

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO QUÍMICO

**CENIZAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) CON TRATAMIENTO
TERMICO, MODIFICADO EN MEDIO ALCALINO PARA LA REMOCIÓN DE NIQUEL
Y CADMIO EN SOLUCIONES IDEALES**

Bachiller: Godofredo MALDONADO POMASONCCO

Asesor: M. Q. Ing. León Fernando PÉREZ CHAUCA

Ayacucho-Perú

2023

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.1.1. Formulación del Problema.....	3
1.2. Justificación e Importancia.....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.5. Delimitación.....	5
1.5.1. Espacial	5
1.5.2. Temporal.....	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la Investigación	7

2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Eucalipto	10
2.2.2. Contaminación con Metales Pesados.....	14
2.2.3. Fundamentos de Adsorción	16
2.2.4. Isoterma de Adsorción	18
2.2.5. Difracción de Rayos X.....	19
2.2.6. Diseños Experimentales.....	20
2.2.7. Diseños Factoriales.....	21
2.2.8. Metodología de Superficie Respuesta (MSR).....	22
2.3. MARCO CONCEPTUAL	22
2.3.1. Adsorción	22
2.3.2. Cenizas	23
2.3.3. Diseño Factorial.....	23
2.3.4. Diseño de Experimento	23
2.3.5. Isoterma de Adsorción.....	23
2.3.6. Metal Pesado	23
2.3.7. Soluciones Ideales	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Materiales, Reactivos y Equipos	24
3.1.1. Materiales	24
3.1.2. Reactivos	24

3.2. Metodología	25
3.2.1. Tipo de Investigación.....	26
3.2.2. Población y Muestra	26
3.2.3. Operacionalización de Variables.....	26
3.3. Instrumentos	27
3.3.1. Difracción de Rayos X.....	27
3.3.2. Equipo BET.....	27
3.4. Procedimiento Experimental.....	28
3.4.1. Tratamiento de las Muestras de Cenizas de Eucalipto	28
3.4.2. Modificación de la Ceniza de Eucalipto en Medio Alcalino	29
3.4.3. Remoción de Iones Ni (II) y Cd (II) en Solución.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1. Caracterización Química y Mineralógica.....	33
4.1.1. Ceniza de Eucalipto.....	33
4.1.2. Cenizas Modificadas-DRX.....	35
4.2. Área Superficial Específica	38
4.2.1. Ceniza de Eucalipto.....	39
4.2.2. Cenizas Modificadas-BET	39
4.3. Remoción de Iones Ni (II) y Cd (II).....	43
4.4. Resultados por la Metodología de Superficie Respuesta (MSR) en la Remoción de Iones Ni (II).....	45
4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) en la Remoción de Iones Ni (II).....	46

4.4.2. Coeficiente de Regresión para el Porcentaje de Remoción de Iones Ni (II)	48
4.4.3. Diagrama de Superficie Respuesta y Grafica de Contornos para el Porcentaje de Remoción de iones Ni (II)	49
4.4.4. Análisis de Efectos Estimados e Interacciones y Efectos Principales de Tiempo y Temperatura en el Porcentaje de Remoción de Iones Ni (II)	51
4.5. Resultados por la Metodología de Superficie Respuesta (MSR) en la Remoción de Iones Cd (II)	52
4.5.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para el Porcentaje de Remoción de Cd (II)	52
4.5.2. Coeficientes de Regresión para el Porcentaje de Remoción de Iones Cd (II)	55
4.5.3. Superficie de Respuesta y Gráfica de Contornos para el Porcentaje de Remoción de iones Cd (II)	56
4.5.4. Análisis de Efectos Estimados e Interacciones y Efectos Principales de Tiempo y Temperatura en el Porcentaje de Remoción de iones Cd (II)	58
V. CONCLUSIONES	59
VI. RECOMENDACIONES	60
VII REFERENCIAS	61
Web grafía	63
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Composición parcial de la madera de eucalipto.....	13
Tabla 2 Diferencia entre adsorción física y adsorción química.....	17
Tabla 3 Diseño factorial 3^2 con 9 tratamientos útiles	22
Tabla 4 Operacionalización de variables.....	27
Tabla 5 Parámetros bloqueados para la modificación de cenizas de eucalipto.....	30
Tabla 6 Niveles de experimentación en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II).....	31
Tabla 7 Niveles de distribución experimental para la remoción de iones Ni (II).....	31
Tabla 8 Niveles de distribución experimental para la remoción de iones Cd (II).....	32
Tabla 9 Composición química y mineralógica de la ceniza de eucalipto.....	34
Tabla 10 Composición química y mineralógica de la ceniza inicial y modificadas.....	38
Tabla 11 Área BET de la ceniza inicial y modificadas con soluciones de NaOH	42
Tabla 12 Resultados de la remoción de iones Ni (II) usando el diseño factorial 3^2	44
Tabla 13 Resultados de la remoción de iones Cd (II) usando el diseño factorial 3^2	45
Tabla 14 Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	46
Tabla 15 Efectos estimados para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)	48
Tabla 16 Coeficientes de regresión para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	49
Tabla 17 Respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)	50
Tabla 18 Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de iones Cd (II).....	53
Tabla 19 Efectos estimados para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)	55
Tabla 20 Coeficientes de regresión para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)....	55
Tabla 21 Respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II).....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Árbol de eucalipto.....	11
Figura 2 Leña de eucalipto	14
Figura 3 Tipos más usuales de isothermas de adsorción.....	19
Figura 4 Diagrama de bloque del tratamiento de la ceniza de eucalipto.....	28
Figura 5 Difractograma de la ceniza de eucalipto.....	33
Figura 6 Difractograma de la ceniza modificada con solución 2,0 M de NaOH.....	35
Figura 7 Difractograma de la ceniza modificada con solución 3,0 M de NaOH.....	36
Figura 8 Difractograma de la ceniza modificada con solución 4,0 M de NaOH.....	37
Figura 9 Isotherma de adsorción de la ceniza de eucalipto en su condición inicial.....	39
Figura 10 Isotherma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 2,0 M.....	40
Figura 11 Isotherma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 3,0 M.....	41
Figura 12 Isotherma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 4,0 M.....	41
Figura 13 Carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	47
Figura 14 Diagrama de superficie de respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	50
Figura 15 Gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	51
Figura 16 Efectos principales de tiempo y temperatura en el porcentaje de remoción de iones Ni (II).....	52
Figura 17 Carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Cd (II).....	54
Figura 18 Diagrama de superficie de respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II).....	56

Figura 19 Gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)	57
Figura 20 Efectos principales de tiempo y temperatura en el porcentaje de remoción de iones Cd (II)	58

DEDICATORIA

A mis padres César Maldonado Huamán, Teófila Pomasoncco Alvites.

A mi esposa Regina Cárdenas Janampa, mis hijos Kim José, Jeff José y César Karol.

Mis hermanos: Lidia, Elodia, Pompeyo y Jhon, que siempre me apoyaron en todas las decisiones que tomé durante mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por ser mi Alma Máter y a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia por haberme brindado las herramientas y conocimientos necesarios para cumplir mi sueño.

A todos mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por haber sido mis guías en la etapa de mi formación profesional a través del intercambio de conocimientos y experiencias. A mi asesor, M. Q. Ing. León Fernando PÉREZ CHAUCA, por su disposición y asesoramiento para materializar esta tesis.

Al especialista Palermo CARRASCO GUERRERO (INGEMMET) por los ensayos desarrollados por difracción de rayos X para determinar la composición química y mineralógica, al Doctor Gino PICASSO ESCOBAR por los servicios desarrollados en la determinación del área BET en la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Ingeniería, a las Ingenieras Esperanza VASQUEZ RÚA y Lurdes HINOSTROZA HUACACHI por el apoyo incondicional en los análisis de la concentración de metales por ICP-POES.

Gracias también a mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante los años de convivencia dentro y fuera del salón de clases.

RESUMEN

En el presente estudio se usó cenizas de la combustión de eucalipto, como materia prima para la obtención de materiales adsorbentes. Inicialmente se trató las cenizas de eucalipto para separar las impurezas, luego se modificaron mediante tratamiento térmico con soluciones 2,0 M; 3,0 M y 4,0 M de hidróxido de sodio. La ceniza en su condición inicial y las modificadas se caracterizaron mediante difracción de rayos X y por el método BET; donde la ceniza de eucalipto en su condición inicial presento 09 minerales; la modificada con solución 2,0 M de NaOH, 05 minerales; la modificada con 3,0 M, 08 componentes y la modificada con 4,0 M, con 09 componentes. Por el método BET se determinó que las muestras analizadas se encuentran dentro de la clasificación de isoterma del tipo IV considerado para sólidos con superficie micro mesoporosos. Así mismo se determinó el área superficial en cada caso, siendo: de 9,10 m²/g para la ceniza en la condición inicial; de 17,40 m²/g para la modificada con 2,0 M de NaOH; de 24,32 m²/g para la modificada con 3,0 M de NaOH y de 21,28 m²/g. para la modificada con 4,0 M de NaOH. Experimentalmente se determinó que el grado de remoción máximo para los iones Ni (II) fue de 99,99 % a 60 minutos y 20 °C; y de 99,86 % en la remoción de iones Cd (II) con condición de ensayo de 30 minutos y 20 °C. Así mismo, se determinó las condiciones óptimas en la remoción de iones Ni (II) de 99,99 % a 54 minutos y 20 °C; y del 99,82 % para la remoción de iones Cd (II) a 30 minutos y a 20 °C.

Palabras claves: ceniza, remoción, área superficial, isoterma.

ABSTRACT

In the present study, ashes from the combustion of eucalyptus were used as raw material to obtain adsorbent materials. Initially, the eucalyptus ashes were treated to separate impurities, then they were modified by heat treatment with 2,0 M solutions; 3,0 M and 4,0 M sodium hydroxide. The ash in its initial condition and the modified ones were characterized by X-ray diffraction and by the BET method; where the eucalyptus ash in its initial condition presented 09 minerals; that modified with 2,0 M NaOH solution, 05 minerals; the modified with 3,0 M, 08 components and the modified with 4,0 M, with 09 components. By the BET method, it was determined that the samples analyzed are within the type IV isotherm classification considered for solids with a micro mesoporous surface. Likewise, the surface area was determined in each case, being: 9,10 m²/g for the ash in the initial condition; 17,40 m²/g for the one modified with 2,0 M NaOH; 24,32 m²/g for the modified with 3,0 M NaOH and 21,28 m²/g for the one modified with 4,0 M NaOH. Experimentally it was determined that the maximum degree of removal for Ni (II) ions was 99,99 % at 60 minutes and 20 °C; and 99,86 % in the removal of Cd (II) ions with a test condition of 30 minutes and 20 °C. Likewise, the optimal conditions for the removal of Ni (II) ions of 99,99 % at 54 minutes and 20 °C were determined; and 99,82 % for the removal of Cd (II) ions at 30 minutes and at 20 °C.

Keywords: ash, removal, surface area, isotherm.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Londoño et al. (2016), la presencia de contaminación proveniente de la actividad industrial, tecnológica, agropecuaria, minera y el uso excesivo de fertilizantes químicos en el suelo, puede afectar negativamente la cadena alimentaria, causando riesgos ambientales y sociales. Esta situación puede tener consecuencias graves para la salud humana y animal.

Como plantea Tejada-Tovar et al. (2015), “actualmente, la creciente preocupación global se centra en la contaminación de efluentes industriales con metales pesados como cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio. Estas sustancias tóxicas pueden persistir en el medio ambiente, poniendo en peligro la naturaleza y la salud”.

El impacto ambiental causado por sustancias tóxicas en efluentes industriales, ha generado que la comunidad científica desarrollado diversos métodos de tratamiento, como la precipitación, la oxidación-reducción, el intercambio iónico, la filtración, el tratamiento electroquímico, las tecnologías de membrana y la recuperación por evaporación. Sin embargo, estos enfoques presentan limitaciones en cuanto a su eficiencia y costos, especialmente cuando las concentraciones de metales son bajas. Además, surge la problemática de la generación, disposición y almacenamiento de lodos y residuos resultantes de estos procesos, lo cual añade un desafío adicional que requiere soluciones efectivas.

Si se quema un árbol o residuos forestales para obtener energía, en teoría no solo se está generando CO₂, en este proceso de combustión, también se produce otros residuos sólidos (cenizas y cenizas volantes) que no tienen aún aplicación alguna de gran importancia, que solo utilizarlo en la tierra para cultivo.

En la región de Ayacucho se utiliza leña (de diversos arboles) como fuente energética, siendo el eucalipto el que más se utiliza. El eucalipto es utilizado como leña en la cocción de alimentos, en la industria de ladrillos y en panaderías artesanales. Las cenizas producidas de estas actividades pertenecen a un género de contaminantes sólidos. En la región de Ayacucho

y en otras regiones del Perú, generalmente se quema eucalipto y en menor proporción otros tipos de árboles como el molle, huarango, ciprés, entre otros.

El presente estudio esta referido al aprovechamiento de las cenizas de la combustión de eucalipto, proveniente de las vianderas de la localidad de Huaschahura, material sólido que es considerado como un desecho que no tiene una aplicación especial.

Se tomaron muestras representativas de cenizas de eucalipto en la localidad de Huaschahura, previo tratamiento de tamizados y lavado de la ceniza se le determinó el área superficial por el método BET; así mismo, por difracción de rayos X se determinó su composición química y mineralógica. Posteriormente las muestras de cenizas se modificaron térmicamente en medio térmico alcalino con soluciones de NaOH a concentraciones de 2,0; 3,0 y 4,0 M con la finalidad de incrementar su área superficial (área BET). Finalmente se procedió a la evaluación de la remoción de Ni (II) y Cd (II) en soluciones ideales, donde la concentración de los metales pesados se determinó por Espectroscopia de Emisión por Plasma Inductivamente (ICP-POES).

En el capítulo I, se describe la introducción, el planteamiento del problema, justificación e importancia, objetivos, e hipótesis de la investigación.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico referido a los antecedentes a la aplicación de cenizas en la elaboración materiales adsorbentes para la remoción de metales pesados. Así mismo se describe las bases teóricas y el marco conceptual de términos aplicados en el presente estudio.

En el capítulo III se describe la metodología empleada, la operacionalización de variables, instrumentos, procedimiento experimental y el diseño experimental utilizado.

En el capítulo IV se presentan los resultados e interpretación que se obtienen en la investigación, y su respectiva discusión. Finalmente se señalan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.1. Descripción del Problema

En muchas partes del mundo se utiliza las maderas como fuentes energéticas para la

cocción de los alimentos, calefacción, para hervir aguas y otras aplicaciones industriales.

“En países en desarrollo, la madera es la fuente principal de energía para cocinar y calefacción, representando el 86% del consumo anual. El aumento de población está causando presión sobre los recursos madereros, lo que ha llevado a la destrucción del bosque y al empeoramiento de la vida de millones de personas”. (Arnold & Jongma, 1978)

La existencia de iones de metales pesados en el agua plantea graves desafíos debido a sus efectos tóxicos en animales, plantas y la salud humana. Dado que varios procesos industriales contribuyen a esta contaminación, resulta complicado controlar la presencia de metales pesados en el agua.

Las cenizas provenientes de la combustión del carbón mineral y del eucalipto en la región de Ayacucho vienen siendo uno de los problemas que enfrenta nuestra región, debido a que cantidades razonables de cenizas se generan anualmente como resultado en la utilización en la cocción de alimentos, ladrilleras y panaderías artesanales. Las cenizas sólidas de estas actividades pertenecen al género de contaminantes sólidos.

En algunas regiones del Perú generalmente se quema eucalipto (como leña) y otros tipos de árboles como fuentes energéticas, y el producto resultante viene a ser las cenizas, que en la actualidad no se han reportado aplicación alguna.

Por ello en el presente trabajo de investigación utilizará las cenizas de la combustión de eucalipto de la región de Ayacucho, mediante tratamiento térmico, pueda ser modificado en medio alcalino, para ser utilizado como adsorbente en la remoción de níquel y cadmio en soluciones ideales.

1.1.1. Formulación del Problema

Principal

¿En qué medida la ceniza de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino influirá en la remoción de níquel y cadmio en soluciones ideales?

Secundario

- ¿Las cenizas de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino influirá en el incremento del área superficial?
- ¿Por difracción de rayos X y por método BET se podrá caracterizar las cenizas en su condición inicial y modificadas?
- ¿En qué medida los parámetros de tiempo y temperatura influirá en la remoción de níquel (II) y cadmio (II) en soluciones ideales usando cenizas de eucalipto modificadas?

1.2. Justificación e Importancia

La madera de eucalipto es una de las especies con mayor potencial en la región de Ayacucho, las amas de casa de las zonas rurales, parte de las urbanas, y las vianderas de la localidad de Huaschahura y de otros lugares, utilizan como fuente energética la leña de eucalipto para la cocción de los alimentos; así mismo lo utilizan las ladrilleras de la zona de Compañía, Pacaycasa entre otros lugares más en la quema de los ladrillos; sin embargo, las cenizas producidas por este tipo de actividad son considerados como desechos sólidos que contaminan el medio ambiente.

La importancia del trabajo de investigación se da en la utilización de las cenizas proveniente de la combustión de eucalipto que son considerados como contaminantes sólidos, las que, mediante tratamiento térmico, se modificarán en medio alcalino para la obtención de nuevos materiales llamados adsorbentes, que serán aplicados en la remoción de Níquel y Cadmio en soluciones ideales.

1.3. Objetivos

General

Determinar la influencia de la ceniza de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino en la remoción de níquel y cadmio en soluciones ideales.

Específicos

- Las cenizas de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino para incrementar el área superficial.
- Caracterizar la ceniza de eucalipto y las modificadas por difracción de rayos X y por el método BET.
- Determinar la influencia de los parámetros de tiempo y temperatura en la remoción de níquel (II) y cadmio (II) en soluciones ideales usando cenizas de eucalipto modificadas.

1.4. Hipótesis

General

La ceniza de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino permitirá el alto grado de remoción de cadmio y níquel en soluciones ideales.

Específica

- Las cenizas de eucalipto mediante tratamiento térmico modificado en medio alcalino permiten incrementar el área superficial.
- La técnica de difracción de rayos X y área superficial permite la caracterización de las cenizas de eucalipto en su condición inicial y modificada.
- Los parámetros de tiempo y temperatura permiten un alto grado de remoción de níquel (II) y cadmio (II) en soluciones ideales usando cenizas de eucalipto modificadas.

1.5. Delimitación

1.5.1. Espacial

Delimitación espacial: El estudio se realizó en el laboratorio de fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia (UNSCH), con servicios a terceros en la determinación del área superficial de las muestras sólidas en la Universidad Nacional de Ingeniería y los análisis de difracción de rayos X con el apoyo del Instituto Minero

Metalúrgico (INGEMMET) mediante convenio marco con la UNSCH.

1.5.2. Temporal

Se realizó en el periodo de octubre de 2021 a setiembre de 2022.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Internacional

En el Trabajo de investigación desarrollado por Rodríguez et al. (2012), da a conocer que: Los diferentes materiales adsorbentes fueron preparados a partir de la cascarilla de arroz (un residuo lignocelulósico agroindustrial), para la remoción de cromo presente en las aguas resultantes de la curtición, debido a su alta toxicidad para la salud humana y a nivel ambiental. La cascarilla de arroz se evaluó como ceniza y carbón activado con ácido fosfórico e hidróxido de sodio como agentes activantes. La parte experimental consistió en la calcinación de la cascarilla de arroz, activación química, caracterización, pruebas de adsorción y absorción atómica; obteniendo mejores resultados el adsorbente activado con hidróxido de sodio. Para la activación de la cascarilla de arroz con NaOH se requirió una serie de experimentos para determinar las mejores condiciones de operación en el proceso de obtención del carbón activado. Se obtuvo una mayor remoción en el carbón que se activó a una temperatura de 600 °C, un tiempo de activación de 30 minutos y una concentración de la solución de 1 %.

De acuerdo a Caballero y Médico (2013), en su trabajo de investigación titulado “Caracterización y posible uso de cenizas resultantes de la combustión del carbón, en la futura termocentral de lecho fluidizado, Rio turbo argentina” presenta como conclusión:

Estima que la Termocentral producirá, una cantidad aproximada de 500 000 TM de cenizas por año, donde el 55 % corresponde a cenizas volante y el 45 % a cenizas de lecho. Según los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados, permitieron clasificar a las cenizas como silicoaluminosas. Como primera conclusión se pudo establecer que las mismas son aptas para la formulación de materias primas para la fabricación de Clinker, y para la obtención de cementos mixtos. Así mismo se estima que

el porcentaje destinado a estos usos no superar el 40 % de lo producido por lo que será necesario investigar otras aplicaciones y prever la disposición ambiental de estos materiales.

Según Rodríguez et al. (2013), en su trabajo de investigación desarrollado, señalan que se producen las cenizas de:

Bagazo de caña como resultado de la combustión del bagazo que se utiliza en la generación de energía para producir azúcar y etanol en la industria azucarera de Brasil (SBA1) y Cuba (SBA2). Se ha investigado el uso de cenizas de bagazo de caña de regiones específicas de cada país como material adsorbente para la eliminación de iones Ni (II). Se llevaron a cabo análisis de caracterización de los adsorbentes mediante técnicas de Fluorescencia de Rayos-X (FRX), Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) y Difracción de Rayos-X (RX). El estudio cinético demostró que el sistema de equilibrio en la eliminación de los iones Ni (II) se alcanzó en 40 minutos. Los valores máximos de capacidad de adsorción obtenidos para SBA1 y SBA2 fueron de 1,21 y 1,80 mg, respectivamente. Los datos cinéticos se ajustaron mejor al modelo de pseudo segundo orden. Además, el análisis de equilibrio indicó que las isothermas del proceso de eliminación de iones Ni (II) mediante el uso de SBA1 y SBA2 se ajustaron mejor a los modelos de Langmuir y Toth.

Farro et. al. (2015) en su trabajo de investigación señala que las cenizas volantes (CV) son desechos industriales tóxicos, que amenazan al medio ambiente. Por ello en su trabajo presenta una alternativa argumentando lo siguiente:

Se realizó la síntesis de zeolitas con la capacidad de adsorber cationes de metales pesados presentes en aguas ácidas. Para lograrlo, se precalentaron las cenizas a 800 °C y luego se las lavó con HCl al 10 %, obteniendo así la ceniza pretratada (CVP). La síntesis de las zeolitas se llevó a cabo mediante el método de fusión alcalina, usando proporciones en masa de NaOH/CVP = 0,5/1; 1,0/1; 1,5/1; 2,0/1 y 2,5/1 e identificando a las zeolitas

resultantes como Z05, Z10, Z15, Z20 y Z25, respectivamente. La fusión se hizo a 550°C durante 1 hora y el proceso de cristalización, a 90°C, durante 2 h. Como soluciones acuosas de metales pesados, para la extracción, se usaron, una de $[Cu^{2+}] = 275,7 \text{ mg/L}$, y otra de $[Pb^{2+}] = 871,5 \text{ mg/L}$, ambas a $\text{pH} = 5$. A las zeolitas de un primer proceso de extracción se les regeneró con NaCl al 5%, para ser reutilizadas en una segunda extracción de iones. La eliminación de Cu^{2+} en una solución de 100 mL se alcanzó en un 99,9 % con solo 1,5 g de zeolita Z25. Por otro lado, con 2,0 g de Z15 se eliminó el 99,9 % de Pb^{2+} en dos extracciones sucesivas de 100 mL cada una, a pesar de la baja capacidad de regeneración de las zeolitas.

2.1.2. Nacional

Mejía Brioso (2022), en su trabajo de tesis “Incorporación de cenizas volantes de eucalipto para mejorar las propiedades física-mecánicas del concreto $f'c^\circ = 210 \text{ kg/cm}^2$ en VMT, Lima 2022”, expresa:

Como objetivo principal determinar la incorporación de las cenizas de eucalipto para mejorar las propiedades física mecánica del concreto $f'c^\circ = 210 \text{ kg/cm}^2$. La metodología empleada fue de diseño experimental y de tipo aplicada. El procedimiento consistió en tamizar las cenizas de eucalipto y tomar el material pasante de la malla 200, luego fabricar testigos con 3 %, 5 % y 10 % de cenizas de eucalipto con respecto al peso del cemento, curar los testigos durante 7, 14 y 28 días para finalizar con la elaboración del ensayo de resistencia a la compresión y el ensayo de resistencia a la tracción en probetas de estándar. Los resultados mostraron que las cenizas de eucalipto no mejoran las propiedades físicas-mecánicas del concreto $f'c^\circ = 210 \text{ kg/cm}^2$. La resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días disminuye gradualmente en un 32 %, 29 y 26 % respectivamente con respecto al concreto patrón promedio obtenido. La resistencia a la tracción a los 7, 14 y 28 días, también disminuye significativamente como máximo un 21 % con respecto al concreto patrón promedio obtenido.

Solano Campos (2020), en su trabajo de tesis de titulado “Influencia de la ceniza de hojas de eucalipto en las propiedades del concreto simple para mortero en muros no portantes”, destaca que:

El objetivo general del estudio fue analizar el efecto de las cenizas de eucalipto en las propiedades del concreto simple para mortero en muros no portantes. La hipótesis general fue confirmada, demostrando que las cenizas de hojas de eucalipto mejoran dichas propiedades. Se utilizó un enfoque científico con un diseño experimental aplicado a una población de 156 especímenes. Los resultados mostraron que un contenido del 4% de ceniza proporcionó el mejor comportamiento, reduciendo el asentamiento y la retención de agua en un 7,73% y 6,87% respectivamente. Además, se observó un incremento del 4,49% en la resistencia a compresión en mortero, del 6,42% en la resistencia a compresión axial en pilas, y del 11,13% en la resistencia a compresión diagonal.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Eucalipto

Según la MIDAGRI (2020), el eucalipto, perteneciente a la familia de las mirtáceas, “es un género de árboles y algunos arbustos que se encuentran ampliamente distribuidos en diferentes partes del mundo. Por su rápido crecimiento, son comúnmente empleados en plantaciones forestales para fines como la producción de papel, madera y productos químicos”.

También menciona MIDAGRI (2020), que “este árbol se destaca por su imponente altura, pudiendo llegar a medir 70 metros y tener un diámetro de 2 metros, aunque su altura promedio es de 50 metros y su diámetro de 1,50 a 1,30 metros de altura sobre el suelo”.

a) Descripción Botánica del Eucalipto

Según SIERRAEXPORTADORA (2010) Su descripción botánica está dada por:

El árbol presenta un tronco recto, cilíndrico y grueso que puede alcanzar hasta 2 metros de diámetro. Su copa es alargada e irregular y cubre aproximadamente 2/3 de su altura

total. La corteza tiene un grosor de 3 cm y se desprende en tiras al madurar, dejando una segunda corteza lisa y en ocasiones expulsa resina. Las hojas juveniles son opuestas, sésiles, con base cordada, de color gris-azulado y miden entre 8 y 15 cm de longitud y 4 a 8 cm de ancho. Las hojas adultas son alternas, pecioladas, con base cuneada, de forma linear-lanceolada y miden entre 15 y 25 cm de longitud, con el ápice acuminado. Las flores son axilares, solitarias o en grupos de 2 a 3, con numerosos estambres de color blanco y pueden llegar a medir hasta 3 cm de diámetro. El fruto es una cápsula campaniforme de color glauco y cubierta de un polvo blanquecino, que mide entre 1,4 y 2,4 cm de diámetro. Las semillas fértiles son negras, rugosas y más grandes, mientras que los óvulos abortados son rojizos y livianos.

Figura 1

Árbol de eucalipto



Nota: Plantaciones de eucalipto, *Eucalyptus globulus* labill. Cierra Exportadora, 2010.

b) Ecología y Distribución de la Especie

“El eucalipto fue introducido en la sierra a alturas entre 2 200 y 3 200 msnm, al interior del callejón Interandino. Su rendimiento decae en zonas con periodos secos, prolongados, en zonas húmedas, con heladas en zonas secas y vientos frecuentes” (MINAGRI, 2020).

MINAGRI (2020) afirma que “la especie se desarrolla mejor en suelos franco arenosos - arcillosos, o, areno - arcillosos, con un pH de 5 a 7, con buen drenaje y no compactados, la intensidad de la labranza depende del grado de la pendiente”.

c) Taxonomía

A continuación, se describe la taxonomía del eucalipto:

- Nombre Científico : *Eucalyptus globulus* Labill
- Nombre Común : Eucalipto
- Reyno : Plantae
- División : Magnoliophyta
- Clase : Magnoliopsida
- Subclase : Rosidae
- Orden : Myrtales
- Familia : Myrtaceae
- Subfamilia : Myrtoideae
- Tribu : Eucalypteae
- Género : *Eucalyptus*

d) Usos Terapéuticos

Según (Leal et al., 2011) afirma que “el aceite esencial de las hojas de eucalipto es usado como descongestionante y para combatir infecciones respiratorias. Se utiliza en forma de ungüento, en pastillas, caramelos inhalantes, infusiones, jarabes o en vaporizaciones”.

e) Composición Química

Referido a la madera, en la tabla 1 se detalla la composición parcial de la madera de eucalipto referido al contenido de: “celulosa, lignina insoluble en ácido, hemicelulosa, cenizas y extractivos solubles en agua a 95 °C, extractivos solubles a temperatura ambiente en etanol y benceno para arboles comprendidos entre 8 y 10 años en alturas de base, pecho y copa” (Leal et al., 2011).

Tabla 1

Composición parcial de la madera de eucalipto

Composición	Medía	Mínimo	Máximo
Celulosa	51,72	45,97	55,54
Lignina	27,99	25,79	30,84
Hemicelulosa	20,29	17,33	23,19
Agua a 95 °C	4,80	2,16	8,08
Agua a temp. Amb.	6,21	3,06	10,62
Cenizas	0,45	0,31	0,73

Fuente: (Leal et al., 2011)

a) Usos Industriales

Según López Scollo (2010) afirma que:

La madera de esta especie ha sido utilizada de diversas formas, como traviesas de ferrocarril, soportes mineros y leña. Además, se ha explorado la extracción de esencias de sus hojas. Ejemplos notables incluyen su cultivo en Chile y España para apuntalamiento en minas, en Etiopía como combustible y en China para obtener esencias. Sin embargo, en el siglo XX, su principal aplicación se dio en la fabricación de pulpa de celulosa, lo que la convirtió en la especie preferida para el desarrollo de nuevas masas.

El *E. globulus* es ampliamente cultivado en zonas templadas y se encuentra entre las 10 especies más plantadas en el mundo.

Actualmente en muchas regiones del mundo se utiliza como leña en la generación de fuente de energía para la cocción de alimentos y en la industria de la cocción de ladrillos. En la figura 2 se muestra la leña de eucalipto.

“La durabilidad del eucalipto es de clase 2 en contacto con el suelo (de 5 a 15 años) y de clase 3 en exterior y sin contacto con el suelo (de 15 a 40 años)” (López Scollo, 2010).

Figura 2

Leña de eucalipto



2.2.2. Contaminación con Metales Pesados

Refiere que, “la degradación del medio ambiente es una de las cuestiones más relevantes en a la sociedad actual. La degradación de la calidad del aire, del agua y del suelo destinados a la agricultura ha aumentado significativamente en las últimas décadas” (Singh et. al., 2010, citado por Reyes et. al., 2016).

Según la Organización de Naciones Unidas (2015), afirma que “la creciente cantidad de agua contaminada, estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios, plantea una crisis inminente en su disponibilidad futura, poniendo en peligro el logro de los Objetivos de Desarrollo

del Milenio de la ONU”.

“En septiembre de 2015, los países miembros de la ONU acordaron priorizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos, reconociendo su importancia en la agenda mundial en ese momento crítico” (Reyes et al., 2016).

Las autoridades ambientales y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido niveles de peligro que están relacionados con la cantidad de metales presentes en alimentos y en el agua destinada para el consumo humano.

a. Contaminación con Níquel

Nordberg (2001, citado por Pérez Clemente 2016), señala que:

El níquel es emitido al aire por plantas de energía e incineradoras, y puede depositarse en el suelo y agua. Aunque la mayoría se adhiere a sedimentos o partículas de suelo, en suelos ácidos puede contaminar el agua subterránea. El níquel se utiliza principalmente en aleaciones para fabricar equipos resistentes a la corrosión, monedas, maquinaria de alimentos, joyas, imanes, catalizadores, elementos de calefacción, turbinas y motores. También se utiliza en la fabricación de cintas magnéticas, prótesis, baterías y pinturas, entre otros productos.

Según Pérez (2016), menciona que, “durante las labores de reciclaje, especialmente en el tratamiento de materiales con contenido de níquel como los provenientes de la industria del acero, puede haber exposición profesional al níquel. Estos materiales se funden, refinan y se utilizan para crear aleaciones similares en el proceso de reciclado”.

b. Contaminación con Cadmio

Lenntech (2016, citado por Clemente 2016) indica que:

La mitad del cadmio se libera de forma natural a través de la descomposición de las rocas y en menor medida, de los fuegos forestales y los volcanes, y una parte significativa de este metal es liberado al medio ambiente por la actividad humana. En particular, las aguas

residuales generadas por diversas industrias son una importante fuente de cadmio, que generalmente termina en el suelo. Las principales causas de estas emisiones son la producción de zinc, los minerales de fosfato y las industrias relacionadas con el estiércol.

Mientras Pérez (2016), señala que, “la combustión de residuos urbanos y combustibles fósiles puede liberar cadmio presente en los desechos al aire. Las regulaciones actuales imponen límites a la cantidad de cadmio que puede ingresar al agua a través de aguas residuales domésticas e industriales”.

2.2.3. Fundamentos de Adsorción

Según Villarrasa (2014), la adsorción es un proceso en el que una sustancia presente en una fase líquida o gaseosa se separa y acumula en la superficie de un sólido adsorbente.

También menciona que la adsorción es un fenómeno interfacial en el que una sustancia se separa en una fase fluida y se acumula en la superficie del sólido adsorbente. Los adsorbentes sólidos requieren áreas superficiales grandes y una estructura porosa para que las moléculas de adsorbato puedan acceder a los sitios activos. Hay dos tipos de adsorción según las fuerzas de interacción entre las moléculas de adsorbente y adsorbato: la fisisorción, con enlaces débiles entre las moléculas, y la quimisorción, que implica la formación de un enlace químico. Ambos procesos son exotérmicos, pero la quimisorción tiene una entalpía de adsorción mayor (-40 kJ/mol). (Villarrasa, 2014)

A. Adsorción Física

De acuerdo con Villarrasa (2014), la adsorción física o fisisorción implica interacciones intermoleculares débiles y de largo alcance, que liberan una energía similar a la entalpía de condensación. Este tipo de adsorción no causa una redistribución significativa en las densidades electrónicas del adsorbente o adsorbato. Además, la entalpía involucrada en la fisisorción es aproximadamente de 20 kJ/mol. La adsorción física es más rápida en

términos de cinética, ya que no existen barreras de energía de activación significativas. La regeneración de los adsorbentes de fisisorción requiere menos energía, ya que las fuerzas de unión entre las moléculas de CO₂ y la superficie del adsorbente son más débiles. En algunos casos, los procesos controlados por la transferencia de masa podrían limitar las interacciones de van der Waals.

B. Adsorción Química

Villarrasa (2014), sostiene que “adsorción química se refiere a la unión de una molécula de adsorbato a la superficie del adsorbente mediante la formación de un enlace químico, lo que la distingue de la adsorción física”. En la Tabla 2 se presentan las principales distinciones entre estos dos procesos de adsorción.

Tabla 2

Diferencia entre adsorción física y adsorción química

Adsorción física	Adsorción química
Bajo calor de adsorción	Alto calor de adsorción
No específica	Altamente específica
Formación de monocapa o multicapa	Formación de monocapa
Sin disociación de las moléculas adsorbidas	Puede existir disociación de especies adsorbidas
Importante únicamente a bajas temperaturas	Posible en un amplio intervalo de temperatura
Rápida, no activada, reversible	Activada, puede ser lenta e irreversible
No hay transferencia de electrones, aunque puede tener lugar una polarización del adsorbato	Hay transferencia de electrones, formando enlaces químicos entre el adsorbato y la superficie del adsorbente

También refiere que en general, la adsorción física es más común y reversible, mientras que la quimisorción es más lenta y difícil de revertir. El calor de adsorción refleja la fuerza del enlace adsorbente-adsorbato. La adsorción física es siempre exotérmica y requiere una disminución en la energía libre (ΔG) para que ocurra en cantidades significativas. (Villarrasa García, 2014)

2.2.4. Isotherma de Adsorción

Desde la posición Rodríguez (2010), en la adsorción, “una parte del gas que llega a la superficie del sólido se adsorbe y la cantidad de gas adsorbido varía con la presión del gas en equilibrio, lo que se llama isoterma de adsorción”. También aclara que la cantidad adsorbida se puede medir por la disminución de la presión o por el aumento de peso del sólido. La isoterma de adsorción refleja la interacción entre la superficie del sólido y las moléculas de gas, lo que proporciona información sobre el área superficial y la porosidad del sólido.

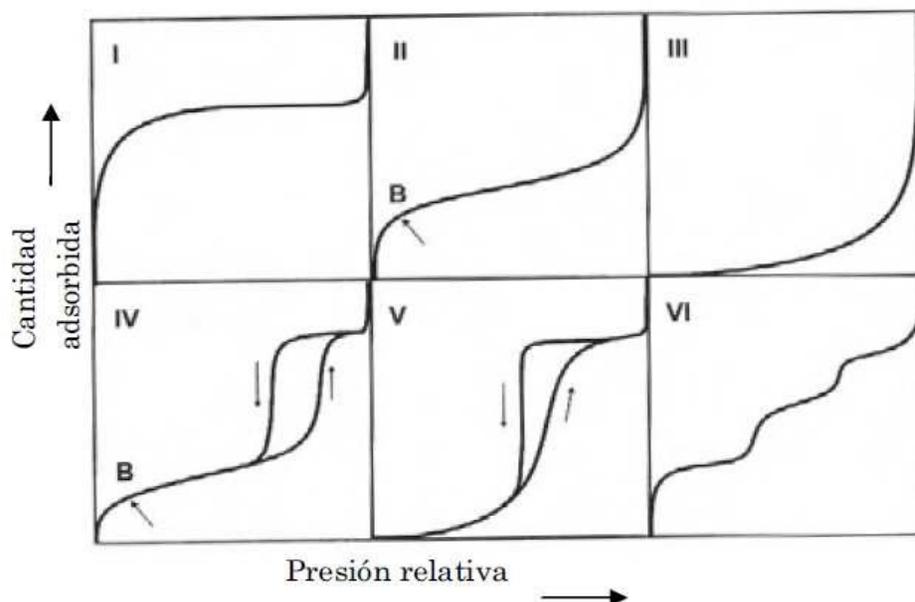
Seis tipos comunes de isotermas de adsorción han sido identificados y se pueden ver en la figura 3, que representa la clasificación de la IUPAC. Según Rodríguez (2010), sostiene:

- a. La isoterma de tipo I es frecuente en la adsorción física en materiales microporosos como el carbón activado y las zeolitas. La adsorción se produce a presiones muy bajas debido al aumento del potencial de adsorción causado por la proximidad de las paredes del poro.
- b. La isoterma tipo II se refiere a la adsorción en sólidos no porosos. Se forma una monocapa adsorbida y luego se forma una multicapa cuyo espesor aumenta con la presión. A presiones de saturación, la capa adsorbida coincide con la del líquido.
- c. La isoterma tipo III es poco frecuente y corresponde a una interacción muy débil entre el sólido y el gas. Se encuentra en la adsorción de agua en carbón activado.
- d. La isoterma tipo IV se asocia con la presencia de mesoporos y muestra el llenado por condensación capilar. El ciclo de histéresis indica una discrepancia entre la desorción y la adsorción.

- e. La isoterma tipo V está relacionada con el tipo III de la misma manera que la IV lo está con la II.
- f. La isoterma tipo VI se encuentra en sólidos con una superficie energéticamente homogénea, donde la adsorción ocurre capa a capa, aunque es poco común.

Figura 3

Tipos más usuales de isotermas de adsorción



Fuente: IUPAC

2.2.5. Difracción de Rayos X

Según Skoog et al. (2008) define que:

Los rayos X son radiación electromagnética de longitud de onda corta generada por la desaceleración de electrones de alta energía o transiciones de electrones en átomos. Se obtienen mediante bombardeo de un blanco metálico, exposición de una sustancia a rayos X primarios o mediante desintegración radiactiva. Las fuentes de rayos X pueden producir espectros continuos y de líneas, siendo la radiación continua conocida como radiación blanca o bremsstrahlung.

Desde el punto de vista de Ceja et al. (2010), “el análisis de difracción de rayos X (DRX) es ampliamente utilizado para identificar minerales, metales y materiales catalíticos”. El DRX se ha integrado en el estudio de materiales en nanociencias debido a que proporciona información valiosa para determinar la estructura cristalina, la composición y el tamaño de grano del material, a partir de los picos en el difractograma.

2.2.6. Diseños Experimentales

Desde la posición de Gutiérrez y De La Vara (2012), “el diseño de experimentos implica seleccionar las pruebas adecuadas y su realización de tal manera que los datos obtenidos, al ser analizados estadísticamente, proporcionen pruebas objetivas para responder preguntas, resolver problemas y mejorar procesos, eliminando la incertidumbre”.

También afirma que, en la industria, es común realizar experimentos para verificar ideas, solucionar problemas o mejorar procesos. A menudo se hacen cambios en materiales, métodos o condiciones de operación, probando diferentes variables hasta encontrar la mejor opción. Sin embargo, estos experimentos suelen basarse en ensayo y error, experiencia e intuición, en lugar de seguir un diseño estadístico adecuado. El diseño estadístico de experimentos es la forma más eficaz de realizar pruebas y obtener respuestas confiables. (Gutiérrez & De La Vara, 2012)

De acuerdo a Gutiérrez y De La Vara (2012), indica que algunos problemas típicos deben resolverse con el diseño y el análisis de experimentos de la siguiente manera:

Comparar dos o más materiales con el fin de elegir el mejor, comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud, determinar los factores (las x vitales o de mayor importancia) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final, encontrar las condiciones de operación (por ejemplo: temperatura, velocidad, humedad) en las que se reduzcan los efectos o se logre un mejor desempeño del proceso, reducir el tiempo de ciclo del proceso, hacer el proceso

insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales y apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.

También sostiene que en general, Cuando se busca mejorar un proceso, hay dos formas principales de obtener la información necesaria. La primera es observar y monitorear el proceso utilizando herramientas estadísticas hasta obtener señales útiles para su mejora, conocida como una estrategia pasiva. La segunda forma es experimentar activamente, realizando cambios estratégicos en el proceso para provocar las señales útiles. Al analizar los resultados del experimento, se obtienen pautas para realizar mejoras sustanciales en el proceso. El diseño de experimentos (DDE) es un conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para obtener la información necesaria para su mejora, en lugar de esperar a que el proceso emita señales por sí mismo. (Gutiérrez & De La Vara, 2012)

2.2.7. Diseños Factoriales

Gutiérrez y De La Vara (2012), argumenta que “en un diseño factorial se utiliza para analizar el efecto de múltiples factores en una o más respuestas, con igual interés en cada factor, siendo un diseño útil para encontrar la mejor combinación de niveles que mejore el proceso”.

a. Diseño Factorial 3^2

Según Gutiérrez y De La Vara (2012), “este diseño implica 9 tratamientos diferentes al combinar dos factores (A y B) en tres niveles cada uno (bajo, medio, alto). Se evalúan todas las posibles combinaciones, dando lugar a un total de 32 tratamientos distintos”. Los nueve tratamientos útiles del diseño factorial del tipo 3^2 se detalla en la tabla 3.

Tabla 3*Diseño factorial 3² con 9 tratamientos útiles*

Tratamiento	A	B	A	B	A	B
1	bajo	bajo	1-	-1	0	0
2	medio	bajo	0	-1	1	0
3	alto	bajo	1	-1	2	0
4	bajo	medio	-1	0	0	1
5	medio	medio	0	0	1	1
6	alto	medio	1	0	2	1
7	bajo	alto	-1	1	0	2
8	medio	alto	0	1	1	2
9	alto	alto	1	1	2	2

2.2.8. Metodología de Superficie Respuesta (MSR)

De acuerdo con Gutiérrez y De La Vara (2012), la MSR es un enfoque experimental que busca identificar las condiciones de operación ideales para maximizar la calidad del producto. “En algunos casos, puede ser necesario experimentar de manera secuencial hasta alcanzar los niveles deseados de mejora en las respuestas buscadas”. También refiere que después de la primera etapa experimental, es necesario desplazar la región experimental o explorarla en más detalle. La metodología de superficie de respuesta (MSR) ofrece formas de realizar estas tareas para encontrar las condiciones óptimas de un proceso.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Adsorción

Según Rouquerol (1999 citado en Rodríguez 2010), la adsorción “se refiere al aumento de concentración de uno o más componentes de un fluido (líquido o gas) en la interfaz sólido-fluido. En la interfaz sólido-gas, la adsorción ocurre cuando el gas se acumula en la superficie del sólido”.

2.3.2. Cenizas

“Las cenizas son producidas al quemar madera o corteza en la industria para generar energía. Debido a las grandes cantidades producidas y al costo de almacenamiento, se busca alternativas para su disposición” (Solla & Rodríguez, 2001).

2.3.3. Diseño Factorial

“Sirve para analizar el impacto individual y combinado de múltiples factores sobre una o varias respuestas” (Gutiérrez & De La Vara, 2012).

2.3.4. Diseño de Experimento

“Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar información objetiva para responder las preguntas planteadas por el experimentador a través del análisis estadístico de los datos obtenidos durante el experimento” (Gutiérrez & De La Vara, 2012).

2.3.5. Isotherma de Adsorción

“La isoterma de adsorción se refiere a la relación, a una temperatura fija, entre la presión del gas en equilibrio y la cantidad de gas adsorbido” (Rodríguez, 2010).

2.3.6. Metal Pesado

“Aunque se considera que los metales son dañinos, algunos son esenciales para nuestra salud. La falta o exceso de metales como hierro, cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc puede tener repercusiones en nuestra salud” (Robards & Worsfold, 2011).

2.3.7. Soluciones Ideales

“Una solución óptima es aquella en la que la fuerza de unión entre átomos distintos es igual al promedio de la fuerza de unión entre átomos de la misma especie” (Johnson & Stracher, 1995).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales, Reactivos y Equipos

3.1.1. Materiales

- Mortero y pilón de porcelana.
- Tamiz malla N° 160 (Malla 160 μm - ASTM E11).
- Vasos de precipitado de 50 y 100 mL.
- Fiolas volumétricas de 500 mL.
- Matraz de Erlenmeyer de 250 mL.
- Papel de filtro fino y grueso.
- Viales con taparosca de 10 mL.
- Frascos de vidrio de 100 mL.
- Botellas de plástico blanco de 500 mL.
- Botellas de plástico blanco de 100 mL.
- Botellas de teflón de 250 mL.
- Cucharillas de vidrio pírex.
- Varillas de vidrio.
- Luna de reloj.
- Embudos de vidrio simples de 5 cm de diámetro.
- Pastillas magnéticas de 2 y 5 mm de diámetro

3.1.2. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH) P.A. 98,5 % Sigma-Aldrich.
- Nitrato de níquel (II) $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ P.A. 99,0 % Merck.
- Nitrato de cadmio (II) $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ P.A. 99,0 % Merck.
- Acetona para secar.

3.1.3. Equipos

- Medidor de pH (ORION).
- Balanza analítica $\pm 0,0001$ de sensibilidad.
- Estufa eléctrica 220 V.
- Termostato.
- Plancha eléctrica con regulador de temperatura y agitación magnética.
- Equipo de difracción de rayos X. Marca Rigaku, tipo Miniflex.
- Equipo BET Micromeritics GEMINI-VII.
- Equipo de ICP-POES, modelo THERMO FISHER SCIENTIFIC 6500 DUO.

3.2. Metodología

Las muestras de cenizas de eucalipto han sido obtenidas como subproducto del proceso de combustión de la leña de eucalipto de las vianderas de la localidad de Huaschahura, las que previamente serán acondicionadas, mediante separación granulométrica usando mallas de diferentes diámetros de partículas, lavadas y secadas. Se determinará su área superficial específica por el método BET, y por difracción de rayos X la composición química y mineralógica. Las cenizas acondicionadas mediante un tratamiento térmico, serán modificadas en medio alcalino, con concentraciones de soluciones de 2,0 M, 3,0 M y 4,0 M de hidróxido de sodio; para luego determinar su área superficial, composición química y mineralógica; y finalmente se evaluará su capacidad de material adsorbente en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) en soluciones ideales, para ello se evaluarán dos factores, tiempo y temperatura de remoción, en un diseño experimental factorial del tipo 3^2 ; siendo la variable respuesta el porcentaje de remoción de níquel y cadmio, cuyo resultado se dará por la metodología de superficie respuesta (MSR).

3.2.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es de tipo experimental, cuantitativa y de nivel aplicativo con intervención (manipulación de variables).

3.2.2. Población y Muestra

3.2.2.1 Población

Cenizas de eucalipto de 5 vianderas de la localidad de Huaschahura.

Muestreo: Por conveniencia.

3.2.2.2 Muestra

- 1000 g de cenizas de eucalipto.
- 1 L de cada solución ideal de 50 ppm de iones Ni (II) y Cd (II)
- En la etapa de remoción se utilizó 50 mL para cada ensayo soluciones de Ni (II) y Cd (II).

3.2.3. Operacionalización de Variables

3.2.3.1 Variable Independiente

- Concentración del medio alcalino

Indicadores:

- Concentración molar (soluciones de NaOH 2,0; 3,0 y 4,0 M)

3.2.3.2. Variable Dependiente

- Incremento del área superficial específica de la ceniza modificada
- Grado de remoción de iones Ni (II) y Cd (II) usando ceniza modificada.

INDICADORES:

- m^2/g
- % de remoción de iones Ni (II) y Cd (II).

En la tabla 4, se visualiza la operacionalización de variables para el presente estudio.

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
VI: Concentración del medio alcalino	La modificación de la ceniza se da por el efecto de la concentración del medio alcalino.	Concentración molar, la relación del número de moles del soluto sobre el volumen expresado en L.	(2,0; 3,0 y 4,0 M)	Molaridad
VD: Área superficial específica.	La medición del área superficial se realizará mediante pruebas en el equipo BET.	Incremento del área superficial (Se obtiene datos de adsorción con un equipo BET y mediante tratamiento estadístico)	Mayor a 100%	m ² /g
Grado de remoción de iones Cd (II) y Ni (II)		(Se obtiene midiendo la cantidad remanente de Cd (II) y Ni (II) en la solución luego del proceso de adsorción)	Grado de remoción mayor a 50 %	Porcentaje (%)

3.3. Instrumentos

3.3.1. Difracción de Rayos X

Para el análisis se utilizó un difractómetro marca Rigaku, tipo Miniflex, mediante radiación de cobre (CuK α) a 40 Kv y 30 mA y un barrido de 2°/minuto, donde todas las muestras serán irradiadas con tubo de cobre y con longitud de onda de 1,5406 nm.

3.3.2. Equipo BET

Para la medición de la superficie específica se utiliza el equipo Micromeritics GEMINI-VII serie t que permite el registro de la isoterma de adsorción en todo el rango de presiones parciales P/P₀. Se emplea gas de análisis N₂ (99% AGA) y nitrógeno líquido (PRAXAIR) con una temperatura de ebullición de -195,79 °C como refrigerante para la condensación del gas N₂.

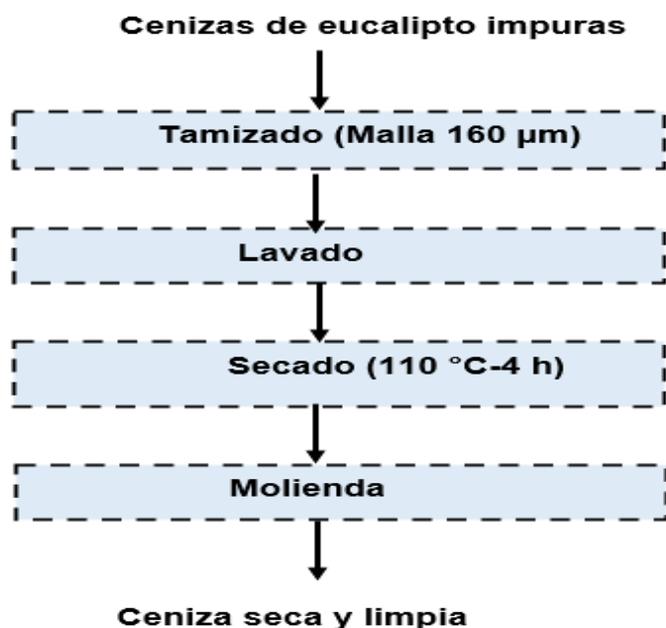
3.4. Procedimiento Experimental

3.4.1. Tratamiento de las Muestras de Cenizas de Eucalipto

Las muestras de cenizas se tomaron por conveniencia en forma aleatoria de las vianderas de la localidad de Huaschahura, considerando que las cenizas sean las menos contaminadas con alimentos y aceites. Inicialmente las cenizas son tamizadas a malla pasante de 160 μm según ASTM 160 con fin de separar los componentes de mayor granulometría. Luego se procede al lavado con agua destilada y posterior secado a 110 °C por cuatro horas. Se toma una muestra seca para su caracterización por difracción de rayos X para determinar su composición química y mineralógica; y otra muestra para la determinación de su área superficial específica por el método BET. En la figura 4, se detalla en un diagrama de bloque del tratamiento de la ceniza de eucalipto.

Figura 4

Diagrama de bloque del tratamiento de la ceniza de eucalipto



3.4.2. Modificación de la Ceniza de Eucalipto en Medio Alcalino

Para el proceso de modificación de la ceniza de eucalipto, intencionalmente se ha fijado la masa y las concentraciones de hidróxido de sodio.

En tres vasos de precipitado de 100 mL se incorporan 30 g de cenizas de eucalipto previamente tratadas, en cada uno de ellos se adicionan 60 mL soluciones de hidróxido de sodio 2,0 M; 3,0 M y 4,0 M respectivamente (relación 1:2), los vasos de precipitados con su contenido se llevan a una plancha eléctrica con agitación magnética por 30 minutos, luego de ese tiempo la mezcla se transvasa a las botellas de teflón de 250 mL de capacidad, para ser llevados a la estufa por 24 horas a 100 °C, parámetros de cristalización tomados del trabajo realizado por S. Goñi (Goñi et al., 2010). Luego del proceso térmico el producto final se lava y se filtra hasta un pH igual 12, finalmente se seca en la estufa por 8 horas a 110 °C.

Las muestras secas son sometidas al proceso de molienda, para la obtención de ceniza modificada homogéneas en polvo. Se toman muestras de cada uno de las cenizas modificadas, para el análisis por difracción de rayos X para determinar su composición química y mineralógica; y para la determinación del área superficial específica.

En esta etapa se mantuvieron constantes las siguientes variables:

- Masa de ceniza : 30 g
- Volumen de solución de NaOH : 60 mL
- Tiempo de agitación : 30 min
- Temperatura de reacción : 100 °C
- Tiempo de reacción : 24 h

En la tabla 5 se resumen los parámetros bloqueados intencionalmente para la modificación de la ceniza de eucalipto mediante tratamiento térmico alcalino.

Tabla 5*Parámetros bloqueados para la modificación de cenizas de eucalipto*

Muestra	Masa de ceniza (g)	[NaOH] M	Volumen de solución (mL)	Temperatura de reacción (°C)	Tiempo de reacción
1	30	2,0	60	100	24 horas
2	30	3,0	60	100	24 horas
3	30	4,0	60	100	24 horas

3.4.3. Remoción de Iones Ni (II) y Cd (II) en Solución

La remoción de iones níquel (II) y cadmio (II) se realizó con la ceniza modificada que presenta mayor área superficial específica (m^2/g). Para ello se preparan solución ideales de 50 ppm de iones Ni (II) y de iones Cd (II) a partir de $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ y $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ de la marca Merck respectivamente. Para ambos casos intencionalmente usamos 1,0 g de ceniza modificada con 50 mL de cada solución de iones metálicos, siendo la relación masa de ceniza con respecto a volumen de 1:50.

Para esta determinación, intencionalmente se mantienen constante los siguientes parámetros:

- Volumen de solución : 50 mL
- Masa de ceniza modificada : 1,0 g
- Velocidad de agitación : 500 rpm

A) Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) en solución ideales, es el diseño factorial en tres niveles, del tipo 3^2 , diseño que estudia los efectos de 2 factores, como es el tiempo y la temperatura de remoción; en 9 ejecuciones, y como variable

respuesta son los porcentajes de remoción de iones Ni (II) y Cd (II), resultados que se darán mediante la metodología de superficie respuesta (MSR).

En la tabla 6 se señala los niveles de experimentación en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) de acuerdo al diseño factorial del tipo 3^2 .

Tabla 6

Niveles de experimentación en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II)

Factores	Pequeño	Medio	Grande	Unidades
Tiempo	30	60	90	min
Temperatura	20	30	40	°C

Así mismo, en la tabla 7 y 8 se indican los niveles de distribución experimental para la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) según al diseño factorial del tipo 3^2 .

Tabla 7

Niveles de distribución experimental para la remoción de iones Ni (II)

Ensayo	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	30	40
2	60	20
3	30	20
4	60	40
5	90	40
6	60	30
7	90	30
8	30	30
9	90	20

Tabla 8*Niveles de distribución experimental para la remoción de iones Cd (II)*

Ensayo	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	90	40
2	60	30
3	30	20
4	90	30
5	30	40
6	60	40
7	30	30
8	60	20
9	90	20

B) Determinación del Porcentaje de Remoción de Iones Ni (II) y Cd (II)

La determinación de la concentración de iones metálicos en ppm se efectúa por la técnica espectroscópica de ICP-POES y la determinación del porcentaje de remoción se da por la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{[M^{2+}]_o - [M^{2+}]_f}{[M^{2+}]_o} \right) \times 100$$

Donde:

- $[M^{2+}]_o$: concentración inicial del ion metálico en ppm.
- $[M^{2+}]_f$: concentración final del ion metálico en ppm.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización Química y Mineralógica

4.1.1. Ceniza de Eucalipto

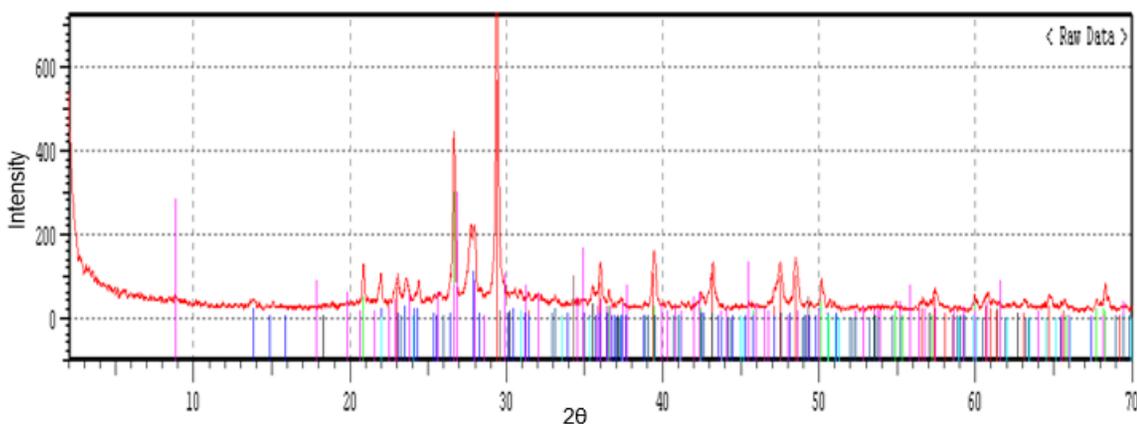
La ceniza de eucalipto previamente tratada fue sometida al ensayo de difracción de rayos para determinar su composición química y mineralogía. En anexo 1 se reporta los 04 difractogramas completo con sus respectivos componentes. En la figura 5 se tiene el difractograma de la ceniza de eucalipto en su condición inicial.

De acuerdo al difractograma de la figura 5, la muestra de la ceniza de eucalipto se caracteriza por presentar tres fases cristalinas típicas de mayor importancia, cuyos valores de 2θ son: de $26,638^\circ$ que corresponde al Cuarzo (SiO_2), de $28,02^\circ$ al componente Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y de $29,404^\circ$ para la Calcita (CaCO_3).

De acuerdo a Fernández-Jiménez (2006), cuando se caracteriza cenizas volantes del tipo F por difracción de rayos X, encuentra tres fases cristalinas típicas, cuarzo (SiO_2), mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_3$) y hematita (Fe_2O_3) (Fernández-Jiménez et al., 2006).

Figura 5

Difractograma de la ceniza de eucalipto



Según el trabajo de investigación desarrollado por García et. al., (2020), a partir del análisis por DRX de las cenizas volantes iniciales proveniente de una central hidroeléctrica, encontró que su composición química mayoritario es dióxido de silicio con 54,6 %, junto con Al_2O_3 en un 25,9 %, como elementos menores se encontró Fe, Na, Ti, Ca y P.

Las cenizas de eucalipto presentan tres fases cristalinas típicas importantes, con la diferencia de que no contiene mullita y hemática, pero sí coinciden con un solo componente que es el cuarzo (SiO_2). Por ello es necesario señalar, que la composición mineralógica de la ceniza de eucalipto se diferencia con la composición de las cenizas volantes obtenidos de la combustión del carbón mineral.

En el anexo 2 se tiene la composición química y de minerales en forma completa de la ceniza de eucalipto en su condición inicial y modificadas.

Los resultados de la composición química y mineralógica de la ceniza de eucalipto en forma resumida se presentan en la tabla 9. Los resultados indican que presenta tres componentes de mayor importancia de los 09 encontrados, ellos son: calcita (CaCO_3) con 45,58 %, cuarzo (SiO_2) con 23,99 % y con 17,96 % del mineral Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

Tabla 9

Composición química y mineralógica de la ceniza de eucalipto

N°	Mineral	Fórmula	%
01	Calcita	CaCO_3	45,58
02	Cuarzo	SiO_2	23,99
03	Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	17,96
04	Amorfo	-	5,37
05	Otros	-	7,10

De acuerdo a la clasificación de cenizas, el porcentaje determinado de 45,58 % de CaCO_3 es equivalente a 25,53 % de CaO , ceniza volante que estaría clasificado como ceniza cálcica (contenido de cal en el rango de 15 - 30%), según la clasificación dado por la Sociedad Estadounidense para Pruebas de Materiales (ASTM), la ceniza de eucalipto clasifica en la clase C, y no a la clase F.

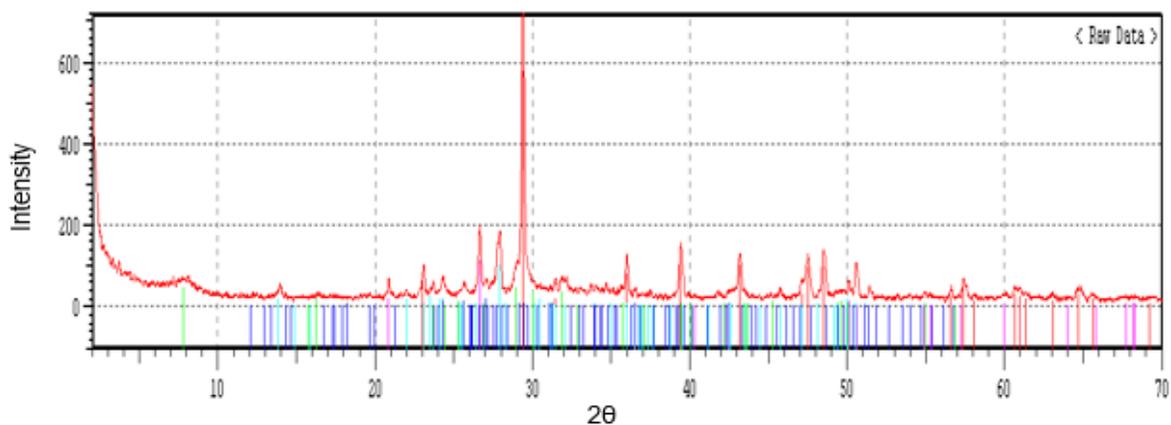
4.1.2. Cenizas Modificadas-DRX

La ceniza de eucalipto mediante tratamiento térmico en medio alcalino fue modificada, con soluciones de hidróxido de sodio 2,0; 3,0; y 4,0 M a 100 °C por 24 horas. Usando la técnica de difracción de rayos se determinó su composición química y mineralógica. En las figuras 6, 7 y 8 se presenta los difractogramas de las cenizas modificadas con soluciones de hidróxido de sodio.

Aquí, es necesario tener como referencia de comparación el difractograma de la ceniza de eucalipto en su condición inicial de acuerdo a la figura 5.

Figura 6

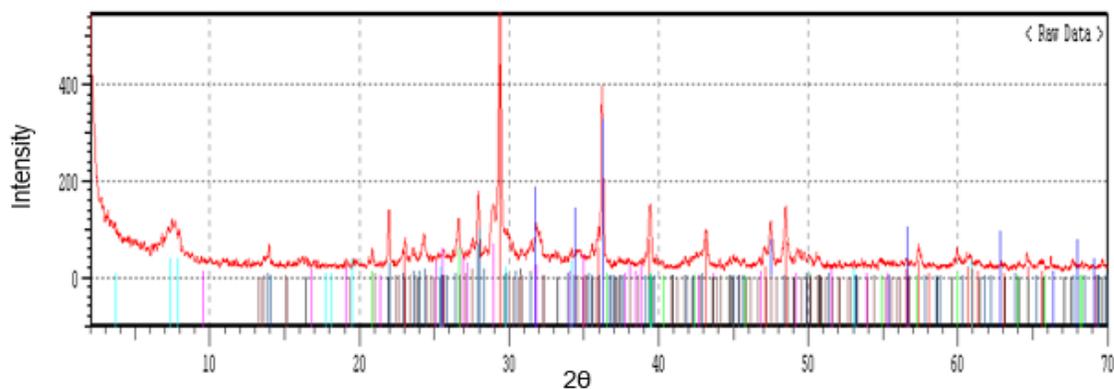
Difractograma de la ceniza modificada con solución 2,0 M de NaOH



Para la ceniza modificada con solución de 2,0 M, en su difractograma se observa que dos fases cristalinas disminuyen en su intensidad, identificados con 2θ igual a $26,638^\circ$ y $28,02^\circ$; luego se forma una nueva fase cristalina en menor proporción con 2θ igual $7,5^\circ$.

Figura 7

Difractograma de la ceniza modificada con solución 3,0 M de NaOH



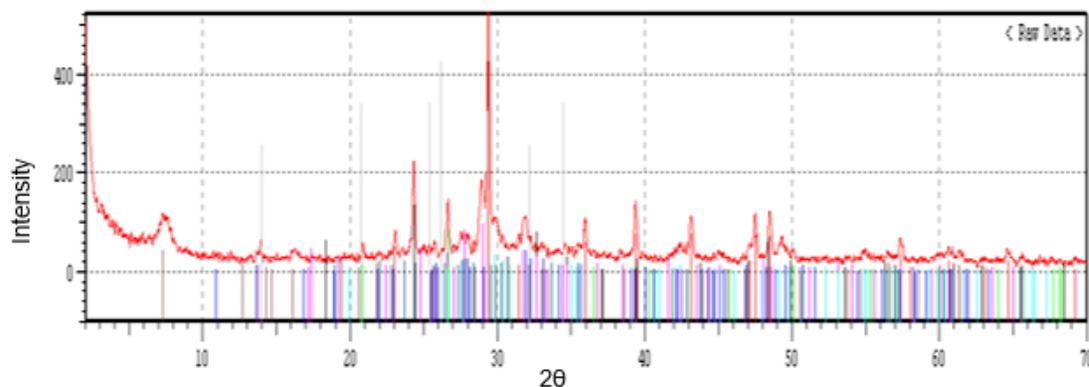
En caso de muestra de la ceniza de eucalipto modificada con solución de NaOH 3,0 M según el difractograma de la figura 7, ocurre lo mismo como en el caso anterior, dos fases cristalinas disminuyen en intensidad, con 2θ igual a $26,638^\circ$ y $28,02^\circ$; además se observa la formación de dos nuevas fases muy notorias con 2θ igual a $7,5^\circ$ y $36,5^\circ$.

Para la muestra de la ceniza de eucalipto modificada con solución de NaOH 4,0 M según el difractograma de la figura 8, se observa la aparición de dos nuevas fases cristalinas en 2θ , a $7,5^\circ$ y $24,50^\circ$.

Así mismo, los tres difractogramas de las cenizas de eucalipto modificadas, fueron comparadas con el difractograma de la ceniza en su condición inicial, se observa que presentan un pico muy típico permanente de 2θ igual a $29,404^\circ$, que correspondería al mineral calcita (CaCO_3).

Figura 8

Difractograma de la ceniza modificada con solución 4,0 M de NaOH



En la tabla 10 se presentan la composición química y mineralógica de los componentes más importantes de la ceniza y de las cenizas modificadas con soluciones de NaOH. Como se aprecia en dicha tabla, las 03 muestras contienen calcita, cuarzo y albita, a diferencia de la muestra 4 (CCV-4M) que no contiene albita; así mismo, se observa que las cenizas modificadas en su composición no presentan amorfo.

Según la tabla 10, se visualiza que la composición de las muestras de cenizas modificadas presenta diferentes componentes con diferentes composiciones, por tanto, podemos señalar que el tratamiento térmico alcalino, ha modificado a las cenizas en el presente estudio. Así mismo, podemos señalar que la concentración de la solución de hidróxido de sodio y la temperatura tienen influencia en la modificación de las cenizas.

Tabla 10*Composición química y mineralógica de la ceniza inicial y modificadas*

N°	Mineral	Fórmula Química	% en masa			
			CCV	CCV-2M	CCV-3M	CCV-4M
1	Calcita	CaCO ₃	45,58	61,71	37,61	40,6
2	Cuarzo	SiO ₂	23,99	11,81	8,12	7,96
3	Albita	NaAlSi ₃ O ₈	17,96	19,32	8,55	-
4	Amorfo	-	5,37	-	-	-
5	Otros	-	7,10	7,16	45,72	51,44
Componentes			9	5	8	9

Nota: Los componentes están referidos a los minerales identificados en cada muestra, CCV significa ceniza de carbón vegetal (ceniza de carbón de eucalipto).

4.2. Área Superficial Especifica

La determinación del área superficial específica, denominado también como área BET (Método BET), se determinó con el equipo Micromeritics GEMINI-VII del laboratorio de catálisis y adsorbentes de la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Ingeniería.

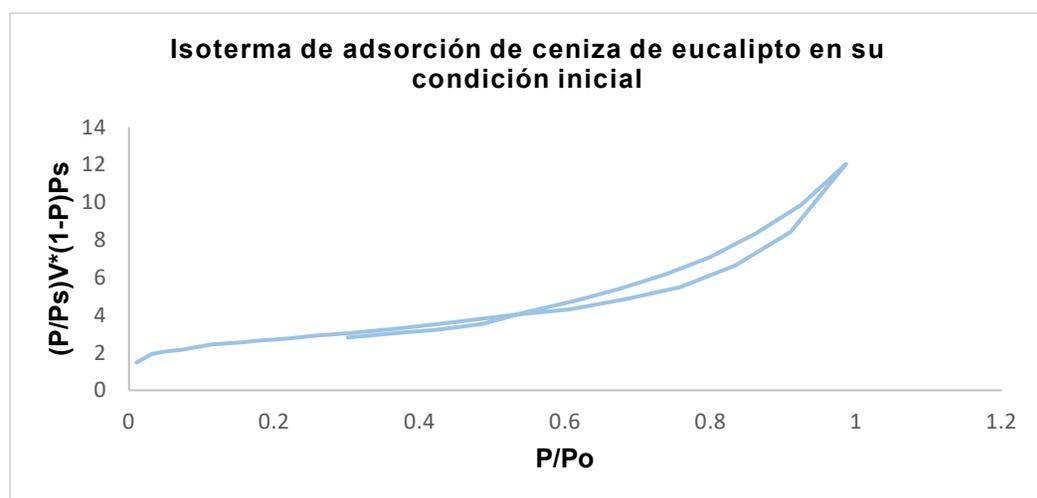
El área BET se calculó en el rango de presiones P/Ps entre < 0,05 a 0,33> correspondiente a la adsorción de una monocapa. Los puntos de equilibrio se midieron siguiendo el programa GAS MICROMERITICS con un total de más 30 puntos y con un tiempo de equilibrio en cada punto de 7 s. Se determinó el área superficial para la ceniza en la condición inicial y las tres modificadas, en el anexo 3 se tiene la información de presiones parciales correspondiente a los valores obtenidos por el método BET.

4.2.1. Ceniza de Eucalipto

La isoterma de adsorción para la ceniza en su condición inicial se visualiza en la figura 9. La isoterma obtenida para la ceniza de eucalipto, se encuentra dentro de la clasificación del tipo de isoterma IV según el UIPAC, que corresponde para sólidos con superficie micro mesoporosos, presenta un área BET de 9,10 m²/g.

Figura 9

Isoterma de adsorción de la ceniza de eucalipto en su condición inicial



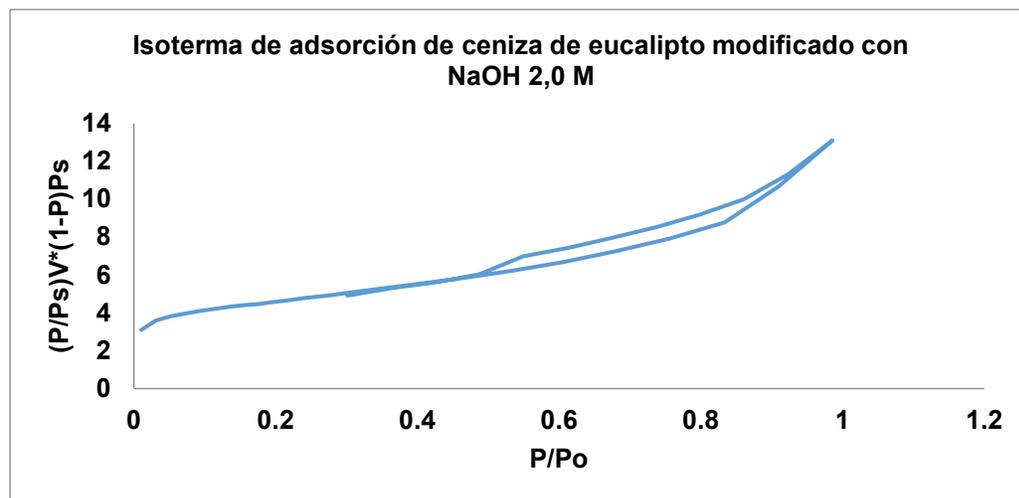
4.2.2. Cenizas Modificadas-BET

a) Ceniza de Eucalipto modificada con solución de NaOH 2,0 M

La muestra de ceniza modificada con solución de NaOH 2,0 M presenta un área BET de 17,40 m²/g. En la figura 10 se visualiza la isoterma de adsorción modificada con solución de 2,0 M, como en el caso anterior, la isoterma obtenida pertenece a la clasificación de isoterma del tipo IV según clasificación dado por la IUPAC, presenta una superficie micro mesoporosa.

Figura 10

Isoterma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 2,0 M



b) Ceniza de Eucalipto Modificada con Solución 3,0 M

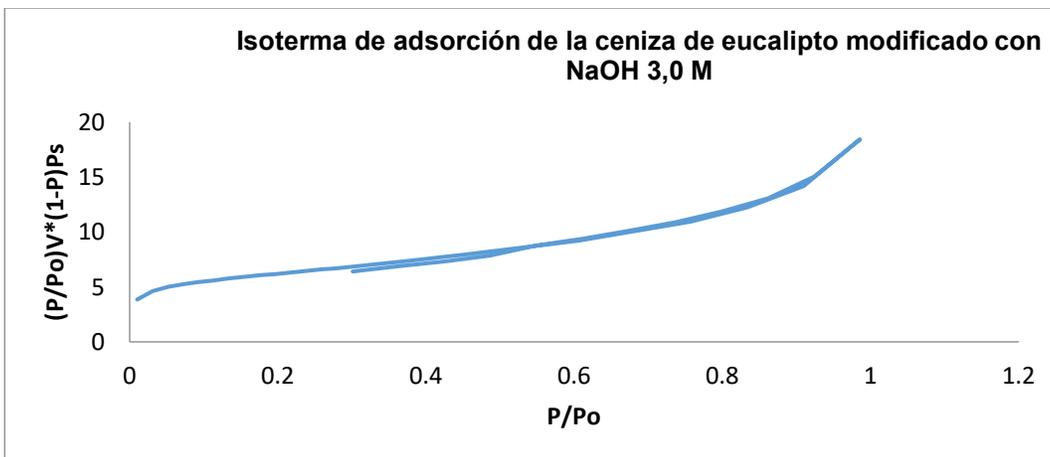
La ceniza modificada con solución NaOH 3,0 M presenta un área BET de 24,32 m²/g. En la figura 11, se presenta la isoterma de adsorción de la ceniza, este tipo de isoterma le corresponde a la clasificación de isoterma del tipo IV establecido por el IUPAC, el sólido presenta superficie micro mesoporosa.

c) Ceniza de Eucalipto Modificada con Solución de NaOH 4,0 M

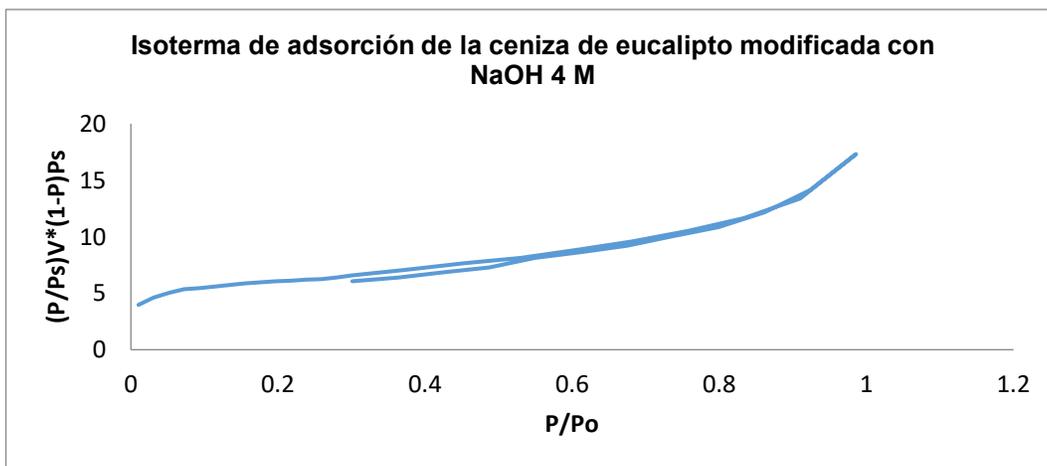
En la figura 12 se visualiza la isoterma de adsorción la ceniza de eucalipto modificada con solución de 4,0 M, isoterma que corresponde a la clasificación de isoterma del tipo IV, como en los casos anteriores, presenta una superficie micro mesoporosa, su área BET es de 21,28 m²/g.

Figura 11

Isoterma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 3,0 M

**Figura 12**

Isoterma de adsorción de la ceniza modificada con solución de NaOH 4,0 M



Por otro lado, en la tabla 11 se reportan en forma resumida el área BET de las cuatro muestras de ceniza, la primera sin modificar y las otras tres modificadas. La modificación térmicamente en medio alcalino de las cenizas de eucalipto se desarrolla con la finalidad de

incrementar su área superficial (área BET) y así ser utilizados como un material adsorbente en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II).

De acuerdo a los resultados de la tabla 11, observamos que la ceniza de eucalipto en su condición inicial presenta un área BET de 9,10 m²/g presenta tamaño de partícula de 160 µm, y la ceniza modificada con la solución 3,0 M de NaOH presenta el valor máximo de 24,32 m²/g incrementándose en 167 % con respecto a la ceniza sin modificar. Por lo tanto, para remover iones Ni (II) y Cd (II) en solución en el presente estudio, se selecciona la ceniza modificada con 3,0 M de NaOH por presenta mayor área BET.

Tabla 11

Área BET de la ceniza inicial y modificadas con soluciones de NaOH

Muestra	[NaOH] M	Área BET (m ² /g)
1	0,0	9,10
2	2,0	17,40
3	3,0	24,32
4	4,0	21,28

Las cenizas volantes es un subproducto de la combustión de carbón mineral que se caracteriza por tener tamaño de partícula pasante a 160 µm, sirve como materia prima para la producción de materiales adsorbentes, especialmente diversos tipos de zeolitas, la mayoría se prepara en medio alcalino, temperatura y presiones altas, el incremento del área BET superan valores superiores a 200 m²/g.

Según el trabajo desarrollado por (Amaya et al., 2005), la ceniza volante utilizado en su trabajo fue de 10 m²/g, que comparado con la ceniza de eucalipto de 9,10 m²/g podemos decir que presentan áreas superficiales casi similares. En el tratamiento térmico alcalino con temperaturas hasta 600 °C, encontró que una de sus muestras presento el mayor valor de área

superficial, de 258,56 m²/g, en consecuencia, afirmamos que el tratamiento térmico en medio alcalino permite incrementar el área superficial de las cenizas volantes.

4.3. Remoción de Iones Ni (II) y Cd (II)

La evaluación de la capacidad de remoción se desarrolló en el laboratorio de fisicoquímica. Las variables bloqueadas para la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) usando cenizas modificadas fueron:

- Velocidad de agitación : 500 rpm.
- Volumen de la solución de iones metálicos : 50 mL.
- Masa de ceniza modificada : 1,0 g.

De acuerdo a los resultados obtenidos del área BET, se seleccionó la ceniza modificada que tiene mayor valor de área BET; y este valor recae en la muestra de ceniza modificada con la solución de NaOH 3,0 M, siendo su valor de 24,32 m²/g.

Las concentraciones iniciales y al final del proceso de remoción se determinó con el equipo de espectrometría ICP-OES modelo THERMO FISHER SCIENTIFIC 6500 DUO, con las siguientes condiciones de operación: temperatura de cámara de -46 ± 2 °C, temperatura de la óptica de 38 ± -1 °C y presión mínimo de gas Ar de 80 psi, las concentraciones iniciales determinadas son:

- [Ni²⁺] : 49,1348 ppm
- [Cd²⁺] : 52,5323 ppm

De acuerdo al diseño factorial del tipo 3² y de la distribución de niveles experimentales, en las tablas 12 y 13 se reportan los resultados de la remoción de iones Ni (II) y de Cd (II).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la remoción de iones Ni (II), según la tabla 12 la muestra 1 presenta un valor mínimo de remoción de 99,88 % a condiciones de ensayo de 90

minutos y 40 °C; y la muestra 8 tiene un valor máximo de 99,98 % con las condiciones de ensayo de 60 minutos y 20 °C; finalmente se determinó que el pH promedio de la remoción de iones Ni (II) fue de 10,13.

Tabla 12

Resultados de la remoción de iones Ni (II) usando el diseño factorial 3²

Muestra	Tiempo (min)	Temperatura	[Ni ²⁺] _f	% de remoción de
		°C	ppm	[Ni ²⁺]
1	90	40	0,0579	99,8821
2	60	30	0,0169	99,9654
3	30	20	0,0076	99,9847
4	90	30	0,0433	99,9117
5	30	40	0,0093	99,9813
6	60	40	0,0169	99,9656
7	30	30	0,0151	99,9697
8	60	20	0,0051	99,9898
9	90	20	0,0186	99,962

Por otro lado, en la tabla 13 se observa que la muestra presenta el porcentaje mínimo de remoción de iones Cd (II) de 99,13 % correspondiente al ensayo llevado a cabo a 60 minutos y a 40°C y en la muestra 3 se da máximo valor remoción con 99,86 % con condición de ensayo de 30 minutos y 20 °C; así mismo, también se determinó que el pH promedio de la remoción de iones Cd (II) fue de 10,16.

Tabla 13

Resultados de la remoción de iones Cd (II) usando el diseño factorial 3²

Muestra	Tiempo (min)	Temperatura	[Cd ²⁺] _f	% de remoción de
		°C	ppm	[Cd ²⁺]
1	30	40	0,3296	99,3725
2	60	20	0,2774	99,4719
3	30	20	0,0736	99,8599
4	60	40	0,453	99,1376
5	90	40	0,4298	99,1818
6	60	30	0,3654	99,3044
7	90	30	0,2713	99,4835
8	30	30	0,2526	99,5191
9	90	20	0,4001	99,2383

Para determinar las condiciones óptimas en la remoción de iones Ni (II) y Cd (II) en solución, es necesario utilizar la metodología de superficie respuesta (MSR) para cada proceso de remoción, en la siguiente sección se desarrollará la metodología (MSR).

4.4. Resultados por la Metodología de Superficie Respuesta (MSR) en la Remoción de Iones Ni (II)

A continuación, se describen los análisis de efectos estimados e interacciones, análisis de varianza (ANOVA), interpretación de las gráficas de Pareto, los coeficientes y ecuación polinomial de la función, así mismo se incluye el diagrama de la superficie respuesta, la gráfica de contornos para obtener el punto óptimo y maximización de la variable de respuesta, como es el porcentaje de remoción de iones Níquel (II) en solución acuosa.

4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) en la Remoción de Iones Ni (II)

En la tabla 14 se reportan los resultados de ANOVA para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).

De acuerdo a los resultados de ANOVA descrito en la tabla 14 se puede notar que la variabilidad del porcentaje de eliminación se divide en piezas separadas para cada uno de los efectos, lo que permite comprobar la significancia estadística de cada efecto al comparar su cuadrado medio con un estimado del error experimental. En este ejemplo, 4 de los efectos tienen un valor-P menor a 0.05, lo que sugiere que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 14

Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)

Fuente	Suma de cuadrados	G_I cuadrado	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
A: Tiempo	0,00534017	1	0,00534017	153,76	0,0011
B: Temperatura	0,00190817	1	0,00190817	54,94	0,0051
AA	0,00123339	1	0,00123339	35,51	0,0095
AB	0,00148225	1	0,00148225	42,68	0,0073
BB	0,000296056	1	0,000296056	8,52	0,0615
Error Total	0,000104194	3	0,000347315		
Total (corr.)	0,0103642	8			

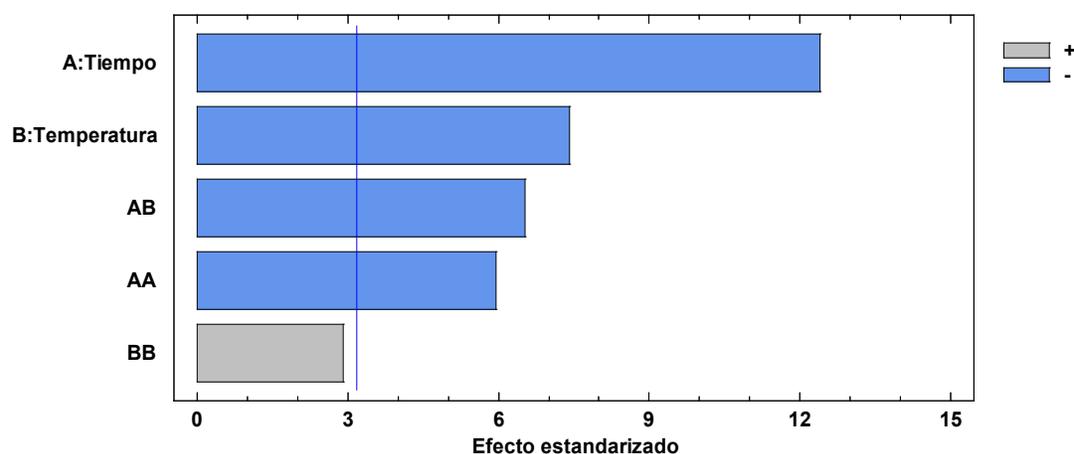
Del mismo, el estadístico R-Cuadrado indica que el modelo, así ajustado, explica 98,9947% de la variabilidad en porcentaje de remoción de iones Ni (II). La R-cuadrado ajustada,

la cual es apropiada para comparar modelos con diferentes variables independientes, es del 97,3191%. El error estándar del estimado es de 0,00589334, indicando la desviación estándar de los residuos. El error medio absoluto (MAE) es de 0,00279012, representando el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) verifica si existe una correlación serial en los residuos en función del orden de los datos. Con un valor-P mayor del 5.0%, no hay evidencia de autocorrelación significativa en los residuos con un nivel de confianza del 5.0%.

En la figura 13 visualiza la carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Ni (II).

Figura 13

Carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)



Según la carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción, confirma los resultados de ANOVA del nivel de significancia de las variables independientes en la remoción de iones Ni (II), observándose que ambas variables, tiempo y temperatura si sobrepasan la línea vertical de significancia, por tanto, ambas variables tienen efecto muy significativo en el porcentaje de remoción de iones Ni (II).

Los errores estándares están basados en un error total con 3 g. l. En la tabla 15 se detallan los efectos de cada una de las interacciones estimadas en el porcentaje de remoción de iones Ni (II), donde se visualiza el error individual de cada uno de los efectos e interacciones de las variables independientes en la remoción, siendo mucho más importante el efecto del tiempo.

Tabla 15

Efectos estimados para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)

Efecto	Error	Rango
Promedio	= 99,9649	+/- 0,00439264
A: Tiempo	= -0,596667	+/- 0,00481189
B: Temperatura	= -0,0356667	+/- 0,00481189
AA	= -0,0496667	+/- 0,00833444
AB	= -0,0385	+/- 0,00589334
BB	= 0,0243333	+/- 0,00833444

4.4.2. Coeficiente de Regresión para el Porcentaje de Remoción de Iones Ni (II)

La información de los coeficientes de regresión para la variable respuesta del porcentaje de remoción de iones Ni (II) se indican en la tabla 16.

Tabla 16

Coefficientes de regresión para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)

Coefficiente	Estimado
Constante	99,9727
A: Tiempo	0,00424167
B: Temperatura	-0,00523333
AA	-0,0000275926
AB	-0,0000641667
BB	0,000121667

Los datos del diseño experimental se ajustaron al siguiente modelo de regresión:

$$y = 99,9727 + 0,00424167x_1 - 0,00523333x_2 - 0,0000275926x_1^2 - 0,0000641667x_1x_2 + 0,000121667x_2^2.$$

Dónde:

y: Porcentaje de remoción de iones Ni (II).

x_1 : Tiempo.

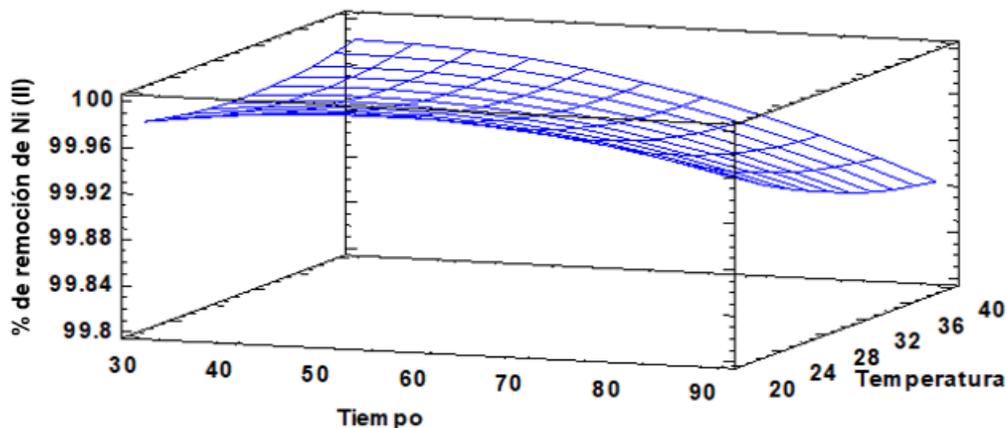
x_2 : Temperatura

4.4.3. Diagrama de Superficie Respuesta y Grafica de Contornos para el Porcentaje de Remoción de iones Ni (II)

En la figura 14 se muestra en forma tridimensional el diagrama de superficie de respuesta estimada del máximo porcentaje de remoción de iones Ni (II), es ahí donde se muestra la distribución de los porcentajes de remoción en función de tiempo y temperatura.

Figura 14

Diagrama de superficie de respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)



En la tabla 17 se detalla los valores de tiempo y temperatura de la respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de Ni (II).

Tabla 17

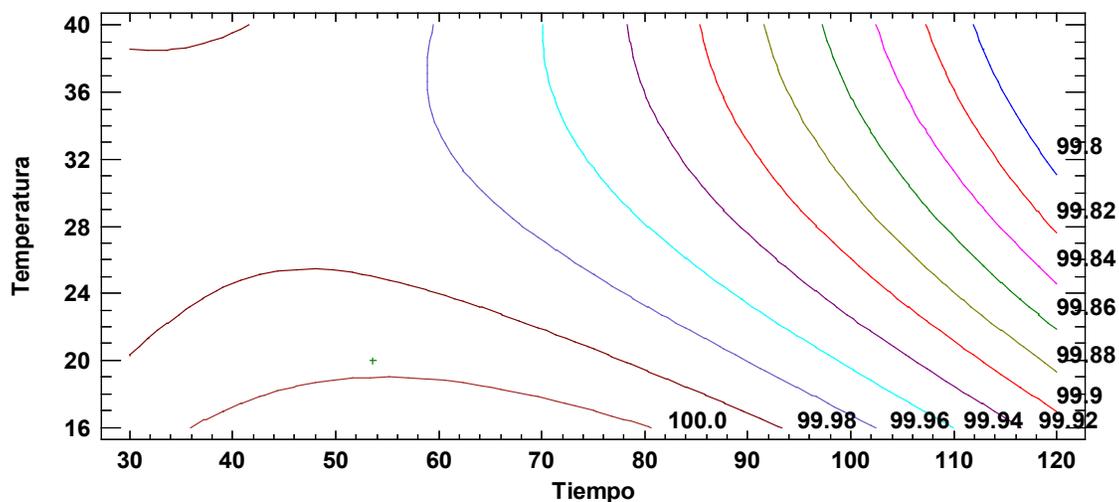
Respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)

Factor	Bajo	Alto	Optimo
Tiempo (min)	30	90	53,5851
Temperatura	20,0	40,0	20,0

Adicionalmente, en la figura 15 se muestra la gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada, dicha grafica nos permite visualizar el punto en el que se maximiza el porcentaje de remoción de iones Ni (II), siendo las condiciones óptimas de: 54 minutos, a 20 °C con un 99,99 % de remoción.

Figura 15

Gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Ni (II)



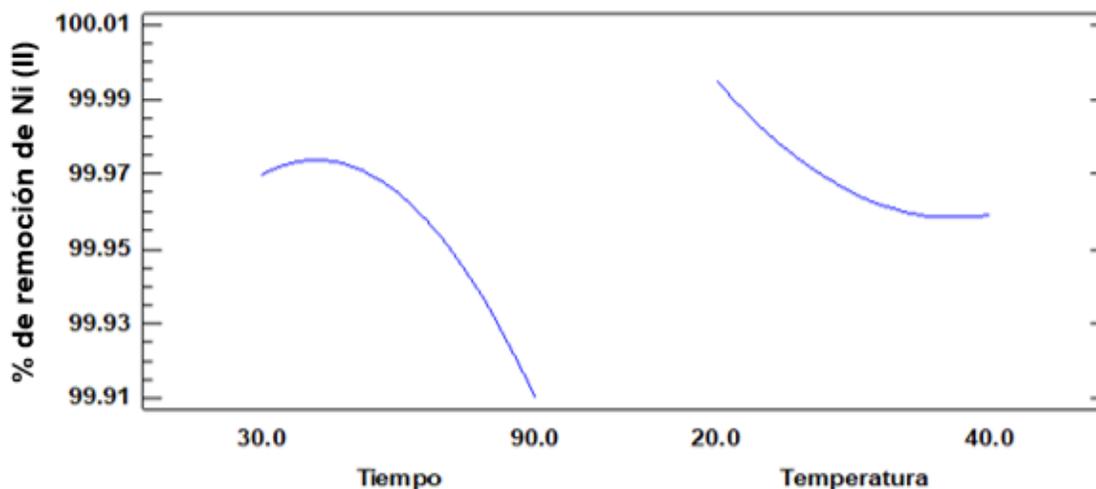
4.4.4. Análisis de Efectos Estimados e Interacciones y Efectos Principales de Tiempo y Temperatura en el Porcentaje de Remoción de Iones Ni (II)

En la figura 16, se muestra el gráfico que representa el efecto de las variables independientes del tiempo y temperatura versus porcentaje de remoción de iones Ni (II). En la curva correspondiente a tiempo-% de remoción, se observa que cuando el tiempo de remoción se incrementa, el porcentaje de remoción de iones Ni (II) se incrementa levemente, para luego disminuir gradualmente hasta los 90 minutos. Así mismo, para la curva temperatura-% de remoción se observa que a 20 °C el % de remoción de iones Ni (II) es máximo, según se incrementa la temperatura, disminuye el % de remoción, haciéndose constante a los 40 °C.

Figura 16

Efectos principales de tiempo y temperatura en el porcentaje de remoción de iones Ni

(II)



4.5. Resultados por la Metodología de Superficie Respuesta (MSR) en la Remoción de Iones Cd (II)

Similar al caso anterior, para la remoción de Cd (II) se describen los análisis de efectos estimados e interacciones, análisis de varianza (ANOVA), interpretación de las gráficas de Pareto, los coeficientes y ecuación polinomial de la función, el diagrama de la superficie respuesta, la gráfica de contornos para obtener el punto óptimo y maximizar la variable respuesta en la remoción de iones Cd (II).

4.5.1. Análisis de Varianza (ANOVA) para el Porcentaje de Remoción de Cd (II)

Para el porcentaje de remoción de iones Cd (II) el ANOVA se detalla en la tabla 18, de acuerdo con esta tabla, se puede ver que la variabilidad del porcentaje de retención se divide en segmentos para cada uno de los efectos, lo que permite probar la importancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio con un estimado del error experimental. Sin

embargo, en este caso, no se observa ningún efecto que tenga un valor-P inferior a 0,05, lo que indica que no son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 18

Análisis de varianza para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)

Fuente	Suma de cuadrados	G _i cuadrado	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
A: Tiempo	0,119851	1	0,119851	7,13	0,0756
B: Temperatura	0,128481	1	0,128481	7,65	0,0698
AA	0,038088	1	0,038088	2,27	0,2292
AB	0,046225	1	0,046225	2,75	0,1957
BB	0,006962	1	0,006962	0,41	0,5656
Error Total	0,0503957	3	0,016798		
Total (corr.)	0,390002	8			

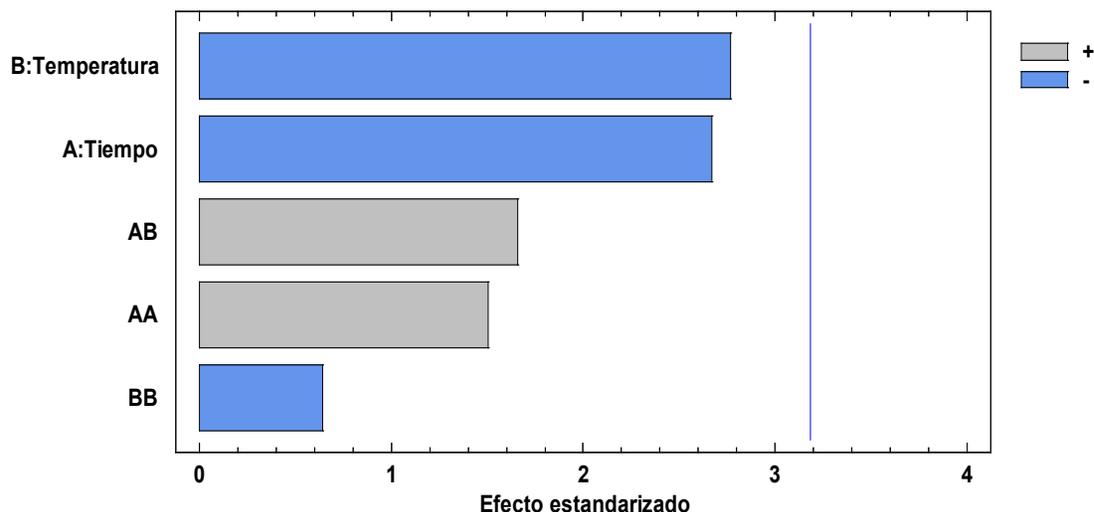
Así mismo, el estadístico R-Cuadrado indica que el modelo, así ajustado, explica 87,0781% de la variabilidad en porcentaje de remoción de iones Cd (II). El estadístico R-cuadrado ajustada, que es el más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 65,5416%. El error estándar de la estimación indica la magnitud de la desviación estándar de los residuos, y en este caso es de 0,129609.

El error medio absoluto (MAE) de 0,0637778 representa la media de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) evalúa la existencia de correlación entre los residuos según el orden de los datos. Si el valor-P es mayor que 5,0%, no hay evidencia de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 5,0%.

En la figura 17 se visualiza la carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)

Figura 17

Carta estandarizada de Pareto para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)



Según la carta estandarizada de Pareto para la remoción de iones Cd (II), confirma los resultados de ANOVA del nivel de significancia de las variables independientes en la remoción de iones Cd (II), en la que se observa que ambas variables, tiempo y temperatura no sobrepasan la línea vertical de significancia, por tanto, ambas variables no tienen efecto muy significativo en el porcentaje de remoción.

Los errores estándares están basados en un error total con 3 g. l. En la tabla 19 se detallan los efectos de cada una de las interacciones estimadas en el porcentaje de remoción de iones Cd (II), donde se visualiza el error individual de cada uno de los efectos e interacciones de las variables independientes en la remoción de iones Cd (II), siendo importante el efecto de la temperatura.

Tabla 19*Efectos estimados para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)*

Efecto	Error	Rango
Promedio	= 99,3433	+/- 0,096605
A: Tiempo	= -0,282667	+/- 0,105826
B: Temperatura	= -0,292667	+/- 0,105826
AA	= 0,276	+/- 0,183295
AB	= 0,215	+/- 0,129609
BB	= -0,118	+/- 0,183295

4.5.2. Coeficientes de Regresión para el Porcentaje de Remoción de Iones Cd (II)

En la tabla 20 se reportan la información de los coeficientes de regresión para la variable respuesta del porcentaje de remoción de iones Cd (II).

Tabla 20*Coeficientes de regresión para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)*

Coeficiente	Estimado
Constante	100,731
A: Tiempo	-0,0338611
B: Temperatura	-0,0007333
AA	0,00015333
AB	0,00035833
BB	-0,00059

Los datos del diseño experimental se ajustaron al siguiente modelo de regresión:

$$y = 100,731 - 0,0338611x_1 - 0,0007333x_2 + 0,00015333x_1^2 + 0,00035833x_1x_2 - 0,00059x_2^2.$$

Dónde:

y: Porcentaje de remoción de iones Cd (II).

x_1 : Tiempo.

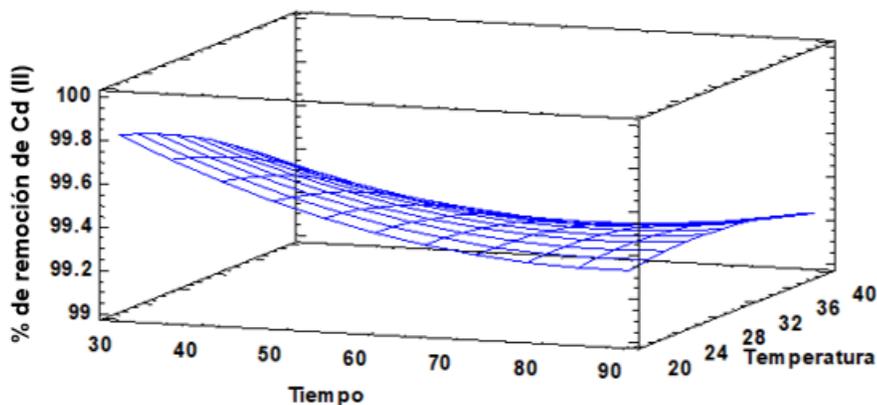
x_2 : Temperatura.

4.5.3. Superficie de Respuesta y Gráfica de Contornos para el Porcentaje de Remoción de iones Cd (II)

En la figura 18 se visualiza en forma tridimensional el diagrama de superficie respuesta, la máxima remoción de iones Cd (II), a la vez se muestra la distribución del porcentaje de remoción en función de tiempo y temperatura.

Figura 18

Diagrama de superficie de respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)



En la tabla 21 se detalla los valores de tiempo y temperatura de la respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II).

Tabla 21

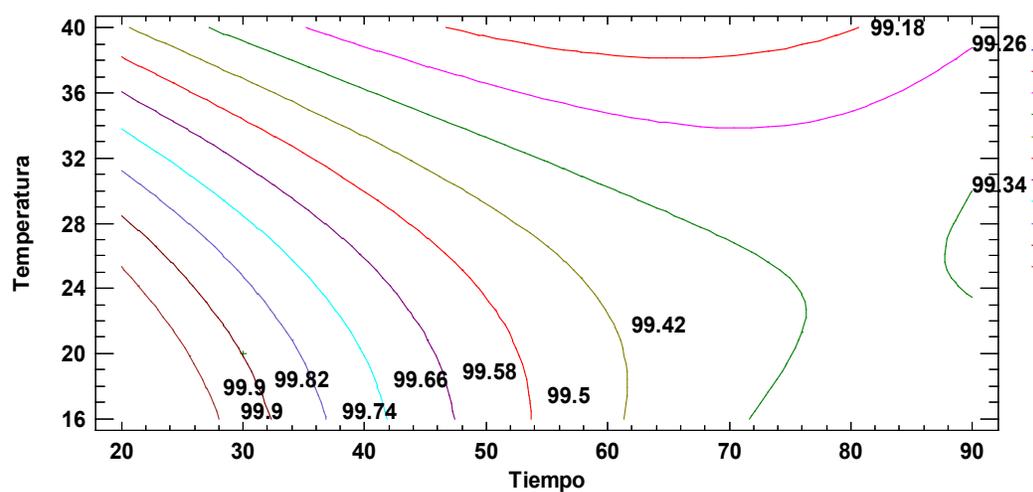
Respuesta optimizada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)

Factor	Bajo	Alto	Optimo
Tiempo (min)	30	90	30,0
Temperatura	20,0	40,0	20,0

Por otro lado, en figura 19 se muestra la gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada, donde nos permite visualizar el punto en el que se maximiza el porcentaje de remoción de iones Cd (II).

Figura 19

Gráfica de contornos de la superficie respuesta estimada para el porcentaje de remoción de iones Cd (II)



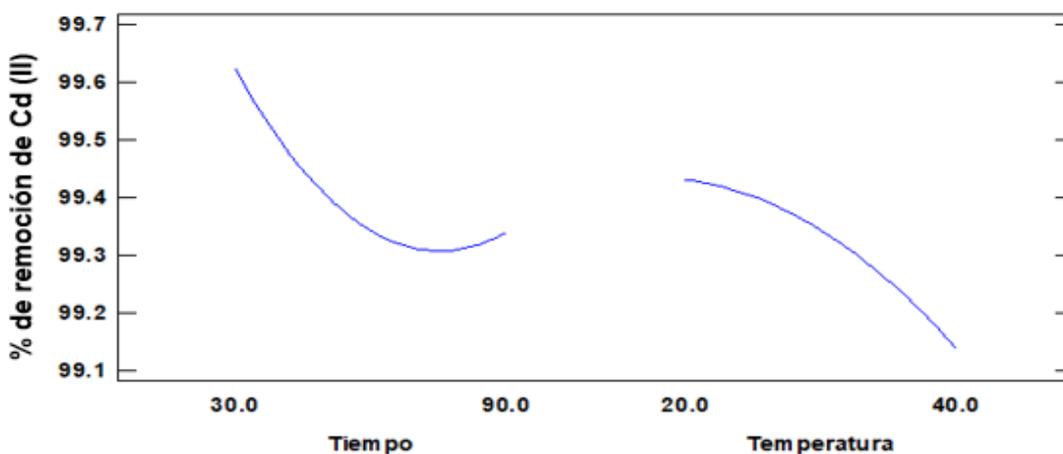
Según la gráfica de contornos, ésta nos permite visualizar el punto que maximiza el porcentaje de remoción de iones Cd (II), siendo las condiciones óptimas de: 30 minutos, y 20 °C como condiciones de ensayo para la remoción de 99,82 %.

4.5.4. Análisis de Efectos Estimados e Interacciones y Efectos Principales de Tiempo y Temperatura en el Porcentaje de Remoción de iones Cd (II)

La figura 20 muestra la gráfica que representa los efectos de tiempo y temperatura en la remoción de iones Cd (II). El comportamiento con respecto al tiempo, se da conforme se incrementa el tiempo, el porcentaje de remoción disminuye en forma no lineal, hasta el tiempo aproximado de 80 minutos, luego de ello sube levemente hasta completar los 90 minutos de remoción.

Figura 20

Efectos principales de tiempo y temperatura en el porcentaje de remoción de iones Cd (II)



En cuanto al comportamiento con la temperatura, el porcentaje de remoción de iones Cd (II) disminuye gradualmente cuando la temperatura se incrementa hasta los 40 °C, presenta comportamiento no lineal.

V. CONCLUSIONES

- Mediante tratamiento térmico en medio alcalino se modificó las cenizas de la combustión de eucalipto, observándose el efecto de la concentración del medio básico en el área superficial.
- Se caracterizo mediante difracción de rayos X y por el método BET la ceniza de eucalipto y las modificadas; donde la ceniza de eucalipto en su condición inicial presento 09 minerales; la modificada con solución 2,0 M de NaOH, 05 minerales; la modificada con 3,0 M, 08 componentes y la modificada con 4,0 M, con 09 componentes.
- Se determinó por el método BET que las cuatro muestras: la ceniza inicial y la modificada con NaOH 2,0 M, 3,0 M y 4,0 M se encuentran dentro de la clasificación de isoterma del tipo IV, considerado para solidos con superficie micro mesoporosos. Así mismo se determinó su área superficial: de 9,10 m²/g para la ceniza en la condición inicial; de 17,40 m²/g para la modificada con 2,0 M de NaOH; de 24,32 m²/g para la modificada con 3,0 M de NaOH y de 21,28 m²/g. para la modificada con 4,0 M de NaOH.
- De acuerdo a los difractogramas de las 04 muestras, la ceniza inicial y las 03 modificadas con solución de NaOH, en todos los casos se caracterizan por presentar dos picos muy característico y típico de 2θ igual a 29,404° que le corresponde a la calcita (CaCO₃), y de 26,638° que corresponde al Cuarzo (SiO₂).
- Experimentalmente se determinó que el grado de remoción máximo para los iones Ni (II) fue de 99,99 % a 60 minutos y 20 °C; y de 99,86 % en la remoción de iones Cd (II) con condición de ensayo de 30 minutos y 20 °C.
- Se logro determinar las condiciones óptimas de la remoción iones Ni (II) siendo de 99,99 % a 54 minutos y a 20 °C y para la remoción de iones Cd (II) fue de 99,82 % en 30 minutos y a 20 °C.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda utilizar las cenizas de eucalipto como materia prima en la obtención de materiales adsorbentes y zeolitas a temperaturas superiores a 100 °C.
- 2) Se recomienda evaluar la remoción de iones Ni (II) y Cd (II), con mayor volumen de soluciones ideales y de efluentes líquidos reales.
- 3) Es necesario evaluar soluciones de hidróxido de potasio en la modificación de las cenizas de eucalipto.
- 4) Se recomienda modificar mediante tratamiento térmico en medio alcalino los diferentes tipos de cenizas de otros tipos de árboles en la región y evaluarlas en la remoción de metales pesados.

VII REFERENCIAS

- Agudelo, A., & Restrepo, O. (2005). TERMODINÁMICA Y DIAGRAMAS DE FASE. *DYNA*, 72(145), 13-21.
- Amaya, J., Trisancho, A., & Sánchez, F. (2005). Utilización de ceniza volante y catalizador FCC gastado en la recuperación de cromo (III) de los efluentes líquidos de las curtiembres. *Revista Ingeniería e Investigación*, 25(1), 11.
- Aparicio, M., & Carbajal, G. (2010). Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 3(2), 62-72.
- Arnold, J. E. M., & Jongma, J. (1978). *Unasylva—No. 118—Leña para quemar—La leña y el carbón en los países en desarrollo*. <https://www.fao.org/3/l2015s/l2015s01.htm>
- Caballero, A. L., & Médico, O. A. (s. f.). *Caracterización y posible uso de cenizas resultantes de la combustión del carbón, en la futura Termocentral de lecho fluidizado. Río Turbio (Argentina)*.
- Farro, N., Reyes, W., Díaz, J., Mendoza, J., Chuquimango, B., & Araujo, C. (2015). Influencia de la proporción de hidróxido de sodio a cenizas volantes en la obtención de zeolitas para purificar efluentes acuosos contaminados con metales pesados. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 11(3), Article 3.
- Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., & Criado, M. (2006). Activación alcalina de cenizas volantes. Estudio comparativo entre activadores sódicos y potásicos. *Materiales de Construcción*, 56(281), 51-65. <https://doi.org/10.3989/mc.2006.v56.i281.92>
- Goñi, S., Peña, R., & Guerrero, A. (2010). Hydrothermal Synthesis of Zeolite from Coal Class F Fly Ash. Influence of Temperature. *Materiales de Construcción*, 60(298), Article 298. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.47808>

- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (tercera edición). Mc Graw Hill. Interamericana editores.
- Leal, L. E., Juárez, V., & Terán, M. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 19(2), 75-83.
- Londoño, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66-77.
- Rodríguez, E. C. (2011). *Comparación de calidad en la producción de carbón vegetal entre la fosa de tierra y el horno de ladrillo, en la finca el plantel Masaya* [Engineer, Universidad Nacional Agraria, UNA]. <https://repositorio.una.edu.ni/1167/>
- Rodríguez, F. (2010). Problemas más habituales en el uso de la adsorción física como técnica de caracterización de sólidos porosos. *Materiales en adsorción y catálisis*, N° 0 setiembre 2010, 13.
- Rúa, P., & Orjuela, Á. (2007). Remoción de níquel presente en aguas efluentes industriales mediante utilización de sustrato de aserrín de pino. *REVISTA COLOMBIANA DE QUÍMICA*, 2, 17.
- Solano Campos, J. E. (2020). Influencia de la ceniza de hojas de eucalipto en las propiedades del concreto simple para mortero en muros no portantes. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2023>

- Solla, F., & Rodríguez, A. M. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Investigación agraria. Producción y protección vegetales*, ISSN 0213-5000, Vol. 16, Nº 3, 2001, pags. 379-394.
- Tejada, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123.
- Vargas, M. J., F, R., Morán, A., & García, A. I. (2006). Producción de adsorbentes a partir de bagazo de caña de azúcar para la eliminación de colorantes en fase acuosa. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 1, Article 1.
<https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/aaas/article/view/2048>
- Villarrasa García, E. (2014). *Desarrollo de materiales para adsorción*. 327.

Web grafía

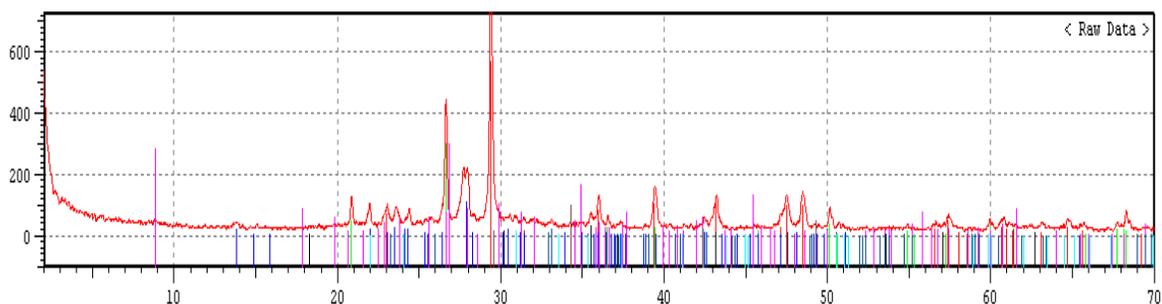
- <http://www.fao.org/3/l2015s/l2015s01.htm>
- www.agenciasinc.es/Reportajes/Un-futuro-para-las-cenizas
- <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/sectoragrario/agricola/lineasdecultivosemergentes/EUCALIPTO.pdf>
- <http://www.sierraexportadora.gob.pe/productos/catalogo-de-productos/eucalipto/>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Ceniza>

ANEXOS

ANEXO-1

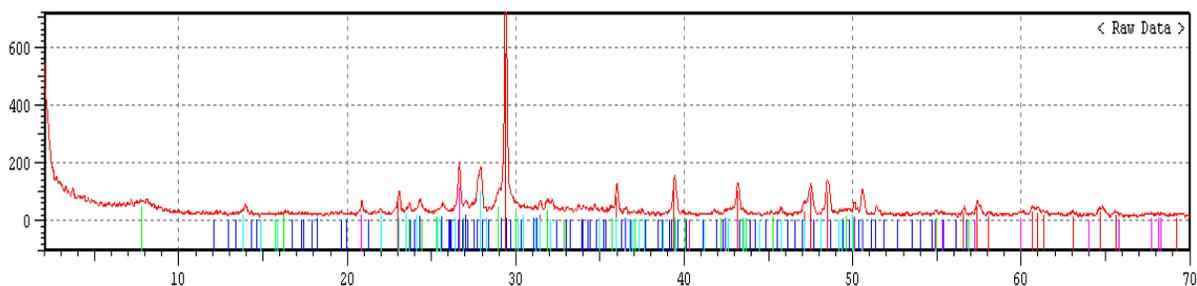
Difractogramas-INGEMMET

a) Difractograma de la ceniza de eucalipto en su condición inicial



No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1:	5-0586	CaCO ₃	Calcium Carbonate	Calcite
2:	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
3:	9-0466	NaAlSi ₃ O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
4:	6-0263	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F)	Potassium Aluminum Silicat	Muscovite
5:	36-0426	CaMg(CO ₃) ₂	Calcium Magnesium Carbonat	Dolomite

b) Difractograma de la ceniza de eucalipto modificada con solución 2,0 M de NaOH

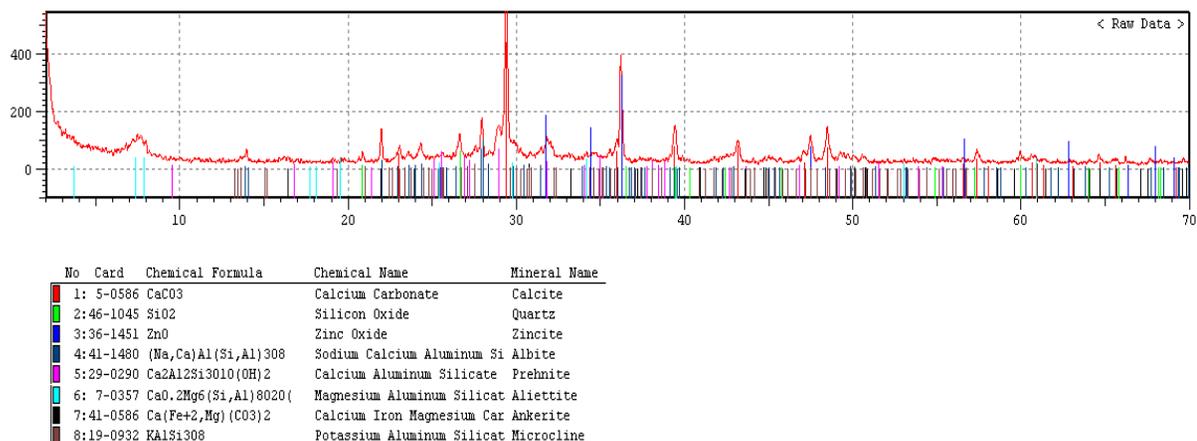


No	Card	Chemical Formula	Chemical Name	Mineral Name
1:	5-0586	CaCO ₃	Calcium Carbonate	Calcite
2:	46-1045	SiO ₂	Silicon Oxide	Quartz
3:	9-0466	NaAlSi ₃ O ₈	Sodium Aluminum Silicate	Albite
4:	45-1480	Ca ₅ Si ₆ (OH,F) ₁₈ .5H ₂ O	Calcium Silicate Hydrate	Tobermorite-II
5:	27-0380	K ₂ Cr ₂ O ₇	Potassium Chromium Oxide	Lopezite

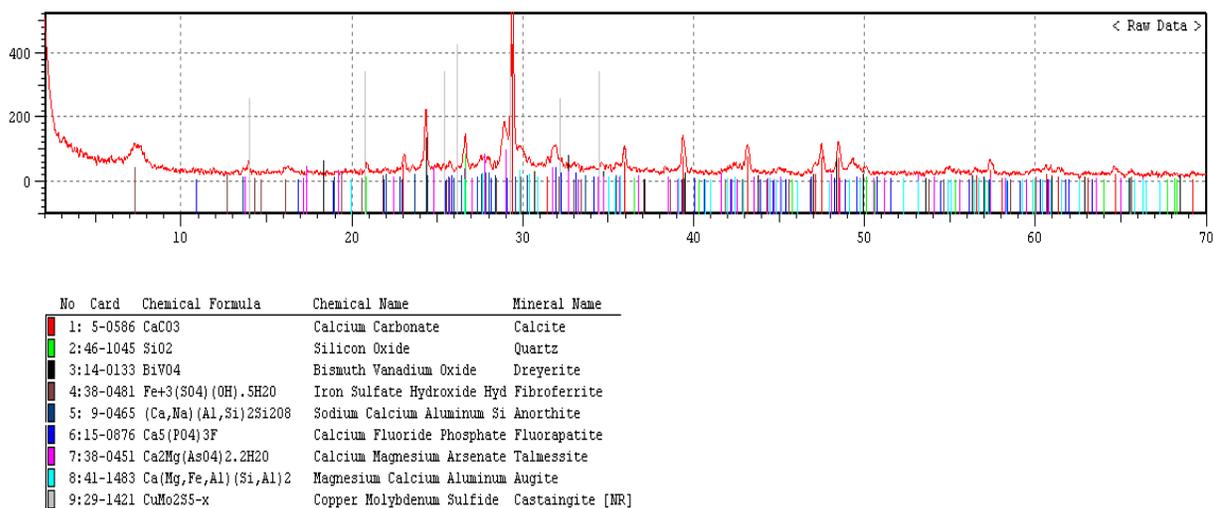
ANEXO-1

Difractogramas-INGEMMET

c) Difractograma de la ceniza de eucalipto modificada con solución 3,0 M de NaOH



d) D Difractograma de la ceniza de eucalipto modificada con solución 4,0 M de NaOH



ANEXO-2

Composición química y mineralógica- INGEMMET

Muestra: 1 Ceniza de eucalipto en su condición inicial

N°	Mineral	Fórmula	%
01	Calcita	CaCO ₃	45,58
02	Cuarzo	SiO ₂	23,99
03	Albita	NaAlSi ₃ O ₈	17,96
04	Amorfo	-	5,37
05	Magnesiofierrita	MgFe ²⁺ 3O ₄	2,55
06	Perovskita	CaO.TiO ₂	1,47
07	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	1,34
08	Muscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	1,07
09	Alabandita	Mn ⁺² S	0,67

Muestra 2: Ceniza de eucalipto modificada con solución 2,0 M de NaOH

N°	Mineral	Fórmula	%
01	Calcita	CaCO ₃	61,71
02	Albita	NaAlSi ₃ O ₈	19,32
03	Cuarzo	SiO ₂	11,81
04	Tobermorita	Ca ₅ Si ₆ (O,OH,F) ₁₈ .5H ₂ O	5,37
05	Lopezita	K ₂ Cr ₂ ⁺⁶ O ₇	1,79

ANEXO-2

Composición química y mineralógica- INGEMMET

Muestra 3: Ceniza de eucalipto modificada con solución 3,0 M de NaOH

N°	Mineral	Fórmula	%
01	Calcita	CaCO ₃	37,61
02	Zincita	ZnO	28,06
03	Aliettita	Ca ₀₂ M _{,g6} (Si, Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ .4H ₂ O	9,12
04	Albita	(Na, Ca) Al(Si, Al) ₃ O ₈	8,55
05	Cuarzo	SiO ₂	8,12
06	Prehnita	Ca ₂ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	5,84
07	Miroclina	KAlSi ₃ O ₈	1,42
08	Ankerita	Ca(Fe ⁺² ,Mg)(CO ₃) ₂	1,28

Muestra 4: Ceniza de eucalipto modificada con solución 4,0 M de NaOH

N°	Mineral	Fórmula	%
01	Calcita	CaCO ₃	40,60
02	Fibroferrita	Fe ⁺³ (SO ₄)(OH).5H ₂ O	13,53
03	Dreyerita	BiVO ₄	12,91
04	Palmessita	Ca ₂ Mg(AsO ₄) ₂ .2H ₂ O	9,08
05	Cuarzo	SiO ₂	7,96
06	Fluorapatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	5,57
07	Anortita	Fe ⁺³ (SO ₄)(OH).5H ₂ O	4,94
08	Augita	Ca(Mg, Fe, Al)(Si, Al) ₂ O ₆	3,18
09	Castangita	CuMo ₂ S _{5-x}	2,23

ANEXO-3

Resultados del método BET-Sección Química-UNI-Lima

A) Presiones parciales de adsorción para la muestra de ceniza de eucalipto en su condición inicial

Relative Pressure (p/p°)	Absolute Pressure (kPa)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)
0.010155618	1.02901826	1.47085346	00:35
0.030856845	3.12657059	1.93944914	00:37
0.051594895	5.22785395	2.06703558	00:39
0.072362493	7.33213136	2.16817345	00:41
0.093072972	9.43062108	2.29800869	00:43
0.113805731	11.5313684	2.42740824	00:45
0.134555174	13.6338063	2.49527551	00:47
0.155438182	15.7497775	2.55855379	00:49
0.175919161	17.8250132	2.62337951	00:51
0.196795735	19.9403325	2.68266428	00:53
0.217404837	22.0285504	2.76039867	00:55
0.238186465	24.1342493	2.82731737	00:57
0.258989394	26.2421066	2.91173089	00:59
0.279690953	28.3396926	2.97502166	01:01
0.300492397	30.4473993	3.03069268	01:03
0.376558485	38.1547975	3.31923139	01:05
0.452843515	45.8843801	3.64995996	01:07
0.529319763	53.6333377	4.00614398	01:08
0.605212965	61.3232182	4.30902214	01:11
0.681054848	69.0078988	4.84555108	01:13
0.757361	76.7396215	5.49501067	01:15
0.833609009	84.4654528	6.63051946	01:17
0.909600348	92.1652771	8.42505126	01:19
0.985922482	99.8986192	12.0362997	01:22
0.923734805	93.5974513	9.86605258	01:26
0.861517173	87.2932483	8.33766858	01:27
0.799077646	80.9665617	7.08679472	01:29
0.736975419	74.674052	6.16913693	01:31
0.67470679	68.3646817	5.39249068	01:32

Relative Pressure (p/p°)	Absolute Pressure (kPa)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)
0.612637329	62.0754921	4.7579683	01:34
0.549175423	55.6452129	4.18915493	01:36
0.486855477	49.3306429	3.54302185	01:38
0.42589288	43.1536063	3.2310412	01:40
0.363568918	36.8386294	3.01977339	01:43
0.301293022	30.5285227	2.79023136	01:45

Muestra: Ceniza de eucalipto

BET Surface Área:	9.105 ± 0.0619 m ² /g
Slope:	0.457950 ± 0.002960 g/cm ³ STP
Y-Intercept:	0.001800 ± 0.000531 g/cm ³ STP
C:	255.387683
Qm:	2.1751 cm ³ /g STP
Correlation Coefficient:	0.9997285
Molecular Cross-Sectional Área:	0.1620 nm ²

ANEXO-3

Resultados del método BET-Sección Química-UNI-Lima

B) Presiones parciales de adsorción para la muestra de ceniza de eucalipto modificado con solución 2,0 M de NaOH

Relative Pressure (p/p°)	Absolute Pressure (kPa)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)
0.010237017	1.037266037	3.095521077	00:31
0.031105172	3.1517323	3.594659936	00:33
0.051673156	5.235783806	3.808505222	00:35
0.072419955	7.337953638	3.971518087	00:37
0.093170387	9.440491685	4.105162042	00:39
0.113921637	11.54311263	4.217473707	00:41
0.134694521	13.64792558	4.321415422	00:43
0.155463941	15.7523876	4.412217983	00:45
0.176014087	17.8346316	4.463936689	00:47
0.196882087	19.94908222	4.564557614	00:49
0.217463443	22.0344886	4.660524984	00:50
0.238296428	24.14539133	4.765792792	00:52
0.259115882	26.25492293	4.852750519	00:54
0.279928047	28.36371606	4.9499717	00:56
0.300658838	30.46426401	5.056442165	00:58
0.376677383	38.16684483	5.413933254	01:00
0.452920291	45.89215939	5.788901515	01:02
0.529393206	53.64077932	6.198851364	01:04
0.605322908	61.33435819	6.668901822	01:06
0.681259557	69.02864095	7.271892322	01:07
0.757400754	76.74364954	7.927724675	01:09
0.833704979	84.47517696	8.789418237	01:11
0.910196405	92.22567255	10.67784184	01:13
0.985872128	99.89351704	13.10505418	01:15
0.923842902	93.60840421	11.32301875	01:19
0.861549377	87.29651135	10.00015148	01:20
0.799122218	80.97107793	9.206625174	01:22
0.737080624	74.68471194	8.514992782	01:24
0.674737388	68.36778205	7.963019298	01:25
0.61268423	62.08024429	7.433465946	01:27
0.549207467	55.64845973	6.974972229	01:29
0.486894266	49.33457321	6.037207126	01:31

Muestra: Ceniza de eucalipto modificada con solución 2,0 M de NaOH

BET Surface Área:	17.4002 ± 0.1438 m ² /g
Slope:	0.279720 ± 0.002531 g/cm ³ STP
Y-Intercept:	-0.000673 ± 0.000454 g/cm ³ STP
C:	-414.940070
Qm:	3.5836 cm ³ /g STP
Correlation Coefficient:	0.9994682
Molecular Cross-Sectional Area:	0.1620 nm ²

ANEXO-3

Resultados del método BET-Sección Química-UNI-Lima

C) Presiones parciales de adsorción para la muestra de ceniza de eucalipto modificado con solución 3,0 M de NaOH

Relative Pressure (p/p°)	Absolute Pressure (kPa)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)
0.010134814	1.026910301	3.853495129	00:37
0.030827786	3.123626135	4.638713198	00:39
0.05161322	5.229710797	4.989436172	00:41
0.072389904	7.334908742	5.232346831	00:43
0.092951283	9.418290951	5.447309533	00:45
0.113729447	11.52363893	5.604829984	00:47
0.134514226	13.62965722	5.756766294	00:49
0.15535712	15.7415639	5.917102788	00:51
0.175867482	17.81977686	6.065475582	00:53
0.196764354	19.93715286	6.177163234	00:54
0.217284634	22.01637078	6.317098935	00:56
0.238136271	24.12916342	6.446866664	00:58
0.259031998	26.24642346	6.576335678	01:01
0.279727936	28.34343981	6.714467373	01:03
0.30047226	30.44535891	6.839081783	01:04
0.376560974	38.15504974	7.37555394	01:06
0.452853434	45.88538504	7.971015379	01:08
0.529228291	53.62406926	8.558344648	01:10
0.605235411	61.32549254	9.191652967	01:12
0.68109693	69.0121628	10.07207221	01:14
0.757319721	76.73543895	10.96937391	01:16
0.833573994	84.46190494	12.26663589	01:18
0.909561398	92.1613305	14.18795575	01:20
0.985763871	99.88254789	18.44317411	01:23
0.923745326	93.59851733	15.02931256	01:27
0.861476055	87.28908194	13.08668405	01:29
0.799083268	80.96713131	11.85341842	01:31
0.737030431	74.67962609	10.90538654	01:32
0.674707674	68.36477123	10.1033543	01:34
0.612621307	62.07386867	9.403417094	01:36
0.549105112	55.63808867	8.787249249	01:38
0.486863387	49.3314444	7.83868479	01:40

Muestra: Ceniza de eucalipto modificada con 3,0 M de solución de NaOH

BET Surface Area:	24.3204 ± 0.1920 m ² /g
Slope:	0.204881 ± 0.001821 g/cm ³ STP
Y-Intercept:	-0.000062 ± 0.000326 g/cm ³ STP
C:	-3310.158469
Qm:	4.8824 cm ³ /g STP
Correlation Coefficient:	0.9994869
Molecular Cross-Sectional Area:	0.1620 nm ²

ANEXO-3

Resultados del método BET-Sección Química-UNI-Lima

D) Presiones parciales de adsorción para la muestra de ceniza de eucalipto modificado con solución 4,0 M de NaOH

Relative Pressure (p/p°)	Absolute Pressure (kPa)	Quantity Adsorbed (cm ³ /g STP)	Elapsed Time (h:min)
0.01032552	1.04623327	3.96886173	00:32
0.03090737	3.13169	4.60818769	00:34
0.05179203	5.24782912	5.03434177	00:36
0.07243663	7.33964316	5.35273138	00:38
0.0930695	9.43026913	5.47360888	00:40
0.11401162	11.5522305	5.58170844	00:42
0.13464896	13.6433086	5.71848436	00:44
0.15547781	15.7537933	5.86709795	00:46
0.17602682	17.8359214	5.95445142	00:48
0.19686524	19.9473754	6.0577591	00:49
0.2173964	22.0276959	6.0987357	00:51
0.23827215	24.1429318	6.22325403	00:53
0.25906254	26.2495177	6.26590282	00:55
0.27975733	28.3464181	6.41132262	00:57
0.30067799	30.4662048	6.56925182	01:00
0.37678042	38.1772851	7.07311984	01:02
0.45313476	45.9138902	7.65331448	01:04
0.52947858	53.6494293	8.13073334	01:06
0.60535479	61.3375887	8.83640851	01:07
0.68121667	69.0242956	9.5671248	01:09
0.75746484	76.7501431	10.4988809	01:11
0.83364121	84.4687159	11.6563553	01:13
0.90982803	92.1883465	13.3912162	01:16
0.98573496	99.8796184	17.3113754	01:18
0.92386306	93.6104467	14.1216759	01:22
0.86150183	87.291694	12.1783533	01:24
0.79904054	80.9628022	10.8660136	01:25
0.73694145	74.6706099	10.0440711	01:27
0.67465612	68.3595471	9.2079853	01:29
0.6125822	62.0699058	8.64574935	01:30
0.54920534	55.6482441	8.10669546	01:32
0.48686784	49.331896	7.26924861	01:34

Muestra: Ceniza de eucalipto modificada con 4,0 M de solución de NaOH

BET Surface Area:	$21.2801 \pm 0.2812 \text{ m}^2/\text{g}$
Slope:	$0.215850 \pm 0.002938 \text{ g}/\text{cm}^3 \text{ STP}$
Y-Intercept:	$-0.000915 \pm 0.000527 \text{ g}/\text{cm}^3 \text{ STP}$
C:	-235.003802
Qm:	$4.6526 \text{ cm}^3/\text{g STP}$
Correlation Coefficient:	0.9987983
Molecular Cross-Sectional Area:	0.1620 nm^2

ANEXO-4**Galería de fotos****Foto1: Leña de eucalipto**

Foto 2: Tomando muestras de ceniza de eucalipto



Foto 3: Tamizado de las cenizas de eucalipto



Foto 4: Lavado de las cenizas de eucalipto



Foto 5: Cenizas de eucalipto limpio y molido



Foto 6: Cenizas de eucalipto limpio y molido



Foto 7: muestras de cenizas para DRX y análisis método BET



Foto 8: Remoción de iones usando ceniza modificadas

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros del jurado para el acto público de sustentación de tesis titulado **“CENIZAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) MODIFICADAS TERMICAMENTE EN MEDIO ALCALINO PARA LA REMOCIÓN DE NIQUEL Y CADMIO EN SOLUCIONES IDEALES”** presentado por el bachiller en Ingeniería Química Godofredo MALDONADO POMASONCCO, el cuál fue expuesto el día 20 de febrero de 2023, en merito a la Resolución Decanal N° 031-2023-UNSCH-FIQM/D, damos la conformidad al trabajo y declaramos el documento apto para que pueda iniciar sus gestiones administrativas que conduzcan a la expedición y entrega del título profesional en Ingeniería Química.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Hernán Pedro QUISPE MISAICO	28206793	
Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA	08069059	
José Alberto CUEVA VARGAS	18854963	



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 005-2023-UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Directora de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bach. **Godofredo MALDONADO POMASONCCO**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Tesis: CENIZAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) CON TRATAMIENTO TÉRMICO, MODIFICADO EN MEDIO ALCALINO PARA LA REMOCIÓN DE NÍQUEL Y CADMIO EN SOLUCIONES IDEALES.

Autor **Bach.: Godofredo MALDONADO POMASONCCO**
Identificado **: 2101568593**
Fecha **: 25 de mayo del 2023**
Archivo **: Tesis**

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **11 (Once) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 25 de mayo del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
E.P. INGENIERÍA QUÍMICA

Dr. Alfredo ARIAS JARA
DIRECTOR DE ESCUELA

Adjunto Reporte de Índice de Similitud
cc. archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA
QUÍMICA Av. Independencia S/N –
Ayacucho Telf. 066-312510 Anexo. 152
Correo: ep.quimica@unsch.edu.pe



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Godofredo Maldonado Pomasoncco
Título del ejercicio: Constancia MALDONADO Godofredo
Título de la entrega: Cenizas de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) con tratam...
Nombre del archivo: MALDONADO_G_Cenizas_Eucalipto_Ni_Cd.pdf
Tamaño del archivo: 1.41M
Total páginas: 62
Total de palabras: 13,341
Total de caracteres: 64,974
Fecha de entrega: 25-may.-2023 06:36a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2101568593

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

CENIZAS DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) CON TRATAMIENTO
TÉRMICO, MODIFICADO EN MEDIO ALCALINO PARA LA REMOCIÓN DE NIQUEL
Y CADMIO EN SOLUCIONES IDEALES

Bachiller: Godofredo MALDONADO POMASONCCO

Asesor: M. Q. Ing. León Fernando PÉREZ CHAUCA

Ayacucho-Perú

2023

Cenizas de eucalipto
(*Eucalyptus globulus labill*) con
tratamiento térmico,
modificado en medio alcalino
para la remoción de níquel y
cadmio en soluciones ideales

por Godofredo Maldonado Pomasoncco

Fecha de entrega: 25-may-2023 06:36a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2101568593

Nombre del archivo: MALDONADO_G_Cenizas_Eucalipto_Ni_Cd.pdf (1.41M)

Total de palabras: 13341

Total de caracteres: 64974

Cenizas de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) con tratamiento térmico, modificado en medio alcalino para la remoción de níquel y cadmio en soluciones ideales

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %
INDICE DE SIMILITUD

10 %
FUENTES DE INTERNET

8 %
PUBLICACIONES

4 %
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 qdoc.tips
Fuente de Internet 1 %

2 www.raco.cat
Fuente de Internet 1 %

3 bdigital.unal.edu.co
Fuente de Internet 1 %

4 pt.scribd.com
Fuente de Internet 1 %

5 www.researchgate.net
Fuente de Internet 1 %

6 Durán Muñoz Fernando. "Oxosilicato de litio (Li₈SiO₆): una nueva opción para la captura de dióxido de carbono (CO₂) a altas temperaturas", TESIUNAM, 2013
Publicación 1 %

7 repositorio.uap.edu.pe
Fuente de Internet 1 %

8	Espejel Ayala Fabricio. "síntesis de zeolitas a partir de jales mineros de cobre para la remoción de metales presentes en agua", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %
9	dev.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
10	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	sqperu.org.pe Fuente de Internet	<1 %
13	bdigital.uncuyo.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
15	repository.eafit.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	revistas.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	eventos.uho.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

19	Jenny Andrea García Barrero, Mery Carolina Pazos Zarama, Javier Ramiro Chaparro Barajas, Deisy Alejandra Fonseca Martínez et al. "Síntesis De Z β A Partir de Cenizas Volantes, Utilizadas En Liberación Controlada De Nitratos", Ciencia en Desarrollo, 2020 Publicación	<1 %
20	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
21	sie.car.gov.co Fuente de Internet	<1 %
22	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
23	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
24	www.ficyt.es Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

✓ **TESISTA**

Godofredo Maldonado Pomasoncco

DNI N° 28263419

✓ **ASESOR**

Mtro. Ing. León Fernando Pérez Chauca

DNI N° 06547654

ORCID: **0000-0001-9974-1973**

✓ **JURADOS**

Presidente : Dr. Ing. Guido PALOMINO HERNÁNDEZ

Jurado : Mtro. Ing. Hernán Pedro QUISPE MISAICO

Jurado : Mtro. Ing. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA

Jurado : Mg. Ing. José Alberto CUEVA VARGAS

Secretario : Mg. Ing. Welde Cesar DIAZ MALDONADO

URI: <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.00.00>

✓