de carbón activado a partir del residuo de poda

Se realizó una caracterización del carbón activado, para ello se deberá de utilizar pruebas de estándares de métodos para el carbón activado.

1) Determinación de la humedad

Está definido por la relación entre la masa de madera y los gramos de madera seca (sin restos de agua), por ejemplo, si se tiene una madera cuyo peso es 100Kg y la mitad de su peso es agua, entonces el porcentaje de humedad resultante es 50%. Para esta determinación es posible aplicar como método la norma ASTM D 2867-09 - Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon, 2014. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde:

m_1 : Peso inicial de la muestra (g)

m_2 : Peso de la muestra después del secado (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 9

Determinación de la humedad

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Humedad	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	79.69	81.71	81.69	0.99	0.02	1.71%
2	79.56	81.62	81.60	0.97		
3	80.25	82.34	82.32	0.96		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el porcentaje promedio de humedad (%) para las 3 muestras es 0.97 de humedad en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.02 con un coeficiente de variación del 2.00%

Figura 4

Muestras de carbón activado



Nota: Muestras colocadas en el laboratorio.

2) Determinación de ceniza:

La ceniza de madera es todo aquel resto (materia orgánica o inorgánica) que es resultante de la combustión del material. Esta ceniza de madera está compuesta por diferentes partículas puesto que es producto de la combustión. Esta ceniza se caracteriza por ser pulverulenta. Se utiliza como método la ASTM D 2866-11 - Standard Test Methods for Total Ash Content of Activated Carbon. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

Donde:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_4}{m_2} \times 100$$

m_2 : Peso de la muestra húmeda (g)

m_4 : Peso de las cenizas de la muestra (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 10*Determinación del porcentaje de la ceniza*

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Ceniza	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	94.58	96.67	94.69	5.26	0.73	16.50%
2	92.24	94.25	92.32	3.98		
3	92.98	94.97	93.06	4.02		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el porcentaje medio de ceniza para las 3 muestras es 4.42 de humedad en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.73 con un coeficiente de variación del 17.00%.

Figura 5*Muestras de ceniza de carbón activado*

Nota: Muestras colocadas en crisoles de reserva.

3) Determinación del material volátil

Se consideran como materia volátil los desprendimientos gaseosos producto del calentamiento que experimenta una materia orgánica o inorgánica, pudiendo utilizarse como método la norma ISO – 5623-1974. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Material volátil} = \left(\frac{m_2 - m_4}{m_2} \times 100 \right) - H$$

Donde:

m₁: Peso inicial de la muestra (g)

m₂: Peso de la muestra seca (g)

m₃: Peso después del tratamiento térmico

Los resultados de este análisis se muestran a continuación:

Tabla 11

Determinación del porcentaje de material volátil

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Materia volátil (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	94.57	95.57	94.99	57.01		
2	92.25	93.25	92.71	53.03	2.08	3.70%
3	92.98	93.98	93.41	56.04		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el promedio de material volátil (%) de las 3 muestras es de 55.36% en donde la desviación estándar tiene un valor de 2.08 con un coeficiente de variación del 4.00%

Figura 6

Muestras de material volátil



Nota: Muestras colocadas en crisoles de reserva.

4) Determinación del carbono fijo

Aquella porción de materia que no es volatilizada y por el contrario experimenta una calcinación estando en estado sólido, analíticamente se calcula por la diferencia de humedad, materia volátil y cenizas. Se utiliza como método la norma ASTM 3172-89 (02). En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

En la tabla puede apreciarse que el promedio del carbono fijo de las 3 muestras es de 39.25% en donde la desviación estándar tiene un valor de 2.65 con un coeficiente de variabilidad del 0.07.

$$\% \text{ Carbon. fijo} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Materia volátil} - \% \text{ Cenizas}$$

Tabla 12*Determinación del carbono fijo*

Nro.	Carbono Fijo (%)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	36.74	2.65	6.75%
2	42.02		
3	38.98		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

5) Determinación de densidad aparente

Está definida por la relación entre la sustancia de la pared celular y el espacio hueco que se halla en la madera, siendo por tanto un valor proporcional que puede ser calculado en base a la masa y el volumen global. Se utiliza como método la norma ASTM D-2854. En donde es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente } \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{m}{\text{volumen global}}$$

Tabla 13*Determinación de la densidad aparente*

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
1	22.02	23.76	5.00	0.35	0.01	2.02%
2	22.03	23.82	5.00	0.36		
3	22.05	23.86	5.00	0.36		

Nota: Se puede observar que las masas iniciales son semejantes.

En la tabla puede apreciarse que el promedio de densidad aparente (%) de las 3 muestras es de 0.36 de humedad en donde la desviación estándar tiene un valor de 0.01 con un coeficiente de variación del 2.00%

4.1.4. Determinación de la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado

Constituye un proceso mediante el cual se separan algunos componentes los cuales de una fase fluida deben de ser transferidas a un sustrato sólido, la cual debe quedar física o químicamente enlazado a la superficie del adsorbente. Se deben de determinar las siguientes características.

1) Rendimiento del carbón vegetal (CV)

La carbonización de los residuos de poda se realizó a 400°C, por 1.5 horas. Se dejó enfriar durante 24 horas, antes de su descarga. Se tuvo que realizar la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento del carbón vegetal (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

Donde:

m_1 : Masa del carbón vegetal (g)

m_2 : Masa seca de los residuos de poda de árbol (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 14

Determinación del rendimiento del carbón vegetal

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra seca (g)	Rendimiento CV (%)
1	559.33	689.18	597.08	29.07

Nota: Se puede observar que considera muestras normales y secas

En la tabla puede apreciarse que la masa de recipiente vacío más muestra es de 689.18 gramos, la masa del recipiente vacío más muestra seca es de 597.08 gramos en donde el rendimiento del carbón vegetal es del 29.07%.

Figura 7

Residuos vegetales para el carbón vegetal



Nota: Evidencia de las muestras de residuos.

Figura 8

Carbón vegetal elaborado



Nota: Muestras colocadas en crisoles de reserva.

2) Rendimiento del carbón activado

Se realizó la activación física del carbón activado a 800 °C durante 2 h utilizando como agente de activación el aire. Se tuvo que realizar la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento del carbón activado (\%)} = \frac{p_1}{p_2} \times 100$$

Donde:

P₁: Masa del carbón activado (g)

P₂: Masa seca del carbón vegetal (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Figura 9

Carbón activado



Nota: Carbón activado en recipientes de muestra.

Tabla 15

Determinación del rendimiento del carbón activado

Nro. Muestra	Masa de recipiente vacío (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra CV (g)	Masa de recipiente vacío + Muestra CA (g)	Rendimiento CA (%)
1	186.72	224.69	215.79	76.56

Nota: Se puede observar que se considera muestras de carbón vegetal y carbón activado

En la tabla puede apreciarse que la masa de recipiente vacío más muestra de carbón vegetal es de 224.69 gramos, la masa de recipiente vacío más muestra de carbón activado es de 215.79 gramos, en donde el rendimiento del carbón activado es del 76.56%.

3) Proceso de adsorción

Se pesó 0.5 g de carbón activado y se adicionó 100 mL de la solución áurica.

Este proceso se analizó para tiempos de 15, 120 y 180 min y tamaño de partícula de 850, 425 y 180 μm . Se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

Donde:

C_o : Concentración inicial de oro (g)

C_f : Concentración final de oro (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 16*Determinación del porcentaje de eficiencia del proceso de adsorción en tres corridas*

Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Eficiencia (%)
1	15	850.00	5.00	2.81	43.80
2	120	850.00	5.00	2.12	57.60
3	180	850.00	5.00	1.96	60.80
4	15	425.00	5.00	0.72	85.60
5	120	425.00	5.00	0.64	87.20
6	180	425.00	5.00	0.49	90.20
7	15	180.00	5.00	0.43	91.40
8	120	180.00	5.00	0.84	83.20
9	180	180.00	5.00	0.24	95.20
Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Eficiencia (%)
1	15	850.00	5.00	2.72	45.60
2	120	850.00	5.00	02.01	59.80
3	180	850.00	5.00	1.90	62.00
4	15	425.00	5.00	0.75	85.00
5	120	425.00	5.00	0.52	89.60
6	180	425.00	5.00	0.41	91.80
7	15	180.00	5.00	0.35	93.00
8	120	180.00	5.00	0.21	95.80
9	180	180.00	5.00	0.19	96.20
Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Eficiencia (%)
1	15	850.00	5.00	2.79	44.20
2	120	850.00	5.00	2.16	56.80
3	180	850.00	5.00	1.87	62.60
4	15	425.00	5.00	0.70	86.00
5	120	425.00	5.00	0.59	88.20
6	180	425.00	5.00	0.48	90.40
7	15	180.00	5.00	0.30	94.00
8	120	180.00	5.00	0.23	95.40
9	180	180.00	5.00	0.18	96.40

Nota: Diferentes tiempos de adsorción y tamaños de partículas.

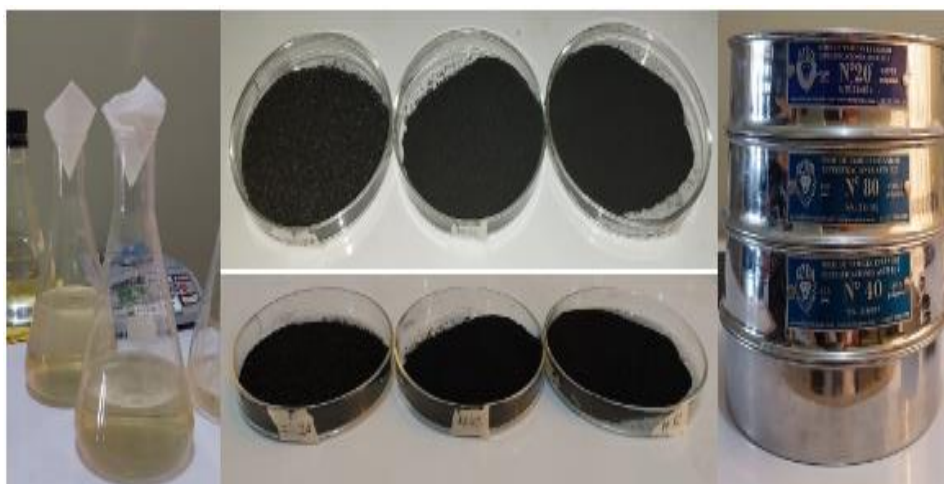
En la tabla puede apreciarse que para el primer grupo de muestras en las que el tamaño de partícula es 850 μm , la eficiencia resultante es 54.1%, mientras que para las partículas de 425 μm la eficiencia es 87.7% y finalmente para las partículas más pequeñas 180 μm la eficiencia es 89.9%.

En la tabla también puede apreciarse que para el segundo grupo de muestras para las partículas de tamaño 850 μm la eficiencia es 55.8%, mientras que para las de tamaño 425 μm la eficiencia es 88.8% y para las de 180 μm la eficiencia es 95.0%.

Para el tercer grupo de muestras en el que las partículas son de 850 μm la eficiencia es 54.5%, mientras que para las de 425 μm la eficiencia es 88.2% y para las de menor tamaño 180 μm la eficiencia resulta mayor siendo igual a 95.3%.

Figura 10

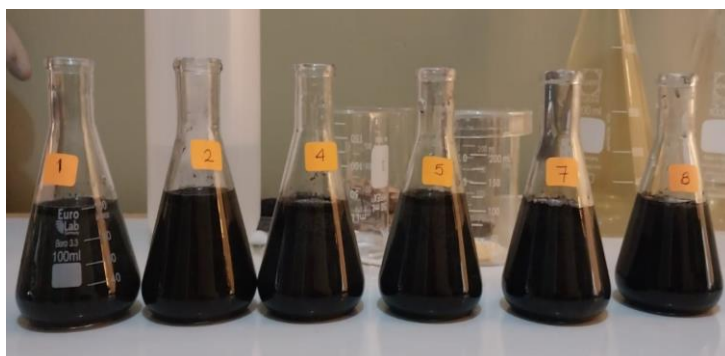
Carbón activado



Nota: Muestras de carbón activado con diferentes tamaños de partícula.

Figura 11

Carbón activado



Nota: Muestras de carbón activado con diferentes porcentajes de eficiencia.

Tabla 17

Determinación de la eficiencia del proceso de adsorción en tres corridas

Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Eficiencia (%)
1	15	850.00	5.00	2.77 ± 0.05	44.53 ± 0.95
2	120	850.00	5.00	2.10 ± 0.08	58.07 ± 1.55
3	180	850.00	5.00	1.91 ± 0.05	61.80 ± 0.92
4	15	425.00	5.00	0.72 ± 0.03	85.53 ± 0.50
5	120	425.00	5.00	0.58 ± 0.06	88.33 ± 1.21
6	180	425.00	5.00	0.46 ± 0.04	90.80 ± 0.87
7	15	180.00	5.00	0.36 ± 0.07	92.80 ± 1.31
8	120	180.00	5.00	0.43 ± 0.36	91.47 ± 7.16
9	180	180.00	5.00	0.20 ± 0.03	95.93 ± 0.64

Nota: Muestras de carbón activado con diferentes porcentajes de eficiencia.

En la tabla puede apreciarse que para el grupo de muestras en general teniéndose partículas de 850 µm la eficiencia promedio es 54.8%, mientras que para las de 425 µm la eficiencia promedio aumenta a 88.2%, y finalmente para las partículas de 180 µm la eficiencia promedio resulta 93.4% siendo el porcentaje más alto.

4) Capacidad de adsorción del carbono activado

Para un adsorbente la capacidad de adsorción constituye su característica de mayor importancia, ya que bajo esta se define la cantidad de masa que puede retener por unidad de masa o volumen, encontrándose relacionado de forma directa con el área superficial específica, y el volumen y tamaño de sus poros. Bajo esta propiedad es posible establecer el costo de los procedimientos de adsorción, ya que permite la determinación de la cantidad de adsorbente que es necesario, por ende, el costo requerido y las características (volumen) de los equipos o dispositivos (columnas o tanques) donde se realiza el proceso. Se utilizó la siguiente ecuación.

$$qt \text{ (mg/ g)} = \frac{(C_i - C_f) V}{m}$$

Donde:

V: volumen total de solución (L)

C_i: concentración de oro inicial

C_f: concentración de oro final

m: cantidad de carbón activado de residuos de poda en base seca (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 18*Determinación de la capacidad de adsorción en tres corridas*

Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (µm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg /g)
1	15	850.00	5.00	2.81	0.44
2	120	850.00	5.00	2.12	0.58
3	180	850.00	5.00	1.96	0.61
4	15	425.00	5.00	0.72	0.86
5	120	425.00	5.00	0.64	0.87
6	180	425.00	5.00	0.49	0.90
7	15	180.00	5.00	0.43	0.91
8	120	180.00	5.00	0.84	0.83
9	180	180.00	5.00	0.24	0.95
Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (µm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg/g1)
1	15	850.00	5.00	2.72	0.46
2	120	850.00	5.00	02.01	0.60
3	180	850.00	5.00	1.90	0.62
4	15	425.00	5.00	0.75	0.85
5	120	425.00	5.00	0.52	0.90
6	180	425.00	5.00	0.41	0.92
7	15	180.00	5.00	0.35	0.93
8	120	180.00	5.00	0.21	0.96
9	180	180.00	5.00	0.19	0.96
Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (µm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg /g)
1	15	850.00	5.00	2.79	0.44
2	120	850.00	5.00	2.16	0.57
3	180	850.00	5.00	1.87	0.63
4	15	425.00	5.00	0.70	0.86
5	120	425.00	5.00	0.59	0.88
6	180	425.00	5.00	0.48	0.90
7	15	180.00	5.00	0.30	0.94
8	120	180.00	5.00	0.23	0.95
9	180	180.00	5.00	0.18	0.96

Nota: Muestras de carbón activado con diferentes porcentajes de eficiencia.

En la tabla puede apreciarse que para el primer grupo de muestras teniéndose partículas de tamaño igual a 850 μm la capacidad de adsorción promedio es 0.54 mg/g, mientras que para las partículas de 425 μm dicha capacidad en promedio es 0.88 mg/g, y finalmente para las partículas de tamaño 180 μm la capacidad de adsorción en promedio es 0.99 mg/g.

Para el segundo grupo de igual forma que el anterior las partículas de tamaño 850 μm resultaron con la menor capacidad de adsorción siendo esta en promedio 0.56 mg/g; mientras que en el caso de las partículas de 425 μm la capacidad de adsorción promedio resulto 0.89 mg/g, y para las partículas de 180 μm tal capacidad en promedio fue 0.95 mg/g, siendo las muestras que mayor capacidad mostraron.

Tabla 19

Resumen de resultados

Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg /g)
1	15	850.00	5.00	2.77 ± 0.05	0.45 ± 0.01
2	120	850.00	5.00	2.10 ± 0.08	0.58 ± 0.02
3	180	850.00	5.00	1.91 ± 0.05	0.62 ± 0.01
4	15	425.00	5.00	0.72 ± 0.03	0.86 ± 0.01
5	120	425.00	5.00	0.58 ± 0.06	0.88 ± 0.01
6	180	425.00	5.00	0.46 ± 0.04	0.91 ± 0.01
7	15	180.00	5.00	0.36 ± 0.07	0.93 ± 0.01
8	120	180.00	5.00	0.43 ± 0.36	0.91 ± 0.07
9	180	180.00	5.00	0.20 ± 0.03	0.96 ± 0.01

Nota: Capacidad de adsorción por tiempo de adsorción.

En la tabla puede apreciarse el resumen de las pruebas para capacidad de adsorción del CA, observando que para los experimentos en que el tamaño de partículas es 850 µm la capacidad promedio resultó 0.55 mg.g⁻¹; mientras que para las partículas de 425 µm la capacidad promedio fue 0.88 mg.g⁻¹; y para las partículas de 180 µm la capacidad promedio fue 0.95 mg.g⁻¹, demostrándose que las partículas de menor tamaño tienen en general una mejor capacidad para adsorber oro.

4.1.5. Determinar la capacidad de adsorción de oro en solución del carbón activado elaborado

Una característica fundamental en el diseño de sistemas de adsorción es la velocidad de adsorción la cual se basa principalmente en la interacción del adsorbato – adsorbente, factores que se vinculan estrechamente con la cinética de adsorción.

1) Eficiencia de adsorción:

Se pesó 0.5 g de carbón activado y se adicionó 100 mL de la solución áurica. Este proceso se analizó para tiempos de 30, 90, 150 y 210 min y tamaño de partícula de 180 µm. Se planteó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

Donde:

C₀: Concentración inicial de oro (g)

C_f: Concentración final de oro (g)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

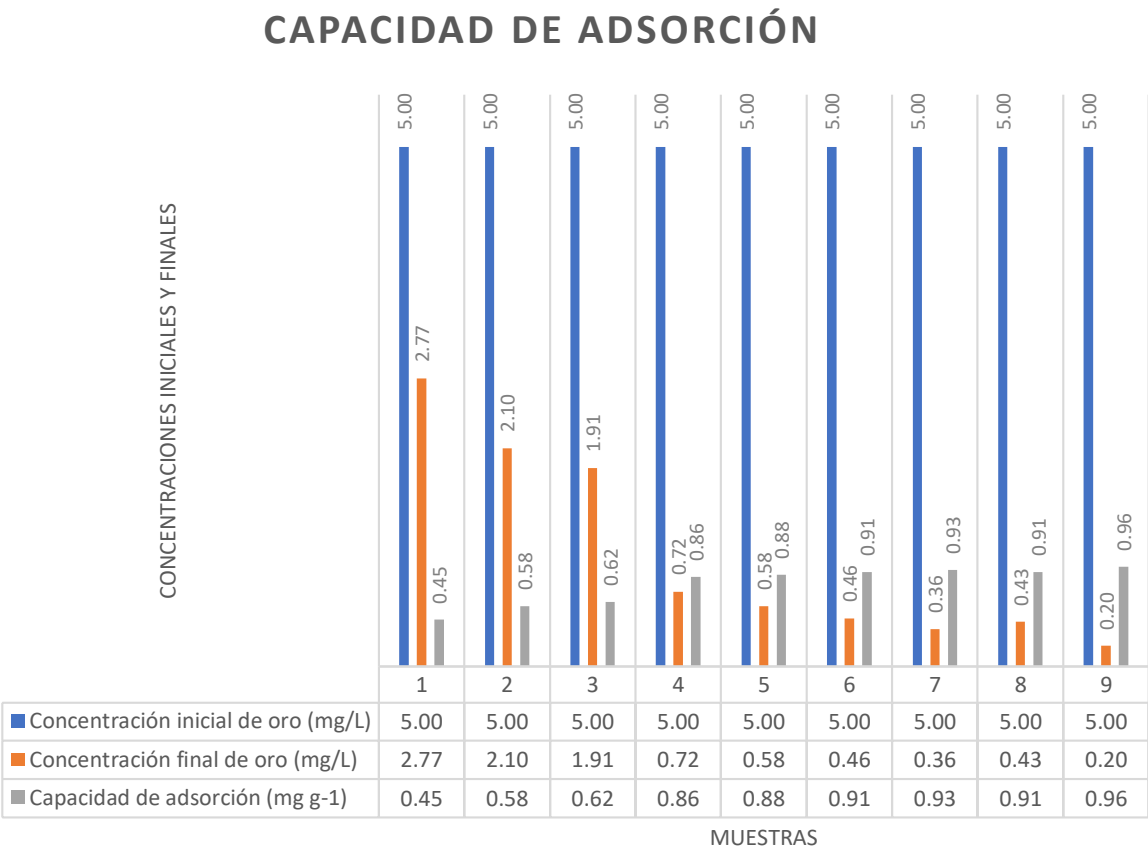
Tabla 20*Resultados de proceso de adsorción incluida la eficiencia*

Nro. Muestra	Tiempo de adsorción (min)	Tamaño de partícula (μm)	Concentración inicial de oro (mg/L)	Concentración final de oro (mg/L)	Capacidad de adsorción (mg /g)	Eficiencia (%)
1	15	850.00	5.00	2.77 ± 0.05	0.45 ± 0.01	44.6
2	120	850.00	5.00	2.10 ± 0.08	0.58 ± 0.02	58.0
3	180	850.00	5.00	1.91 ± 0.05	0.62 ± 0.01	61.8
4	15	425.00	5.00	0.72 ± 0.03	0.86 ± 0.01	85.6
5	120	425.00	5.00	0.58 ± 0.06	0.88 ± 0.01	88.4
6	180	425.00	5.00	0.46 ± 0.04	0.91 ± 0.01	90.8
7	15	180.00	5.00	0.36 ± 0.07	0.93 ± 0.01	92.8
8	120	180.00	5.00	0.43 ± 0.36	0.91 ± 0.07	91.4
9	180	180.00	5.00	0.20 ± 0.03	0.96 ± 0.01	96.0

Por lo que se ve en la tabla la mejor adsorción se logra en el experimento 9, en la que el tamaño de partícula es de 180 (μm) y a un tiempo de 180 min, se puede decir que la tendencia en la adsorción del oro mejora cuando el tamaño de partícula es menor y el tiempo de contacto es mayor.

Figura 12

Comparativa de la capacidad de adsorción



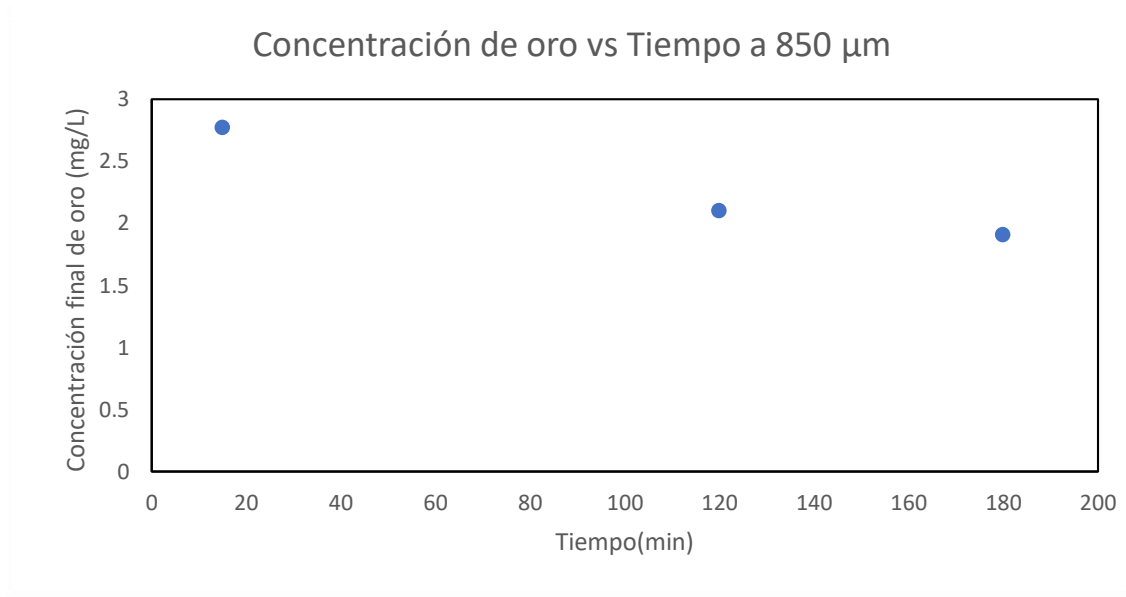
En la gráfica anterior es posible observar comparativamente las 9 muestras analizadas con sus respectivas concentraciones iniciales y finales de oro, así como la capacidad de adsorción. La representación gráfica procede de la Tabla 20

A continuación, se muestra la tendencia en graficas respecto al tamaño de partícula y a los tiempos empleados respecto a la concentración de oro adsorbido.

- Para un tamaño de partícula de 850 (μm)

Figura 13.

Concentración de oro vs Tiempo a 850 μm

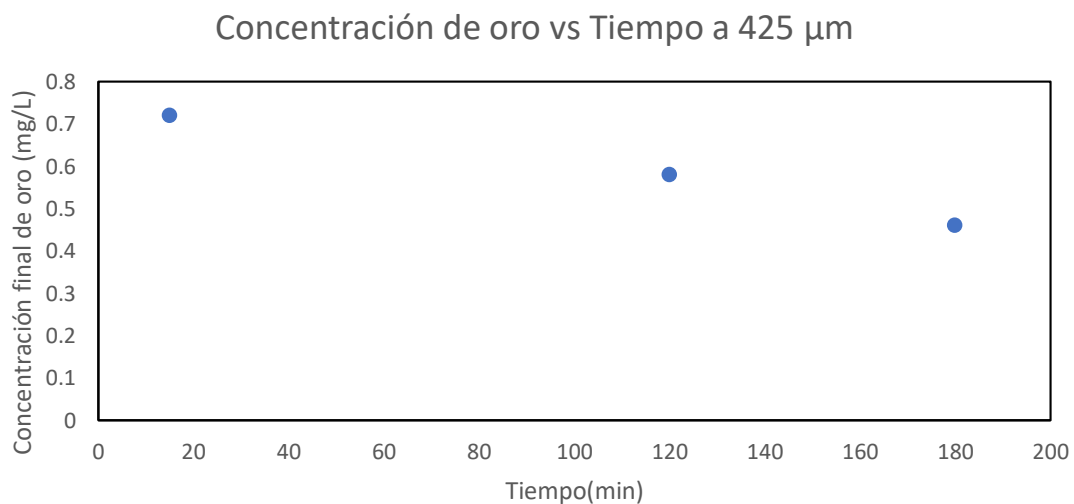


La figura 19 muestra la tendencia descendente respecto al tiempo empleado, aunque los resultados de adsorción aun no son los más efectivos.

- Para un tamaño de partícula de 425 (μm)

Figura 14.

Concentración de oro vs Tiempo a 425 μm

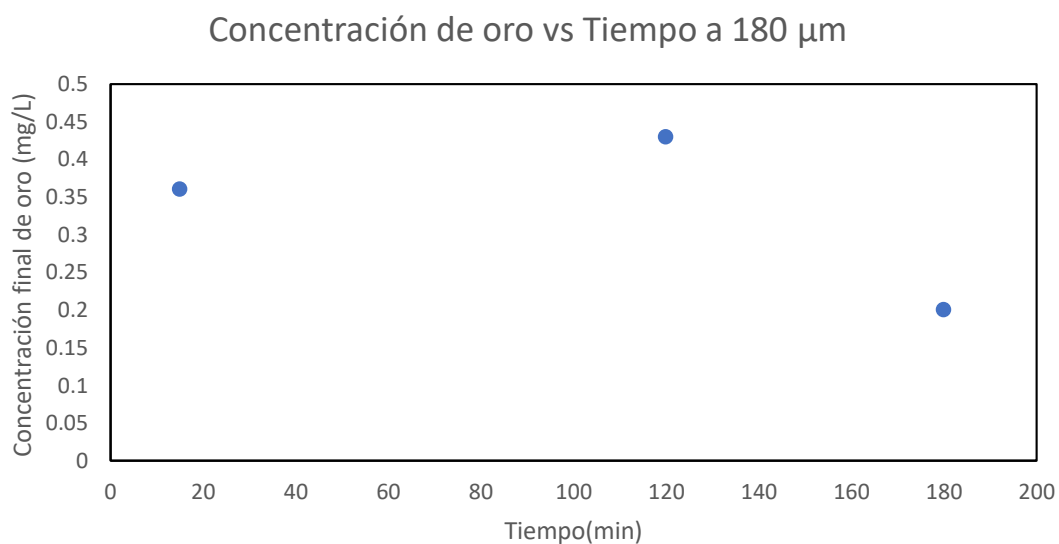


La figura 20 muestra la tendencia descendente respecto al tiempo empleado, mostrando ya grados de adsorción apreciables para un proceso de recuperación de oro.

- Para un tamaño de partícula de 180 (μm)

Figura 15.

Concentración de oro vs Tiempo a 180 μm

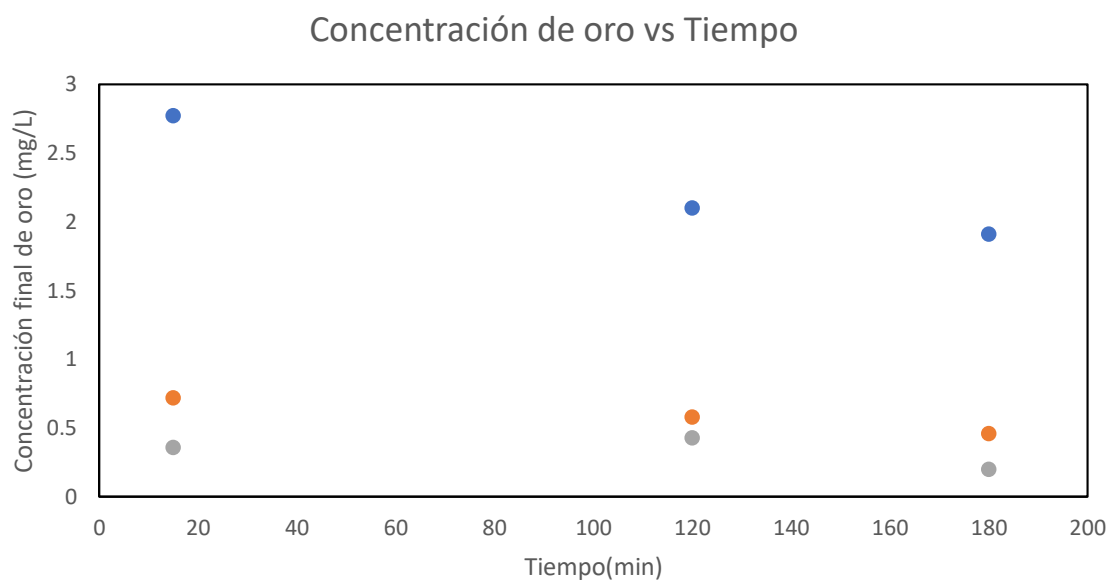


La figura 21 muestra la tendencia descendente respecto al tiempo empleado, y es notable salvo por un punto medio que pueda ser falla técnica que sale de la tendencia descendente, pero el último punto muestra resultados aún más favorables para el estudio de adsorción de oro.

- Para un tamaño de partícula de 850 (μm), 425 (μm) y 180 (μm)

Figura 16.

Resultados de tendencia comparando la concentración final y tiempo considerando el tamaño de partícula de 850 (μm), 425 (μm) y 180 (μm)



La figura 22 muestra la tendencia descendente respecto al tiempo empleado, mostrando una comparativa entre los tamaños de partícula empleados para los tiempos fijados de experimentación, analizándolo sobre la concentración de oro final, y es evidente que a un tamaño de partícula mayor el grado de adsorción disminuye, y es considerable frente a los tamaños de partícula más pequeños, también se observa que en todos los casos a mayor tiempo mayor adsorción.

4.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó el análisis de varianza (ANOVA)

Variable dependiente: concentración de oro final (mg/L)

Factores:

- ✓ tamaño de partícula (um)
- ✓ tiempo de adsorción (min)
- ✓ Número de casos completos: 27

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para concentración de oro final. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre concentración de oro final. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

Tabla 21.

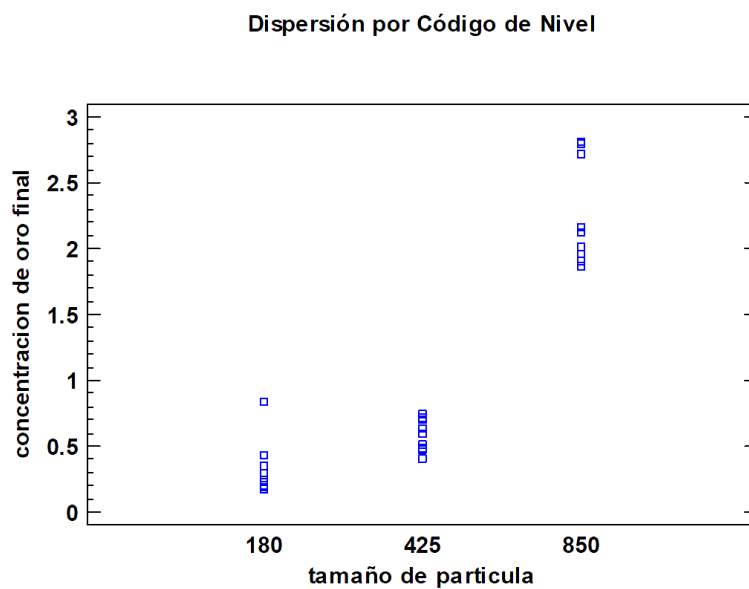
Tabla del Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: tamaño de partícula	19.75	2	9.87	592.21	0.0000
B: tiempo de adsorción	0.83	2	0.42	24.92	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.59	4	0.15	8.84	0.0004
RESIDUOS	0.30	18	0.02		
TOTAL	21.47	26			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de CONCENTRACIÓN DE ORO final en piezas separadas para cada uno de sus efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 efectos tienen el valor-P menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre concentración de oro final con un 95.0% de nivel de confianza.

Figura 23.

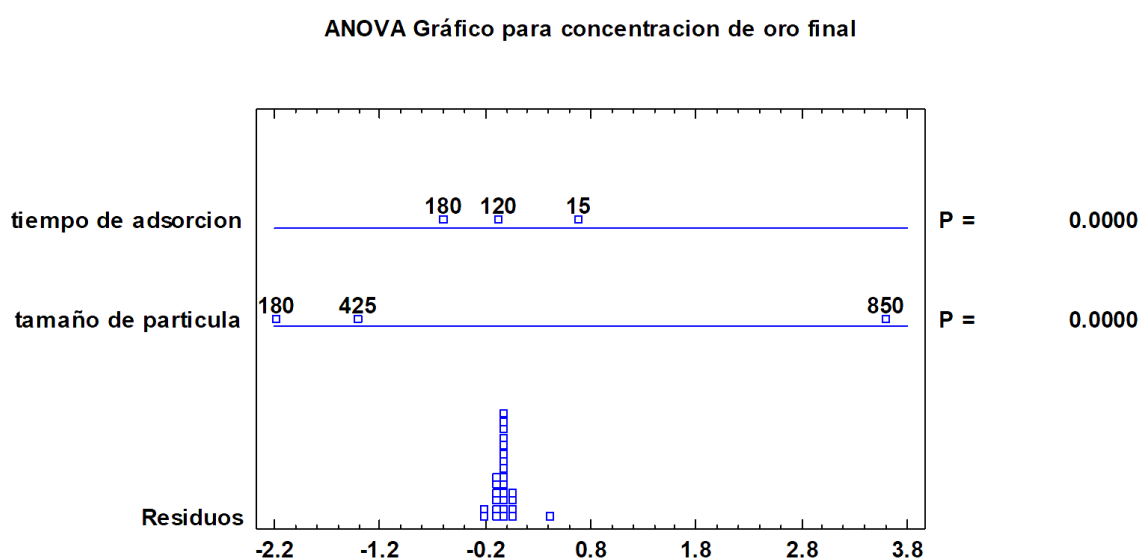
Resultados de tendencia Grafica de dispersión para las variables independientes sobre la variable respuesta



En la figura se puede observar la dispersión entre los valores resultantes por el empleo a diferentes granulometrías del carbón activado, y además el grado final de la capacidad de adsorción del carbón, es notorio observar que entre un tamaño de partícula más pequeño la cantidad de oro a recuperar es mayor.

Figura 17.

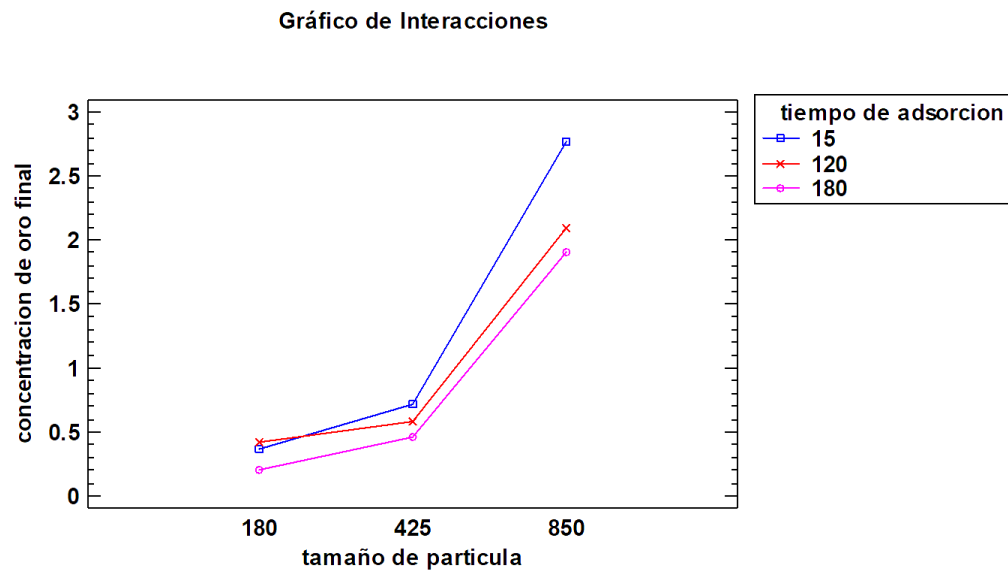
Grafica ANOVA



En la figura se puede observar el análisis de varianza, y se puede decir que la variable que tenga la mayor amplitud entre sus niveles es la que tiene mayor influencia sobre la variable respuesta, es así que como se puede observar el tamaño de partícula es altamente influyente o que al variar el tamaño de partícula este tendrá cambios significativos sobre la concentración final de oro en solución.

Figura 18.

Grafica de interacciones de variables



La grafica indica la interacción que existe entre variables, y se observa que la interacción ocurre cuando existe menor tamaño de partícula, es aquí que se puede interpretar que ya el tiempo tiene significancia junto con el tamaño de partícula para lograr una mayor adsorción

En la gráfica tenemos:

A-: 180 μ m
A+: 850 μ m
B-: 15 min
B+: 180 min

En la grafica podemos observar que existe una interacción y que tenemos un mayor porcentaje de concentración de oro en el punto A+, B-, es decir (850 μ m, 15min) y como punto más bajo tenemos A-, B+, es decir (180 μ m, 180min).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación realizada por Gracia (2017), tuvo como objetivo elaborar carbón activado a partir de desechos agroindustriales, utilizando la cáscara de arroz entre tanto la presente investigación emplea los residuos de la poda de los municipales, por otro lado, los carbones activados de tipo CAP-CO₂ y CAP-Zn evidenciaron bajos niveles de adsorción, en tanto el carbón activado producido mediante la poda de las áreas verdes de los municipales alcanzaron un valor de 0.96 mg/g.

Respecto a la investigación realizada por Silva (2017), desarrollada para evaluar la síntesis de caracterización de carbón activado del residuo medio agroindustrial a partir de la fibra de nopal, tuvo como resultado que el rendimiento de la cinética de adsorción del carbón activado elaborado es de 54.10% con una capacidad de adsorción de 9.36 mg/g, en comparación a los valores obtenidos en este estudio no son coincidentes para los aspectos descritos, debido a que la cinética de adsorción resultó de 95.55%, mientras que la capacidad de adsorción fue 0.96 mg/g.

Ponce (2018), realizó una investigación con el objetivo elaborar carbón activado en base a cáscara de coco aplicado como purificante y adsorbente de metales (Pb y Fe) en las aguas de consumo del centro poblado Paragsha, región Pasco emplearon otra materia prima para la elaboración del carbón activado obteniendo por lo mismo diferentes valores de adsorción, además que en su estudio emplearon tiempos de adsorción entre 90 a 120 minutos, mientras que para esta investigación se utilizaron tiempos entre 30 a 2010 minutos lo cual permitió obtener diferentes valores.

CONCLUSIONES

- Respecto al objetivo específico 1, se puede concluir que todos los residuos de madera provienen de poda de árboles en donde la caracterización se realizó en función a las siguientes características: porcentaje de humedad, en donde los valores promedios para este estudio son de 7.17%; porcentaje de ceniza que tiene un valor de 30.83%; material volátil, el cual alcanza un valor de 88.01%; porcentaje de carbono fijo, en donde el promedio que alcanzó las muestras fue de 26.01% y finalmente la densidad aparente en donde en promedio se alcanzaron valores de 0,24%.
- Respecto al objetivo específico 2 y 3, se puede concluir que la caracterización del carbón activado elaborado se realizó en función a las siguientes características: porcentaje de humedad, en donde los valores promedios para este estudio son de 0.97%; porcentaje de ceniza que tiene un valor de 4.42%; material volátil, el cual alcanza un valor de 55.36%; porcentaje de carbono fijo, en donde el promedio que alcanzó las muestras fue de 39.25% y finalmente la densidad aparente en donde en promedio se alcanzaron valores de 0,36%.
- Respecto al objetivo específico 4, se puede concluir que se consideraron dos variables principales, la primera es la cinética de adsorción en donde el promedio de porcentaje de eficiencia para todos los grupos con un tiempo de adsorción de entre 30 a 210 minutos es de 95.55%; la segunda variable se relaciona con la capacidad de adsorción en donde el promedio de porcentaje de eficiencia para todos los grupos con un tiempo de adsorción de entre 30 a 210 minutos es de 0.96 mg/g.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda escalar a un nivel piloto la producción de carbón activado, para desarrollar una comparación de costos en cuanto a la compra de un carbón convencional y el carbón fabricado a partir de los residuos de poda, de este modo se pueda obtener en cuanto a costos, si producir carbón activado es mejor que comprar en el mercado el carbón activado.
- De acuerdo a la presente investigación se aplicó el método físico de obtención de carbón activado, el cual logra la carbonización en función a la temperatura, y evitando el oxígeno del aire y todo ocurrente a presión atmosférica, pero se recomienda probar la obtención del carbón activado aplicando el método químico, para del mismo modo comparar la eficiencia de recuperación de oro, con el método físico y con el carbón activado de venta en el mercado.
- Se recomienda mediante imágenes de microscopia óptica analizar y comparar la porosidad del carbón obtenido, a su vez compararlo con el carbón convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRA (2009). Manual de operación y mantenimiento de sistema de riego por goteo, Portafolio de Desarrollo de Infraestructura y Servicios Básicos, Centro de Aplicación Editorial Imprenta Unión, Lima, Perú.
- Allen, R.G.; L. S. Pereira; D. Raes y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper
- Brauer, D., Giubergia, A., & Gil-Costa, G. (2019). Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros. *Minería y Geología*, 35(2), 165-182. Recuperado de http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3_No2_2019
- Cáceres López, J. M. (2017). Determinación del coeficiente (kc) para el cultivo de p  prika (*Capsicum Annuum* l.) var. "Papri Queen" bajo condiciones de la Irrigación Majes. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Casta  n, D. (2000). Perspectivas de Valoración Económica del Agua en Guatemala. Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (PMIRH), Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Guatemala.
- Cuevas Romo, A., Hernández Sampieri, R., Leal Pérez, B. E., & Mendoza Torres, C. P. (2016). Enseñanza-aprendizaje de ciencia e investigación en educación básica en México. *Revista electrónica de investigación educativa*, 18(3), 187-200.
- El Peruano, D. O. (2005). Ley general del Ambiente N 28611. Lima.: El peruano.

- Espejo, P., & Emmanuel, J. (2020). Diseño de un sistema para el control de polvo en plantas de agregados en Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.
- Huamaní Ccallo, E. (2017). Automatización de mitigación de polvo para fajas de una planta de agregados. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). Riego por Goteo. San Juan, Argentina: Unidad para el Cambio Rural. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Llique Gallardo, R. L. (2017). Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Marinovich Azabache, F. A. (2016). influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo pampa verde, minera la zanja-Cajamarca. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú
- Martínez-Cob, A., Zapata Ruiz, N., & Sánchez Marcos, I. (2010). Viento y riego: la variabilidad del viento en Aragón y su influencia en el riego por aspersión. Institución Fernando el Católico.
- MINAM. (2014). Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014. Ministerio del Ambiente (MINAM), Viceministerio de Gestión Ambiental y Dirección General de Calidad Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>

- MTC. (2014). Manual de carreteras diseño geométrico DG-2014. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Núñez, A. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú: La Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. DGIAR.
- Peña, D., & Durán, M. (2018). Métodos de Supresión de Polvo para evitar el gasto excesivo del recurso Hídrico en la Minería. Viña del Mar, Chile.
- Ren, Ting & Wang, Zhongwei & Cooper, Graeme. (2014). CFD modelling of ventilation and dust flow behaviour above an underground bin and the design of an innovative dust mitigation system. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 41. 241–254. 10.1016/j.tust.2014.01.002.
- Rincón Suso, L. (2007). Sistemas de riego: Conservación del agua. In 4º Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Guadalajara-Jalisco, México, 1-5 Octubre 2007 (pp. 869-881). Universidad de Guadalajara.
- Rojano Alvarado, R. E. (2017). Determinación del aporte de fuentes a la contaminación del aire por material particulado en el área minera del Cerrejón (La Guajira, Colombia) a través del modelo de receptor CMB. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- SAA, S. M. C. V. (2011). Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde.
- Sadeghi, Hossein & Peters, Robert & Shafii, Bahman & Amini, Mohammad & Stockle, Claudio. (2016). Continuous variation of wind drift and evaporation losses under a linear move irrigation system. *Agricultural Water Management*. 182. 10.1016/j.agwat.2016.12.009.

- Sánchez, R. A., & Mata Vásquez, H. (2006). Cálculo de volúmenes de agua para riego por goteo en el cultivo de jitomate en la planicie huasteca (No. AV/0217). Secretara de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Santra, Priyabrata. (2020). Performance evaluation of solar PV pumping system for providing irrigation through micro-irrigation techniques using surface water resources in hot arid region of India. *Agricultural Water Management*. 245. 106554. [10.1016/j.agwat.2020.106554](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106554).
- Solís, J., Morales, M., Ayala, R., & Durán, M. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnol. Ciencia*, 27(1), 36-48. <https://www.redalyc.org/pdf/482/48224413006.pdf>
- Ulate-Castillo, A., & Vargas-Sobrado, C. (2018). Control de polvo en caminos no pavimentados. *Boletín Técnico PITRA-Lanamme UCR*. Volumen 9, N.º6
- Villacís Stacey, M. B. (2012). Diseño de un sistema de riego por aspersión (Bachelor's thesis). Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador
- Yabar Baños, C., Aramburú Rojas, V., & Tinoco Ángeles, F. (2020). Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en el área de chancado del sector de San Nicolás-Marcona. *Industrial Data*, 23(1), 23–38. <https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16548>