



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Estudio Comparativo de Bioadsorción de Níquel en Aguas Sintéticas  
mediante Cáscaras de Toronja y Cebada

**Trabajo de Titulación para optar al título de  
Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

Álvarez Lema, Flavio Steven  
Álvarez Poaquiza, Andrés Javier

**Tutora:**

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Flavio Steven Álvarez Lema y Andrés Javier Álvarez Poaquiza, con cédula de ciudadanía 171904009-7 y 185017139-6, autores del trabajo de investigación titulado: Estudio Comparativo de Bioadsorción de Níquel en Aguas Sintéticas mediante Cáscaras de Toronja y Cebada, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Flavio Steven Álvarez Lema  
C.I: 171904009-7

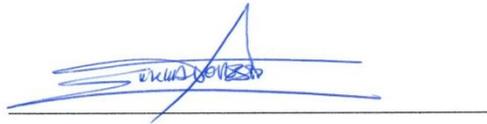


Andrés Javier Álvarez Poaquiza  
C.I: 185017139-6

## **DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR**

Quien suscribe, Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Estudio Comparativo de Bioadsorción de Níquel en Aguas Sintéticas mediante Cáscaras de Toronja y Cebada, bajo la autoría de Flavio Steven Álvarez Lema, Andrés Javier Álvarez Poaquiza; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 24 días del mes de octubre de 2023



Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.

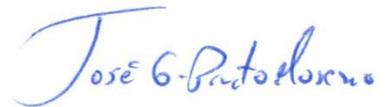
CI: 0602087603

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estudio Comparativo de Bioadsorción de Níquel en Aguas Sintéticas mediante Cáscaras de Toronja y Cebada, presentado por Flavio Steven Álvarez Lema, con cédula de identidad número 171904009-7 y por Andrés Javier Álvarez Poaquiza, con cedula de identidad número 185017139-6 bajo la tutoría de Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 9 días del mes de noviembre de 2023

Presidente del Tribunal de Grado  
Dr. José Prato



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Dra. Patricia Andrade, PhD



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Carla Silva

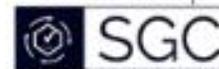


Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

UNACH-RGF-01-04-08.15

VERSIÓN 01: 06-09-2021

# CERTIFICACIÓN

Que, **FLAVIO STEVEN ALVAREZ LEMA** con CC: **1719040097** y **ANDRÉS JAVIER ALVAREZ POAQUIZA** con CC: **1850171396**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ESTUDIO COMPARATIVO DE BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL EN AGUAS SINTÉTICAS MEDIANTE CÁSCARAS DE TORONJA Y CEBADA**", cumple con el **07%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de octubre de 2023



SILVIA HIPATIA  
TORRES RODRIGUEZ

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodriguez  
**TUTORA**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres Javier Álvarez y María Poaquiza que, a lo largo de estos años, han significado para mí, un apoyo incondicional, han sido el pilar que me ha mantenido en pie en esta etapa de mi vida. Quiero también dedicar este trabajo a mis hermanos Angie y Anderson Alvarez que me han enseñado que no existen días malos, solo días en los que puedes aprender un poco más y que a la vida hay que enfrentarla con una sonrisa. La dedicación especial es para el que fue mi compañero fiel en los días buenos y malos, aunque ya no te encuentras a mi lado, Alfalfa esto es gracias a ti.

Atentamente  
Andrés Álvarez

Quiero dedicar este logro con todo el cariño a mis padres Flavio Álvarez Calderón y Nidia Lema González y a mi hermanita Rose Álvarez, porque, ellos nunca me han dejado solo durante todo el proceso llamado universidad que ha estado lleno de momentos felices, tristes y sobre todo emocionantes, Papitos me inspiran cada día con su trabajo y amor que me han dado todo lo posible para crecer y me han enseñado que los sueños no tienen límites, espero que estén orgullosos de mí, porque ellos me incitan a crecer ,nunca se rindan, porque yo nunca me voy a rendir, porque lo mágico sucede cuando no nos damos por vencidos y así podemos alcanzar nuestras metas.

Con todo mi cariño  
Flavio Álvarez

## AGRADECIMIENTO

Primero, quiero agradecer a mi tutora de tesis, Dra. Silvia Torres, por su paciencia y apoyo a lo largo de todo este proceso. Su dedicación fue fundamental para el desarrollo y culminación de este trabajo.

No puedo pasar por alto agradecer a mis amigos Johan Palis y Flavio Álvarez, quienes siempre estuvieron ahí ayudándome, y brindándome ánimo en los momentos más difíciles. Sus palabras de aliento fueron un gran impulso para seguir adelante y enfrentar los obstáculos de la carrera.

Agradezco infinitamente a mi familia por su constante apoyo y amor incondicional. Su confianza en mí y su comprensión en los momentos de dedicación exclusiva a este trabajo fueron pilares fundamentales en mi camino y sé que van a seguir siendo igual de importantes por el resto de mi vida.

Atentamente

Andrés Álvarez

Voy a iniciar agradeciendo al Dios, que me permitió estar presente en todo el proceso que, a pesar de ser de otra ciudad, que siempre me cuida y fue una compañía y un amigo incondicional en esta travesía.

Agradezco a mis padres por todo el cariño y apoyo que me brindan a pesar de la distancia y mis errores, gracias por todo lo que han hecho por mí, por sus palabras, sus motivaciones y porque yo sé que su aspiración es verme ser una mejor persona cada día.

A mi hermana, que me ayudaste a empezar este camino todo tu apoyo, tus ganas de ayudarme, me inspiraste en todo este trayecto.

A mis docentes y técnicos de laboratorio, que me brindaron sus conocimientos y me hicieron enamorarme de mi carrera, gracias por todas sus enseñanzas y consejos.

A mi compañero de tesis Andrés Álvarez que ha estado desde nivelación hasta el final de la carrera apoyando para seguir adelante en todos los aspectos tanto personal como estudiantil.

A mi tutora Silvita Torres, gracias por su paciencia y guía en mi proyecto de titulación, gracias por su tiempo y despejar nuestras dudas en cualquier momento y por sus palabras que nos motivó a realizar un buen trabajo de titulación.

Con todo mi cariño.

Flavio Álvarez

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	18
1.1 Antecedentes .....	19
1.2 Planteamiento del Problema.....	20
1.3 Justificación.....	21
1.4 Objetivos .....	22
1.4.1 Objetivo General .....	22
1.4.2 Objetivos Específicos .....	22
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Adsorción .....	23
2.1.1 Tipos de Adsorción .....	23
2.2 Bioadsorción.....	24
2.2.1 Definición .....	24
2.2.2 Factores que influyen en la bioadsorción .....	24
2.3 Isotermas de Adsorción.....	24
2.3.1 Isoterma de Langmuir .....	25
2.3.2 Isoterma de Freundlich .....	25
2.4 Materias primas .....	26
2.4.1 Toronja .....	26
2.4.1.1 Producción de la toronja.....	27
2.4.1.2 Caracterización fisicoquímica de la toronja .....	27
2.4.2 Cebada .....	27
2.4.2.1 Caracterización fisicoquímica de la cebada .....	28
2.4.2.2 Usos de la cebada .....	28
2.5 Metales Pesados .....	29

2.5.1	Definición .....	29
2.5.2	Toxicidad de los metales pesados .....	29
2.5.3	Principales actividades industriales generadoras de metales pesados .....	30
2.5.3.1	Minería .....	30
2.5.3.2	Metalúrgica.....	31
2.5.3.3	Agricultura .....	31
2.5.4	Tratamientos usados en la remoción de metales pesados en aguas.....	32
2.5.5	Níquel .....	34
2.5.5.1	Fuentes naturales de níquel .....	35
2.5.5.2	Límites máximos permisibles de níquel en aguas .....	35
CAPÍTULO III.....		36
3.	METODOLOGÍA .....	36
3.1	Tipo de investigación .....	36
3.2	Diseño de la investigación.....	36
3.2.1	Variables.....	37
3.2.1.1	Variables Independientes .....	37
3.2.1.2	Variable Dependiente .....	37
3.3	Hipótesis.....	37
3.4	Materiales, Reactivos y Equipos .....	37
3.4.1	Materiales .....	37
3.4.2	Reactivos .....	38
3.4.3	Equipos.....	38
3.5	Métodos.....	39
3.5.1	Obtención del bioadsorbente .....	39
3.5.2	Preparación del bioadsorbente.....	39
3.5.2.1	Troceado de la cáscara de toronja .....	39
3.5.2.2	Limpieza de los bioadsorbentes .....	39
3.5.2.3	Secado de los bioadsorbentes.....	40
3.5.2.4	Molienda de los bioadsorbentes .....	40
3.5.2.5	Tamizado de los bioadsorbentes .....	40
3.5.2.6	Almacenamiento de los bioadsorbentes .....	40

3.6	Ensayos.....	40
3.7	Preparación de la solución de níquel (agua sintética) .....	41
3.8	Método de análisis.....	42
3.8.1	Espectrofotometría .....	42
3.8.1.1	Digestión .....	43
3.8.1.2	Características del espectrofotómetro de absorción atómica .....	43
3.9	Diseño Experimental .....	44
3.9.1	Pruebas de normalidad .....	44
3.9.2	Prueba de comparación de medias (t-student).....	44
3.9.3	Coefficiente de determinación .....	45
3.10	Análisis de concentraciones .....	45
3.11	Linealización de las Isotermas .....	46
3.11.1	Linealización de la Isoterma de Langmuir .....	46
3.11.1.1	Factor adimensional Isoterma de Langmuir.....	46
3.12	Linealización de la Isoterma de Freundlich .....	47
CAPÍTULO IV.....		48
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1	Preparación de la solución de níquel.....	48
4.2	Obtención de bioadsorbentes .....	48
4.3	Determinación de la capacidad de bioadsorción de las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada .....	48
4.3.1	Prueba de muestras independientes .....	50
4.3.1.1	Pruebas de normalidad .....	50
4.3.1.2	Prueba de hipótesis de igualdad de medias .....	52
4.3.2	Influencia del tipo de bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la adsorción del níquel .....	53
4.3.3	Influencia de la cantidad de bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la bioadsorción del níquel .....	54
4.4	Isotermas de Langmuir y Freundlich .....	56
4.4.1	Influencia del tamaño de partícula del bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la adsorción del níquel .....	56
4.4.2	Isotermas del Níquel (Cáscara de Toronja).....	57

4.4.2.1	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm ....	57
4.4.2.2	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm.....	58
4.4.2.3	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm ....	59
4.4.2.4	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm.....	60
4.4.2.5	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm ....	61
4.4.2.6	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm.....	62
4.4.2.7	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm ....	63
4.4.2.8	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm.....	64
4.4.3	Isotermas del Níquel (Cáscara de Cebada).....	65
4.4.3.1	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm.....	65
4.4.3.2	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm .....	66
4.4.3.3	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm.....	67
4.4.3.4	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm .....	68
4.4.3.5	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm.....	69
4.4.3.6	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm .....	70
4.4.3.7	Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm.....	71
4.4.3.8	Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm .....	72
4.5	Comparación de isotermas de adsorción para los bioadsorbentes toronja y Cebada.....	73
4.5.1	Comparaciones de isotermas de adsorción para los bioadsorbentes en base de cáscaras toronja y Cebada para la concentración de 100 ppm .....	73
4.5.2	Comparación de isotermas de adsorción para los bioadsorbentes en base de cáscaras toronja y Cebada para la concentración de 200 ppm .....	74
CAPÍTULO V .....		75
5.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....	75
5.1	Conclusiones .....	75
5.2	Recomendaciones.....	76
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	77
7.	ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la cebada.....	28
Tabla 2. Límites de descarga de níquel.....	36
Tabla 3 Ensayos para la concentración de 100 ppm de Ni .....	40
Tabla 4. Ensayos para la concentración de 200 ppm de Ni .....	41
Tabla 5. Características del espectrofotómetro Ice 3000 AAS .....	44
Tabla 6. Valoración del Coeficiente de Determinación.....	45
Tabla 7. Soluciones de Níquel .....	48
Tabla 8. Obtención de los bioadsorbentes .....	48
Tabla 9. Estadística descriptiva.....	49
Tabla 10. Resumen de contraste de hipótesis .....	50
Tabla 11. Pruebas de normalidad.....	51
Tabla 12. Prueba de muestras independientes .....	52
Tabla 13. Comparación de modelos concentración Ni 100 ppm.....	74
Tabla 14. Comparación de Isotermas de adsorción para Co 200ppm.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Calibración del Espectrofotómetro de flama.....	43
Figura 2. Gráfico de cajas de la concentración final de los bioadsorbentes .....	50
Figura 3. Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm de Ni.....	53
Figura 4 Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm. ....	54
Figura 5. Influencia de la cantidad de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm. ....	55
Figura 6. Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm. ....	55
Figura 7. Influencia del tamaño de partícula en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm.....	56
Figura 8. Influencia del tamaño de partícula en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm.....	57
Figura 9. Isoterma de Freundlich ( Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm.....	58
Figura 10. Isoterma de Langmuir (Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm .....	59
Figura 11. Isoterma de Freundlich (Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm.....	60
Figura 12. Isoterma de Langmuir (Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm .....	61
Figura 13. Isoterma de Freundlich (Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm.....	62
Figura 14. Isoterma de Langmuir (Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm .....	63
Figura 15. Isoterma de Freundlich (Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm.....	64
Figura 16. Isoterma de Langmuir (Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm .....	65

Figura 17. Isoterma de Freundlich (Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm .....	66
Figura 18. Isoterma de Langmuir (Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm .....	67
Figura 19. Isoterma de Freundlich (Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm .....	68
Figura 20. Isoterma de Langmuir (Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm .....	69
Figura 21. Isoterma de Freundlich (Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm .....	70
Figura 22. Isoterma de Langmuir (Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm .....	71
Figura 23. Isoterma de Freundlich (Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm .....	72
Figura 24. Isoterma de Langmuir (Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm .....	73

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo de Langmuir.....	25
Ecuación 2. Modelo de Freundlich.....	26
Ecuación 3. Cantidad de Sulfato de níquel para una [Ni] 100 ppm.....	41
Ecuación 4. Cantidad de Sulfato de níquel para una [Ni] 200 ppm.....	42
Ecuación 5. Capacidad de adsorción. ....	46
Ecuación 6. Rendimiento de la bioadsorción.....	46
Ecuación 7. Linealización de Stumm y Morgan.....	46
Ecuación 8. Factor adimensional Isoterma de Langmuir.....	47
Ecuación 9 Linealización de la Isoterma de Freundlich .....	47

## RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar y comparar la eficiencia de bioadsorción de las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada para separar níquel presente en aguas contaminadas.

La contaminación de níquel tiene consecuencias graves, ya que, es persistente, bioacumulable y tóxico para todos los seres vivos, en este precepto radica la importancia que se exploren técnicas de descontaminación de metales pesados en aguas contaminadas, una de ellas es la bioadsorción que se define como un proceso que ayuda a la captación activa o pasiva de iones metálicos. En los ensayos de bioadsorción se consideró una solución de agua sintética de Sulfato de níquel hexahidratado ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), en dos concentraciones 100 ppm y 200 ppm. Se tomaron en consideración los parámetros que son tamaño de partícula del bioadsorbente (300  $\mu\text{m}$  y 600  $\mu\text{m}$ ), tipo de bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) y cantidad de bioadsorbente (1g, 1.5g, 2g y 3g).

La metodología consistió en un análisis mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (iCE 3000 SERIES AA Spectrophotometer). Se desarrollaron un total de 52 ensayos y como resultado principal se obtuvo, que el bioadsorbente más efectivo para adsorción de níquel presente en agua sintética (100 ppm Ni), es la cáscara de toronja con un tamaño de partícula de 600  $\mu\text{m}$ , una cantidad de 2 g y con un porcentaje de remoción del 82.63%. En el caso de la cáscara de cebada el resultado óptimo para la bioadsorción del níquel presente en agua sintética (100 ppm Ni) fue con un tamaño de partícula de 300  $\mu\text{m}$ , una cantidad de 3 g teniendo un porcentaje de remoción del 41.56%. Estos resultados evidencian la capacidad de bioadsorción de los materiales utilizados previamente en el tratamiento de aguas contaminadas con níquel.

Palabras clave: Isotermas, filtración, espectrofotometría, cantidad de bioadsorbente.

## ABSTRACT

The main objective of this research study was to evaluate and compare the bio-adsorption efficiency of grapefruit peels and barley peels to separate nickel present in polluted water. Nickel contamination has serious consequences, as it is persistent, bio accumulative, and toxic for all living beings, which is why it is important to explore techniques for the decontamination of heavy metals in contaminated water, one of which is bio adsorption, which is defined as a process that helps the active or passive capture of metal ions. In the bio adsorption tests, a synthetic water solution of nickel sulfate hex hydrate ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), in two concentrations 100 ppm and 200 ppm, was considered. The parameters taken into consideration were bio adsorbent particle size (300  $\mu\text{m}$  and 600  $\mu\text{m}$ ), type of bio adsorbent (grapefruit peel and barley peel), and amount of bio adsorbent (1g, 1.5g, 2g, and 3g). The methodology consisted of an analysis using an atomic absorption spectrophotometer (iCE 3000 SERIES AA Spectrophotometer). A total of 52 tests were carried out and the main result was that the most effective bio adsorbent for the adsorption of nickel present in synthetic water (100 ppm Ni) was grapefruit peel with a particle size of 600  $\mu\text{m}$ , a quantity of 2 g and a removal rate of 82.63%. In the case of barley hulls, the optimum result for the bio adsorption of nickel present in synthetic water (100 ppm Ni) was with a particle size of 300  $\mu\text{m}$ , an amount of 3 g, and a removal rate of 41.56%. These results show the bio-adsorption capacity of the materials previously used in the treatment of water contaminated with nickel.

**Keywords:** Isotherms, filtration, spectrophotometry, amount of bio adsorbent.



MARCO ANTONIO  
AQUINO ROJAS

Reviewed by:  
Mgs. Marco Antonio Aquino  
ENGLISH PROFESSOR  
C.C. 1753456134

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

El recurso natural llamado agua es esencial para la vida, a lo largo del tiempo se ha evidenciado que altos índices de contaminación del agua son producidos por los diferentes tipos de industrias y por las actividades humanas en general. Dentro de los contaminantes más preocupantes en este recurso natural son los metales pesados, que según (Londoño et al., 2016): “las explotaciones mineras, el uso de insecticidas, fertilizantes, la industrialización, entre otros ha generado el incremento de metales pesados como Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), entre otros”.

La presencia de metales pesados en el ambiente causa daños irreparables en la salud humana, animal y vegetal. “La contaminación con Níquel en el ser humano provoca graves efectos teratogénicos, diferentes tipos de cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata y hasta la muerte” (Dunja & Heredia, 2017).

Una solución factible para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados es la bioadsorción, como menciona (Tejada et al., 2015) es un proceso que admite la captación activa o pasiva de iones metálicos, debido a la propiedad que diversas biomasas vivas o muertas poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos. La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomasas provenientes de la flora microbiana, algas y residuos agroindustriales ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes.

Para el desarrollo de esta investigación se ha planteado utilizar residuos agroindustriales, tales como: las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada, con estos, por medio de pruebas estadísticas se pretende adsorber níquel de aguas sintéticas.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La contaminación del agua por metales pesados desde hace décadas ha sido un problema de alto impacto que preocupa a las autoridades a cargo de la distribución del recurso.

Esta contaminación es provocada principalmente por procesos en los cuales se ven involucrados la elaboración de productos como: pilas, monedas, fertilizantes, insecticidas, etc., que resultan necesarios para la sociedad y al usar estos productos aportamos a la contaminación por metales pesados en el ambiente.

Las principales fuentes de contaminación por metales pesados son las industrias mineras y agrícolas con productos como los pesticidas que dentro de sus componentes contienen metales pesados que al ponerse en contacto con el agua provocan reacciones químicas que pueden llegar a formar compuestos aún más contaminantes.

El agua a través de tratamientos para disminuir la presencia de los metales pesados logra ser depurada, aunque no en su totalidad, porque, si esta concentración supera los límites permisibles después de ser tratada tendrá un posible impacto ambiental (Pabón et al., 2020).

Los metales pesados por su naturaleza química son bioacumulables lo que provoca que en altas concentraciones llegan a ser tóxicos para los seres humanos, lo que provoca que, el cuerpo humano no pueda eliminar estos compuestos.

Entre los metales pesados que más se han usado en procesos industriales y agrícolas, es el Níquel, dicho metal puede llegar a causar bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones (Heredia, 2017).

La importancia de la presente investigación radica en encontrar una forma de tratamiento de aguas enfocada en la remoción de níquel utilizando subproductos de la industria que son cáscaras de toronja y cáscaras de cebada que en su mayoría se consideran desechos, en el caso

ecuatoriano estos no poseen un tratamiento específico y por lo tanto terminan en los rellenos sanitarios municipales.

Por lo antes expuesto y por la facilidad que hoy en día representa que cualquier ser humano puede llegar a tener contacto con metales pesados es alta y preocupante, es por ello que, se ha planteado la necesidad de emplear una técnica de tratamiento de aguas que se adapte a las necesidades de la sociedad y que por medio de su usabilidad permita disminuir la concentración de metales pesados en el agua.

### **1.3 Justificación**

El tratamiento de aguas residuales es de suma importancia ,ya que, permite evitar alteraciones en los ecosistemas, en el caso de Ecuador la acumulación y presencia de metales pesados como el níquel son requeridos para el desarrollo de la sociedad actual, así como, lo menciona (Alomá et al., 2013) “ha provocado afecciones tanto al aire, suelo y agua además que en pequeñas cantidades el níquel es necesario pero en altas concentraciones puede generar afecciones a la salud del ser humano como cáncer de pulmón, próstata, nariz y laringe.”

El presente trabajo se desarrollará sobre una muestra de agua sintética que es un agua simulada contaminada con metales pesados en el caso de la investigación nos centraremos en el Níquel para esto se utilizaran los laboratorios de Ciencias Químicas y Servicios Ambientales de la Facultad de Ingeniería perteneciente a la Universidad Nacional de Chimborazo analizando la concentración final del contaminante después de 24 horas de agitación con el material adsorbente por medio del espectrofotómetro, de esta forma, se determinará que residuo agroindustrial es más eficaz para la remoción del metal pesado antes mencionado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas contaminadas por Níquel (Ni), mediante el método de Bioadsorción utilizando cáscaras de Toronja (*Citrus paradisi*) y Cebada (*Hordeum vulgare* L.).

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Procesar el residuo orgánico de cáscaras de toronja y cáscaras de cebada para que cumplan las condiciones necesarias y sean empleadas en el proceso de bioadsorción.
- Determinar que material tiene la mayor capacidad de bioadsorción de Níquel en aguas sintéticas ya sea las cáscaras de toronja o las cáscaras de cebada.
- Interpretar las isothermas de bioadsorción para establecer las capacidades de adsorción de cada material como son las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada.

## **CAPÍTULO II.**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Adsorción**

La adsorción es un método efectivo para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales, ofrece ventajas de flexibilidad de diseño y regeneración eficiente del adsorbente por desorción, el rendimiento del proceso depende del tipo de adsorbente utilizado, generalmente es carbón activado, sin embargo, es importante destacar que es un material costoso. Los métodos fisicoquímicos de remoción de metales pesados no son económicamente viables por sus altos costos de inversión, operación y mantenimiento (J. Sánchez et al., 2020).

##### **2.1.1 Tipos de Adsorción**

La adsorción se da a través de la interacción entre moléculas del adsorbente y adsorbato, se puede hacer referencia a dos tipos de adsorción.

Adsorción física: es también conocida como adsorción de van der Waals, es un tipo de adsorción reversible en la que las moléculas o iones adsorbidos se incrustan a la superficie del adsorbente debido a fuerzas intermoleculares débiles, como la fuerza de London o la fuerza dipolo-dipolo (Prieto et al., 2020).

Adsorción química: La adsorción química se produce cuando el adsorbato crea enlaces covalentes con los centros activos del adsorbente, lo que implica la transferencia de electrones. En otras palabras, se produce una fuerte unión química entre el adsorbente y el adsorbato en lugar de una adhesión superficial, como en el caso de la adsorción física (Garcés Jaraba & Coavas Romero, 2012).

## **2.2 Bioadsorción**

### **2.2.1 Definición**

La bioadsorción es un proceso que permite la atracción de iones metálicos, debido a la propiedad que diversas biomasas vivas o muertas que poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos. La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de la flora microbiana, algas y residuos agroindustriales han sido temas de investigación para sustituir el uso de métodos convencionales de la remoción de contaminantes, como metales pesados (Tejada et al., 2015).

### **2.2.2 Factores que influyen en la bioadsorción**

Según (Sánchez et al., 2020)“Los factores que influyen en la eficiencia de bioadsorción son las propiedades del bioadsorbente, parámetros de operación como: temperatura, pH, tamaño del bioadsorbente, presencia de otros iones, tiempo de contacto y concentración del metal pesado contaminante”.

## **2.3 Isotermas de Adsorción**

La afinidad del adsorbato por el adsorbente es cuantificada utilizando las isotermas de adsorción. Las isotermas de adsorción son ecuaciones matemáticas que describen la relación entre la cantidad de adsorbato sobre un adsorbente y la concentración del adsorbato en solución cuando se ha alcanzado el equilibrio a temperatura constante (Figuroa et al., 2014).

Las isotermas de adsorción se llevan a cabo colocando un volumen determinado de solución con una cantidad conocida de adsorbato junto con varias dosis de adsorbente (Figuroa et al., 2014). La mezcla se mantiene a temperatura y agitación constante hasta que alcanza el equilibrio.

### 2.3.1 Isoterma de Langmuir

La isoterma de Langmuir se basa en la presunción que todos los puntos de adsorción en un adsorbente estructuralmente homogéneo son idénticos y energéticamente equivalentes. La adsorción se forma una capa lineal única de adsorbato sobre la superficie, la cual tiene la misma energía de adsorción-activación en cualquier parte de sí misma.(Penedo et al., 2015). El modelo de Langmuir está representando por la ecuación:

$$Q_e = \frac{Q_m * b * C_e}{1 + b * C_e}$$

Ecuación 1. Modelo de Langmuir

Donde:

b: constante de afinidad (L/mg),

Q<sub>m</sub>: capacidad de adsorción máxima (mg/g).

Gráficamente, 1/Q<sub>e</sub> vs 1/C<sub>e</sub> da lugar a una línea recta si los datos de adsorción se adaptan al modelo Langmuir, siendo Q<sub>m</sub> y b la pendiente y el intercepto (Penedo et al., 2015). La capacidad de adsorción máxima, Q<sub>m</sub>, es una constante relacionada con el área ocupada por una capa mono molecular de adsorbato (Penedo et al., 2015).

### 2.3.2 Isoterma de Freundlich

Esta ecuación es empírica y se aplica en el equilibrio de adsorción de gases sobre sólidos y en la adsorción de sustancias en disolución sobre adsorbentes sólidos. La isoterma de Freundlich describe la adsorción sobre una superficie energéticamente heterogénea; en el modelo propuesto aparecen constantes que relacionan la capacidad de adsorción multicapas y la intensidad de la adsorción (Penedo et al., 2015). Una de las expresiones más utilizadas para la ecuación de Freundlich es la siguiente:

$$Q_e = K_F * C_e^{\frac{1}{n}}$$

## Ecuación 2. Modelo de Freundlich

Donde:

$K_F$  y  $1/n$  son constantes empíricas, parámetros de la isoterma de Freundlich.

La constante  $K_F$  (mg/g), es un indicador aproximado de la capacidad de adsorción.

La magnitud  $1/n$  es una medida de la intensidad de adsorción, directamente asociada a la eficiencia de la adsorción, denominado también factor de heterogeneidad; valores de  $0 < 1/n < 1$  indican una adsorción favorable (Penedo et al., 2015).

En esta isoterma se describe el comportamiento de adsorción bajo la premisa que, en la superficie del adsorbente, se forman varias capas compuestas por las moléculas adsorbidas (adsorbato) de manera desordenada, es decir, se dice que el adsorbente presenta energía de adsorción-activación heterogénea, ignora la existencia de interacciones entre las moléculas del adsorbato que son sujetas al fenómeno en cuestión (Penedo et al., 2015).

## 2.4 Materias primas

### 2.4.1 Toronja

La toronja (*Citrus paradisi*), también llamada pomelo es una fruta híbrida cuyo origen se dio por el cruce entre, el naranjo dulce (*Citrus sinensis*) y el pummelo (*Citrus maxima*) de la India Occidental (de la Rosa-Hernández & Wong, 2016).

Hoy en día después de la naranja es la segunda fruta cítrica más importante a nivel mundial; debido a su utilidad en la medicina popular. La toronja puede ser cultivada en países con climas tropicales y subtropicales, siendo los mayores productores a nivel mundial: Estados Unidos, Sudáfrica, China, Israel y México.

#### **2.4.1.1 Producción de la toronja**

En Ecuador se dan tres variedades de toronja: La que tiene semilla (*Ducan*), sin semilla (*Marsh Seedleff*) y la que tiene la pulpa rojiza (*Red Blush*); En el año 2011 la producción total fue 5127 toneladas; donde en la Costa tiene su mejor cosecha con 400 hectáreas las cuales se siembran en medio de cultivos de cacao y café (Bello et al., 2020).

#### **2.4.1.2 Caracterización fisicoquímica de la toronja**

La humedad y cenizas totales fueron de 70.63% y 3.18 respectivamente, un valor de cenizas de 0.37 y un pH de 3.18 se obtuvieron de acuerdo con el estudio caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y pomelo (*Citrus grandis*), para obtener bioetanol (Virreira & Góngora, 2014).

Mientras que el valor de la densidad fue de 150 g/mL (Barberán & Zuñiga, 2018), la porosidad fue mayor a 50 nm (Romero-Cano et al., 2017).

#### **2.4.2 Cebada**

La cebada (*Hordeum vulgare*) es una planta diploide y autógena, cuyo origen se remonta a Asia. La cebada ocupa el 9.4% de la superficie total de cereales cultivados en el mundo.

Existen dos grandes grupos de especies: *distichum*, también o cebada cervecera, y *vulgare*, o cebada forageira. Debido a su amplia adaptación se puede llegar a cultivar en zonas templadas (Velasco et al., 2020).

Esta especie cuenta con una alta concentración de carbohidratos, un alto contenido de fibra dietética, una concentración media de proteínas, además de ser una buena fuente de fósforo y potasio. Es un cereal que se puede llegar a utilizar para la alimentación animal y humana en variedad de formas como cebada perlada, harinas, copos.

### 2.4.2.1 Caracterización fisicoquímica de la cebada

Los valores para la caracterización fisicoquímica que cuenta con parámetros como humedad, pH, cenizas totales, densidad aparente y porosidad, fueron recolectados del estudio “Bioadsorción de plomo de las aguas del río Ayaviri, mediante el uso de salvado de cebada” en el cual se realizó un análisis fisicoquímico para la remoción de Plomo, obteniendo los valores que se visualizan en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la cebada

Parámetro	Unidades	Resultado
Humedad	%	20.02
pH	--	6.27
Cenizas totales	%	5.16
Densidad aparente	g/mL	0.38
Porosidad	%	42

Fuente: (Mamani Cruz, 2017)

### 2.4.2.2 Usos de la cebada

En la antigüedad la cebada fue el cereal más consumido por el ser humano, pero con el tiempo, fue sustituida por el trigo y el auge panadero, relegándose así para consumo animal. En la actualidad, todavía es importante en regiones donde otros cereales no crecen bien debido a la altitud, escasez de lluvia o alta salinidad del suelo.

Otra característica de interés que presentan las cebadas es la presencia o ausencia de cáscara (cebada vestida o “hulled” y cebada desnuda “hulless” o “nud”, respectivamente). Esto es importante para la obtención de harinas y derivados para consumo humano y para la elaboración de piensos para animales (Ponce Molina et al., 2020).

## **2.5 Metales Pesados**

### **2.5.1 Definición**

Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad elevada, con valores mayores a 4 g/cm<sup>3</sup>. Algunos de estos elementos son Aluminio (Al), Berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros (Pabón et al., 2020).

Los metales pesados pertenecen a un grupo químico que no son degradables. Por lo cual, si estos llegan a entrar al medio ambiente y si se distribuyen entre los entornos como el aire, agua y suelo, es muy probable la incorporación a los sistemas de los seres vivos (Pernía et al., 2018).

Actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados, esto se debe a la toxicidad que tienen estos en el agua.

### **2.5.2 Toxicidad de los metales pesados**

Los metales pesados son elementos químicos con densidad alta, que llegan ser dañinos para los seres humanos y otros organismos cuando se acumulan dentro. La toxicidad de los metales pesados depende de componentes, que incluyen la exposición, la forma en que se absorben en el cuerpo, tiempo exposición y la sensibilidad individual que tienen los diferentes organismos al estar en contacto con un metal pesado.

Algunos metales pesados, como el plomo, el mercurio, el cadmio y el níquel, llegan a deteriorar el sistema nervioso, los riñones y el hígado (Caviedes Rubio et al., 2015). Los metales pesados pueden causar problemas de desarrollo en niños provocando un aumento en el riesgo de contraer enfermedades crónicas en la adultez, como enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer.

La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio en que se encuentra, que, a su vez, depende de sus características químicas, como son su persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación (Caviedes Rubio et al., 2015).

Existen diversas formas de exposición a los metales pesados, entre las principales se incluyen la ingesta de alimentos y agua contaminados, inhalación de polvo y vapores en el ambiente, así como la exposición ocupacional. Estos elementos que son altamente tóxicos para la salud humana que además de tener efectos perjudiciales en los órganos, tienden a deteriorar el comportamiento, el pensamiento y la memoria humana.

El hecho que estos metales se encuentren en los diversos ecosistemas es un escenario preocupante, ya que, la toxicidad de los metales pesados depende de su movimiento en el medio, la capacidad de bioacumularse, que, a su vez, depende de su persistencia, dichas características son frecuentes en los metales pesados que generalmente son vinculados con las actividades industriales que se desarrollan hoy en día, en las cuales se hacen uso de metales pesados, lo que al tener contacto con metales pesados hace que sea muy probable desarrollar posibles enfermedades mencionadas anteriormente (Jan et al., 2015).

### **2.5.3 Principales actividades industriales generadoras de metales pesados**

La contaminación por metales pesados es un tema problemático que se ha ido acrecentando, provocada por actividades antrópicas. Entre las principales fuentes de contaminación por metales pesados se encuentran la minería, la metalúrgica, la agricultura (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

#### **2.5.3.1 Minería**

La minería es una actividad industrial que implica la extracción de minerales y metales del subsuelo. La minería cuenta con una serie de procesos en los que se liberarán diferentes metales

pesados, las más comunes suelen ser: plomo, mercurio, níquel, cadmio, arsénico, entre otros, que llegan a ser perjudiciales para la salud humana y el ambiente (Yi & Huang, 2019).

Una de las principales formas en que la minería genera metales pesados es a por la emisión de gases y partículas en el aire provocados por los procesos de extracción. Las maquinarias utilizadas en la minería, como perforadoras y camiones de carga, liberan partículas finas y gases tóxicos que contienen metales pesados. Estos contaminantes pueden ser inhalados por los operarios de la mina y por las comunidades cercanas que también se ven afectadas, en consecuencia tanto trabajadores y comunidades pueden llegar a presentar problemas de salud como enfermedades respiratorias y cáncer (Yi & Huang, 2019).

### **2.5.3.2 Metalúrgica**

Es el proceso de extracción y purificación de metales a partir de minerales en el que liberaran metales pesados perjudiciales para la salud humana y el ambiente (Cerrón, 2022).

La forma principal en que la metalurgia genera metales pesados es a través de la liberación de gases y partículas al aire. En este proceso se utilizan hornos para un paso llamado fundición de metales en el cual se pueden emitir partículas finas y gases tóxicos que contienen metales pesados en su estructura (Cerrón, 2022)l igual que en la minería estos contaminantes pueden ser inhalados por los trabajadores de la metalurgia y las comunidades cercanas, provocando problemas de salud en operarios y residentes de zonas aledañas.

### **2.5.3.3 Agricultura**

La agricultura llega a generar contaminación con metales pesados a través del uso de fertilizantes, pesticidas y otros productos para el cuidado de sembríos o control de plagas del suelo, que en su estructura contienen estos elementos. Estos metales consiguen acumularse en el suelo y

ser absorbidos por los cultivos, que por la característica de bioacumulación de los metales pesados puede representar un riesgo para la salud humana y el ambiente.

El factor principal que contribuye a la acumulación de metales pesados en el suelo y posterior contaminación del agua es el uso de fertilizantes en el suelo, estos contienen altas concentraciones de metales, como cadmio, arsénico, níquel y mercurio, que pueden acumularse en el suelo y ser absorbidos por las plantas o a su vez por acción de la precipitación pueden llegar a filtrarse hasta cuerpos de agua subterráneos (Mahecha et al., 2017).

El uso de fertilizantes y otras sustancias que mejoran procesos agrícolas pueden generar un incremento en la acidez del suelo, una característica es que aumenta la solubilidad de los metales pesados en el suelo, y a su vez estos compuestos incrementan su capacidad de ser absorbidos por las plantas y almacenarse en estos cuerpos (Flores, 2018).

#### **2.5.4 Tratamientos usados en la remoción de metales pesados en aguas**

Teniendo en cuenta que el uso de metales pesados en procesos industriales simboliza un grave problema para el ambiente y organismos con los que interactúan, es de suma importancia el desarrollo diversos métodos y técnicas para disminuir el impacto ambiental de estas sustancias, sobre todo reducir el daño que llegan a causar en el agua (Pabón et al., 2020). Se tiene diversos tratamientos para la eliminación de metales pesados, los principales son:

La filtración de membrana, que es una técnica usada para la eliminación de metales y otros contaminantes del agua. La filtración de membrana consiste en el uso de membranas semipermeables que separan los contaminantes del agua. La filtración de membrana se da por la difusión a través de una membrana selectiva de los iones de los metales presentes en el agua, que quedan atrapados en el lado de la membrana donde se encuentra el contaminante (K. López, 2015).

Se utilizan varios tipos de membranas en la filtración de metales en agua, como las membranas de ultrafiltración, las membranas de ósmosis inversa, y membranas de nanofiltración. Cada ejemplar de membrana cuenta con diferente tamaño de partícula y características de separación, haciendo que se adapten a diferentes necesidades de purificación de agua (Cortés & Cruz Méndez, 2006).

**La electrodiálisis es un tratamiento de separación de iones que utiliza una corriente eléctrica** para eliminar los metales presentes en el agua. La electrodiálisis se basa en el principio de traslado de iones en un campo eléctrico, donde los metales cargados se mueven hacia el electrodo opuesto y son removidos del agua. La electrodiálisis se utiliza en el tratamiento de aguas con cargas salinas y aguas residuales que contienen metales pesados y otros contaminantes. Esta técnica es efectiva para tratar casos en las que las aguas contengan una concentración de metales pesados baja o moderada (Sirés et al., 2014).

La ósmosis inversa es una técnica que se basa en la separación de iones en una membrana semipermeable para eliminar los metales disueltos en el agua (Dévora et al., 2016).

Entre las ventajas de la ósmosis inversa para la eliminación de metales pesados se encuentran su alta eficiencia en la eliminación de los contaminantes, bajo consumo de energía, bajo costo de operación y su capacidad para eliminar una amplia gama de metales pesados (Dévora et al., 2016). Sin embargo, las desventajas de la ósmosis inversa incluyen alto costo en la inversión inicial y generación de residuos salinos que pueden llegar a tener un alto impacto ambiental.

El intercambio iónico es una técnica que utiliza resinas de intercambio iónico para eliminar metales pesados y otros contaminantes presentes en el agua. Esta técnica se basa en el principio de atracción electrostática entre los iones cargados de las resinas de intercambio iónico y los iones de los contaminantes (Venegas, 2019).

La adsorción es una técnica de tratamiento de agua que utiliza materiales adsorbentes para eliminar metales pesados y otros contaminantes del agua. Esta técnica se basa en la atracción electrostática entre los iones de los contaminantes y los sitios de adsorción en los materiales adsorbentes.

La adsorción es una técnica altamente empleada en la industria y en el tratamiento de aguas residuales. Es útil para el tratamiento de aguas que contienen metales pesados en concentraciones bajas o moderadas y también, se utiliza para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos que tiene un bajo costo operativo en comparación con otras técnicas de tratamiento de agua (Burciaga-Montemayor et al., 2020).

La adsorción no requiere el uso de productos químicos y no genera residuos tóxicos (Burciaga-Montemayor et al., 2020). Los materiales adsorbentes utilizados en esta técnica se pueden reutilizar mediante procesos de regeneración, lo que reduce los costos de operación y mantenimiento en el tratamiento de agua.

### **2.5.5 Níquel**

El níquel (Ni) es el tercer elemento en el grupo VIII en la tabla periódica, este tiene como número atómico 28, además de un peso atómico de 58.69 g/gmol, y una valencia común de 2 y las menos comunes de 1, 3 o 4. La abundancia de este elemento en la tierra promedio en la corteza terrestre es de 1.2 ppm; en suelos es de 2.5 ppm; en arroyos es de 1 g/L, y en aguas subterráneas es de 0.1 mg/L (American Public Health Association et al., 2017).

Se obtiene principalmente de pirrotita y garnierita, este se utiliza en aleaciones, imanes, recubrimientos protectores, catalizadores y baterías. La especie acuosa común es  $Ni_2$ . En condiciones de reducción se pueden formar sulfuros insolubles, mientras que en condiciones aeróbicas se pueden formar complejos de níquel con hidróxido, carbonatos y ligandos orgánicos.

Se sospecha que es un oligoelemento esencial para algunas plantas y animales. El nivel máximo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para las aguas de riego es de 200 µg/L. El nivel máximo de contaminante (MCL) estándar de agua potable primaria de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos es de 0.1 mg/L. Los métodos espectrométricos de absorción, los métodos de plasma acoplado inductivamente y el método de espectrometría de absorción atómica electrotrémica son los métodos posibles de elección para todas las muestras de análisis de Níquel (American Public Health Association et al., 2017).

#### **2.5.5.1 Fuentes naturales de níquel**

Se puede encontrar en varias formas, como:

Minerales de níquel: El níquel se encuentra en el ambiente en forma de minerales de sulfuro y lateritas. Los minerales de sulfuro tienen níquel en forma de pentlandita, y las lateritas contienen níquel en forma de hidróxidos y óxidos de hierro y níquel (M. López & San Martín, 2019).

Plantas: tienen la capacidad de absorber y acumular níquel tanto del suelo como del agua que tenga este metal pesado. Algunas plantas poseen la capacidad de acumular grandes cantidades de níquel en su sistema sin sufrir efectos tóxicos, y se conocen como plantas hiperacumuladoras de níquel. Estas plantas han sido usadas en el tratamiento de descontaminación de suelos que se encuentran afectados por níquel (Bustos, 2021).

#### **2.5.5.2 Límites máximos permisibles de níquel en aguas**

Para los límites máximos permisibles se presentan los valores en la tabla 2, en base al acuerdo ministerial 097 Anexo 1.

Tabla 2. Límites de descarga de níquel

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Níquel (límites de descarga a un cuerpo de agua dulce)	Ni	mg/L	2.0
Níquel (límite de descarga al sistema de alcantarillado público)	Ni	mg/L	2.0

Fuente:(MAE, 2015)

## **CAPÍTULO III.**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La investigación titulada “Estudio comparativo de bioadsorción de níquel en aguas sintéticas mediante cáscaras de toronja y cebada”, se orienta directamente a un método de investigación cuantitativo de alcance descriptivo experimental que será realizado en el laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, con cáscaras de toronja y cebada, también se realizarán ensayos y tomas de muestras, variando las condiciones de concentraciones del metal pesado y analizando las condiciones de filtración, de esta forma se podrá determinar si la remoción de metales pesados por cáscara es factible.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El tipo de diseño de investigación propuesto es diagnóstico experimental, ya que, se administran estímulos o tratamientos y/o intervenciones en el caso del tema “Estudio comparativo de bioadsorción de níquel en aguas sintéticas mediante cáscaras de toronja y cebada” se utilizará

los experimentos puros porque permiten la manipulación intencional de variables independientes que son cáscara de toronja como de cebada y la medición de variables dependientes que sería la capacidad de bioadsorción del níquel (Hernández, 2014).

### **3.2.1 Variables**

#### **3.2.1.1 Variables Independientes**

- Cáscaras (Toronja y cebada)
- Cantidad de Bioadsorbente

#### **3.2.1.2 Variable Dependiente**

Capacidad de bioadsorción del Níquel.

### **3.3 Hipótesis**

$H_0$ : La distribución de Concentración final es la misma entre las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada.

$H_1$ : La distribución de Concentración final no es la misma entre las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada.

### **3.4 Materiales, Reactivos y Equipos**

#### **3.4.1 Materiales**

- Tamices #30 y #50
- Balones aforados de 1000 mL, 50 mL y 250 mL
- Barillas de agitación
- Probeta de 100 mL y 50 mL
- Piseta
- Papel filtro Whatman
- Embudos de vidrio

- Matraz Kitasato
- Vasos de precipitación
- Peras
- Pipeta
- Espátula
- Envases esterilizados
- Soportes universales
- Embudo Buchner

### **3.4.2 Reactivos**

- Ácido nítrico
- Sulfato de níquel hexahidratado
- Agua destilada

### **3.4.3 Equipos**

- Estufa de calentamiento
- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Agitador de jarras
- Extractor de gases
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Plancha de calentamiento
- Bomba de vacío

## **3.5 Métodos**

### **3.5.1 Obtención del bioadsorbente**

Se ha propuesto la utilización de la cáscara de toronja "*Citrus paradisi*" y cáscara de cebada "*Hordeum vulgare*", para realizar este estudio, se obtuvieron en los mercados ubicados en la ciudad de Riobamba provincia del Chimborazo y de molindas locales donde se recolectará un total aproximado de 4 kg de cáscara de toronja y cebada las cuales estuvieron buen estado para que no exista factores externos que modifiquen el experimento.

### **3.5.2 Preparación del bioadsorbente**

La preparación del bioadsorbente será elaborado siguiendo varios parámetros para que las cáscaras de toronja y cebada sean utilizadas como bioadsorbente, se identificara que los materiales se encuentren en un buen estado con la finalidad que no afecten en el trabajo de investigación, es decir, una madurez adecuada y además se realizó una limpieza previa con agua potable.

#### **3.5.2.1 Troceado de la cáscara de toronja**

Después de completar el proceso de limpieza, las cáscaras de toronja se troceo en pedazos 0.5 a 1 cm<sup>2</sup> de superficie aproximadamente con el propósito de reducir el tamaño y facilitar la etapa de secado.

#### **3.5.2.2 Limpieza de los bioadsorbentes**

Para la fase experimentación se sometió a las cáscaras a un lavado con abundante agua destilada en agitación por 30 min con el fin de eliminar impurezas, compuestos solubles y residuos.

### 3.5.2.3 Secado de los bioadsorbentes

Para el proceso de secado de las cáscaras, se utilizó un horno a una temperatura de 90°C durante un período de 15 horas (Arias, 2019). Esta temperatura y duración se seleccionaron con el objetivo de evitar la desnaturalización de los grupos funcionales presentes en las cáscaras.

### 3.5.2.4 Molienda de los bioadsorbentes

Una vez que las cáscaras estén completamente secas, se procedió a molerlas con el propósito de reducir el tamaño de las partículas.

### 3.5.2.5 Tamizado de los bioadsorbentes

Posteriormente, el material obtenido por el proceso de molienda se sometió a un proceso de clasificación por tamaños utilizando tres tamices Humboldt número 20, 30 y 50 para finalmente clasificar las cáscaras en dos tamaños de partícula de 600  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ .

### 3.5.2.6 Almacenamiento de los bioadsorbentes

El material granulado resultante se almacenó en envases de vidrio previamente esterilizados y etiquetados de acuerdo con el tamaño de partícula utilizado

## 3.6 Ensayos

Para los experimentos se va a tomar en cuenta la cantidad de material adsorbente (1 g, 1.5 g, 2 g y 3 g), tamaño de partícula y las dos diferentes concentraciones de agua sintética, dando un total de 32 experimentos para la concentración de 100 ppm de Ni se representarán en la tabla 3 y para la concentración de 200 ppm de Ni en la tabla 4 y también 20 ensayos adicionales para verificar la variabilidad y distribución de los datos en relación con la cáscara de toronja y cebada.

*Tabla 3. Ensayos para la concentración de 100 ppm de Ni*

---

<b>Concentración Inicial</b>	<b>100 mg/L</b>
------------------------------	-----------------

Bioadsorbente	Malla	Cantidad de Bioadsorbente (g)			
		1	1.5	2	3
Toronja	30	E1	E2	E3	E4
	50	E5	E6	E7	E8
Cebada	30	E9	E10	E11	E12
	50	E13	E14	E15	E16
<b>Concentración Final</b>					

Tabla 4. Ensayos para la concentración de 200 ppm de Ni

Concentración Inicial		200 mg/L			
Bioadsorbente	Malla	Cantidad de Bioadsorbente (g)			
		1	1,5	2	3
Toronja	30	E17	E18	E19	E20
	50	E21	E22	E23	E24
Cebada	30	E25	E26	E27	E28
	50	E29	E30	E31	E32
<b>Concentración Final</b>					

Al tener medidas las cantidades de bioadsorbentes, se añade a 100 mL de agua sintética en un Erlenmeyer, para posterior agitar por 24 horas a 200 rpm.

Después de la agitación, se debe filtrar la muestra, esto se realizará con filtración al vacío para posterior iniciar con el método de análisis.

### 3.7 Preparación de la solución de níquel (agua sintética)

La preparación del agua sintética se realizó con el reactivo NiSO<sub>4</sub> (Sulfato de Níquel) con pureza del 98%. Las concentraciones para preparar el agua fueron de 200 ppm (200 mg/L), 100 ppm (100 mg/L) del ion Ni como se presenta en la ecuación 3 y 4 respectivamente. La cantidad de NiSO<sub>4</sub> requerida para cumplir con las concentraciones fueron expresadas a través de los siguientes cálculos:

$$1L * \frac{100 \text{ mg Ni}}{1L \text{ solución}} * \frac{1gNi}{1000gNi} * \frac{262.85 \text{ NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{58.6934g \text{ Ni}} * \frac{100}{98} = 0.4569752 \text{ g NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

Ecuación 3. Cantidad de Sulfato de níquel para una [Ni] 100 ppm

$$1L * \frac{200 \text{ mg Ni}}{1L \text{ solución}} * \frac{1gNi}{1000gNi} * \frac{262.85 \text{ NiSO}_4 \cdot 6H_2O}{58.6934 \text{ g Ni}} * \frac{100}{98} = 0.91395 \text{ gNi/L}$$

*Ecuación 4. Cantidad de Sulfato de níquel para una [Ni] 200 ppm*

### **3.8 Método de análisis**

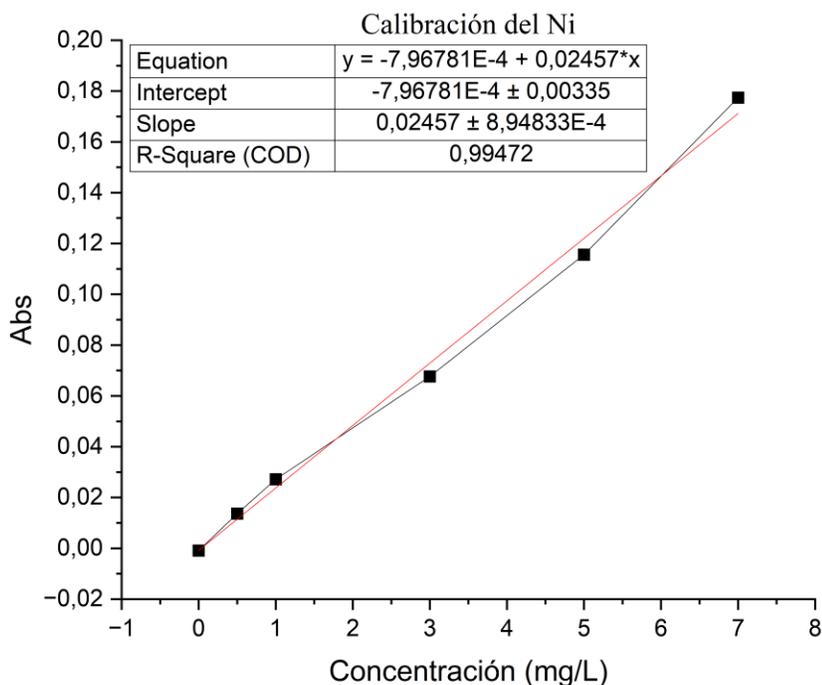
#### **3.8.1 Espectrofotometría**

La espectrofotometría es una de las técnicas que más se suelen usar para determinar la composición específica de las moléculas de los compuestos.

La cuantificación de Níquel se puede llevar a cabo mediante diferentes técnicas analíticas de espectrofotometría. Las técnicas más usadas son la espectrofotometría de emisión atómica por plasma inductivamente acoplado, según (Jiménez et al., 2020) la espectroscopia atómica de este tipo ayuda a determinar la composición elemental de una muestra examinando su espectro electromagnético o su espectro de masas.

En este caso se utilizó el método espectrofotométrico por flama (González et al., 2021).

De esta manera, para la calibración se utilizaron estándares de 0.5, 1, 3, 5, 7 mg/L como se muestra en la siguiente figura 1 que nos dice que el coeficiente de determinación es de 0.99472.



*Figura 1. Calibración del Espectrofotómetro de flama.*

### 3.8.1.1 Digestión

Para la digestión se coloca en un Erlenmeyer 1 mL de los experimentos posteriormente, 10 mL de HNO<sub>3</sub> y lo llevamos a una temperatura de 95 °C logrando un hervor lento para evaporarlas hasta que se disminuya el volumen y se muestre en una solución clara (American Public Health Association et al., 2017), posteriormente filtra la solución y se afora en balones de 50 mL con HNO<sub>3</sub> al 1%.

### 3.8.1.2 Características del espectrofotómetro de absorción atómica

El modelo utilizado para el análisis de los ensayos fue un espectrómetro de absorción atómica Ice 3000 AAS, cuyas características se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Características del espectrofotómetro Ice 3000 AAS

Característica	Descripción
Flama dedicada	Cuenta con un atomizador de flujo único AAS, que ayuda a determinar las concentraciones específicas de algún elemento o material
Software de análisis	Utiliza el software SOLAAR™ de Thermo Scientific™, que ayuda a la obtención de datos gracias a su asistente integrado
Monocromadores Ebert y lámparas de alineación automática	son instrumentos que ayudan a la correcta calibración del equipo a través de un sistema de espejos.
Sistema de control de gases	Es un sistema en el que se garantiza el uso repetido de la llama
Quemador universal de Titanio	Es una parte del equipo con medidas de 50 y 100 mm con alas que admite el uso de ambos tipos de flama de aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno con inmovilidad y reproducibilidad.
Intervalo de longitud de onda estándar	Cuenta con longitudes de onda de 185 nm a 760 nm o amplio de 180 nm a 900 nm.

Fuente: (ThermoFisher Scientific Inc, 2018)

### 3.9 Diseño Experimental

#### 3.9.1 Pruebas de normalidad

Las pruebas de normalidad se usan para determinar si los datos de la muestra pueden considerarse que proceden de una distribución o modelo de probabilidad, es decir cuando deseamos saber si los datos que manejamos proceden de una distribución normal, binomial, de Poisson y exponencial (Romero Saldaña, 2016).

#### 3.9.2 Prueba de comparación de medias (t-student)

La prueba t-Student se basan en la distribución de normalidad y nos da la capacidad de comparar muestras,  $N \leq 30$  y/o establece la diferencia entre las medias de las estas. El análisis

matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para  $N > 30$ , utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico (R. Sánchez, 2015).

### 3.9.3 Coeficiente de determinación

Explica en términos de porcentaje como se relacionan linealmente los datos o que porcentaje de datos se explican por la regresión lineal para saber si existe una bueno, muy buena y mala relación como explica Villanueva en la Tabla 6.

*Tabla 6. Valoración del Coeficiente de Determinación*

<b>Coeficiente de determinación</b>	<b>Valoración</b>	<b>Interpretación</b>
$R^2$	0 – 0.6	El modelo es pobre
$R^2$	0.6 – 0.9	El modelo es bueno
$R^2$	0.9 – 1.0	El modelo es muy bueno

Fuente: (Villanueva, 2006)

Para determinar el coeficiente de determinación y la ecuación de la recta se utilizó el programa Origin 2023b.

### 3.10 Análisis de concentraciones

El procedimiento se llevará para los experimentos de bioadsorción se realizará mediante procesos en discontinuo a temperatura ambiente. Los sólidos adsorbentes es decir las cáscaras de toronja y cebada se pesarán y se introducirán en un recipiente de vidrio que previamente contendrá la disolución de níquel a la concentración deseada (Pinzón-Bedoya & Cardona, 2013). El pH de las disoluciones se controlará mediante la adición de HCl y NaOH para garantizar un pH constate en todo momento. Luego del tiempo de adsorción, se determinará la concentración del metal presente en la fase líquida y mediante un balance de masas (Pinzón-Bedoya & Cardona, 2013).

$$Q_e = \frac{C_I - C_e}{m} V$$

*Ecuación 5. Capacidad de adsorción.*

$Q_e$ : la capacidad de adsorción (mg/g);

$C_I$ : la concentración inicial de soluto (adsorbato) en la solución (mg/L);

$C_e$ : la concentración de soluto en el de equilibrio (mg/L); V el volumen de solución (L) y m la masa de adsorbente (g).

$$R_a = \frac{C_I - C_e}{C_I} 100\%$$

*Ecuación 6. Rendimiento de la bioadsorción.*

$C_I$ : la concentración inicial de soluto (adsorbato) en la solución (mg/L);

$C_e$ : la concentración de soluto en el de equilibrio (mg/L); V el volumen de solución (L) y m la masa de adsorbente (g).

### **3.11 Linealización de las Isotermas**

#### **3.11.1 Linealización de la Isoterma de Langmuir**

Para determinar los parámetros de la Ecuación 1, b y  $Q_m$  se realizó mediante la linealización de esta que se muestra en la Ecuación 7.

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m * b * C_e}$$

*Ecuación 7. Linealización de Stumm y Morgan*

##### **3.11.1.1 Factor adimensional Isoterma de Langmuir**

Según (Verdugo, 2017), en la Ecuación 8, se muestra las variables necesarias para obtener el factor adimensional de la isoterma de Langmuir.

$$R_L = \frac{1}{1 + b + C_I}$$

*Ecuación 8. Factor adimensional Isoterma de Langmuir*

Donde

b: Coeficiente de afinidad

$C_I$ = concentración inicial del metal en la solución

Los valores de  $R_L$ :

$R_L=0$ : Sistema isotérmico ;irreversible

$0 < R_L < 1$  : Sistema isotérmico favorable, siendo  $R_L=1$  lineal

$R_L > 1$ : Sistema desfavorable, la sorción del metal no es significativa

### **3.12 Linealización de la Isoterma de Freundlich**

La ecuación linealizada de Freundlich se expresa usualmente en su forma logarítmica que se muestra en la Ecuación 9.

$$\log(Q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e)$$

*Ecuación 9 Linealización de la Isoterma de Freundlich*

Los valores de  $K_F$  y  $1/n$  pueden ser obtenidos del intercepto y la pendiente que resultan de graficar  $\log(Q_e)$  vs.  $\log(C_e)$  (Lazo et al., 2008).

Donde:

$n > 1$ : Afinidad significativa del bioadsorbente por el metal

$K_F > 1$ : Capacidad significativa de bioadsorción del bioadsorbente

## CAPÍTULO IV.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Preparación de la solución de níquel

A través de cálculos estequiométricos se pudo obtener la cantidad necesaria de Sulfato de Níquel hexahidratado ( $\text{NiSO}_4$ ) para lograr concentraciones de 100 ppm y 200 ppm, las cantidades se detallan en la tabla 7.

*Tabla 7. Soluciones de Níquel*

<b>Cantidad Sulfato de Níquel a usar (g)</b>	<b>Concentración de Níquel en ppm</b>
0.457	100
0.914	200

#### 4.2 Obtención de bioadsorbentes

Al culminar el proceso de clasificación de bioadsorbentes, se procedió a separar en cantidades y tamaño de partícula que se detallan en la tabla 8.

*Tabla 8. Obtención de los bioadsorbentes*

<b>Bioadsorbente</b>	<b>Tamaño de partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Cantidad de Bioadsorbente (g)</b>			
<b>Toronja</b>	300	1	1.5	2.0	3.0
	600				
<b>Cebada</b>	300	1	1.5	2.0	3.0
	600				

#### 4.3 Determinación de la capacidad de bioadsorción de las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada

Para determinar que material bioadsorbente tiene mayor capacidad de adsorción se realizó un análisis estadístico descriptivo como se muestra en la tabla 9 que promedia una mayor

capacidad de adsorción de níquel por parte de las cáscaras de toronja y en la tabla 10 la resolución de las hipótesis que indica que la distribución no es la misma.

Tabla 9. Estadística descriptiva

		<b>Descriptivos</b>			
<b>BIOADSORBENTE</b>		<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>		
<b>CONCENTRACIÓN FINAL</b>	<b>Cáscara de Toronja</b>	Media	26.843	0.446	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	25.834	
			Límite superior	27.851	
		Media recortada al 5%	26.860		
		Mediana	26.908		
		Varianza	1.987		
		Desv. Estándar	1.410		
		Mínimo	24.862		
		Máximo	28.503		
		Rango	3.642		
		Rango intercuartil	2.801		
		Asimetría	-0.251	0.687	
		Curtosis	-1.714	1.334	
		<b>Cáscara de Cebada</b>	Media	60.322	0.977
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	58.112
	Límite superior			62.531	
	Media recortada al 5%		60.173		
	Mediana		59.429		
Varianza	9.539				
Desv. Estándar	3.088				
Mínimo	56.284				
Máximo	67.028				
Rango	10.744				
Rango intercuartil	3.601				
Asimetría	1.180	0.687			
Curtosis	1.525	1.334			

Tabla 10. Resumen de contraste de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a,b</sup>	Decisión
1	La distribución de Concentración final es la misma entre las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	<,001 <sup>c</sup>	Rechace la hipótesis nula

Por lo tanto se determinó en la Figura 2, por medio de un gráfico de cajas donde se observa que el níquel se redujo más en el caso de la cáscara de toronja, lo que muestra que la toronja tiene más capacidad de bioadsorción que en el caso de la cáscara de cebada.

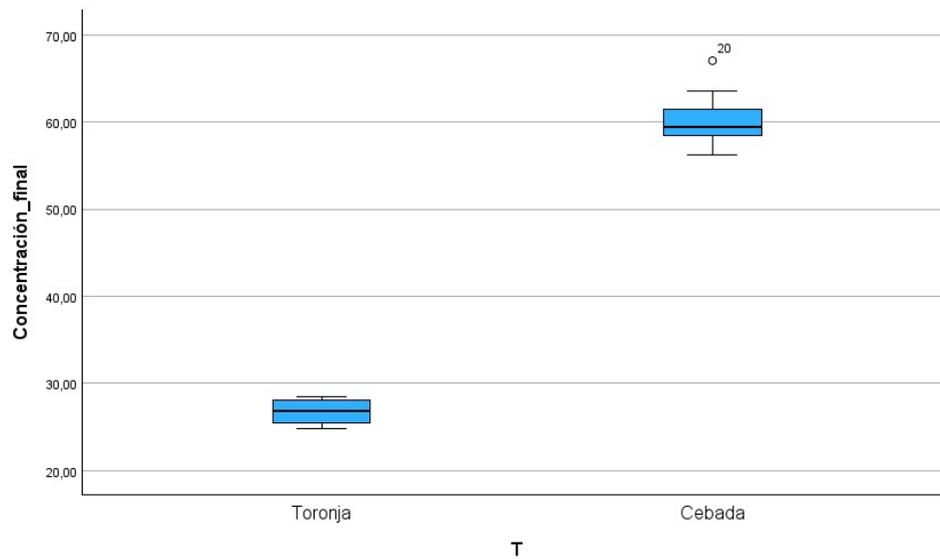


Figura 2. Gráfico de cajas de la concentración final de los bioadsorbentes

### 4.3.1 Prueba de muestras independientes

#### 4.3.1.1 Pruebas de normalidad

Se realizaron prueba de normalidad de la concentración final de níquel en aguas sintéticas, respecto a los materiales bioadsorbentes (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) de acuerdo con la tabla 11 que muestra las pruebas de normalidad.

Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: Los datos de la concentración del Níquel respecto a las cáscaras de toronja provienen de una distribución normal

H<sub>0</sub>: Los datos de la concentración del Níquel respecto a las cáscaras de cebada provienen de una distribución normal

Hipótesis Alternativa

H<sub>1</sub>: Los datos de la concentración del Níquel respecto a las cáscaras de toronja provienen de una distribución normal

H<sub>1</sub>: Los datos de la concentración del Níquel respecto a las cáscaras de cebada provienen de una distribución normal

*Tabla 11. Pruebas de normalidad*

BIOADSORBENTE	Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk			
	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cáscaras de Toronja	0.200*	0.893	10	0.185
Cáscaras de Cebada	0.200*	0.905	10	0.249

En el caso de las cáscaras de toronja, como p-valor= 0.185 mayor que 0.050 no se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos provienen de una distribución normal

En el caso de las cáscaras de cebada, como p-valor= 0.249 mayor que 0.050 no se rechaza la hipótesis nula, es decir los datos provienen de una distribución normal.

### 4.3.1.2 Prueba de hipótesis de igualdad de medias

En la tabla 12 de la prueba de muestras independientes muestra que las medias son distintas.

Hipótesis nula

$$H_0: \mu_T = \mu_C$$

Hipótesis alternativa

$$H_1: \mu_T \neq \mu_C$$

Tabla 12. Prueba de muestras independientes

#### Prueba de muestras independientes

	prueba t para la igualdad de medias							
	t	gl	Significación		Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			p de un factor	p de dos factores			Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	-31.185	18	<0.001	<0.001	-33.478	1.073	-35.734	-31.223
No se asumen varianzas iguales	-31.185	12.594	<0.001	<0.001	-33.478	1.073	-35.805	-31.152

Como p-valor = 0.001 es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula, es decir que los promedios son distintos

### 4.3.2 Influencia del tipo de bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la adsorción del níquel

Concluida la prueba se determinó que el bioadsorbente optimo, se observó una mejor adsorción del metal por parte de la toronja tanto a la concentración inicial de 100 ppm y 200 ppm de Níquel como se muestra en las figuras 3 y 4 respectivamente.

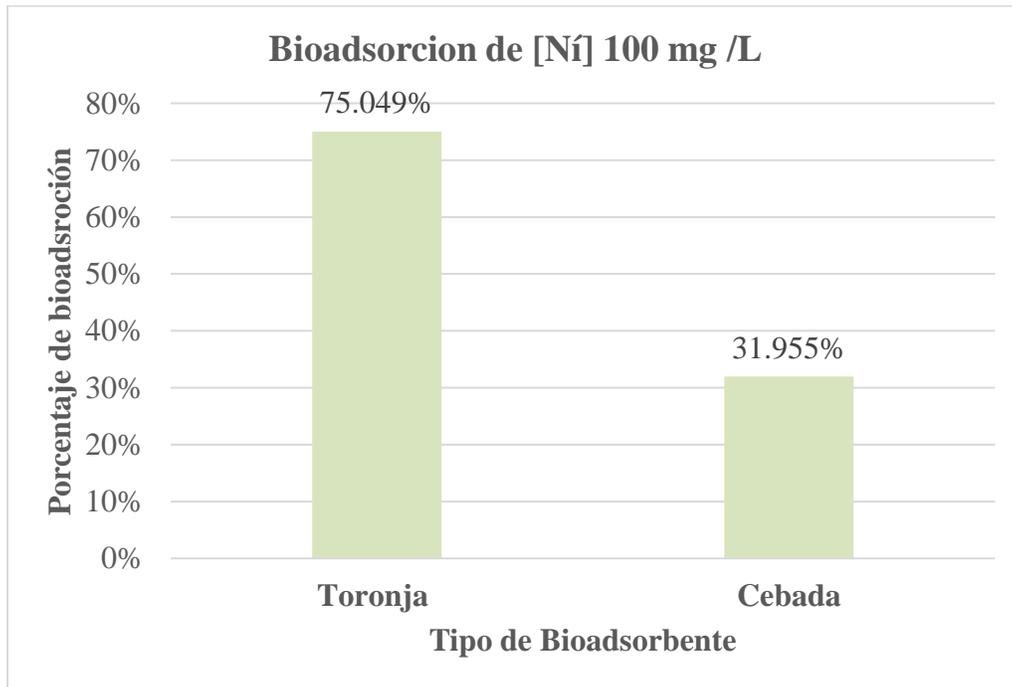
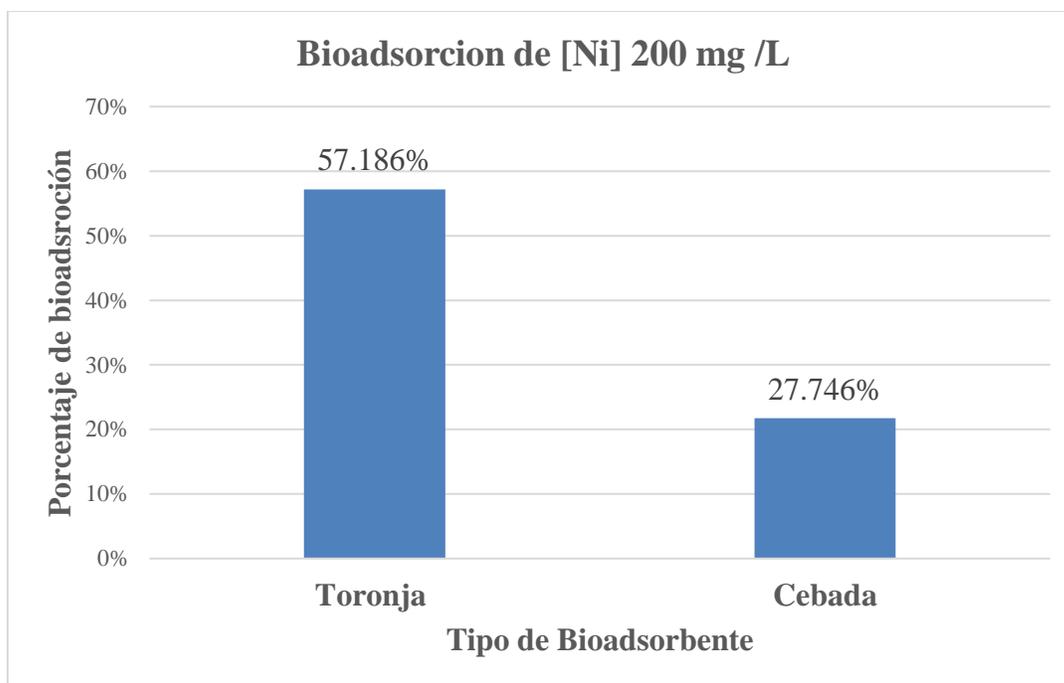


Figura 3. Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm de Ni

Fuente: Autores.



*Figura 4 Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm.*

Fuente: Autores.

#### **4.3.3 Influencia de la cantidad de bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la bioadsorción del níquel**

Concluida la prueba se determinó que la cantidad optima de bioadsorbente, se observó una mejor adsorción del metal para 100 ppm, para el caso de la toronja como indica la Figura 5, son 2 g de bioadsorbente y para la cebada son 3 g de bioadsorbente, para la concentración de 200 ppm como indica la Figura 6 las cantidades optimas son 3 g para la toronja y 2 gramos para la cebada.

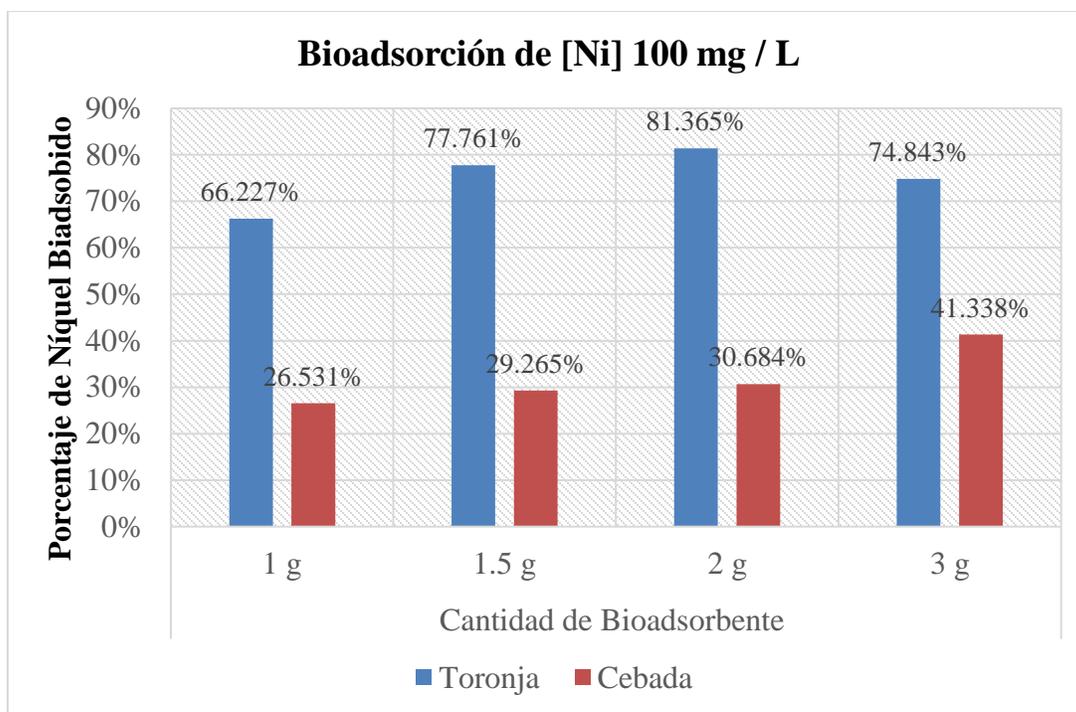


Figura 5. Influencia de la cantidad de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm.

Fuente: Autores.

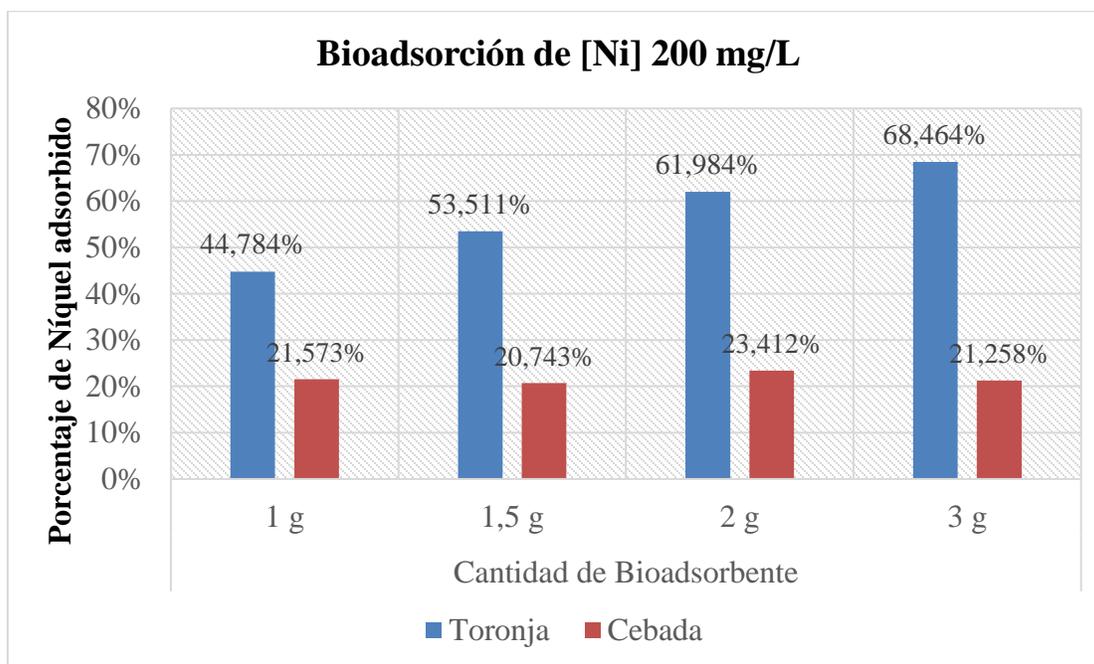


Figura 6. Influencia del tipo de bioadsorbente en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm.

Fuente: Autores.

#### 4.4 Isotermas de Langmuir y Freundlich

Se realizó las gráficas se realiza mediante la linealización tanto para Freundlich como para Langmuir

##### 4.4.1 Influencia del tamaño de partícula del bioadsorbente (cáscaras de toronja y cáscaras de cebada) en la adsorción del níquel

Concluida la prueba se determinó que la cantidad optima de bioadsorbente, se observó una mejor adsorción para la concentración de 100 ppm el mejor tamaño de partícula expuesto en la Figura 7, para la toronja fue la correspondiente a la malla número 30 y para la cebada fue la correspondiente a la malla número 50 metal para 100 ppm, para el caso de 200 ppm de Níquel en el agua el mejor tamaño de partícula como indica la Figura 8 en el caso de la toronja es el tamaño de partícula correspondiente a la malla número 50 y para el caso de la cebada tuvo su pico más alto en el tamaño correspondiente en la malla número 50.

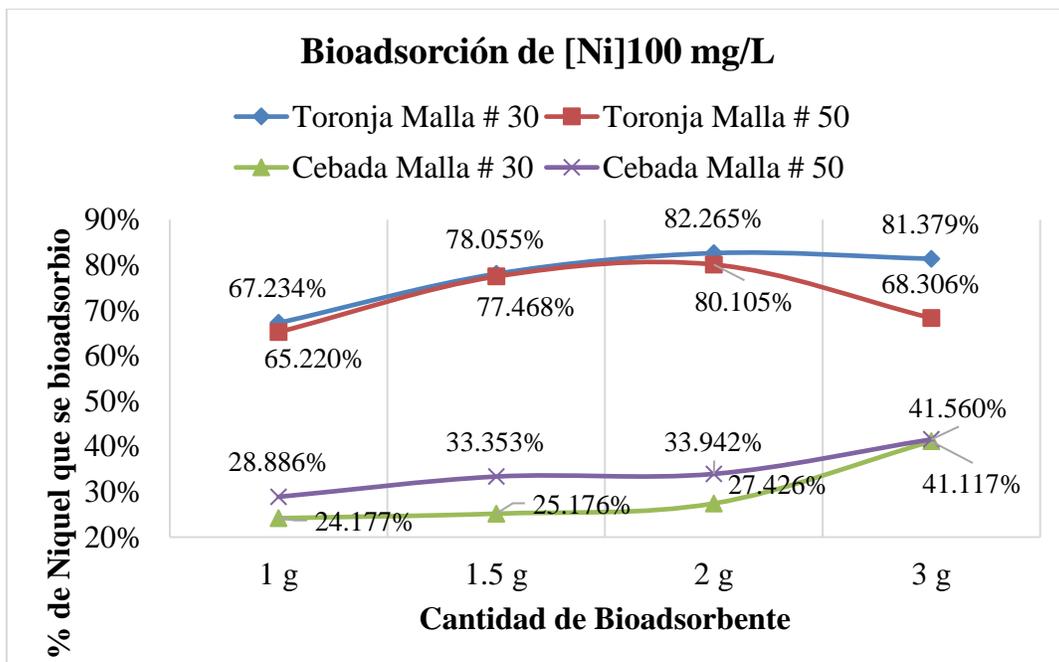


Figura 7. Influencia del tamaño de partícula en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 100 ppm.

Fuente: Autores.

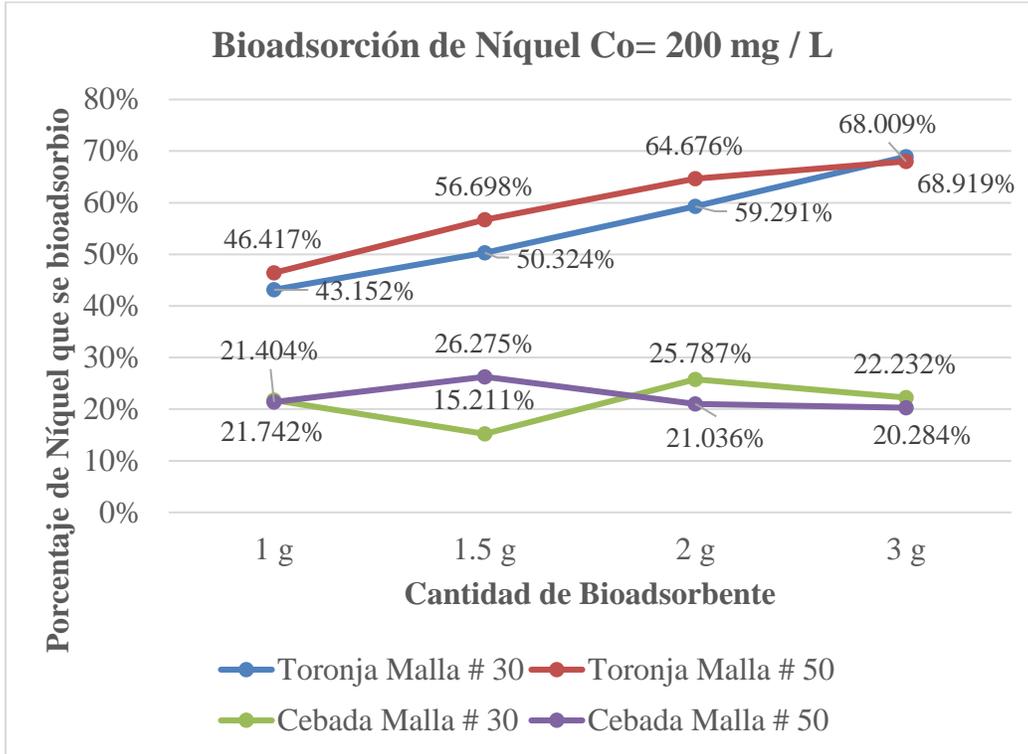


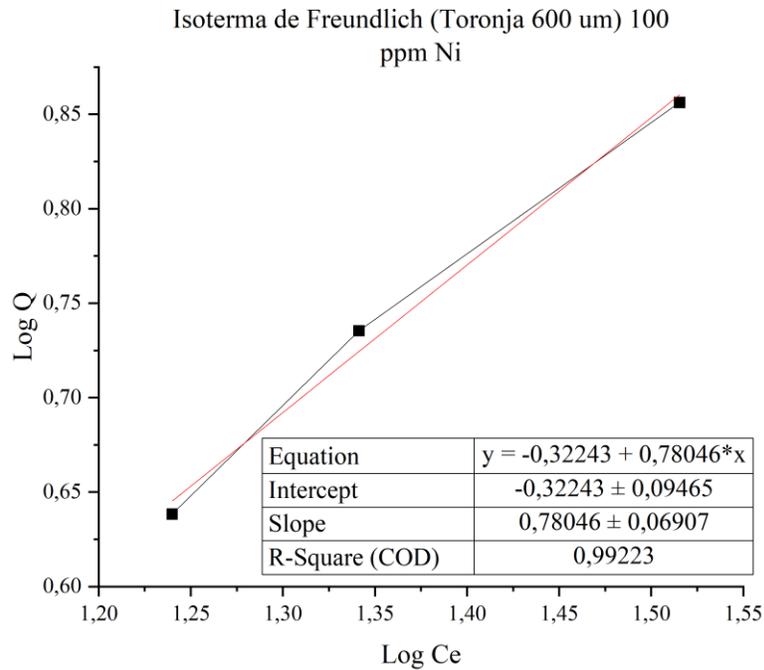
Figura 8. Influencia del tamaño de partícula en la adsorción de níquel para la concentración inicial de 200 ppm.

Fuente: Autores.

#### 4.4.2 Isotermas del Níquel (Cáscara de Toronja)

##### 4.4.2.1 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm

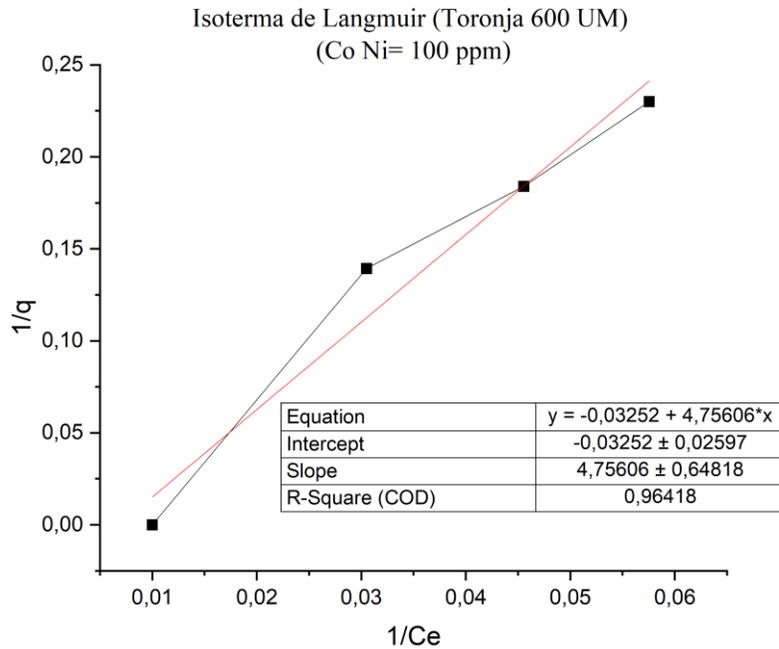
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 9 y con la ecuación 9, se obtuvieron los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 2,10 y 1,28 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 9. Isoterma de Freundlich (Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.2.2 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm

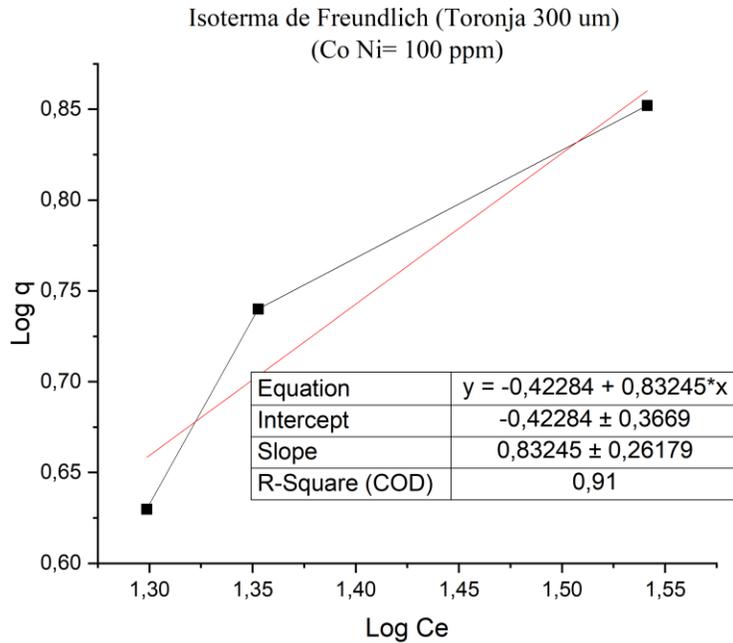
Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 10, se procedió a calcular los valores mediante la ecuación 7 se obtuvieron los valores de  $q_m$  b y  $R_L$  que son 30.76 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0068 y 0.0099 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 10. Isoterma de Langmuir (Toronja 600 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.2.3 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm

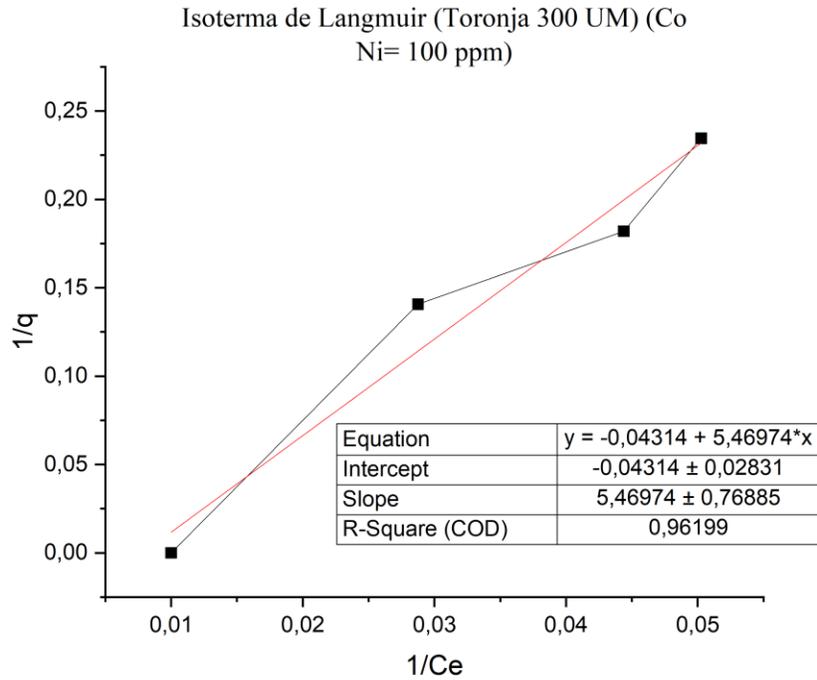
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 11 y con la ecuación 9, se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 2.647 y 1.201 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 11. Isoterma de Freundlich (Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.2.4 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm

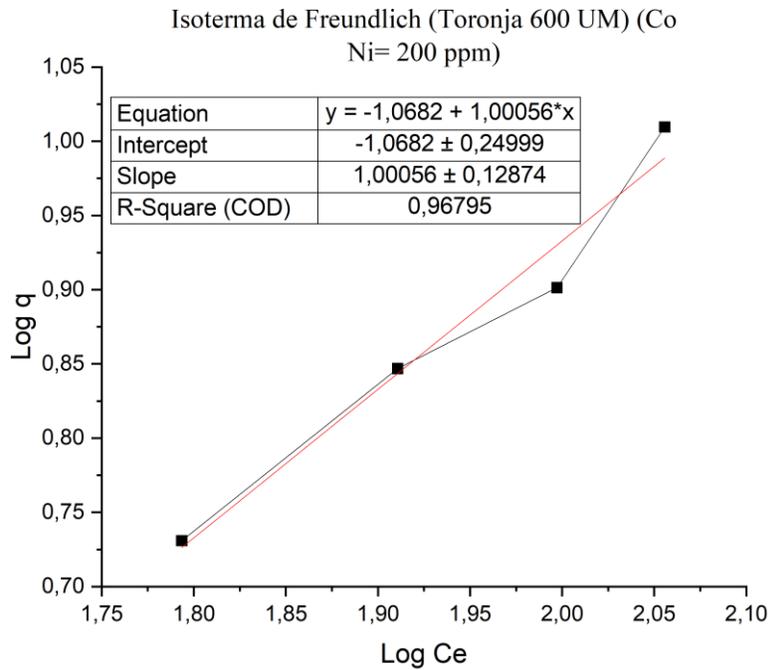
Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 12, se procedió a calcular los valores mediante la ecuación 7 se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 23.20 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0078 y 0.0099 respectivamente, lo que nos indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 12. Isoterma de Langmuir (Toronja 300 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.2.5 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm

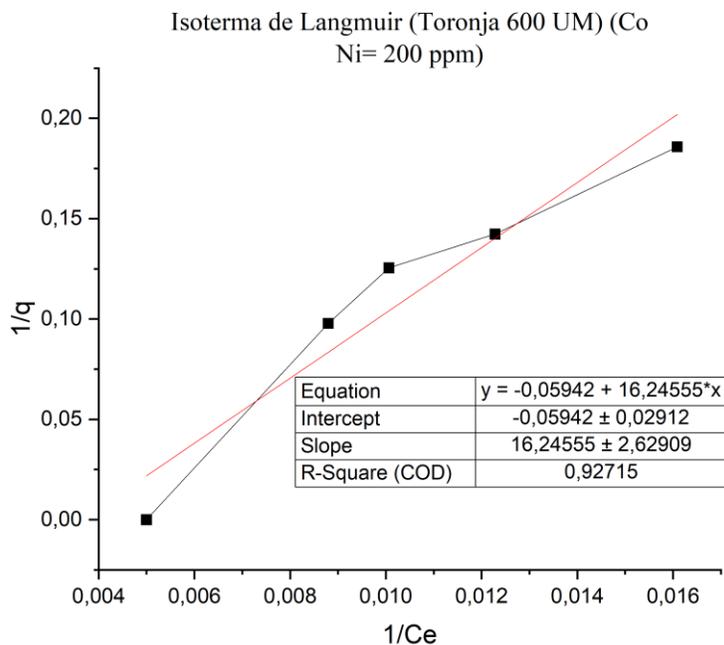
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 13 y con la ecuación 9 , se obtuvieron los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 11.700 y 0.999 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y por ser próximo al 1 una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 13. Isoterma de Freundlich (Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.4.2.6 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm

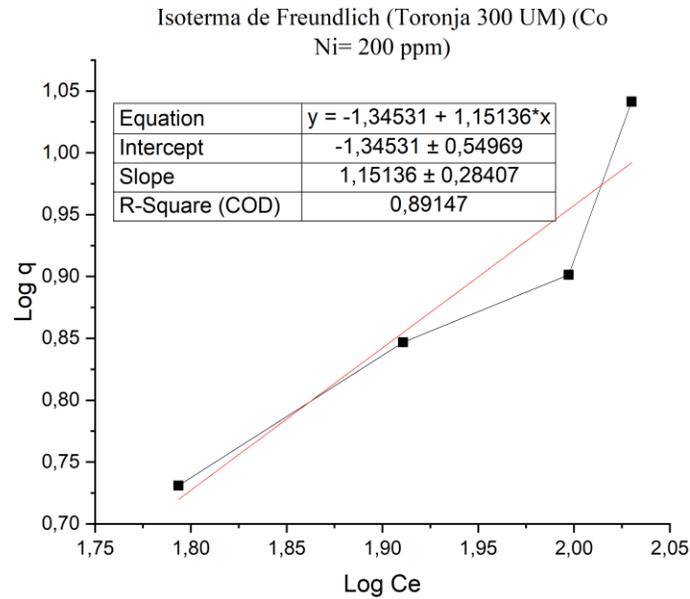
Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 14, se procedió a calcular los valores mediante la ecuación 7, se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 16.835 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0036 y 0.0049 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 14. Isoterma de Langmuir (Toronja 600 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.4.2.7 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm

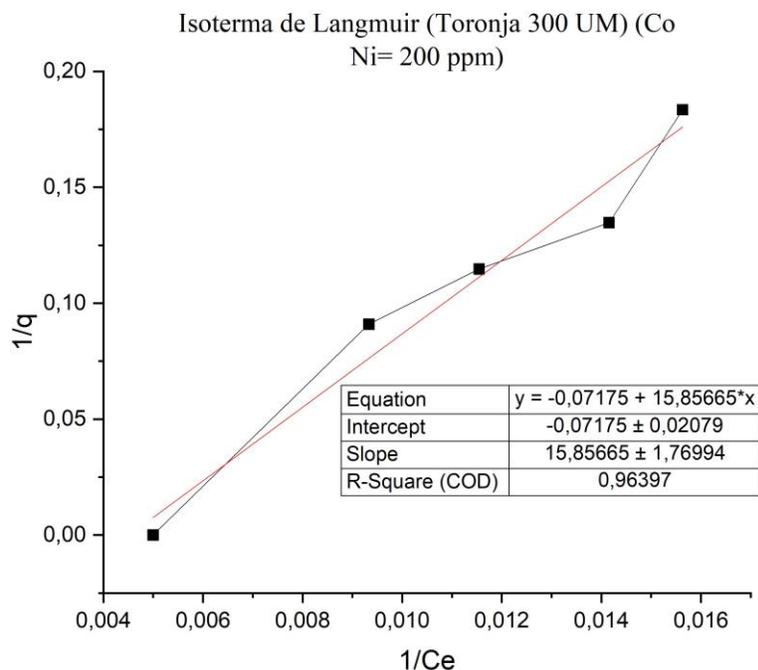
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 15 y con la ecuación 9 , se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 22.146 y 0.8685 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y aunque no una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 15. Isoterma de Freundlich (Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.4.2.8 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm

Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 16, se procedió a calcular los valores mediante la ecuación 7 se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 13.947 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0045 y 0.0049 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.

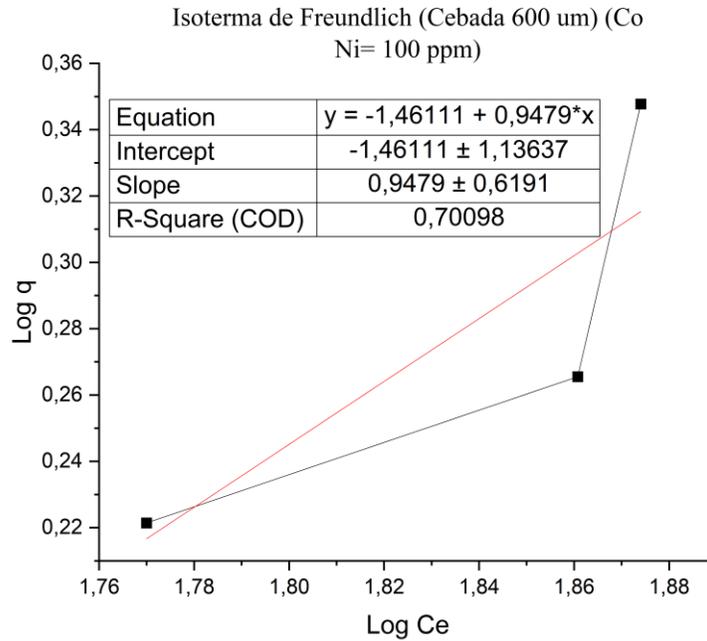


*Figura 16. Isoterma de Langmuir (Toronja 300 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.4.3 Isotermas del Níquel (Cáscara de Cebada)

##### 4.4.3.1 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm

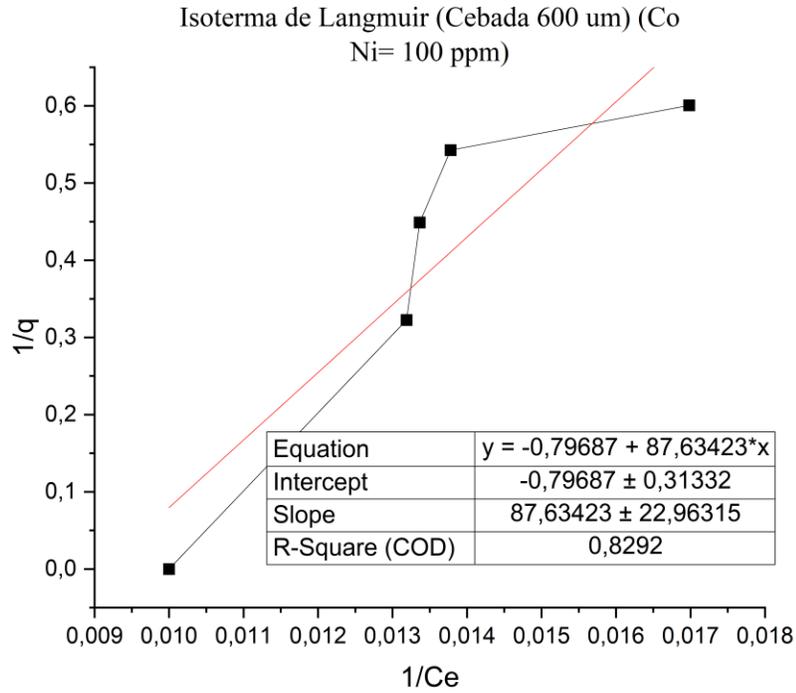
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 17 y con la ecuación 9, se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 28.910 y 1.050 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 17. Isoterma de Freundlich (Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.3.2 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm

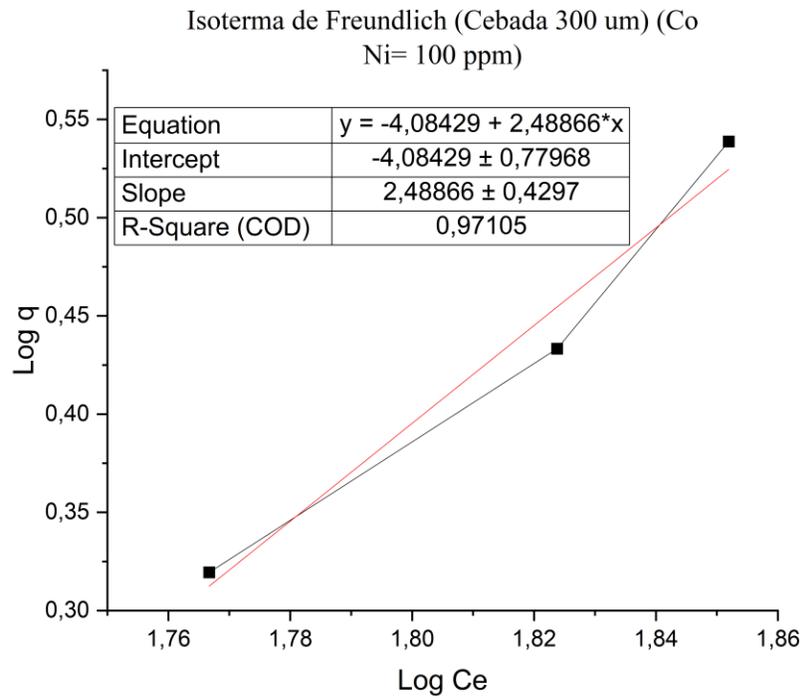
Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 18, se calculó los valores mediante la ecuación 7 se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 1.25 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0090 y 0.0099 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 18. Isoterma de Langmuir (Cebada 600 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.3.3 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm

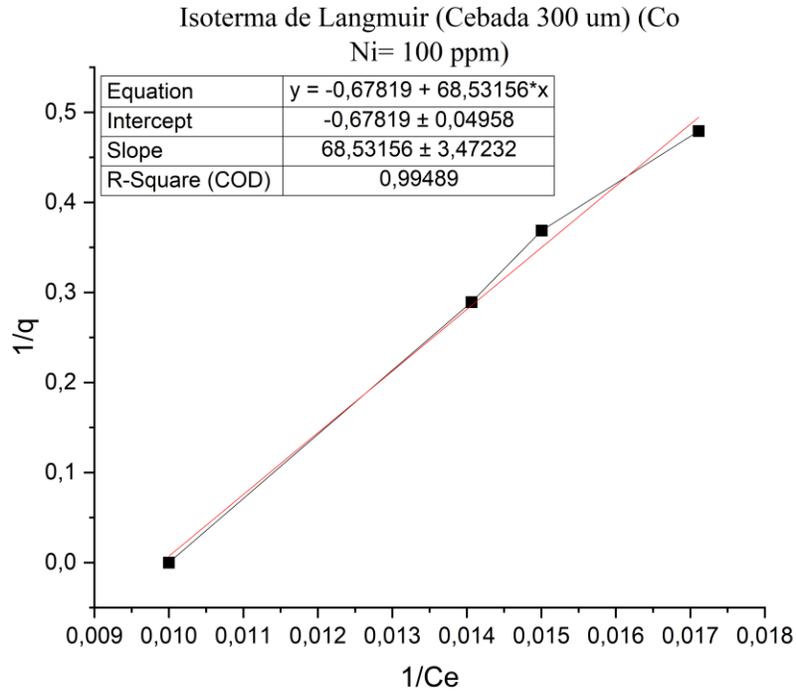
Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 19 y con la ecuación 9, se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 12142.273 y 0.40 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y aunque no una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.



*Figura 19. Isoterma de Freundlich (Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.3.4 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm

Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 20, se calculó los valores mediante la ecuación 7, se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 1.47 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0098 y 0.0099 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 20. Isoterma de Langmuir (Cebada 300 um) [Ni] 100 ppm*

#### 4.4.3.5 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm

Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 21 y con la ecuación 9, se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 199.52 y 1.30 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y aunque no una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.

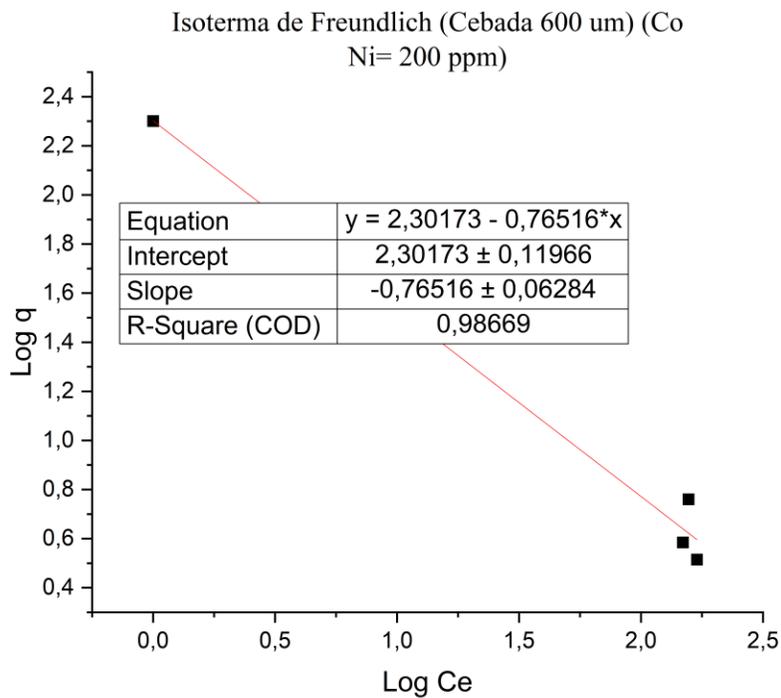
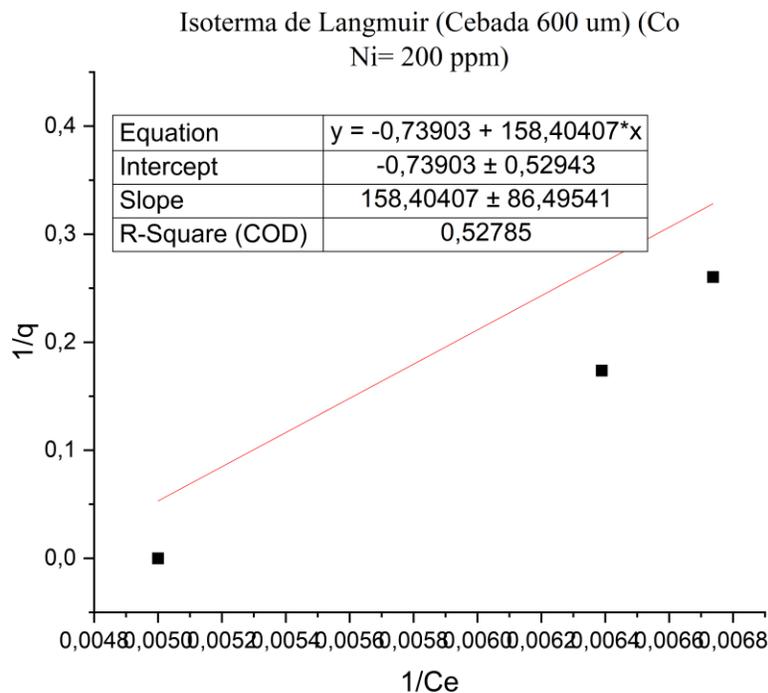


Figura 21. Isoterma de Freundlich (Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm

#### 4.4.3.6 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm

Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 22, se calculó los valores mediante la ecuación 7 se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 1.35 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0046 y 0.0049 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 22. Isoterma de Langmuir (Cebada 600 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.4.3.7 Isoterma de Freundlich (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm

Mediante la linealización del modelo de Freundlich en la figura 23 y con la ecuación 9, se consiguió los valores de  $K_F$  y  $n$  que son 200.724 y 1.2482 respectivamente lo que indica que hay una capacidad significativa de bioadsorción y una afinidad en la cáscara de toronja con el metal.

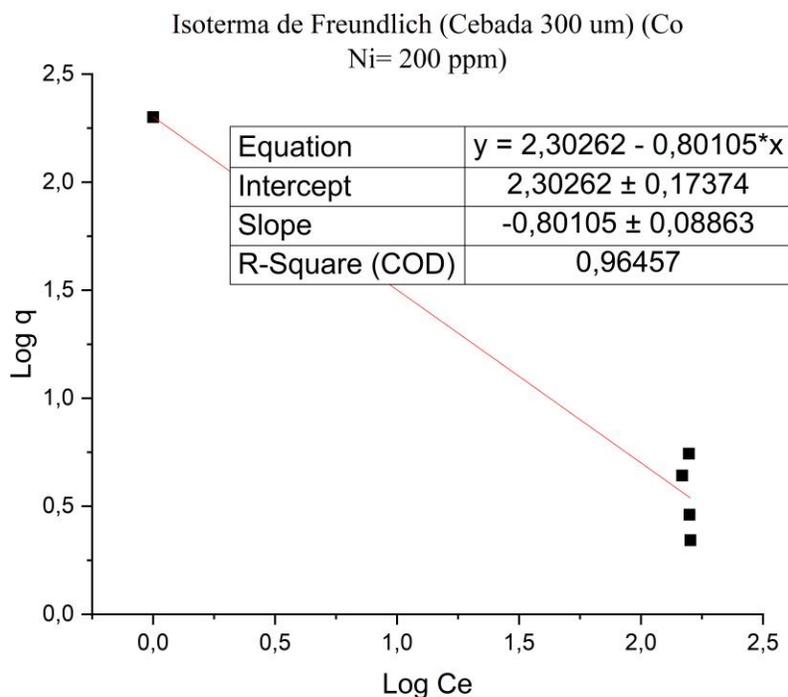
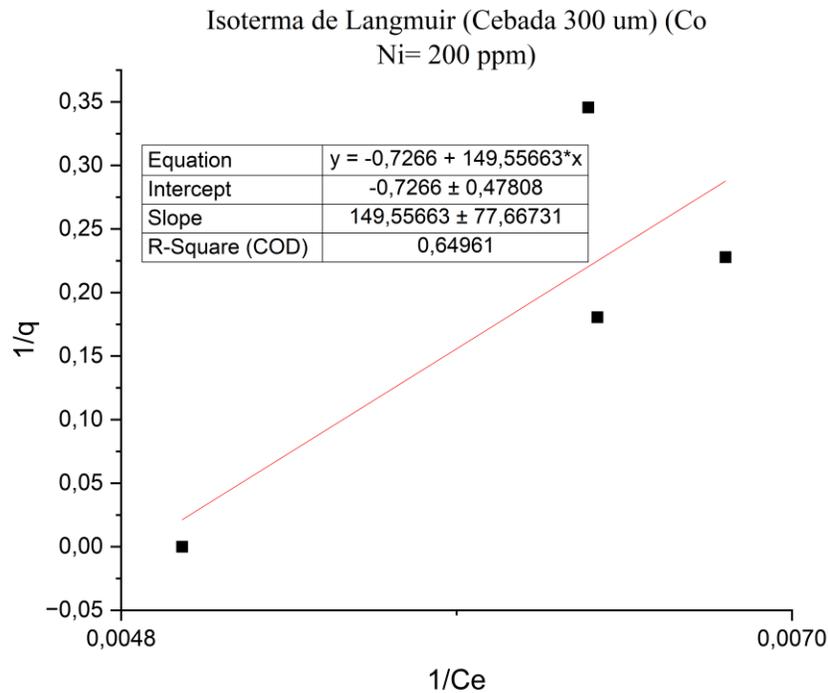


Figura 23. Isoterma de Freundlich (Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm

#### 4.4.3.8 Isoterma de Langmuir (Cáscara de Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm

Por el modelo lineal de Langmuir en la figura 24, se procedió a calcular los valores mediante la ecuación 7, se obtuvieron los valores de  $q_m$ ,  $b$  y  $R_L$  que son 1.3762 mg de Ni/g de bioadsorbente, 0.0047 y 0.0049 respectivamente, lo que indica que es un sistema isotérmico favorable.



*Figura 24. Isoterma de Langmuir (Cebada 300 um) [Ni] 200 ppm*

#### 4.5 Comparación de isothermas de adsorción para los bioadsorbentes toronja y Cebada

##### 4.5.1 Comparaciones de isothermas de adsorción para los bioadsorbentes en base de cáscaras toronja y Cebada para la concentración de 100 ppm

Con la tabla 13, se obtiene que los niveles de correlación para las isothermas de Langmuir en el caso de la cáscara de toronja son muy buenos y para el de la cáscara de cebada osciló entre bueno y muy bueno, para la isothermas de Freundlich en el caso de la cáscara de toronja fue muy bueno y para el de la cáscara de cebada fluctúan entre bueno y muy bueno como indica la Tabla 6.

Tabla 13. Comparación de modelos concentración Ni 100 ppm.

Bioadsorbente	Tamaño de partícula	Isoterma de Langmuir			Isoterma de Freundlich		
	$\mu\text{m}$	$q_m$ (mg/g)	b (mg/L)	$R^2$	$K_F$	n	$R^2$
Toronja	600	30.760	0.010	0.964	2.100	1.280	0.992
	300	23.200	0.008	0.962	2.647	1.201	0.910
Cebada	600	1.250	0.009	0.829	28.910	1.050	0.701
	300	1.470	0.010	0.995	12142.27	0.400	0.971

#### 4.5.2 Comparación de isothermas de adsorción para los bioadsorbentes en base de cáscaras toronja y cebada para la concentración de 200 ppm

Con la tabla 14, se obtiene que los niveles de correlación para las isothermas de Langmuir en el caso de cáscara toronja fueron muy buenos y para el de cáscara cebada osciló entre bueno y pobre, para la isothermas de Freundlich en el caso de la cáscara de toronja fluctuó entre muy bueno y bueno y finalmente para el caso de cáscara de cebada es muy bueno como indica la Tabla 6.

Tabla 14. Comparación de Isothermas de adsorción para Co 200 ppm

Bioadsorbente	Tamaño de partícula	Isoterma de Langmuir			Isoterma de Freundlich		
	$\mu\text{m}$	$q_m$ (mg/g)	b (mg/L)	$R^2$	$K_F$	n	$R^2$
Toronja	600	16,835	0,004	0,927	11,700	0,999	0,968
	300	13,947	0,005	0,964	22,146	0,869	0,891
Cebada	600	1,350	0,005	0,528	199,520	1,300	0,989
	300	1,3762	0,005	0,640	200,724	1,248	0,965

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En cuanto al tratamiento de las aguas sintéticas contaminadas con Níquel, se concluye que la eficacia del uso de los bioadsorbente (cáscaras de toronja y cebada), teniendo como resultado de eficiencia promedio de bioadsorción de Níquel de aguas sintéticas contaminadas, de las cáscaras de toronja en un 66.12% y de las cáscaras de cebada en un 26.85%, lo que indica evidentemente la mayor capacidad de bioadsorción por parte de las cáscaras de toronja, considerando además que la adsorción más efectiva se evidencia en la cáscara de toronja, con un tamaño de partícula de 600  $\mu\text{m}$  y una cantidad del bioadsorbente de 2 g, con un porcentaje de remoción específica de 82.63% de Níquel.

La obtención del bioadsorbente a partir de las cáscaras de toronja y cebada se lo realizó a través de la metodología propuesta por Arias, 2019 a través de un proceso que contiene una serie de pasos, que inicia con una adecuada selección de las cáscaras de toronja y cáscaras de cebada, lavado, secado y un correcto almacenamiento.

En cuanto a la capacidad de adsorción de las cáscaras de toronja y cebada, se concluyó que a través de la linealización isothermas de Langmuir y Freundlich, teniendo como resultado que el  $q_m$  (capacidad de adsorción) en la cáscara de toronja, con un tamaño de partícula de 600  $\mu\text{m}$ , es de un valor de 30.76 mg/g, por lo tanto para ambas concentraciones (100 ppm y 200 ppm) y de acuerdo a los valores  $K_F$  y  $n$  se evidenció una capacidad significativa de adsorción y una afinidad significativa entre el bioadsorbente y el Níquel, de un sistema isotérmico favorable. En el caso de la cebada se obtuvo una capacidad significativa de adsorción menor que en el caso del empleo de

las cáscaras de toronja, demostrando poca afinidad significativa entre las cáscaras de cebada y el Níquel.

Al culminar los ensayos se concluyó que la capacidad de adsorción de las cáscaras de toronja es mayor en comparación a la adsorción con respecto a las cáscaras cebada del elemento Níquel de aguas sintéticas contaminadas, el análisis estadístico empleando herramientas como t-student evidencia que las medias analizadas son diferentes, lo que muestra una bioadsorción mayor para las cáscaras de toronja en comparación con las cáscaras de cebada.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda comparar la investigación con cáscaras de otros cítricos o cereales para determinar que material tiene mayor capacidad de bioadsorción.

Se recomienda usar la variable pH en los ensayos de eficiencia de bioadsorción de las cáscaras de toronja y cáscaras cebada, como un factor en el incremento de la eficiencia de remoción del metal Níquel en aguas sintéticas contaminadas.

Se recomienda trabajar con aguas contaminadas reales, procedentes de la industria metalúrgica para estudiar las variables que están presentes en un ambiente que no sea controlado ayudan o perjudican el proceso de adsorción.

Se recomienda la continuación de la investigación de estos bioadsorbentes con otros metales pesados de aguas sintéticas o aguas reales.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alomá, V., Blázquez, G., Calero, M., Martín, A., Rodríguez, I., & Ronda, A. (2013). Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel. La biosorción como tecnología de tratamiento. *Revista Cubana de Química*, XXV(3), 266–280.
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (R. Baird, A. Eaton, & E. Rice, Eds.; 23rd ed., Vol. 1). Asociación Estadounidense de Salud Pública, 2017. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Arias, L. (2019). Evaluación de la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente [Universidad de La Salle]. In *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1112](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1112)
- Barberán, M., & Zuñiga, M. (2018). *Evaluación de los parámetros farmacognósticos y la capacidad antioxidante de las semillas de toronja blanca (Citrus paradisi Macfad)* [Universidad de Guayaquil ]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28408/1/BCIEQ-T-0269%20Moncerrate%20Barber%C3%A1n%20Mayra%20Alejandra%3B%20Zu%C3%Bli%20Baque%20Madelyne%20Andrea.pdf>
- Bello, A., Monsalve, M., & Carrillo, C. (2020). Evaluación de extractos de desechos de toronja (*Citrus paradisi*) como sustancia bioactiva para formulación de un desinfectante para alimentos frescos. *CIENCIA UNEMI*, 13(34), 28–33. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss34.2020pp28-33p>
- Burciaga-Montemayor, N. G., Claudio-Rizo, J. A., Cano-Salazar, L. F., Martínez-Luévanos, A., Vega-Sánchez, P., Burciaga-Montemayor, N. G., Claudio-Rizo, J. A., Cano-Salazar, L. F.,

- Martínez-Luévanos, A., & Vega-Sánchez, P. (2020). Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–13. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.211>
- Bustos, Y. (2021). *Uso de plantas hiperacumuladoras en minería: conceptos y aplicaciones* [Universidad Nacional de Colombia]. [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79356/1017153992\\_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79356/1017153992_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo, Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval Rojas, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73–90. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Cerrón, S. (2022). Reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris mediante fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost [Universidad Continental]. In *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11364>
- Cortés, N., & Cruz Méndez, Y. M. (2006). *Validación de la pruebas de esterilidad por la técnica de filtración por membrana y endotoxinas bacterianas por el método de LAL en 3 productos farmacéuticos* [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8294>
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE

FITORREMEDIACIÓN. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.ESP01.01>

de la Rosa-Hernández, M., & Wong, P. (2016). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(2), 22–35.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956610003>

Dévora, G. E., López-Mercado, M. E., Fimbres-Weihs, G. A., Álvarez-Sánchez, J., Astorga-Trejo, S., Dévora-Isiordia, G. E., López-Mercado, M. E., Fimbres-Weihs, G. A., Álvarez-Sánchez, J., & Astorga-Trejo, S. (2016). Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en agricultura en el valle del Yaqui, Sonora, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(3), 155–169.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000300155&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300155&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Dunia, M., & Heredia, R. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. *MEDISAN*, 21(12), 3372.

Figueroa, D., Moreno, A., & Hormaza, A. (2014). Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 105–120.

Flores, R. (2018). Efectos adversos de metales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura-provincia Huaura 2017. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 14(4), 119–131.  
<https://doi.org/10.1515/RE->

Garcés Jaraba, L., & Coavas Romero, S. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI)*

en aguas residuales [Universidad de Cartagena].

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/140>

González, R. A., Ribalta, J. A., Ramírez, S., & Jiménez, Y. (2021). Cuantificación de níquel y cobalto en aguas residuales de una planta de procesamiento de minerales auríferos. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 345–366.

Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. *MEDISAN*, 21(12), 3372.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; Sexta).  
[https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

Jan, A. T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., & Haq, Q. M. R. (2015). Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(12), 29592–29630.  
<https://doi.org/10.3390/IJMS161226183>

Jiménez, M., Grijalva, A. de las M., & Ponce, H. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *RECIMUNDO*, 4(4), 4–12.  
[https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.\(4\).OCTUBRE.2020.4-12](https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.(4).OCTUBRE.2020.4-12)

Lazo, J. C., Navarro, A. E., Sun-Kou, M. R., & Llanos, B. P. (2008). Síntesis y caracterización de arcillas organofílicas y su aplicación como adsorbentes del fenol. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(1), 3–19.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2008000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, ISSN-e 1909-9959, ISSN 1692-3561, Vol. 14, N°. 2 (Julio a Diciembre), 2016, Págs. 145-153, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, K. (2015). Validación del método filtración por membrana para análisis microbiológico de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas marinas. *Boletín Científico CIOH*, 33, 215–220. [https://doi.org/10.26640/01200542.33.215\\_220](https://doi.org/10.26640/01200542.33.215_220)
- López, M., & San Martín, J. (2019). *Estudio de procesos metalúrgicos orientados a la producción de níquel* [Universidad de Concepción ]. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/302>
- MAE. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente*. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)
- Mahecha, J. D., González, J. M., & Torres, M. A. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Orinoquia*, 21(1 Sup), 83–93. <https://doi.org/10.22579/20112629.434>
- Mamani Cruz, R. A. (2017). Bioadsorción de plomo (II) de las aguas del río Ayaviri, mediante el uso de salvado de cebada. *Universidad Nacional Del Altiplano*. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3274955>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>

- Penedo, M., Manals, E., Vendrell, F., & Salas, D. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco . *Tecnología Química*, 35(1), 100–124.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000)
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89–105.  
<https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.246>
- Pinzón-Bedoya, M., & Cardona, A. (2013). “Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo” Influence of the pH in the Biosorption of Cr(III) on orange shell: Determination of the conditions operation in discontinuous process. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 21–30.
- Ponce Molina, L., Noroña, P., Campaña Cruz, D. F., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C., & Cruz, E. (2020). *LA CEBADA (Hordeum vulgare L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5587>
- Prieto, J., Gehan, N., Pérez, A., Martínez, E., & Enríquez, M. (2020). Adsorción de cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña de azúcar variedad roxa. *Revista Centro Azúcar*, 47(1), 10–10.  
[http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/172](http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/172)
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería Del Trabajo*, ISSN-e 2174-2510, Vol. 6, N°. 3, 2016, Pág. 114, 6(3), 114.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043&info=resumen&idioma=SPA>

- Romero-Cano, L. A., García-Rosero, H., González-Gutiérrez, L. V., Baldenegro-Pérez, L. A., & Carrasco-Marín, F. (2017). Functionalized adsorbents prepared from fruit peels: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for copper adsorption in aqueous solution. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.032>
- Sánchez, González, R., Blancas, F., & Fonseca, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*, 1–18. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.261>
- Sánchez, J., González, R., Blancas, F., & Fonseca, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*, 1–18. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.261>
- Sánchez, R. (2015). *t-Student. Usos y abusos*. <http://www.medigraphic.com/revmexcardiol>
- Sirés, I., Brillas, E., Oturan, M. A., Rodrigo, M. A., & Panizza, M. (2014). Electrochemical advanced oxidation processes: Today and tomorrow. A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*(14), 8336–8367. <https://doi.org/10.1007/S11356-014-2783-1/METRICS>
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, *18*(34), 10+ – 123. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992015000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010)
- ThermoFisher Scientific Inc. (2018). *iCE 3000 Series Atomic Absorption Spectrometers Flame and furnace AAS analysis for routine laboratories*. <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CMD/brochures/br-44364-aas-ice-3000-br44364-en.pdf>

- Velasco, Y., Sana, W., & Morrillo, A. (2020). Caracterización agromorfológica de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Municipio de Chivatá Boyacá, Colombia. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 103–116. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)103-116](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)103-116)
- Venegas, D. A. (2019). *Evaluación de una columna de intercambio iónico para el tratamiento de agua destinada a la producción de cerveza artesanal en la Factoría Santa Ana* [Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas]. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/11682>
- Verdugo, J. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus reticulata var. clementina)* [Universidad salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14249/1/UPS-CT007003.pdf>
- Villanueva, C. (2006). *Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis(naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Virreira, J., & Góngora, A. (2014). *Caracterización fisicoquímica de las cascaras de naranja (Citrus sinensis l.) Y pomelo (Citrus grandis), para obtener bioetanol* [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4258/Julio\\_Tesis\\_Título\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4258/Julio_Tesis_Título_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Yi, Q., & Huang, C. (2019). Review of heavy metal pollution by mining. *E3S Web of Conferences*, 118. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/201911804028>

## 7. ANEXOS



Fotografía 1. Lavado y troceado de las cáscaras



Fotografía 2. Lavado posterior con agua destilada para eliminar compuestos solubles en el agitador de jarras



Fotografía 3. Secado del bioadsorbente



Fotografía 4. Molienda de la cebada



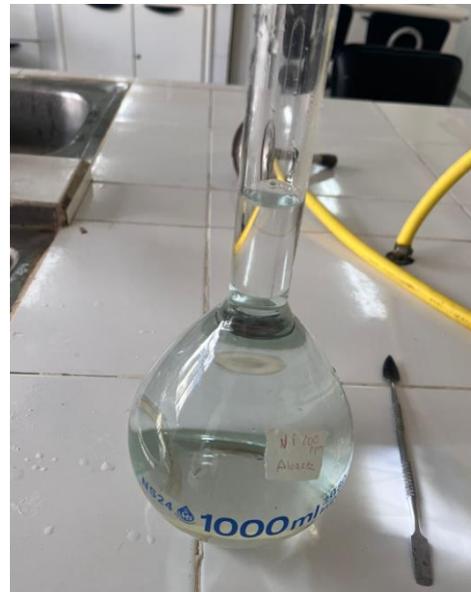
Fotografía 5. Molienda de la toronja



Fotografía 6. Tamices para obtener el tamaño de partícula deseado



Fotografía 7. Pesaje del  $\text{NiSO}_4$  con la finalidad de obtener una concentración de 100 ppm de Níquel o 200 ppm



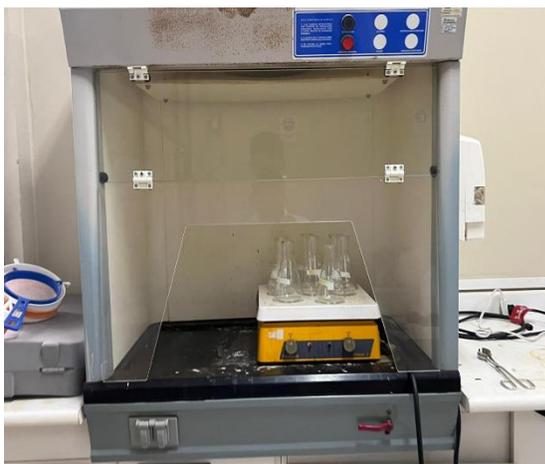
Fotografía 8. Solución de 100 ppm de níquel.



Fotografía 9. Agitación de muestras por 24 horas



Fotografía 10. Filtrado de muestras



Fotografía 11. Digestión de las muestras



Fotografía 12. Análisis de muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica