



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Aplicacion de materiales derivados del raquis de banano para la recuperacion de Ytrio en soluciones acuosas.

**BARRENO RIASCOS JOSSELYN NICOLE
INGENIERA QUIMICA**

**VELIZ ORDOÑEZ ABEL ARMANDO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Aplicacion de materiales derivados del raquis de banano para la recuperacion de Ytrio en soluciones acuosas.

**BARRENO RIASCOS JOSSELYN NICOLE
INGENIERA QUIMICA**

**VELIZ ORDOÑEZ ABEL ARMANDO
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Aplicacion de materiales derivados del raquis de banano para la
recuperacion de Ytrio en soluciones acuosas.**

**BARRENO RIASCOS JOSSELYN NICOLE
INGENIERA QUIMICA**

**VELIZ ORDOÑEZ ABEL ARMANDO
INGENIERO QUIMICO**

LAPO CALDERON BYRON GONZALO

**MACHALA
2023**

Aplicación de materiales derivados del raquis de banano para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas

por Abel Armando Veliz Ordoñez

Fecha de entrega: 13-mar-2024 09:39a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2319447448

Nombre del archivo: TURNITIN_FINAL_Abel_Veliz.docx (3.96M)

Total de palabras: 9498

Total de caracteres: 53201

Aplicación de materiales derivados del raquis de banano para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.utm.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	centrosureditorial.com Fuente de Internet	< 1%
3	mydokument.com Fuente de Internet	< 1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	< 1%
5	www.sci.unal.edu.co Fuente de Internet	< 1%
6	www.bolivianchemistryjournal.org Fuente de Internet	< 1%
7	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
8	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	< 1%

9	dokumen.pub Fuente de Internet	< 1 %
10	www.scielo.cl Fuente de Internet	< 1 %
11	ojs.uac.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
12	repositorio.uotavalo.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
13	knowledge.unccd.int Fuente de Internet	< 1 %
14	repositorio.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
15	cris.vub.be Fuente de Internet	< 1 %
16	www.lenntech.com Fuente de Internet	< 1 %
17	www.metarevistas.org Fuente de Internet	< 1 %
18	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	< 1 %
19	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	< 1 %
20	www.tib.eu Fuente de Internet	< 1 %

21	Submitted to Ministerio de Educación de Perú – COAR Trabajo del estudiante	< 1 %
22	aprenderly.com Fuente de Internet	< 1 %
23	revistaschilenas.uchile.cl Fuente de Internet	< 1 %
24	Submitted to Centro Europeo de Postgrado – CEUPE Trabajo del estudiante	< 1 %
25	Submitted to Atlantic International University Trabajo del estudiante	< 1 %
26	Marcelo Godke Veiga. "A regra da decisão negocial (>i/i<) e sua aplicação no direito brasileiro", Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA), 2022 Publicación	< 1 %
27	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	< 1 %
28	www.elsevier.es Fuente de Internet	< 1 %
29	Julio Coello–Cabezas, Miguel Verdezoto Carvajal, Nora Mejía Cabezas, Hugo Sánchez– Moreno et al. "Organic coagulant combined	< 1 %

with magnetite nanoparticles for the treatment of mercury-contaminated waters", Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 2024

Publicación

30

Ordoñez, Jessenia, Lenys Fernández, Hugo Romero, Patricio Carrera, and José Alvarado. "Electrochemical generation of antimony volatile species, stibine, using gold and silver mercury amalgamated cathodes and determination of Sb by flame atomic absorption spectrometry", Talanta, 2015.

Publicación

< 1 %

31

Submitted to Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Trabajo del estudiante

< 1 %

32

Submitted to Universidad San Marcos

Trabajo del estudiante

< 1 %

33

www.geniolandia.com

Fuente de Internet

< 1 %

34

dracocomarch.com

Fuente de Internet

< 1 %

35

es.jhongcnc.com

Fuente de Internet

< 1 %

36

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

< 1 %

37	riunet.upv.es Fuente de Internet	< 1 %
38	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
39	J. A. Vázquez-Ovando, J. G. Rosado-Rubio, L. A. Chel-Guerrero, D. A. Betancur-Ancona. " Procesamiento en seco de harina de chía (L.): caracterización química de fibra y proteína Dry processing of chía (L.) flour: chemical characterization of fiber and protein ", CyTA – Journal of Food, 2010 Publicación	< 1 %
40	docslide.us Fuente de Internet	< 1 %
41	www.ciga.unam.mx Fuente de Internet	< 1 %
42	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	< 1 %
43	Dileesha Jayahansani Kotte-Hewa, Delphine Durce, Sonia Salah, Carlos Ruiz Cánovas, Erik Smolders. "Remediation of acid mine drainage and immobilization of rare earth elements: Comparison between natural and residual alkaline materials", Applied Geochemistry, 2023 Publicación	< 1 %

44 Jorge García Ivars. "OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS DE ULTRAFILTRACIÓN DE BAJO ENSUCIAMIENTO Y ESTUDIO DE CONDICIONES DE FABRICACIÓN", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015
Fuente de Internet < 1 %

45 Tamara Rocío Ruiz Calleja. "Funcionalización de textiles mediante la aplicación de grafeno", Universitat Politecnica de Valencia, 2021
Publicación < 1 %

46 elogpro.com
Fuente de Internet < 1 %

47 http://138.100.48.190/docencia/plan_92/pfc/descarga_P
Fuente de Internet < 1 %

48 parisfrance.men
Fuente de Internet < 1 %

49 www.espol.edu.ec
Fuente de Internet < 1 %

50 www.sav.us.es
Fuente de Internet < 1 %

51 "Volcanic Unrest", Springer Science and Business Media LLC, 2019
Publicación < 1 %

52 CLARA TALENS VILA. "DESARROLLO DE TÉCNICAS COMBINADAS DE SECADO CON < 1 %

AIRE CALIENTE Y MICROONDAS EN LA PRODUCCIÓN DE FIBRA ALIMENTARIA A PARTIR DE SUBPRODUCTOS CÍTRICOS", Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

53

Graf, J.L.. "Rare earth element evidence of origin and depositional environment of Late Proterozoic ironstone beds and manganese-oxide deposits, SW Brazil and SE Bolivia",
Journal of South American Earth Sciences,
199404

Publicación

54

Rocío García Aboal. "Propiedades optoelectrónicas en perovskitas halogenadas y su aplicación en energía y sensores",
Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

55

digital.csic.es

Fuente de Internet

< 1 %

56

idus.us.es

Fuente de Internet

< 1 %

57

ninive.uaslp.mx

Fuente de Internet

< 1 %

58

repositorio.uci.cu

Fuente de Internet

< 1 %

59

unfccc.int

Fuente de Internet

< 1 %

60	web.worldbank.org	Fuente de Internet	< 1 %
61	www.archipel.uqam.ca	Fuente de Internet	< 1 %
62	www.evek.es	Fuente de Internet	< 1 %
63	www.gacetasanitaria.org	Fuente de Internet	< 1 %
64	www.newstetic.com	Fuente de Internet	< 1 %
65	www.terra.com.co	Fuente de Internet	< 1 %
66	www.ambientum.com	Fuente de Internet	< 1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL


Los que suscriben, BARRENO RIASCOS JOSSELYN NICOLE y VELIZ ORDOÑEZ ABEL ARMANDO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Aplicacion de materiales derivados del raquis de banano para la recuperacion de Ytrio en soluciones acuosas., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

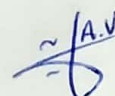
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



BARRENO RIASCOS JOSSELYN NICOLE

0706547486



VELIZ ORDOÑEZ ABEL ARMANDO

0750239048

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación principalmente a Dios y a mi familia, quienes han sido mi mayor inspiración y fuerza a lo largo de este camino ya que, gracias a sus sacrificios, paciencia y confianza brindada, han hecho que este logro sea posible.

Josselyn Nicole Barreno Riascos

Trabajo de titulación dedicado primordialmente a Dios, a mis padres Rocío y Armando que han sido pilares fundamentales en mi formación académica durante todo mi trayecto universitario, a mi hermana Jessica que ha sabido brindarme apoyo en todo momento, a mi persona incondicional, Genesis Guaman Garcia por acompañarme en momentos muy importantes, a mi mejor amiga Marjorie Salazar Zambrano por haberme soportado como amiga. A lo largo de este trayecto han hecho que este logro hoy por hoy sea posible.

Abel Armando Veliz Ordoñez

AGRADECIMIENTO

A mi amada familia, cuyo apoyo incondicional y amor constante han sido mi mayor fuente de fortaleza y motivación durante este arduo proceso. Sus palabras de aliento, comprensión y sacrificio han sido el faro que me ha guiado en los momentos más desafiantes de esta travesía académica.

Agradezco también a mi tutor de tesis el Ing. Byron Gonzalo Lapo Calderón, por su orientación experta, paciencia y dedicación incansable. Sus conocimientos, consejos y motivación constante han sido fundamentales para el desarrollo y la culminación de este trabajo académico. Asimismo, no puedo dejar de mencionar a mi cotutora la Ing. Tanya Alexandra Carchi Tandazo, cuya colaboración y asesoramiento nos ha enriquecido enormemente. Su perspectiva, experiencia y apoyo desempeñó un papel esencial para el éxito de esta investigación.

De igual manera a mis mejores amigos, Andrea Maldonado, Heidy Pontón, Edison Bermeo, Steeven Perero y Edwin Torres les debo un profundo agradecimiento por estar siempre a mi lado tanto en los buenos como en los difíciles momentos y especialmente a Cristhian Balcázar por su ayuda invaluable en el proceso de experimentación que ha sido fundamental en este proyecto.

Josselyn Nicole Barreno Riascos

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, a mis padres Rocío y Armando por su inmenso apoyo, su paciencia y sobre todo por motivarme a continuar en los momentos más oscuros de mi carrera, agradezco también a mi tutor el Ing. Byron Lapo Calderón y la Ing. Tanya Carchi Tandazo por darme las pautas necesarias para poder trabajar y culminar este trabajo de la mejor manera compartiendo sus conocimientos y experiencia en el campo práctico, agradezco especial a los compañeros del laboratorio quienes crearon un ambiente propio para llevar a cabo un excelente proceso experimental, a mis amigos Brenda Toro y Fabricio Ramirez por haber formado una amistad de aquellas que te motivan a ser mejor persona y cumplir cada meta y objetivo, por su ayuda eficaz en este trabajo agradezco también al amigo Cristhian Balcazar. Agradecer también al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quevedo (Ecuador). Estación Experimental Tropical Pichilingue por la acogida para el análisis de muestras.

Abel Armando Veliz Ordoñez

RESUMEN

La extracción de minerales de las tierras raras conlleva hacia un impacto ambiental significativamente considerable, generando así contaminación con sustancias dañinas, incluyéndose en esa contaminación a las aguas residuales con sustancias peligrosas tales como las ácidas, radiactivas etc., su producción de desechos materiales provoca daños a los recursos suelo y aire debido a la propagación de polvos contaminantes.

Las aplicaciones del Ytrio en diversos campos como la medicina, la electrónica y la aeroespacial; lo han convertido en un elemento estratégico, considerado en la actualidad como un elemento de innovación para el desarrollo del campo tecnológico, innovaciones como las lámparas led, láseres, pantallas de televisión etc., le otorgan ese nivel de significancia a nivel industrial.

A nivel actual se generan desechos agrícolas en grandes cantidades, a los cuales no se les toma en consideración para otro tipo de reutilización, generando así niveles de contaminación a gran escala, desaprovechando cualquier tipo de aplicabilidad al material lignocelulósico derivado de estos desechos.

La finalidad del presente trabajo experimental se orienta a la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas haciendo uso de material derivado de la generación de un desecho agrícola, siendo este el raquis de banano el desecho a reutilizarse, para ello se prepararon dos tipos de materiales adsorbentes, Material Insoluble en Alcohol (MIA) y Material Insoluble en Alcohol oxidado con TEMPO (MIA-T) los que serán sujetos de experimentación para conocer su capacidad de adsorción selectiva para la recuperación de Ytrio.

Primero se prepararon las muestras para obtener los materiales adsorbentes, el material MIA se obtuvo mediante una inmersión en etanol y el material MIA-T se oxidó con el reactivo TEMPO, una vez obtenidos ambos materiales fueron sometidos a los diferentes estudios de adsorción.

En el estudio de selectividad se mostraron resultados favorables provenientes de seis experimentos, en los cuales se sometieron a estudios materiales adsorbentes sin modificar MIA y modificados (MIA-T) en conjunto con una solución binaria Ytrio -Calcio y se trabajaron por duplicado, siendo el material modificado quien arrojó mejores resultados denotando que los materiales adsorbentes provenientes de residuos lignocelulósicos, son más afines a presentar niveles de adsorción selectiva mayores cuando están en oxidación con tiempo.

En el estudio de fuerza iónica se llevó a cabo un total de cinco experimentos para cada material adsorbente, MIA y MIA-T, se trabajó por duplicado para tener una mejoría en los resultados, los cuales denotaron que los valores de la capacidad de adsorción disminuyen considerablemente cuando se utiliza material oxidado con TEMPO, es decir con MIA-T existe una menor capacidad de adsorción en este estudio de fuerza iónica, su nivel máximo de adsorción es de 43.61 mg/g y esto sucede cuando la concentración de la solución de nitrato de sodio es 2 Molar, mientras que MIA arrojó un valor máximo de adsorción de 90.28 mg/g.

Con esta propuesta se ofrecen materiales adsorbentes a partir de residuos agrícolas obtenidos del banano como lo es el raquis, contribuyendo a la reutilización de los residuos.

Palabras claves: Ytrio, adsorción, selectividad, fuerza iónica, residuos lignocelulósicos.

ABSTRACT

The extraction of rare earth minerals leads to a significantly considerable environmental impact, generating pollution with harmful substances, including wastewater contamination with hazardous substances such as acidic, radioactive, etc., its production of waste materials causes damage to soil and air resources due to the spread of polluting dusts.

The applications of yttrium in various fields such as medicine, electronics and aerospace, have made it a strategic element, currently considered as an element of innovation for the development of the technological field, innovations such as LED lamps, lasers, television screens, etc., give it this level of significance at the industrial level.

At present, agricultural waste is generated in large quantities, which are not taken into consideration for any other type of reuse, thus generating large-scale contamination levels, and any type of applicability of the lignocellulosic material derived from these wastes is wasted.

The purpose of this experimental work is oriented to the recovery of yttrium in aqueous solutions using material derived from the generation of an agricultural waste, being the banana rachis the waste to be reused, for this purpose two types of adsorbent materials were prepared, Material Insoluble in Alcohol (MIA) and Material Insoluble in Alcohol oxidized with TEMPO (MIA-T) which will be subject to experimentation to know their selective adsorption capacity for the recovery of yttrium.

First the samples were prepared to obtain the adsorbent materials, the MIA material was obtained by immersion in ethanol and the MIA-T material was oxidized with the TEMPO reagent, once obtained both materials were subjected to the different adsorption studies.

The selectivity study showed favorable results from six experiments, in which unmodified MIA and modified (MIA-T) adsorbent materials were subjected to studies in conjunction with a binary Yttrium-Calcium solution and worked in duplicate, with the modified material showing the best results, indicating that the adsorbent materials from lignocellulosic waste are more likely to present higher levels of selective adsorption when they are oxidized with tempo.

In the ionic strength study, a total of five experiments were carried out for each adsorbent material, MIA and MIA-T, working in duplicate to improve the results, which showed that the adsorption capacity values decrease considerably when using material oxidized with TEMPO, i.e., with MIA-T there is a lower adsorption capacity in this study of ionic strength, its maximum adsorption level is 43.61 mg/g and this happens when the concentration of the sodium nitrate solution is 2 Molar, while MIA yielded a maximum adsorption value of 90.28 mg/g.

This proposal offers adsorbent materials from agricultural waste obtained from bananas, such as rachis, contributing to the reuse of waste.

Keywords: Yttrium, adsorption, selectivity, ionic strength, lignocellulosic residues.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL	IX
INDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE ECUACIONES	XIV
LISTADO DE ABREVIATURAS	XV
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS	18
Objetivo General	18
Objetivos Especificos	18
1. MARCO TEORICO	19
1.1 Elementos de tierras raras (REE – Rare Earth Elements)	19
1.1.1 <i>Impacto ambiental de las tierras raras</i>	20
1.1.2 <i>Produccion mundial de las tierras raras</i>	21
1.2 Elemento de tierra rara: Ytrio (Y)	21
1.2.1 <i>Proceso de extracción del Ytrio (Y)</i>	22
1.2.2 <i>Contaminación generada por el Ytrio (Y)</i>	22
1.2.3 <i>Afecciones a la salud humana</i>	24
1.2.4 <i>Aplicaciones industriales del Ytrio</i>	24
1.3 Residuos lignocelulósicos	25
1.3.1 <i>Banano</i>	25
1.3.2 <i>Propiedades químicas de los residuos lignocelulósicos de banano</i>	26

1.3.3	<i>Propiedades físicas de los residuos lignocelulósicos de banano</i>	31
1.3.4	<i>Propiedades mecánicas</i>	32
1.3.5	<i>Residuos lignocelulósicos: materiales selectivos</i>	32
1.3.6	<i>Aplicaciones de los residuos lignocelulósicos</i>	33
1.4	Proceso de aislamiento de materiales del raquis de banano	33
1.4.1	<i>Extraíbles de raquis de banano</i>	33
1.4.2	<i>Oxidación con Tempo</i>	34
1.5	Adsorción	35
1.5.1	<i>Bioadsorbentes</i>	35
1.5.2	<i>Estudios de adsorción</i>	36
2.	METODOLOGIA	38
2.1	Unidades de análisis	38
2.1.1	Tipo de investigación	38
2.1.2	Ubicación de la investigación	38
2.1.3	Variables de la investigación	38
2.2	Materiales y métodos	39
2.2.1	<i>Materiales, equipos y reactivos</i>	39
2.2.2	<i>Diseño metodológico</i>	41
2.2.3	<i>Aplicación de los materiales MIA y MIA-T para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas</i>	42
2.3	Proceso y recolección de análisis de datos	48
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1	Estudio de selectividad	49
3.1.1	<i>Estudio de selectividad para el material adsorbente MIA</i>	49
3.1.2	<i>Estudio de selectividad para el material adsorbente modificado (MIA-T)</i>	50
3.2	Estudio de fuerza iónica	53
3.2.1	<i>Estudio de fuerza iónica para el material insoluble en alcohol (MIA)</i>	53

3.2.2	<i>Estudio de fuerza iónica para el material insoluble en alcohol oxidado con TEMPO (MIA-T)</i>	55
4.	CONCLUSIONES	59
5.	RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	61
	ANEXOS	68
	ANEXO A. Tratamiento preliminar de la muestra.....	69
	ANEXO B. Pulverización del raquis de banano.....	69
	ANEXO C. Obtencion del material insoluble MIA.....	70
	ANEXO D. Obtencion del material insoluble modificado con TEMPO.....	71
	ANEXO E. Diluciones de las muestras de estudios para lectura de equipo.....	72
	ANEXO F. Lectura en el espectrómetro de emisión atómica acoplado inductivamente.....	72
	ANEXO G. Procesamiento de datos obtenidos en Origin Pro.....	73

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Variables dependientes e independientes de los estudios de adsorción	39
TABLA 2. Concentraciones para diluciones de Ytrio y calcio	44
TABLA 3. Alícuotas para las concentraciones nitrato de sodio y solución de Ytrio	47
TABLA 4. Capacidades de adsorción Y-Ca para cada experimento en MIA	50
TABLA 5. Capacidades de Adsorción Y-Ca en MIA-T	52
TABLA 6. Capacidad de adsorción máxima MIA con NaNO_3	55
TABLA 7. Capacidad de adsorción máxima MIA-T con NaNO_3	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de tierras raras.....	20
Figura 2. Estado natural del Ytrio (Y).....	22
Figura 3. Composición de materia lignocelulosa de banano.....	27
Figura 4. Estructura de la celulosa.....	28
Figura 5. Estructura química de las unidades estructurales de las hemicelulosas.....	29
Figura 6. Modelo estructural de la lignina.....	30
Figura 7. Estructura química del Tempo y sus derivados.....	34
Figura 8. Ubicación geográfica de la toma de materia prima.....	38
Figura 9. Capacidad de adsorción del MIA en selectividad.....	49
Figura 10. Capacidad de adsorción del MIA-T en selectividad.....	51
Figura 11. Capacidad de adsorción máxima del MIA con Ytrio y nitrato de sodio.....	54
Figura 12. Capacidad de adsorción máxima de MIA-T en una solución NaNO ₃ -Y.....	56

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Obtencion de la masa en gramos	43
Ecuación 2. Molaridad.	45
Ecuación 3. Cálculo de las concentraciones y volúmenes	46

LISTADO DE ABREVIATURAS

MIA: Material insoluble en alcohol

MIA-T: Material insoluble en alcohol con TEMPO.

ppm: Partes por millón ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Y: Ytrio

pH: Potencial de hidrogeno

mg. g-1: Miligramos sobre gramos

mg. L-1: Miligramos sobre Litros

REE: Rare Earth Elements

HMF: Hidroximetil furfural

TEMPO: 2,2,6,6-tetrametilpiperidina-N-oxilo

INTRODUCCION

Dentro de los elementos químicos de tierras raras se encuentra el Ytrio (Y), el cual se usa ampliamente en lámparas fluorescentes, televisores CRT, paneles de visualización de plasma, iluminación de bajo consumo (como LED), polvos de fósforo (P) para iluminación de bajo consumo, gafas ópticas y baterías, así como para aplicaciones de alta tecnología. Se introduce en el ambiente cuando los equipos de las casas, así como lámparas, dispositivos electrónicos son tirados a las basuras, donde podrá gradualmente acumularse en soluciones acuosas.¹

La liberación no controlada de Ytrio (Y) y de cualquier otro metal de tierra rara en el medio ambiente puede conducir a un impacto ambiental significativo, pues contaminan aguas superficiales y subterráneas, que también afectan al recurso suelo. Una ejemplificación clara de esta denominación se ve reflejada en los vertidos industriales no regularizados o la disposición inadecuada de desechos electrónicos que contienen Ytrio, la materia orgánica disuelta en el medio acuático, puede afectar notablemente el comportamiento de aplicaciones de nanopartículas de ingeniería.²

La importancia de reducir la contaminación generada por Ytrio (Y) se centra en la gestión y el desecho de los materiales que contengan a dicho metal, como Ytrio vertido al medio acuático a través de diversas actividades como industrias petroleras y residuos radiactivos nucleares acuáticos. Además, el Ytrio tiene un efecto negativo significativo en la salud humana, ya que causa embolias pulmonares y cáncer de pulmón debido a la exposición prolongada y también impide la función hepática, lo que causa principalmente cirrosis hepática en lugar de insuficiencia hepática.³

En los últimos años, se ha desarrollado un interés creciente en el uso de materiales derivados de raquis de banana para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas, debido a que el mercado del Ytrio, como el de otras tierras raras, es muy funcional porque estos elementos son materiales importantes para diversas tecnologías, el Ytrio se emplea habitualmente en diversos equipos y dispositivos como lámparas fluorescentes, gafas y televisores en color, también se utiliza excesivamente en las industrias metalúrgicas, la energía nuclear, la cerámica y la astronavegación.³

En la actualidad, estos residuos carecen de un valor adicional, pero es posible aumentar su valor al utilizarlos de manera innovadora como adsorbentes de metales. Así mismo, podrían ser empleados con el propósito de otorgarles un valor añadido al convertirlos en materias primas para aplicaciones relacionadas con la recuperación de metales, como sucede con el Ytrio, la utilización de materiales selectivos para la recuperación de Ytrio (Y) permite obtener un producto de alta pureza, minimizando así la cantidad de desechos que se generan en el proceso.

La gestión inadecuada de materiales lignocelulósicos y residuos orgánicos relacionados supone una grave carga medioambiental y provoca contaminación. Por otro lado, los desechos lignocelulósicos tienen un potencial económico significativo y pueden emplearse como soportes catalíticos prometedores debido a características impresionantes como área de superficie, estructura porosa y aparición de muchos restos químicos (es decir, carboxilo, amino, tiol, hidroxilo y fosfato).⁴

La adsorción es considerada como una de las características principales de los materiales derivados del raquis de banano, poseen un enorme potencial en lo que respecta al proceso de recuperación del metal, teniendo propiedades de adsorción específicas que les permiten retener metales como el Ytrio (Y) en soluciones acuosas.⁵

Por tal motivo, la presente investigación permitirá analizar la aplicación de materiales derivados del raquis de banano para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas, generando así un impacto positivo en la sociedad al aprovechar los desechos orgánicos, promoviendo a la Economía Verde o Circular.

OBJETIVOS

Objetivo General

Aplicar materiales derivados del raquis de banano a partir de su extracción para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas

Objetivos Específicos

- Obtener un material insoluble en etanol (MIA) a partir del raquis de banano para la recuperación del Ytrio.
- Modificar el material MIA a través de una oxidación con TEMPO (MIA-T) para la recuperación selectiva del Ytrio.
- Aplicar los materiales MIA y MIA-T en procesos de adsorción para la recuperación de Ytrio.
- Evaluar la eficiencia y desempeño de los materiales selectivos en la recuperación de Ytrio (Y) de soluciones acuosas.

1. MARCO TEORICO

1.1 Elementos de tierras raras (REE – Rare Earth Elements)

Los elementos de las tierras raras de la tabla periódica, más el Ytrio (Y) y el escandio (Sc), han sido identificados como productos críticos por varias agencias internacionales.⁶

Su importancia ha venido en aumento durante los últimos años, notablemente se debe a su uso en diversas aplicaciones industriales, son considerados productos esenciales por las industrias de energía limpia y alta tecnología, en el campo de la electrónica tienen un gran uso.⁶

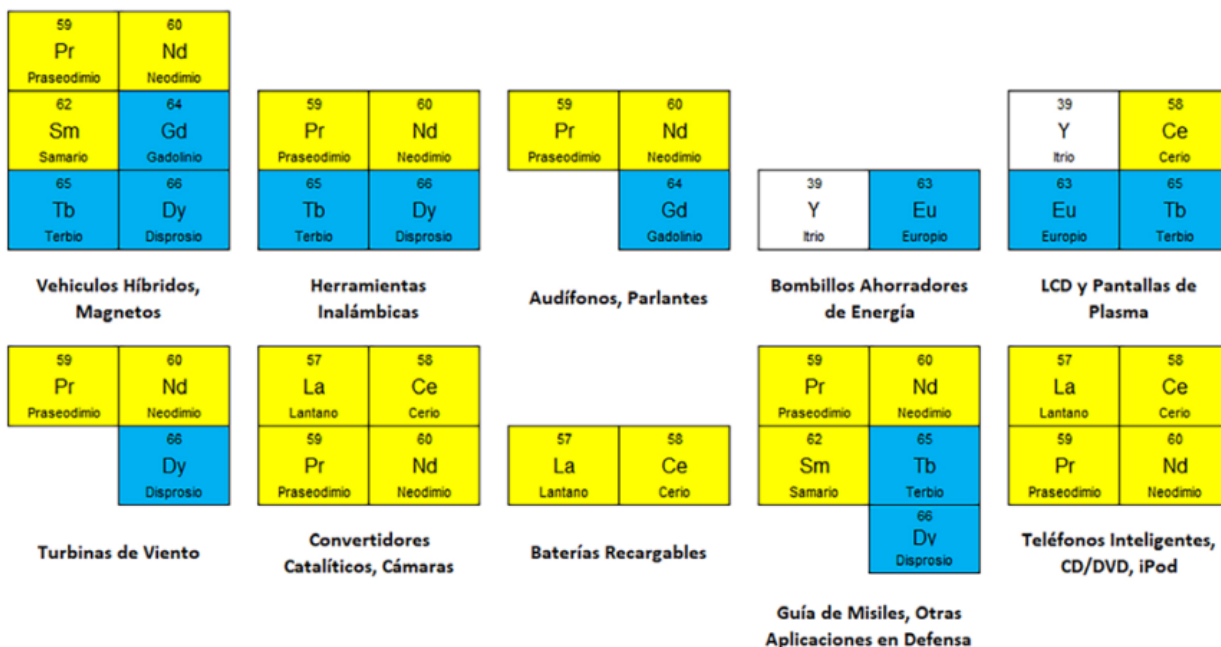
Existe una clasificación diferencial de estos elementos considerando lo que respecta a la base de su masa atómica y radio iónico efectivo, existen entonces elementos de tierras raras ligeros y pesados, siendo los ligeros aquellos que poseen una masa atómica inferior a 153 uma y los pesados los que superan en masa a 153 uma, debido a su comportamiento físico y químico similar, el Ytrio (Y) forma parte de las tierras raras pesadas, lo que lo vuelve muy demandado por la industria.⁷

Dentro de la economía mundial, China es el país más influyente del mercado, con alrededor del 90% de abastecimiento de REE, pues cuenta con la mayoría de yacimientos de estos minerales.⁷

Los REE carecen de función biológica alguna, pero son útiles para distintas aplicaciones eléctricas y electrónicas. Aunque algunas aplicaciones están aún en fase de experimentación, se emplean en las siguientes aplicaciones: computadores, discos duros, lectores de CD, tecnología nuclear, televisores y pantallas (color verde con terbio y rojo con europio), resonancia magnética de imágenes para diagnóstico, micrófonos, audífonos, etcétera que incluye también elementos para defensa y ataque (aviones, barcos, tanques, submarinos, radares).⁸

En la figura 1 se observa el potencial del uso de las tierras raras a nivel comercial e industrial.

Figura 1. Uso de tierras raras



Fuente:⁹

1.1.1 *Impacto ambiental de las tierras raras.* Se genera un impacto ambiental significativo, especialmente al factor suelo; la contaminación viene dada en cualquier fase de la extracción de las tierras raras, siendo estos productos de procesamiento de minerales, obtención de productos, así mismo como su distribución o lo que se refiere a la eliminación. Cabe recalcar que las pequeñas cantidades de tierras raras en los suelos representa un rango de elevación alto para inversión tecnológica y química que logren ya sea su extracción o su recuperación de los mismos.¹⁰

En los desechos de los procesos mineros o relaves que contienen REE alteran directamente las condiciones naturales del suelo, su pH y también los estados redox, la acidez puede solubilizar fracciones de REE que de otro modo serían estables, aumentando su biodisponibilidad y migración en el medio ambiente.¹¹

1.1.2 *Producción mundial de las tierras raras.* los elementos de tierras raras son el insumo básico para el hardware de la modernidad tecnológica global. Sin ellos, las finanzas globales, el internet, la vigilancia satelital, el transporte de petróleo, los motores a reacción, los televisores, los GPS y las salas de emergencia médica simplemente no podrían funcionar.⁹

Mongolia Interior representa casi el 70% de la producción de elementos de tierras raras ligeras de China, el sur de China, donde los elementos de tierras raras pesados se descubrieron en la década de los sesenta, representa la mayor parte de la producción de elementos de tierras raras pesados del país; solo la provincia de Jiangxi produce aproximadamente el 50% de elementos de tierras raras medias y elementos de tierras raras pesados de China, y la ciudad de Ganzhou representa la mayor parte de esa producción.⁹

Referente a las reservas mundiales de tierras raras, para el año 2022 tuvieron un ascenso de 130 millones de toneladas métricas aproximadamente, teniendo China posesión de una tercera parte de los millones de toneladas métricas, convirtiéndola en líder del ranking de países con mayores reservas mundiales de tierras raras, con una cantidad aproximada de 44 millones de toneladas, se complementa al ranking con la mención de países como Vietnam, Brasil y Rusia, tienen significativas reservas de tierras raras, pero su producción es baja.⁸

1.2 Elemento de tierra rara: Ytrio (Y)

El Ytrio (Y), también reconocido como un REE pesado esencial, es un metal de transición suave, metálico plateado, brillante y altamente cristalino que es químicamente similar a los lantánidos, logrando también mantenerse relativamente inactivo bajo la exposición al aire.¹²

Descubierto por el químico, físico y mineralogista finlandés Johan Gadolin en el año 1794 y aislado con Friedrich Wohler en 1828, el Ytrio es un elemento moderadamente abundante (alrededor de 31 partes por millón) en la corteza terrestre, lo que lo hace tan abundante como el cobalto, el cobre y el zinc.²

El Ytrio es un metal dúctil blanco plateado, moderadamente blando. Es bastante estable en el aire; la oxidación rápida comienza por encima de aproximadamente 450 °C (840 °F), lo que da como resultado Y_2O_3 . El Ytrio se comporta químicamente como un elemento típico de tierras raras que tiene un estado de oxidación de +3. Su radio iónico está cerca de los radios del disprosio y el holmio, lo que dificulta la separación de esos elementos.¹³

En la figura 2 se puede observar al elemento Ytrio en su estado natural.

Figura 2. Estado natural del Ytrio (Y)



Fuente:¹⁴

1.2.1 *Proceso de extracción del Ytrio (Y)*. Debido a las técnicas mineras tradicionales aplicadas durante décadas (lixiviación en tanques o en pilas con solución de sulfato de amonio), grandes cantidades de REE han quedado en los relaves y se han lixiviado en ambientes acuáticos.¹⁵

El papel de los elementos de tierras raras (REE) en la regulación de la aptitud de las plantas en respuesta al estrés abiótico ha recibido recientemente gran consideración principalmente debido a su papel multifuncional en las membranas citoplasmáticas, la fotosíntesis y el metabolismo hormonal. Los REE no pueden considerarse raros por naturaleza.¹²

Estos elementos de tierras raras al ser utilizados en cantidades muy pequeñas, han venido cobrando una significativa relevancia geopolítica dado a su razón de importancia para la industria y el sector de defensa de varios estados, los productos finales obtenidos por tierras raras varían desde el consumo electrónico hasta sofisticados sistemas de armas, convirtiéndose así en insumos de estrategia para garantizar supervivencia, bienestar y prosperidad de diversos estados, independientemente de su grado de desarrollo tecnológico e industrial.⁹

1.2.2 *Contaminación generada por el Ytrio (Y)*. Estudios recientes muestran que los elementos de tierras raras (REE) de alta tecnología de origen antropogénico se encuentran en el medio ambiente, incluidos los sistemas acuáticos, lo que sugiere que los REE son contaminantes de creciente preocupación.¹⁶

De manera que la liberación no controlada de Ytrio (Y), Ytrio vertido al medio acuático a través de diversas actividades como industrias petroleras y residuos radiactivos nucleares acuáticos, conlleva a que muchos métodos se centraron en investigar, purificar y preconcentrar metales no biodegradables como el Ytrio a partir de diferentes matrices que incluyen principalmente adsorción, biosorción y precipitación química.³

Los elementos de tierras raras se movilizan y transportan en el medio ambiente mediante procesos hidrológicos y eólicos. Los efectos ecotoxicológicos incluyen reducción del crecimiento, función y calidad nutricional de las plantas, genotoxicidad y neurotoxicidad en animales, bioacumulación trófica y toxicidades crónicas y agudas en organismos del suelo.¹⁶

En el campo de la biomagnificación se menciona que puede existir un riesgo potencial en los organismos de la cadena alimentaria, la producción de Ytrio (Y) causa una variedad de problemas ambientales y de sostenibilidad, haciendo que el flujo de suministro sea vulnerable a políticas ambientales más estrictas.¹⁷ Comparando con los seres humanos, se destaca lo siguiente: si los seres humanos consumen regularmente alimentos contaminados con altas concentraciones de Ytrio, podría estar en riesgo de acumulación significativa de niveles de metal en sus tejidos a lo largo del tiempo de consumo.

Esta denominada contaminación se debe a que se hace uso del Ytrio (Y) en forma de óxido, es decir, el óxido de Ytrio Y_2O_3 , para la síntesis de materiales aditivos y blindaje de temperaturas elevadas, se produce un riesgo elevado por el uso amplio en la manufactura, la liberación intencionada e involuntaria hacia el medio ambiente en cantidades perjudiciales mediante la eliminación de sus productos, son perjudiciales para la salud humana también.²

1.2.3 *Afecciones a la salud humana.* La exposición humana a los elementos de tierras raras se produce mediante la ingestión de agua contaminada y alimentos, inhalación e ingesta directa durante la administración médica. Se han detectado REE en cabello, uñas y biofluidos humanos. Dentro de las afecciones, estos elementos causan fibrosis sistémica nefrogénica y daño severo a los sistemas nefrológicos asociados con agentes de contraste a base de Gd, trastorno neurológico disfuncional, lesión del tejido fibrótico, estrés oxidativo, neumoconiosis, citotoxicidad, efectos antitesticulares y esterilidad masculina.¹⁶

1.2.4 *Aplicaciones industriales del Ytrio.* El Ytrio, un elemento de tierras raras, notable en muchas aplicaciones médicas y en diversas implementaciones industriales y tecnológicas, como la fabricación de productos electrónicos, láseres, polvos de fósforo y superconductores. Además, se emplea habitualmente en diversos equipos y dispositivos como lámparas fluorescentes, gafas y televisores en color, se utiliza excesivamente en las industrias metalúrgicas, la energía nuclear, la cerámica y la astronavegación.³

Las principales aplicaciones del Ytrio (Y) son el fósforo (P) para televisores en color, monitores de computadora, pantallas planas, luces fluorescentes tricromáticas, diodos emisores de luz (LED), pigmentos y pantallas intensificadas de rayos X.¹⁷

En la elaboración de lámparas fluorescentes se encuentra inmerso el Ytrio, se vuelven compactas y tubulares, para el caso de las lámparas fluorescentes, el metal se usa como recubrimiento interno del tubo de vidrio con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso y el rendimiento de la luz, convirtiendo así a las lámparas fluorescentes en objetos más eficientes en términos energéticos que las lámparas incandescentes tradicionales.¹⁷

Otras aplicabilidades del Ytrio incluyen electrónica, láser, sensor de temperatura/oxígeno; catalizador en polimerización de etileno; superconductor de alta temperatura: Ytrio -Bario-Óxido de cobre; El granate de Ytrio aluminio, el fluoruro de Ytrio (Y) y litio (Li) y el vanadato de Ytrio (YVO_4) se utilizan en combinación con dopantes como el neodimio (Nd) o el erbio (Er) en láseres infrarrojos.¹⁷

1.3 Residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos o biomasa lignocelulósica se componen de tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. Tanto el contenido como las características que presentan estos residuos, son muy importantes en el campo aplicativo.¹⁸ Las cuales le otorgan un nivel de significancia de alto grado, puesto que a partir de esta composición se determinara su valor en diversos procesos, como la recuperación de Ytrio (Y) en soluciones acuosas. Se consideran una fuente abundante de biomasa en la naturaleza, esto se debe a que provienen principalmente de plantas y árboles.

Los residuos lignocelulósicos están conformados principalmente de 20 – 26 % de hemicelulosa, 19 – 20 % lignina y un 48 – 49 % celulosa.¹⁹

Los residuos lignocelulósicos aparentemente sin valor, como la madera y los desechos leñosos, los desechos agrícolas y los residuos lignocelulósicos herbáceos, siempre se descartan o queman directa o indirectamente, lo que conduce a una grave contaminación ambiental y consumo de recursos.¹⁸

1.3.1 *Banano*. Ecuador es el mayor productor y exportador de banano del mundo y su presencia internacional va en aumento, con un promedio anual de ventas extranjeras cerca de seis millones de toneladas métricas comercializadas en los diferentes continentes. Según INEC- Ecuador (2020), en el 2019 la superficie plantada de banano a nivel nacional fue de 190381 hectáreas. La provincia El Oro alcanzó una producción de 1 649 t. Destacándose como la tercera provincia más productiva del país, aportando el 25,05% respecto a la producción nacional de este cultivo.²⁰

Desde el punto de vista nutricional, los plátanos son una fuente de vitaminas y minerales. Los principales minerales que se encuentran en estas frutas son el potasio, el fósforo, el magnesio, el hierro y el zinc. Estos nutrientes destacan por su importancia para la salud y la lucha contra el hambre oculta, definida por una ingesta insuficiente de vitaminas y minerales esenciales.²¹

Se estimó que anualmente la agroindustria del país genera cerca de 2200 millones de kilogramos, generando un aporte hacia la contaminación al medio ambiente si estos desechos no son tratados debidamente, pues, por medio de transformaciones físicas, químicas o biotecnológicas, estos remanentes, los cuales poseen recursos lignocelulósicos y almidón pueden ser aprovechados para la producción de productos verdes, limpios y de bajo costos que aporten hacia la mejora del desarrollo sostenible del cultivo de esta planta.²²

La producción bananera a nivel mundial ha tenido un crecimiento exponencial según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, sobre el análisis del mercado, determinando que las exportaciones ascendieron a 20,2 millones de toneladas hasta el 2019. Estas cifras provienen de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.²³

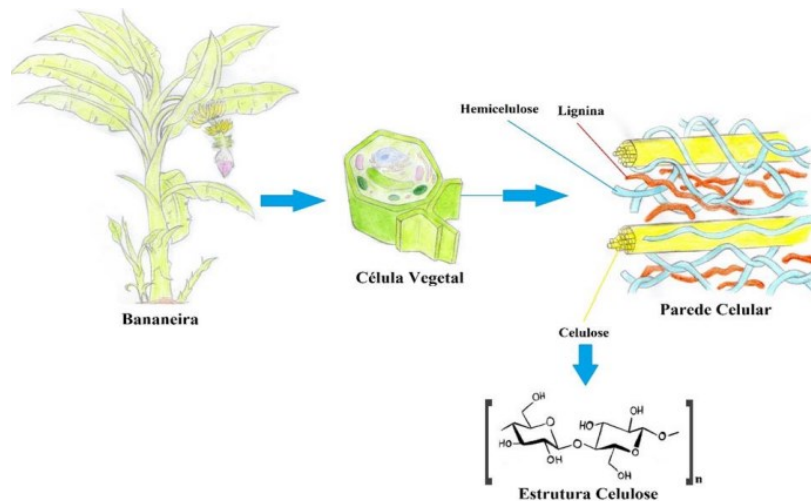
Aprovechar al máximo los desechos de los bananos para crear productos valiosos juega un papel importante en la mejora de la eficiencia económica y el avance hacia el desarrollo sostenible del cultivo del banano, así como en el tratamiento de los desechos agrícolas en general.²⁴

1.3.2 *Propiedades químicas de los residuos lignocelulósicos de banano.* En general, las propiedades de los residuos agroindustriales son muy variadas, dependen de la materia prima y del proceso que los generó, no obstante, comparten una característica principal que es el contenido de materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina y por esta razón se denominan residuos lignocelulósicos.²⁵

Las propiedades químicas de un material lignocelulósico generalmente se dividen en tres componentes principales: 30 a 50% de celulosa, 15 a 35% de hemicelulosa, 10 a 20% de lignina. La celulosa y hemicelulosa corresponden aproximadamente al 70% del total de la biomasa.²⁶

En la figura 3 se establece gráficamente la composición de materia lignocelulosa presente en el banano.

Figura 3. Composición de materia lignocelulosa de banano



Fuente: ²⁷

La composición química de los residuos lignocelulósicos varía dependiendo del tipo de material vegetal de donde provengan.

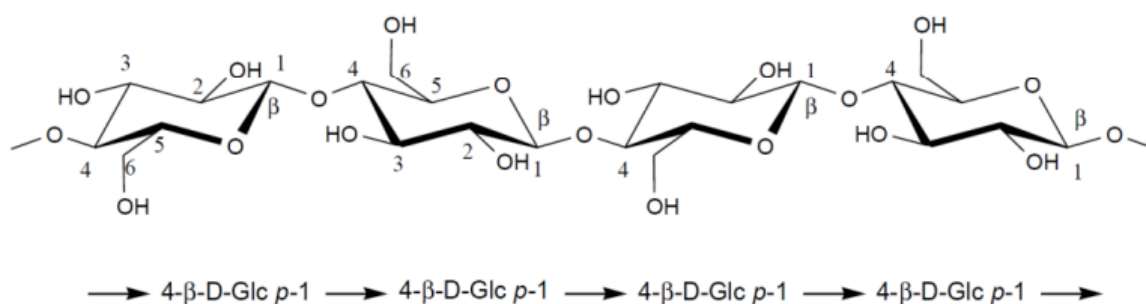
1.3.2.1 *Celulosa*. Es un polímero natural que tiene como estructura base los enlaces 1,4-βglucosídicos, tiene una estructura semicristalina que puede variar dependiendo del tipo de fuente de la cual es aislada.²⁸

La estructura fibrosa de la celulosa es una de sus principales características, lo que la convierte en un recurso de vital importancia en diversas industrias. Entre estas se incluyen la fabricación de papel, la producción de tejidos, la elaboración de adhesivos, etc. Por lo tanto, el proceso de obtención de celulosa es ampliamente investigado y esencial en estos sectores industriales; en el proceso de extracción, que hidroliza y blanquea las materias primas, se deben utilizar diversos productos químicos como ácidos, álcalis e hipoclorito de sodio.²⁷

Igualmente es posible obtener múltiples tipos de morfologías, estructuras supramoleculares, relaciones de aspecto y por ende propiedades físicas y mecánicas muy variadas, a presencia de tres grupos OH en cada una de las unidades estructurales le permite reaccionar bien sea como un alcohol, un éster o un éter.²⁸

En la figura 4 se observa a la estructura química presente en la celulosa.

Figura 4. Estructura de la celulosa



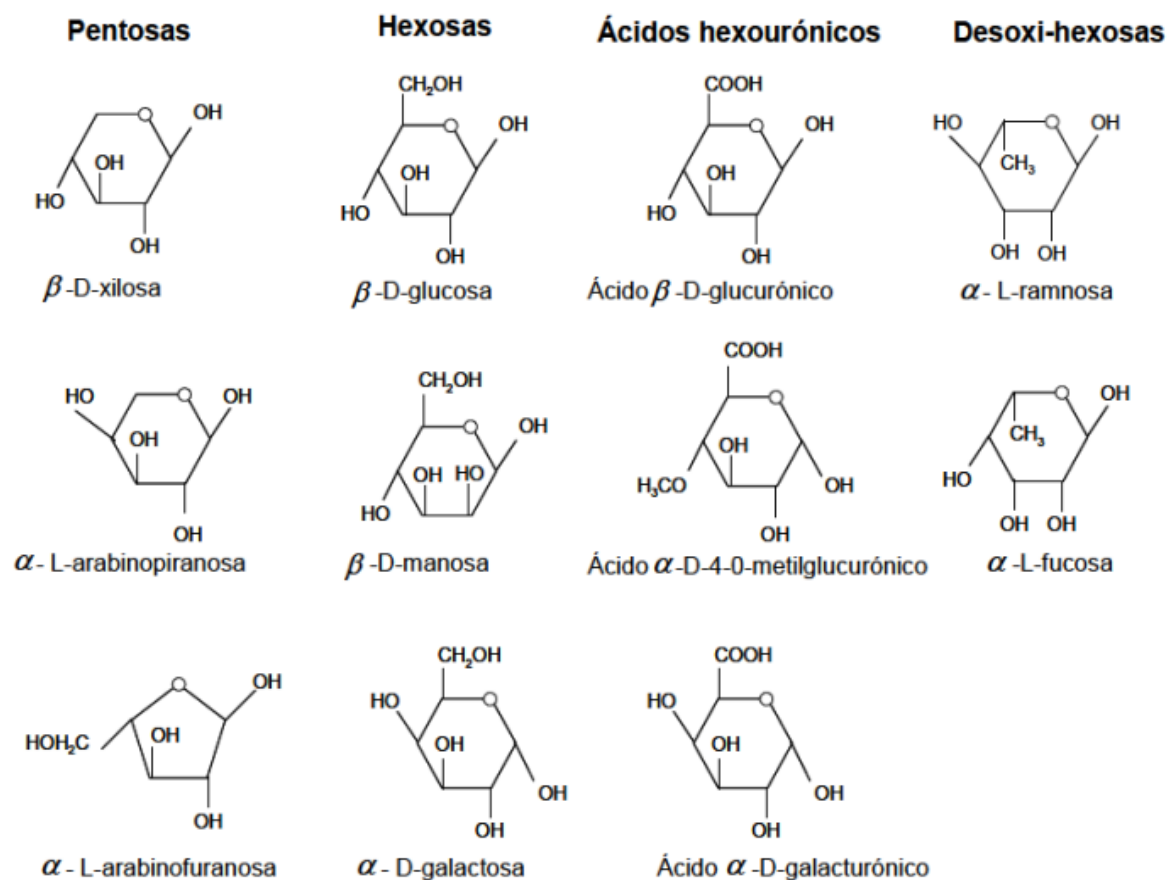
Fuente: ²⁹

1.3.2.2 *Hemicelulosa*. La hemicelulosa es un heteropolímero corto, lineal y ramificado compuesto de diferentes monómeros (como pentosas y hexosas), que posee cadenas principales unidas β-(1→4) con una disposición pegajosa, contienen xiloglucanos, mananos, xilanos y glucomananos; los xilanos y los glucomananos son los componentes comunes de la hemicelulosa.³⁰

Los carbohidratos que constituyen la hemicelulosa se encuentran enlazados mediante enlaces glicosídicos, formando una estructura principal con cadenas cortas de otros compuestos que se ramifican a partir de ella. En este contexto, la xilosa destaca como el componente principal de la hemicelulosa, representando hasta un 25% de su composición total.²⁷

En la figura 5 se encuentran a las estructuras químicas de las unidades estructurales de la hemicelulosa

Figura 5. Estructura química de las unidades estructurales de las hemicelulosas



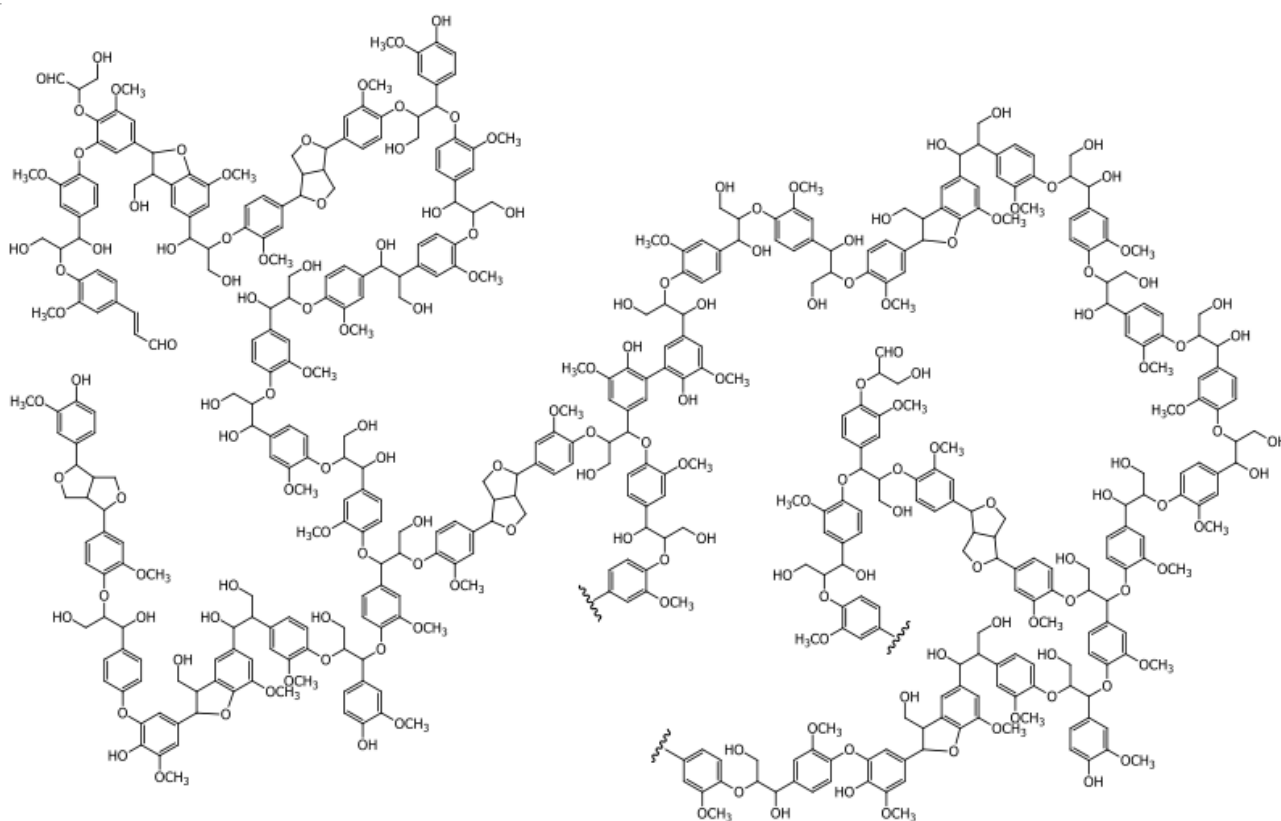
Fuente:²⁹

Después de la celulosa, la hemicelulosa se considera el segundo componente más importante. Tiene aplicaciones diversas, incluyendo la producción de hidrogel, termoplásticos y transportadores de fármacos, mediante el tratamiento térmico con ácidos diluidos. Es importante señalar que muchos de los procesos de pretratamiento empleados típicamente implican condiciones de alta temperatura y presión, lo que puede generar diversos compuestos inhibidores biológicos, como el furfural y el hidroximetil furfural (HMF).¹⁹

1.3.2.3 *Lignina*. la lignina es un polímero fenólico cuya composición es diversa por los diferentes monómeros y enlaces que la componen, que son resultado de las distintas enzimas que participan en la biosíntesis y durante la polimerización en la pared celular, la lignina y la celulosa son los principales componentes de la biomasa que pueden ser utilizados en la obtención de productos renovables, como materia prima para biocombustibles.³¹

En la figura 6 se puede denotar al modelo estructural de la lignina.

Figura 6. Modelo estructural de la lignina



Fuente:²⁹

Pertenece a las tres principales partes de las paredes celulares de plantas y constituye del 10 al 40% de la masa seca de la biomasa lignocelulósica y se encarga de darle rigidez y aporta con el transporte de agua a las plantas.³²

Donde la lignina es un heteropolímero altamente complejo y ramificado que presenta estructuras tanto aromáticas como alifáticas. compuesto por tres principales monómeros fenilpropanoides (monolignoles): alcohol p-cumarílico (p-hidroxifenilo), coniferílico (guayacilo) y sinapílico.³¹

La lignina es un componente característico de las plantas y se lo considera como un polímero tridimensional de fenilpropano unido por enlaces carbono-carbono o enlaces peróxido.²⁵

La propiedad más importante de la lignina es su heterogeneidad, que no puede describirse simplemente como polietileno representado por $(CH_2 - CH_2)$.³²

1.3.3 *Propiedades físicas de los residuos lignocelulósicos de banano.* Las propiedades físicas de los residuos lignocelulósicos estarán determinadas, de acuerdo a su estructura y tamaño de partícula, el valor del módulo de Young es característico de cada material y es independiente de la forma y tamaño de la muestra empleada en su medición siendo un indicador de la resistencia que tiene un material sometido a un esfuerzo de tensión o compresión y se interpreta como la máxima fuerza que se puede aplicar al material sin romperlo.³³

1.3.3.1 *Densidad.* La densidad es una propiedad física que se define como la masa de una sustancia por unidad de volumen. El material lignocelulósico presenta un 16.28 % de fibras; 9.53% de densidad aparente; y un 30.1 % de celulosa, resultados que le confieren a este residuo, una aceptable condición de porosidad y muy buen porcentaje de celulosa, que favorece la compactación del material en el proceso de fabricación de aglomerados.³⁴

La digestibilidad del material lignocelulósico es función de su contenido de biomasa. Los materiales con alto contenido de lignina tienen baja digestibilidad y alto tiempo de retención hidráulica, mientras que aquellos ricos en azúcar tienen alta digestibilidad y bajo tiempo de retención hidráulica.³⁵

1.3.3.2 *Humedad.* En los residuos lignocelulósicos de banano, especialmente el pseudotallo, se refieren altos contenidos de agua, alrededor del 96%, lo cual hace que el tiempo de secado sea mayor, si se compara con otros órganos vegetales como las hojas o flores; la humedad recomendable no debe superar el 12% e incluso, en algunos casos, este porcentaje es suficiente para propiciar la actividad enzimática que provoca la descomposición de los residuos lignocelulósicos.³⁶

1.3.3.3 *Dimensiones.* Se utilizan técnicas de pretratamiento físico para lograr una reducción del tamaño de las partículas y una superficie mejorada de los desechos agrícolas. La reducción de tamaño garantiza una mayor accesibilidad a enzimas y microbios durante el procesamiento, una reducción de la cristalinidad de la celulosa, una mayor eficiencia de conversión y, en última instancia, un mejor rendimiento del producto.³⁵

1.3.4 *Propiedades mecánicas.* Los residuos lignocelulósicos de banano son considerados materiales duros y resistentes, lo cual los convierte en materia prima considerablemente buena, la resistencia mecánica de estos residuos viene determinada por su contenido químico de celulosa y lignina que les confieren estas propiedades de resistencia, en el ámbito mecánico, se ejerce fuerza mecánica para romper la estructura dura de la lignocelulosa y reducir el tamaño de las partículas, el contenido de lignina y el grado de polimerización.³⁵

1.3.5 *Residuos lignocelulósicos: materiales selectivos.* El uso de residuos lignocelulósicos para la obtención de nuevos materiales selectivos ha ido en aumento debido a su disponibilidad, bajo coste y renovabilidad. Actualmente se considera una materia prima sostenible para el futuro, ya que a partir de ellos se pueden generar combustibles líquidos, sustancias químicas y materiales de base biológica.³⁷

El aprovechamiento de residuos propone la utilización de materiales de desecho para la creación de nuevos productos sin afectar los cultivos destinados a la alimentación u otros servicios de primera necesidad.³⁸

La biomasa lignocelulósica es una de las fuentes de energía más abundante y representa aproximadamente el 70 % de la producción de energía renovable, es una alternativa al ser un material atractivo debido a su fácil adquisición y múltiples aplicaciones.³⁸

1.3.6 *Aplicaciones de los residuos lignocelulósicos.* La biomasa lignocelulósica tiene potencial para sustituir total o parcialmente los plásticos derivados del petróleo y otros materiales petroquímicos. Los biocompuestos a base de lignocelulosa se han empleado con éxito para diferentes propósitos, como tintas para fabricación aditiva, sustratos multifuncionales en remediación ambiental, aplicaciones médicas, producción más limpia, etc³⁹.

El uso de materias primas lignocelulósicas proporcionadas por los sectores agrícola y forestal tiene un gran potencial como alternativa a los recursos petroquímicos, de esta manera mitiga el cambio climático y promueve el desarrollo económico.³⁹

En el campo de la Química, los materiales lignocelulósicos son recursos renovables que pueden aprovecharse potencialmente para la síntesis de muchos productos bioquímicos valiosos para satisfacer la creciente demanda de productos químicos finos. Debido a su diversidad composicional, se pueden obtener más clases de bioproductos de las biorrefinerías lignocelulósicas que de las basadas en petróleo.⁴⁰

1.4 Proceso de aislamiento de materiales del raquis de banano

El material selectivo obtenido de los residuos lignocelulósicos de banano fue aislado de manera que su aplicabilidad sea la adecuada, es decir, bajo procesos que permitan su optimización para la recuperación de Yttrio en soluciones acuosas, siendo esto una parte fundamental para ejecutar la metodología a emplearse.

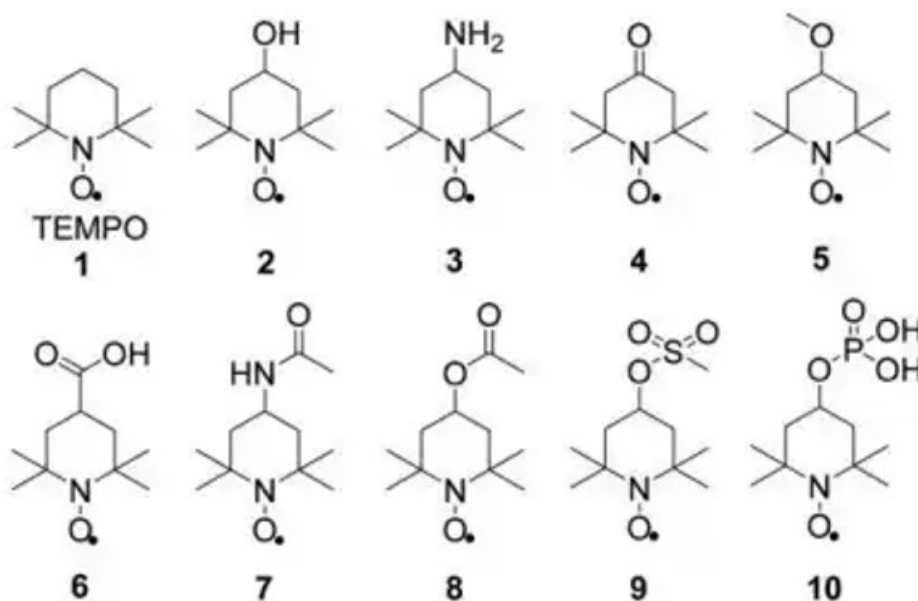
1.4.1 *Extraíbles de raquis de banano.* La biomasa es una fuente de energía que presenta gran heterogeneidad estructural anatómica y química, con baja densidad energética, alto contenido de humedad e higroscopicidad, es hidrófila y con bajo poder calorífico.⁴¹

La desvolatilización depende de la cantidad y ubicación de los extraíbles en la biomasa, estos compuestos se dividen en componentes orgánicos e inorgánicos (minerales). Los orgánicos son responsables de las características de la biomasa, como el color, olor, gusto, densidad, higroscopicidad e inflamabilidad.⁴¹

1.4.2 *Oxidación con Tempo*. El TEMPO se lo considera como un radical libre cuyo peso molecular es relativamente bajo, es utilizado como reactivo o catalizador en procesos a nivel de laboratorio e industrial, los nitroxidos cíclicos representados por TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidina-N-oxilo) y todos sus derivados son radicales muy estables y cuentan con un importante comportamiento redox.⁴²

En la figura 7 se puede observar la estructura química del tempo y de sus derivados

Figura 7. Estructura química del Tempo y sus derivados



Fuente:⁴²

La oxidación mediante el uso de TEMPO es un método reconocido durante los últimos años, el reactivo catalizador TEMPO y sus derivados son radicales solubles en agua estables y de fácil comercialización. En general la oxidación se da en el C6 de la unidad de D-glucosa donde se sustituye el grupo funcional -OH reemplazando por un grupo carboxilo COOH, la reacción se puede llevar a cabo a temperatura ambiente y un tiempo comprendido de 1 a 2 horas esta dependerá de la cantidad de grupos carboxilos contenidos en la materia orgánica.⁴³

El TEMPO ha estado presente como catalizador en la transformación de los grupos funcionales, formando enlaces C-C y C-N, en la química de polímeros el TEMPO permite la polimerización por metóxido en la síntesis de polímeros funciones cuyas estructuras son bien definidas y macromoleculares complejas, en el área de la medicina el TEMPO actúa como antioxidante y es utilizado como medio de transporte de fármacos, además TEMPO es usado en las imágenes por resonancia magnética así como en experimentos aplicados en sondas fluorescentes.⁴²

1.5 Adsorción

La adsorción es un fenómeno superficial ampliamente reconocido que también es un método para la separación en equilibrio, así como un proceso eficaz para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales.⁴⁴

La adsorción es el mecanismo por el cual una molécula o ion presente en una fase masiva líquida permanece sobre una superficie sólida. Aquí la molécula o ion es un adsorbato y el sólido utilizado para la adsorción se conoce como adsorbentes. Muy ocasionalmente se utilizan líquidos como adsorbentes. La adsorción es un fenómeno superficial en el que sólo concierne la superficie del adsorbente y el adsorbato no debe penetrar dentro de la estructura del adsorbente.⁴⁴

Procesos como la adsorción también se han aplicado ampliamente para la separación de tierras raras junto con metales pesados utilizando una variedad de medios acuosos, similares a Fenómenos de extracción con disolventes (extracción líquido-líquido). De estas metodologías, el proceso de adsorción tiene la ventaja de ser un proceso económico, fácil de operar, aplicable en un amplio rango de pH de la solución y eficiente para soluciones que contienen cantidades variables de concentración de iones metálicos.⁴⁵

1.5.1 Bioadsorbentes. Se conoce como bioadsorbentes a aquellos materiales adsorbentes que tienen origen a partir de materiales biológicos como microorganismos tanto vivos como muertos y sus componentes, agrícolas o naturales.⁴⁶

Muchos materiales bioadsorbentes derivados de desechos agrícolas se aplican en la eliminación de colorantes de aguas residuales, donde dichos materiales adsorbentes tienen muchas ventajas sobre otros materiales tradicionales, como su rentabilidad, eficiencia, biodegradabilidad y recursos renovables.⁴⁷

La obtención de bioadsorbentes a partir de residuos agroindustriales, mediante procesos simples, económicos y ambientalmente amigables son comparables con los aplicados actualmente a nivel comercial para la remoción de diferentes contaminantes y continúa siendo un desafío para los investigadores.⁴⁸

1.5.1.1 *Adsorción selectiva de Ytrio (Y) con residuos lignocelulósicos de banano.* La adsorción selectiva de *Ytrio* es un proceso fisicoquímico que resulta en la eliminación de sustancias de la solución por parte del material biológico. Por tanto, el proceso de adsorción selectiva implica una fase sólida (adsorbente) y una fase líquida (disolvente: normalmente agua) que contienen las especies disueltas o suspendidas que se van a sorber.⁴⁹

La adsorción es la tecnología más prometedora para separar metales y REE de la fase acuosa debido a la simplicidad del proceso y la posibilidad de utilizar adsorbentes naturales o biológicos, lo que resulta en procesos de bajo costo y sostenibles.⁵

1.5.2 *Estudios de adsorción.* La mayoría de los elementos de tierras raras están poco disponibles y presentan baja capacidad de adsorción (50 mg/g), lo que apunta a la necesidad de materiales adsorbentes sostenibles como los residuos lignocelulósicos.⁵

La adsorción es una operación unitaria en la que una o más partes de una fase fluida se transfiere a la superficie de una fase sólida; las partes de la fase fluida se denominan adsorbatos, mientras que la fase sólida se conoce como adsorbente, el término bioadsorbente se refiere a materiales adsorbentes provenientes de materiales biológicos como microorganismos vivos o muertos y sus componentes, algas, plantas y desechos industriales, agrícolas o naturales.⁵⁰

El uso de los estudios adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa por medio de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos. Se identifica además que factores como el pH de la solución, tamaño de partícula, temperatura y la concentración del metal influyen en el proceso.⁵¹

1.5.2.1 *Estudio de selectividad*. Definida por la interferencia de especies químicas que ayudan a la determinación de otras, posee una capacidad de determinación de diferentes analitos en mezclas sin interferencias algunas.⁵²

Muchos estudios se han centrado en la síntesis de adsorbentes funcionales para la eliminación o recuperación de metales pesados de las aguas residuales industriales, ya que son ecológicos, de bajo costo, de diseño simple y altamente eficientes.⁵²

1.5.2.2 *Fuerza iónica*. Este estudio conlleva a la representación de la concentración de electrolitos que afectan a la interfaz, es decir, la unión de los iones en el proceso de adsorción, también en la adición de partículas a la influencia en interacciones electrostáticas, esto puede llegar a causar efectos en el coeficiente de actividad de iones metálicos, lo cual provocaría una limitación a la transferencia de los mismos.⁵³

La fuerza iónica tiene efectos sobre la capacidad de eliminar metales pesados, diversos estudios han manifestado que la presencia de cloruros lleva a la formación de complejos cloruros con el metal pesado, los cuales son solubles y difícilmente afines a la adsorción, sin embargo, en múltiples indagaciones hay indicios que demuestran que si existe aumento de fuerza iónica se mejora la capacidad de adsorción, esto se debe al acomplejamiento de la superficie de adsorción del metal.⁵⁴

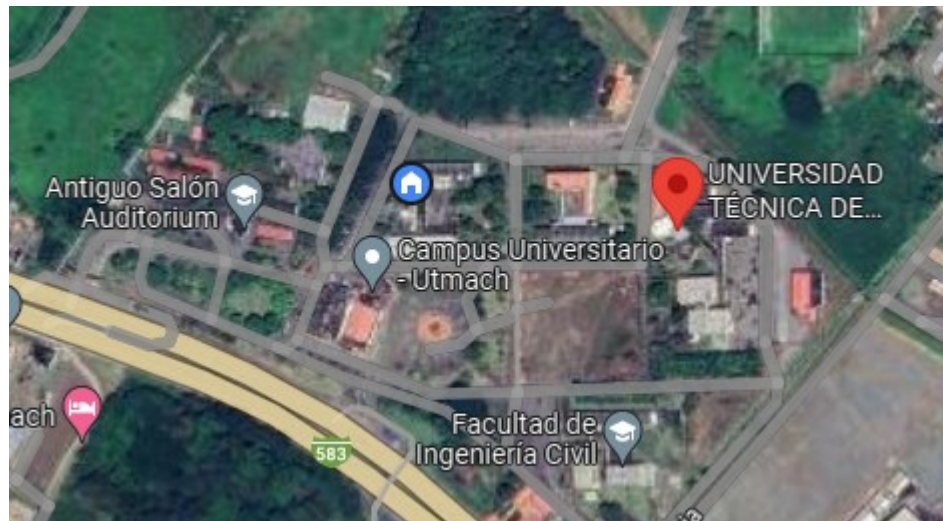
2. METODOLOGIA

2.1 Unidades de análisis

2.1.1 Tipo de investigación. El presente trabajo de investigación se llevó a cabo mediante estudios experimentales, analíticos y comparativos que permitan establecer resultados eficaces al proceso a realizar.

2.1.2 Ubicación de la investigación. Las pruebas de ensayo experimentales serán desarrolladas en el Laboratorio de Investigaciones ubicados en la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala y las materias primas lignocelulósicas serán recolectadas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la misma.

Figura 8. Ubicación geográfica de la toma de materia prima



Fuente: Google Maps

2.1.3 Variables de la investigación. En este apartado se colocaron las variables que intervinieron en el proceso de investigación para posteriormente llevar a cabo los estudios experimentales.

En la tabla 1, se detallan las variables dependientes e independientes que se llevaron a cabo en los estudios de adsorción.

TABLA 1. Variables dependientes e independientes de los estudios de adsorción

Variables	Selectividad	Fuerza iónica
Dependientes	Capacidad de adsorción Q (mg/g)	Capacidad de adsorción Q (mg/g)
Independientes	Concentración Y (mg/L) Concentración de calcio Ca (mg/L) Tiempo (h) Velocidad de agitación: 125 rpm Temperatura: 25 °C	Concentración Y (mg/L) Concentración de NaNO ₃ (M) Tiempo (h) Velocidad de agitación: 125 rpm Temperatura: 25 °C

Fuente: Autoría propia

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 *Materiales, equipos y reactivos.* En este apartado están presentes los diferentes materiales, equipos y reactivos de laboratorio que fueron necesarios para llevar a cabo la experimentación adecuada en base a los diferentes estudios de adsorción.

2.2.1.1 *Materiales de laboratorio.* Materiales necesarios para realizar un procedimiento adecuado con el fin de obtener resultados favorables, mantienen la seguridad y la eficiencia en los experimentos a realizar.

- Batas de laboratorio
- Mascarillas desechables
- Vasos de precipitación (25 ml; 50 ml; 250 ml; 600 ml; 1000 ml) Marca: Boeco
- Balones volumétricos (100 ml; 250 ml; 500 ml; 1000 ml) Marca: Brand
- Matraz Erlenmeyer (250 ml) Marca Kimax
- Pipetas graduadas; Marca: Brand, Marenfield
- Pipetas volumétricas; Marca: Brand, Marenfield
- Micropipetas; Marca Boeco
- Embudos de vidrio
- Varillas de agitación
- Papel aluminio
- Vidrios de reloj

- Gradillas
- Tubos falcon (50 ml)
- Papel filtro corrugado
- Pera de succión
- Pissetas
- Capsulas de porcelana
- Fundas zipper
- Barra de agitación

2.2.1.2 *Reactivos de laboratorio.* Se detallan los diferentes reactivos necesarios para que la metodología sea aplicada correctamente, adicional a ello están presentes la marca y pureza de los mismos.

- Agua destilada (Nova Laboratorios 99%)
- Óxido de Ytrio (Y_2O_3) (Thermo Scientific Chemical) 99%
- Nitrato de sodio ($NaNO_3$) Fisher-Ottokemi 98%
- Hidróxido de sodio (NaOH, 99%, Isolab Chemical)
- Tempo (radical 2,2,6,6- tetrametilpiperidina-1- oxilo) (Thermo Scientist Chemical)
- Bromuro de sodio (NaBr) (97% Thermo Scientist Chemical)
- Etanol industrial (96°)
- HNO_3 (Fisher Chemical USA, 68-70%)

2.2.1.3 *Equipos de laboratorio.* Listado específico de los equipos usados en las instalaciones del laboratorio para la validación de la metodología, se enlista los nombres de los equipos y sus respectivas marcas o modelos.

- Balanza analítica (Shimadzu Aux 200)
- Agitador magnético (Thermo Scientist)
- Agitador orbital (Infors HT CELLTRON)
- pH-metro (Ohaus Starter 5000)
- Campana de extracción de gases (Labconco)
- Molino de cuchillas
- Tamiz (125 μm) (Standard Test Sieve)
- Estufa de aire forzado (Mettler VN6400 4051785)
- Plancha de calentamiento (Cimatec SP131015)

- Espectrómetro de emisión atómica acoplado inductivamente (ICP-OES). Modelo: Optima 8000; Marca: Perkin Elmer

2.2.2 *Diseño metodológico.* Se ejecuta el plan guía para efectuar una investigación productiva que arroje resultados posteriores a su ejecución, se definen las obtenciones de los diversos, sus respectivos tratamientos y la obtención de nuevas muestras aplicables a los estudios de adsorción.

2.2.2.1 *Obtención de los materiales derivados del raquis de banano para la recuperación de Ytrio.* En este apartado se describirán los procesos que se llevaron a cabo para obtener los materiales diferentes (MIA y MIA-T) para el proceso de recuperación de Ytrio.

2.2.2.2 *Tratamiento preliminar de la muestra.* La muestra preliminar del residuo lignocelulósico de banano fue recolectada en los cultivos ubicados en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, posterior a ello fue cortado en fragmentos pequeños, para ser lavado con agua destilada y eliminar cualquier tipo de partículas adheridas, se coloca en bandejas cubiertas y este material será secado por un lapso de tiempo de 48 horas en una estufa de aire forzado, aproximadamente a 80°C. Tal como se muestra en el Anexo A.

2.2.2.3 *Pulverización del raquis de banano.* Una vez que el residuo lignocelulósico se ha secado por el lapso de tiempo adecuado y bajo el parámetro de temperatura establecido, se lleva a molienda y con ayuda de un tamiz se obtiene la clasificación de la granulometría necesaria, para muestra necesaria de 125 μm . Tal como se muestra en el Anexo B.

El material obtenido se conoce como raquis de banano, el cual luego de haberse llevado a cabo la molienda, se deberá almacenar en fundas zipper.

2.2.2.4 *Obtención de material insoluble en alcohol (MIA).* Para llevar a cabo el proceso de obtención del material insoluble en alcohol (MIA), se trabajó con 20 gramos de la materia prima obtenida (125 μm), los cuales fueron depositados en un vaso de precipitación junto a 400 ml de etanol al 96%, manteniendo una agitación constante de 125 RPM durante un lapso de tiempo de 24 horas. Tal como se denota en el Anexo C.

Pasadas las 24 horas se lleva a cabo un proceso de filtración, en la cual se evidencia la separación del sólido con el líquido, ya filtrado el material insoluble en alcohol se lo ubica en una estufa de aire forzado a una temperatura constante de 60°C durante 24 horas para su secado, posterior a la etapa de secado, el material se lo almacena en fundas zipper.

2.2.2.5 Obtención de material insoluble en alcohol (MIA) oxidado con TEMPO. El proceso de obtención del material insoluble oxidado con TEMPO, se llevó a cabo usando las siguientes cantidades de reactivos: 0.1 g de TEMPO, 0.5 g de Bromuro de sodio (NaBr)⁵⁵ y 5 g del material insoluble en alcohol ya obtenido (MIA). Las cantidades en mención se depositaron en un vaso de precipitación junto con 200 ml de agua destilada, regulando a un pH constante de 10 con el uso de una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 5 Molar.

Cabe recalcar que la solución de hidróxido de sodio deberá ser añadida gota a gota mientras los reactivos en conjunto con el agua destilada se encuentren en agitación constante, una vez regulado el pH se deberá mantener en agitación magnética por 6 horas para finalmente filtrar el material oxidado obtenido (MIA-T), se deben realizar 10 lavados al material cuando se lo esté filtrando. Finalmente se secó en el material en una estufa en el mismo lapso de tiempo de secado que el material (MIA), es decir, 24 horas y, posteriormente se almacenó en funda zipper. Tal como se muestra en el Anexo D.

2.2.3 Aplicación de los materiales MIA y MIA-T para la recuperación de Ytrio en soluciones acuosas. En este apartado se describen las aplicaciones de los materiales MIA y MIA-T en los estudios para la recuperación de *Ytrio* en soluciones acuosas.

2.2.3.1 Estudio de selectividad. El estudio de selectividad permitirá estudiar la afinidad de adsorción de *Ytrio* empleando los materiales MIA y MIA-T. Para desarrollar los estudios de selectividad se procedió a preparar una solución madre de 500 ml que contenga 1000 ppm de *Ytrio* a partir del trióxido de Ytrio (Y₂O₃) y 400 ppm Calcio a partir de nitrato de calcio tetrahidratado Ca (NO₃)₂.4H₂O, teniendo así una solución mixta de Y-Ca.

- Preparación de una solución de Ytrio de concentración 1000 ppm a partir de óxido de Ytrio (Y_2O_3).

Para poder preparar una solución concentrada de Ytrio 1000 ppm a partir de óxido de Ytrio, es necesario conocer la masa en gramos del mismo para poder preparar 100 ml de solución, se pesaron 0.508 g de óxido de Ytrio, previamente se debe colocar 100 ml de agua destilada a calentarse a una temperatura hasta 80 °C; una vez llegada esa temperatura se colocó el óxido de Ytrio poco a poco para su disolución mediante agitación constante, cabe recalcar que para obtener una disolución completa se agregó una alícuota de 4 ml de ácido nítrico concentrado al 70%.

Para conocer la masa en gramos del óxido de Ytrio a utilizarse, se hizo uso de la siguiente ecuación (ec.1):

Ecuación 1. Obtención de la masa en gramos

$$Conc * \frac{Pm}{z} * \frac{Vp}{Vt} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

Conc: Concentración a preparar (g.L-1)

Pm: Peso molecular del compuesto (g/mol)

z: Peso atómico del elemento (g)

Vp: Volumen a preparar (L)

Vt: Volumen total (L)

- Preparación de una solución de calcio de concentración 400 ppm a partir de nitrato de calcio tetrahidratado ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$).

Para preparar esta solución de calcio, fue necesario pesar 0.2356 g de ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), se llevó a un vaso de precipitación de 50 ml y se disolvió con agua destilada

Una vez preparadas las soluciones de Ytrio y calcio, fueron llevadas a un balón volumétrico de 500 ml y fueron aforadas con agua destilada de pH 5, ya que este pH es óptimo en el proceso.

Para conocer el peso del nitrato de calcio tetrahidratado fue necesario utilizar la siguiente ecuación (ec.1):

$$Conc * \frac{Pm}{z} * \frac{Vp}{Vt} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

Conc: Concentración a preparar (g.L-1)

Pm: Peso molecular del compuesto (g/mol)

z: Peso atómico del elemento (g)

Vp: Volumen a preparar (L)

Vt: Volumen total (L)

Los estudios se trabajaron por duplicado tanto para MIA, como para MIA-T. Se tomaron 0.025 g de los materiales MIA y MIA-T a partir de la relación 1g/L y, fueron depositadas en tubos falcon de 50 ml de capacidad, en los cuales se agregaron 25 ml de la solución mixta de Y-Ca. Todos los experimentos fueron realizados por duplicado.

En la tabla 2 se muestran las concentraciones de Ytrio y calcio con las respectivas alícuotas de agua destilada acondicionada para preparar 25 ml de solución.

TABLA 2. Concentraciones para diluciones de Ytrio y calcio.

Alícuotas					
	Y⁺³ (ppm)	Ca⁺² (ppm)	Solución madre mixta (ml)	Agua destilada (ml)	Solución total (ml)
C1	40	16	4	96	100
C2	80	32	8	92	100
C3	150	60	15	85	100
C4	200	80	20	80	100
C5	250	100	25	75	100
C6	300	120	30	70	100

Fuente: Elaboración propia

Se prepararon 100 ml de soluciones para cada concentración debido a que, al trabajar por duplicado, se le adicionan 25 ml de solución total obtenida a los dos tipos de muestras (MIA y MIA-T), es decir:

- **MIA trabajando con C1:** $25 * 2 = 50 \text{ ml de C1}$
- **MIA-T trabajando con C1:** $25 * 2 = 50 \text{ ml de C1}$

Concluyendo así que se debe preparar 100 ml de C1 para poder trabajar por duplicado a las diferentes muestras. El proceso se repite para cada concentración.

Posteriormente, se colocaron las muestras en un agitador electrónico a una velocidad de 160 rpm y durante 24 horas a temperatura ambiente.

Para concluir el estudio de selectividad, se filtró una alícuota de 10 mL, para posteriormente analizarlos en el ICP.

2.2.3.2 Estudio de fuerza iónica. Se detallan las preparaciones de soluciones de Ytrio y nitrato de sodio por separado para posterior a ello efectuar el estudio de fuerza iónica que consiste en someter al material a una mezcla binaria Ytrio -Sodio, usando alícuotas de las diferentes soluciones para definir su capacidad máxima de adsorción.

- *Preparación de una solución madre de nitrato de sodio 2.5 M.*

Para preparar 250 ml de una solución madre de nitrato de sodio a 2.5 M se pesaron 53.12 g de nitrato de sodio NaNO_3 , los cuales fueron depositados en un balón volumétrico y se aforo con agua destilada acondicionada de pH 5. De esta solución madre se tomaran alícuotas para que en conjunto con alícuotas de una solución de Ytrio 100 ppm, completen 25 ml totales.

Para conocer cuántos gramos de nitrato de sodio se pesaron, se siguió la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Molaridad.

$$M = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

M= molaridad ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

m= moles de soluto (mol)

V= Litros de la solución a preparar (L)

Entonces calculando se tiene:

$$m = M * V$$

$$m = (2.5 \text{ mol} * L^{-1}) * 0.250 L$$

$$m = 0.625 \text{ mol}$$

Como se necesita la respuesta en gramos, se multiplica el valor obtenido por el peso molecular del soluto, en este caso el nitrato de sodio:

$$g = 0.625 \text{ mol} * (84.99 \text{ g} * \text{mol}^{-1})$$

$$g = 53.12 \text{ g NaNO}_3$$

- *Solución de Ytrio 100 ppm.*

Se tomaron directamente alícuotas de 1.25 ml de una solución de Ytrio concentrada a 2000 ppm, siendo 1.25 ml la cantidad equivalente a obtener 100 ppm de Ytrio, se lleva a un volumen total de 25 ml en conjunto con la solución madre de nitrato de sodio 2.5 M.

Para conocer el volumen necesario a tomar de la solución de 2000 ppm se utilizó la siguiente ecuación (ec.3):

Ecuación 3. Cálculo de las concentraciones y volúmenes

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

C₁: Concentración inicial (ppm)

V₁: Volumen inicial (ml)

C₂: Concentración deseada (ppm)

V₂: Volumen a preparar (ml)

Entonces tenemos el siguiente despeje y el valor a encontrar:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ppm} * 25 \text{ ml}}{2000 \text{ ppm}} = 1.25 \text{ ml}$$

Posterior a estos procesos realizados, se trabajó por duplicado tanto para MIA como para MIA-T, se pesaron 0.025 g de cada materia prima y se trabajó en diferentes concentraciones de NaNO₃ bajo la misma concentración de Ytrio (100 ppm).

En la tabla 3 se muestran los volúmenes de solución binaria, junto con las concentraciones, y así mismo el agua destilada condicionada a pH 5 para la preparación de los 25 ml de los estudios a aplicarse.

TABLA 3. Alícuotas para las concentraciones nitrato de sodio y solución de Ytrio

NaNO ₃ (M)	Y ⁺³ (ppm)	Alícuotas			Solución total (ml)
		NaNO ₃ (ml)	Y ⁺³ (ml)	Agua destilada (ml)	
0	100	-	1,25	23,75	25
0,25	100	2.5	1,25	21,25	25
1	100	10	1,25	13,75	25
1,25	100	12.5	1,25	11,25	25
1,75	100	17.5	1,25	6,25	25
2	100	20	1,25	3,75	25

Fuente: Elaboración propia

Los calculos de las alícuotas se trabajaron bajo la siguiente ecuación (ec.3):

- Ejemplo para la obtención de la solución 0.25 M de NaNO₃ con la solución de Ytrio 100 ppm:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (Ec. 3)$$

$$V_1 = \frac{0.25 \text{ M} * 25 \text{ ml}}{2.5 \text{ M}} = 2.5 \text{ ml}$$

Es decir, una vez pesados los 0.025 g de materia prima (tanto de MIA como de MIA-T), se los coloca en un tubo falcon y adicional a esto se agregan los 2.5 ml de la solución madre de nitrato de sodio 2.5 M, la alícuota de los 1.25 ml de Ytrio (100 ppm) y se completa con agua destilada acondicionada (pH 5) para obtener los 25 ml de estudio de fuerza iónica.

Al trabajarse por duplicado significa que el proceso se hará dos veces por cada punto en MIA y MIA-T.

Posterior a lo antes mencionado los tubos falcon preparados para cada concentración de solución binaria Ytrio y calco deben someterse a agitación constante de 125 rpm en el agitador electrónico durante 24 horas. Después de ese tiempo, se filtró alícuotas de 10 ml, las cuales serán analizadas en el ICP para el respectivo análisis de datos.

2.3 Proceso y recolección de análisis de datos

Todos los experimentos realizados en los estudios de adsorción: selectividad y fuerza iónica fueron analizados y leídos en el espectrómetro de emisión atómica acoplado inductivamente (ICP-OES), donde su funcionalidad depende de tanques de Argón ultra puro comprimido para llevar a cabo el proceso y recolección de análisis de datos. Cabe recalcar que un tanque de argón ultra puro tiene una pureza de 99.99% y rinde para una lectura de aproximadamente 300 muestras. Tal como se muestra en el Anexo F.

Fue necesario hacer diluciones a las muestras llevadas al equipo por su capacidad máxima de lectura, se utilizó la micropipeta como herramienta fundamental en este proceso para no afectar el rendimiento del mismo. Tal como se muestra en el Anexo E.

Finalmente, los datos obtenidos por este equipo fueron procesados posteriormente haciendo uso del software de análisis de datos y generación de gráficos ingenieriles, Origin Pro 2024. Tal como se muestra en el Anexo G

Las gráficas obtenidas mediante el software arrojaran resultados, los cuales estarán sometidos a discusiones y comparaciones debido a la tenencia de dos materiales adsorbentes: MIA y MIA-T.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se llevarán a cabo los diferentes resultados obtenidos en la parte experimental y a su vez las respectivas discusiones de los mismos con el fin de aclarar las gráficas presentadas en este apartado.

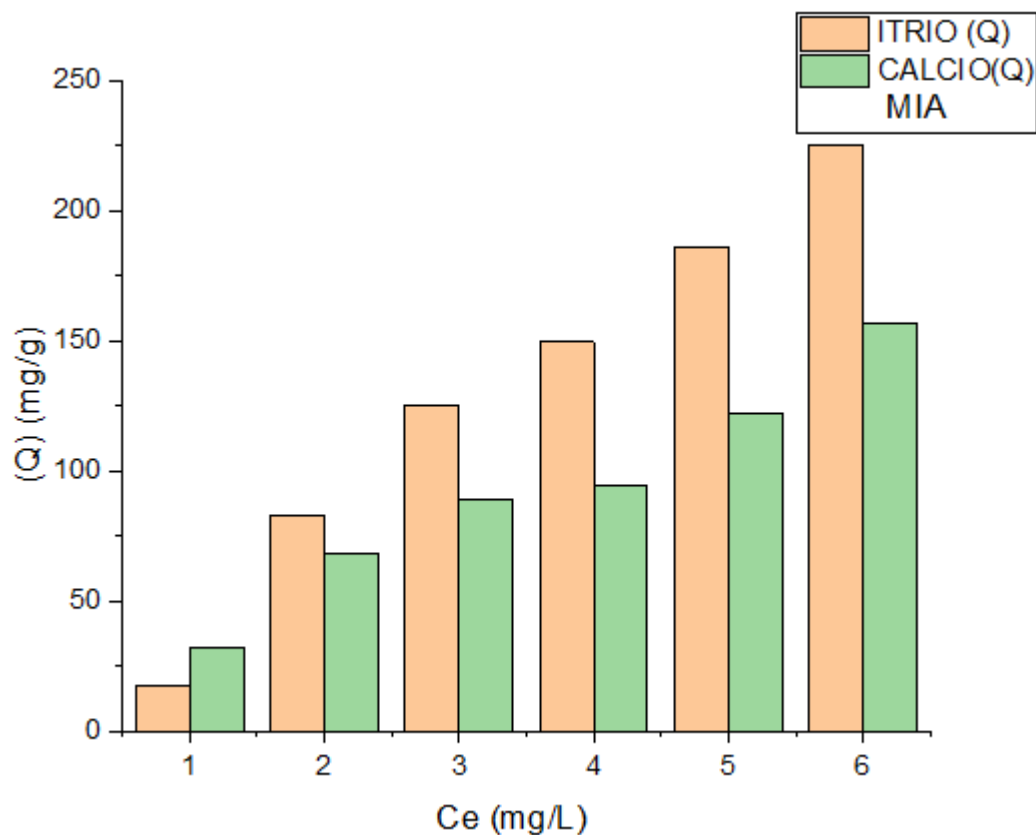
3.1 Estudio de selectividad.

En este apartado se detallarán los comportamientos que presentan los materiales adsorbentes MIA y MIA-T en lo referente a la adsorción selectiva de Ytrio.

3.1.1 *Estudio de selectividad para el material adsorbente MIA.* Mediante el presente estudio al cual fue sometido el material insoluble en alcohol (MIA) se pudo conocer la capacidad de adsorción que tuvo cuando entró en contacto con una solución de calcio, determinándose así que a medida que incrementa la concentración de Ytrio, aumenta también la concentración de calcio, es decir son directamente proporcionales.

En la figura 9 se puede denotar mediante un gráfico de barras, el comportamiento de los metales en función a la capacidad de adsorción máxima.

Figura 9. Capacidad de adsorción del MIA en selectividad



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para llevar a cabo este estudio fueron las siguientes: dosis en relación $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, volumen de 0.025 L, tiempo de 24 horas y agitación constante de 125 rpm a una temperatura de 25°C , con un pH 5.

Denotándose así en el primer experimento que la capacidad de adsorción del calcio es mayor a la del Ytrio, sin embargo, en los experimentos posterior la capacidad de adsorción del metal Ytrio es mayor a la del calcio.

En la tabla 4 se muestran las capacidades de adsorción que fueron graficadas en Origin.

TABLA 4. Capacidades de adsorción Y-Ca para cada experimento en MIA

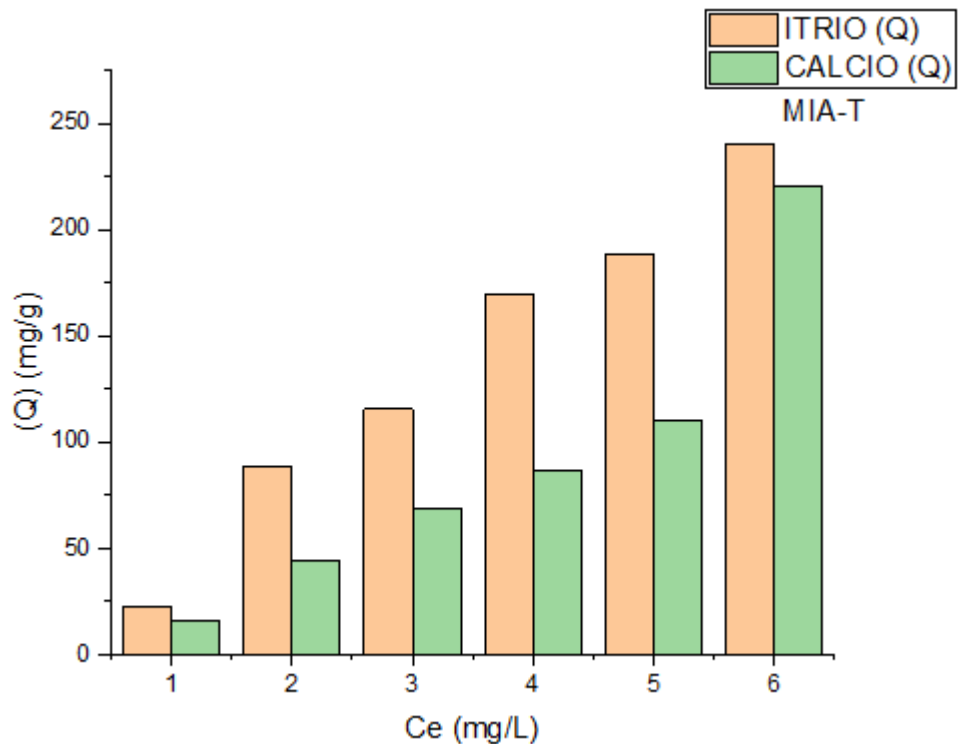
Experimentos N° Experimentos	Concentración inicial		Capacidad de adsorción	
	Ytrio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Ytrio (mg/g)	Calcio (mg/g)
C1	40	16	17,62	32,58
C2	80	32	83,2806324	68,1818182
C3	150	60	125,31746	89,2460317
C4	200	80	149,721116	94,3864542
C5	250	100	186,263889	122,037698
C6	300	120	225,23	157,0456

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 *Estudio de selectividad para el material adsorbente modificado (MIA-T).* Para el material oxidado con tiempo se trabajó con el mismo número de experimentos y las mismas concentraciones, determinándose así un comportamiento similar comparado con el material sin oxidar, es decir resulta también directamente proporcional el incremento de Ytrio y calcio en los diferentes puntos.

En la figura 10 se detallan gráficamente a los experimentos realizados con este material adsorbente y su comportamiento referente a los metales utilizados Y-Ca.

Figura 10. Capacidad de adsorción del MIA-T en selectividad



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para llevar a cabo este estudio fueron las siguientes: dosis en relación $1g \cdot L^{-1}$, volumen de 0.025 L, tiempo de 24 horas y agitación constante de 125 rpm a una temperatura de $25^{\circ}C$, con un pH 5.

Denotándose que, desde el primer experimento, la concentración de Ytrio es mayor a la de calcio y así mantiene su comportamiento ascendente.

En la tabla 5 se detallan las capacidades de adsorción tanto para Ytrio como para calcio que se obtuvieron para cada experimento.

TABLA 5. Capacidades de Adsorción Y-Ca en MIA-T

Experimento	Concentración inicial		Capacidad de adsorción		
	N° Experimento	Ytrio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Ytrio (mg/g)	Calcio (mg/g)
C1		40	16	22,0119	16,1627
C2		80	32	88,1873	44,3705
C3		150	60	115,4348	68,7568
C4		200	80	169,7223	86,2503
C5		250	100	188,1873	110,4901
C6		300	120	240,08	220,38

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados en comparativa con otras indagaciones que los materiales adsorbentes provenientes de residuos lignocelulósicos, son más afines a presentar niveles de adsorción mayores cuando están en oxidación con tiempo.

La pulpa Kraft proveniente de la madera se sometió a oxidación con TEMPO para la eliminación de cobre, obteniendo una mayor capacidad selectiva en presencia de otros cationes como sodio, potasio, magnesio, calcio, esta indagación menciona también que el intercambio iónico jugó un papel importante en el mecanismo de adsorción, mencionando que el material lignocelulósico adsorbente es afín hacia metales con un nivel elevado de electronegatividad.⁵⁶

En el ámbito de investigación se hace mención referente a los materiales adsorbentes, que se han centrado en la síntesis de adsorbentes funcionales para la eliminación o recuperación de metales pesados de las aguas residuales industriales, ya que son ecológicos, de bajo costo, de diseño simple y altamente eficientes⁵², destacando así la funcionalidad de los materiales adsorbentes MIA y MIA-T frente a la adsorción selectiva de Ytrio, considerando a este metal como material de interés.

Estudios realizados como la evaluación de la capacidad de adsorción de Mn^{2+} por biomasa residual de caña de azúcar, realizan una comparativa referente al análisis de adsorción, donde se menciona que para el tratamiento de aguas contaminadas y en específico para la remoción de metales pesados, actualmente se utilizan métodos como el intercambio iónico, la ósmosis inversa y la precipitación, la adsorción ha sido objeto de muchas investigaciones, las cuales han demostrado que este proceso permite disminuir las concentraciones de iones de metales pesados, no biodegradables.⁵⁷

En la siguiente investigación denominada adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales, se denotan a los adsorbentes no-convencionales como materiales alternos (biopolímeros o partes de plantas); los cuales no necesariamente deben recibir un tratamiento previo para activarse; sin embargo, su activación mejora su capacidad de adsorción⁵⁸, haciendo referencia a que una activación adecuada del adsorbente aumenta su capacidad de adsorción, para este punto los materiales MIA y MIA-T fueron activados adecuadamente para este estudio de adsorción.

Se puede establecer que, al modificar el material con TEMPO, este presentó una elevación en la capacidad de adsorción para Ytrio y calcio en la solución binaria, sin embargo, MIA-T no es selectivo, puesto que, al competir en la matriz binaria, también adsorbió calcio.

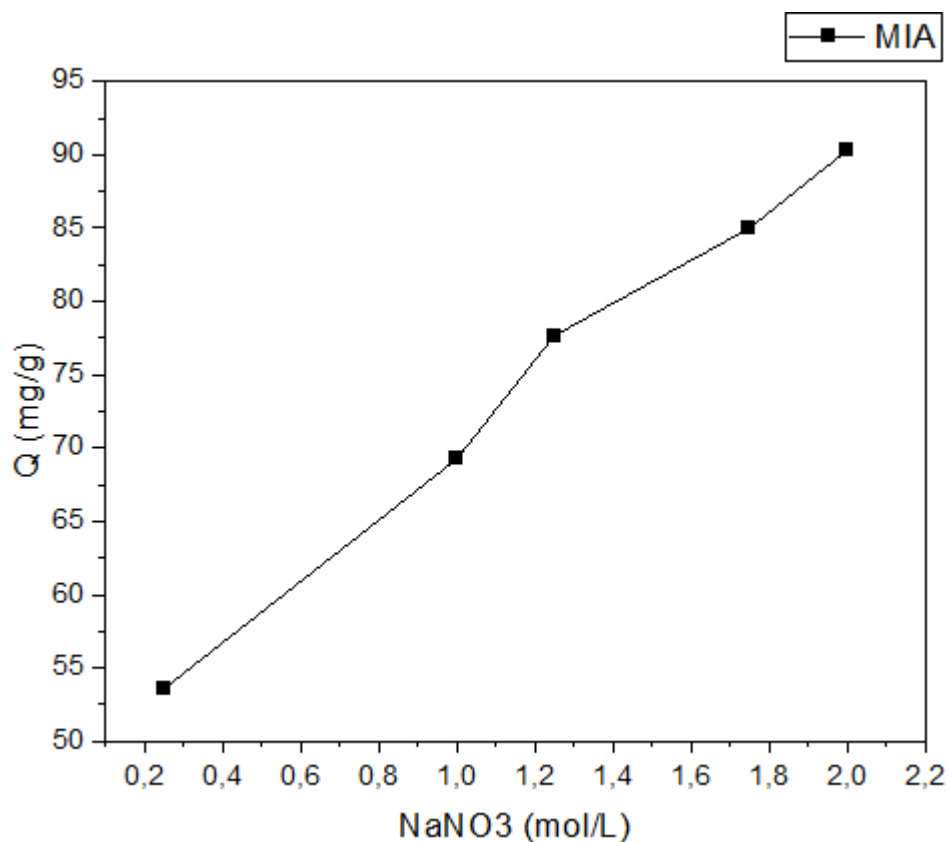
3.2 Estudio de fuerza iónica.

A través del estudio de fuerza iónica se pueden analizar los diversos comportamientos que presentan los iones en la solución utilizada para este estudio, aquí se lleva a cabo el proceso de adsorción selectiva del Ytrio, en el presente estudio se trabajó con dos materiales adsorbentes denominados MIA y MIA-T a diferentes concentraciones de una solución de nitrato de sodio, las cuales fueron: 0, 0.25, 1, 1.25, 1.75 y 2 M; estas concentraciones estuvieron en contacto con una solución concentrada de Ytrio de 109.06 mg. L⁻¹. Los resultados fueron arrojados al analizar las soluciones con el material adsorbente en el quipo ICP.

3.2.1 Estudio de fuerza iónica para el material insoluble en alcohol (MIA). Se trabajó con cinco experimentos que determinen la capacidad de adsorción del material MIA mediante fuerza iónica.

En la figura 11 se puede observar el comportamiento creciente que tiene el material insoluble adsorbente en alcohol (MIA).

Figura 11. Capacidad de adsorción máxima del MIA en contacto con *Ytrio* y nitrato de sodio.



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para llevar a cabo este estudio fueron las siguientes: dosis en relación $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, volumen de 0.025 L, tiempo de 24 horas y agitación constante de 125 rpm a una temperatura de 25°C , con un pH 5.

Se puede denotar que la capacidad de adsorción de este material aumenta considerablemente conforme aumenta la concentración de la solución de nitrato de sodio, esto se debe a que el material no se ve afectado por las altas concentraciones de los iones que produce el nitrato, lo que aumenta su capacidad de recuperar Ytrio.

En la tabla 6, se muestran los valores de capacidad de adsorción cuando el material se encuentra en contacto con una solución de nitrato de sodio a sus diferentes concentraciones molares.

TABLA 6. Capacidad de adsorción máxima MIA con NaNO₃

Experimento	Concentración inicial		Capacidad de adsorción
N° Experimento	Ytrio (mg/L)	NaNO3 (mol/L)	Q(mg/g)
C1	100	0,25	53.60343
C2	100	1	69,26667
C3	100	1,25	77,67526
C4	100	1,75	84,99667
C5	100	2	90,28439

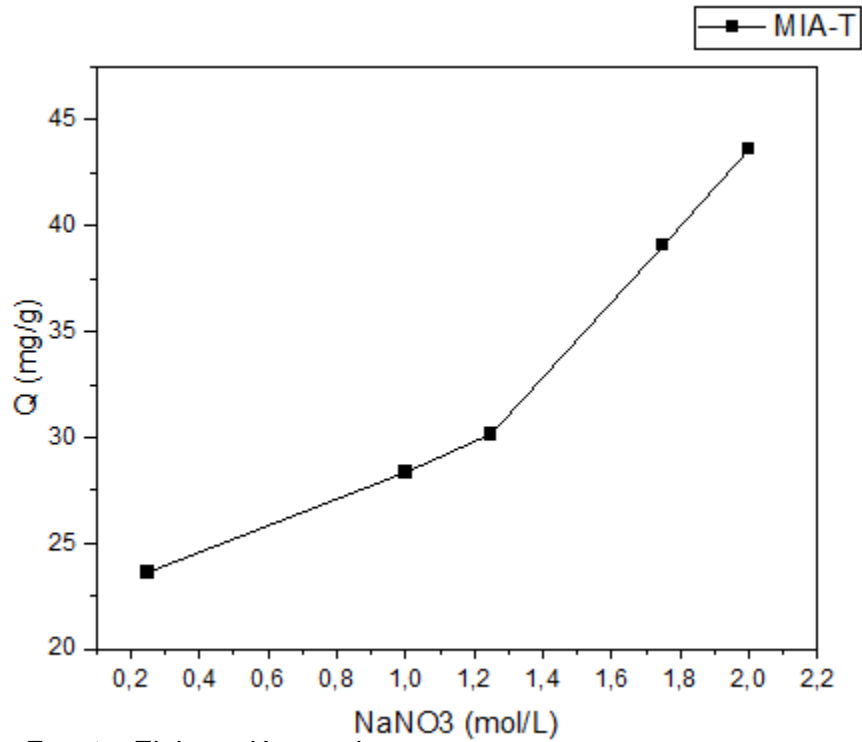
Fuente: Elaboración propia

Mostrando así valores ascendentes donde se denota que de una concentración de 0.25 M se tiene una capacidad de adsorción de 53.60 mg/g, mientras que cuando la concentración es 1M su capacidad de adsorción es 69.26 mg/g, es decir incrementa positivamente, llegando a tener una capacidad máxima de adsorción de 90.28 mg/g cuando la concentración es 2 M.

3.2.2 Estudio de fuerza iónica para el material insoluble en alcohol oxidado con TEMPO (MIA-T). Durante el desarrollo del presente estudio, se trabajó con cinco experimentos, con la finalidad de demostrar si existe algún cambio respecto al material sin oxidar, es decir si resulta mejor su aplicabilidad en este estudio.

En la figura 12 se puede denotar a la capacidad de adsorción máxima para el MIA-T cuando esta entra en contacto con una solución de NaNO₃.

Figura 12. Capacidad de adsorción máxima de MIA-T en una solución NaNO₃-Y



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para llevar a cabo este estudio fueron las siguientes: dosis en relación $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, volumen de 0.025 L, tiempo de 24 horas y agitación constante de 125 rpm a una temperatura de 25°C, con un pH 5.

En la tabla 7, se muestran los valores de capacidad de adsorción cuando el material oxidado con TEMPO se encuentra en contacto con una solución de nitrato de sodio a sus diferentes concentraciones molares.

TABLA 7. Capacidad de adsorción máxima MIA-T con NaNO₃

Experimento	Concentración inicial		Capacidad de adsorción
N° Experimento	Ytrio (mg/L)	NaNO₃ (mol/L)	Q(mg/g)
C1	100	0,25	23,63307
C2	100	1	28,35167
C3	100	1,25	30,16038
C4	100	1,75	39,05667
C5	100	2	43,61276

Fuente: Elaboración propia

Denotando con claridad una enorme diferencia en comparación al material MIA, los valores de la capacidad de adsorción disminuyen considerablemente cuando se utiliza material oxidado con TEMPO, es decir con MIA-T existe una menor capacidad de adsorción en este estudio de fuerza iónica, su nivel máximo de adsorción es de 43.61 mg/g y esto sucede cuando la concentración de la solución de nitrato es 2 Molar.

En comparativa con otras investigaciones se hace mención que la fuerza iónica tiene efectos sobre la capacidad de eliminar metales pesados, difícilmente afines a la adsorción, sin embargo, en múltiples indagaciones hay indicios que demuestran que si existe aumento de fuerza iónica se mejora la capacidad de adsorción, esto se debe al acomplejamiento de la superficie de adsorción del metal.⁵⁴

Según el estudio de modificación física y química de biomasa (citrus sinensi y musa paradisiaca) para la adsorción de metales en solución nos menciona que la utilización de material lignocelulósico para la adsorción de metales pesados en gran medida se basa en la funcionalidad especial de la superficie, en donde los mecanismos de eliminación pueden comprender el intercambio de iones, interacción y la coordinación de grupos funcionales.⁵⁹

Un estudio comparativo referente al efecto de la fuerza iónica en materiales leguminosos menciona que dentro de la estructura del material existen polisacáridos como celulosa, hemicelulosa, pectina, los cuales fueron sometidos a diferentes concentraciones de fuerza iónica (0, 0.1, 2.6 y 5.2 moles de iones Na/L de solución), donde utilizaron agua a pH 7 a 25°C por 24 horas, obteniendo resultados de variación debido al tiempo y la concentración de la fuerza iónica, donde la concentración de 0.1 mol Na fue la base para la obtención de un resultado favorable.⁶⁰

4. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo experimental se logró obtener satisfactoriamente un material insoluble en etanol (MIA) a partir de un residuo agrícola, el raquis de banano para la recuperación de Ytrio.
- Se realizó la modificación del material insoluble en etanol a través de una oxidación haciendo uso del reactivo TEMPO para la recuperación selectiva de Ytrio.
- Se aplicaron los materiales MIA y MIA-T en diversos procesos de adsorción que permitirán la recuperación de Ytrio, se aplicaron estudios de selectividad y fuerza iónica para ambos materiales.
- Se logró evaluar la eficiencia y el desempeño de los materiales selectivos en la recuperación de Ytrio de soluciones mediante estudios de adsorción selectiva, en estudios como la selectividad el material modificado fue quien menor capacidad de adsorción representó, a su vez el material sin modificar funciona mejor en los estudios de fuerza iónica y selectividad.
- De manera general los dos materiales funcionan como buenos adsorbentes selectivos, se tendrá que trabajar en estudios que favorezca esta característica y poder darles más funcionalidad.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar correctamente los materiales del área de laboratorio manteniendo la inocuidad en cada parte del proceso experimental cumpliendo todas las normas de seguridad.
- Tomar las muestras acordes a las indicaciones brindadas por el tutor del trabajo experimental sin contaminar la muestra ni los materiales de la misma.
- Caracterizar la muestra para mantener un mayor conocimiento de su funcionalidad en el campo práctico.
- Comparar los materiales adsorbentes con materiales comerciales estableciendo conceptos de eficiencia y desempeño de los mismos al ser comparados.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Favot, M.; Massarutto, A. Rare-Earth Elements in the Circular Economy: The Case of Yttrium. *J Environ Manage* **2019**, 240, 504–510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.002>
- (2) Zhang, F.; Wang, Z.; Wang, S.; Fang, H.; Chen, M.; Xu, D.; Tang, L.; Wang, D. Physicochemical Properties and Ecotoxicological Effects of Yttrium Oxide Nanoparticles in Aquatic Media: Role of Low Molecular Weight Natural Organic Acids. *Environmental Pollution* 2016, 212, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.054>
- (3) Mahmoud, M. E.; Mohamed, A. K. Removal of Yttrium (III) from Aqueous Solution Using Surface Metal Sequestration Methodology by 3-azo-phenolate Salicylic Acid. *J Mol Liq* **2019**, 274, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.065>
- (4) Bilal, M.; Wang, Z.; Cui, J.; Ferreira, L. F. R.; Bharagava, R. N.; Iqbal, H. M. N. Environmental Impact of Lignocellulosic Wastes and Their Effective Exploitation as Smart Carriers – A Drive towards Greener and Eco-Friendlier Biocatalytic Systems. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. June 20, **2020**. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137903>
- (5) Lapo, B.; Bou, J. J.; Hoyo, J.; Carrillo, M.; Peña, K.; Tzanov, T.; Sastre, A. M. A Potential Lignocellulosic Biomass Based on Banana Waste for Critical Rare Earths Recovery from Aqueous Solutions. *Environmental Pollution* **2020**, 264. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114409>
- (6) Zhang, W.; Noble, A.; Yang, X.; Honaker, R. A Comprehensive Review of Rare Earth Elements Recovery from Coal-Related Materials. *Minerals*. MDPI AG May 1, **2020**. <https://doi.org/10.3390/min10050451>
- (7) Mihajlovic, J.; Rinklebe, J. Rare Earth Elements in German Soils - A Review. *Chemosphere* **2018**, 205, 514–523. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.059>
- (8) Echeverri, F. L.; Parra, J. J. B. The Lanthanides: Neither Earths nor Rare. *Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat* **2019**, 43 (167), 291–296. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.917>

- (9) Calderón, C. E. Á.; Palacio, J. H. T. Geopolitics of Rare Earths: A Strategic Natural Resource for the Multidimensional Security of the State. *Revista Científica General Jose Maria Cordova* **2020**, 18 (30), 335–355. <https://doi.org/10.21830/19006586.587>
- (10) Lima, A. T.; Ottosen, L. Recovering Rare Earth Elements from Contaminated Soils: Critical Overview of Current Remediation Technologies. *Chemosphere*. Elsevier Ltd February 1, **2021**. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129163>
- (11) Yin, X.; Martineau, C.; Demers, I.; Basiliko, N.; Fenton, N. J. The Potential Environmental Risks Associated with the Development of Rare Earth Element Production in Canada. *Environmental Reviews* **2021**, 29 (3), 354–377. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0115>
- (12) Lyu, K.; Wang, X.; Wang, L.; Wang, G. Rare-Earth Element Yttrium Enhances the Tolerance of Curly-Leaf Pondweed (*Potamogeton Crispus*) to Acute Nickel Toxicity. *Environmental Pollution* **2019**, 248, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.120>
- (13) Tikkanen, A. Yttrium -- Britannica Online Encyclopedia. Science and Technology **2024**. <https://www.britannica.com/science/yttrium>
- (14) Sputter, T. Who Discovered Yttrium_ _ Metal History. **2019**. [http://www.sputtering-targets.net/blog/who-discovered-yttrium-metal-history/#:~:text=In%201843%2C%20a%20Swedish%20chemist,oxide%20\(rose%2Dcolored\)](http://www.sputtering-targets.net/blog/who-discovered-yttrium-metal-history/#:~:text=In%201843%2C%20a%20Swedish%20chemist,oxide%20(rose%2Dcolored))
- (15) Zhao, C. M.; Shi, X.; Xie, S. Q.; Liu, W. S.; He, E. K.; Tang, Y. T.; Qiu, R. L. Ecological Risk Assessment of Neodymium and Yttrium on Rare Earth Element Mine Sites in Ganzhou, China. *Bull Environ Contam Toxicol* **2019**, 103 (4), 565–570. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02690-2>
- (16) Gwenzi, W.; Mangori, L.; Danha, C.; Chaukura, N.; Dunjana, N.; Sanganyado, E. Sources, Behaviour, and Environmental and Human Health Risks of High-Technology Rare Earth Elements as Emerging Contaminants. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. September 15, **2018**, pp 299–313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.235>
- (17) Zhang, K.; Kleit, A. N.; Nieto, A. An Economics Strategy for Criticality – Application to Rare Earth Element Yttrium in New Lighting Technology and Its Sustainable

- Availability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd 2017, pp 899–915. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.127>
- (18) Duan, D.; Chen, D.; Huang, L.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Wang, Q.; Xiao, G.; Zhang, W.; Lei, H.; Ruan, R. Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass as Catalyst: A Review of the Applications in Fast Pyrolysis Process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Elsevier B.V. September 1, **2021**. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105246>
- (19) Antonio Velázquez-Herrera, L. Simulación dinámica del proceso de remoción de hemicelulosa y producción de xilosa a partir de residuos agroindustriales veracruzana [View](#) Project; **2020**. <https://www.researchgate.net/publication/348551093>
- (20) Cristhian Andrés Encalada-Sanmartin, I.; García-Hevia, S. Evaluación Técnico-Económica de Planta Procesadora de Pulpa de Banano En La Provincia El Oro, Ecuador; **2021**; Vol. 30. <https://eqrcode.co/a/ytJ0Fr>
- (21) Cândido, H. T.; Marzullo, Y. O. T.; Leonel, M. Green Banana Flour Technology: From Raw Material to Sensory Acceptance of Products Made with Green Banana Flour in the Brazilian Scenario. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **2023**, 66. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023210543>
- (22) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. Residuos agroindustriales generados en ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* **2019**, 17 (3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>
- (23) Bladimir, J.; Cabrera, Z.; Nicasio, J.; Guerrero, Q.; Miguel, R.; Batista, G. La Produccion de Banano En La Provincial de El Oro y Su Impacto En La Agrobiodiversidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* **2020**, 3 (3), 189–195. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/327>
- (24) Thi Thuy Van, N.; Gaspillo, P. asa; Thanh, H. G. T.; Nhi, N. H. T.; Long, H. N.; Tri, N.; Thi Truc Van, N.; Nguyen, T. T.; Ky Phuong Ha, H. Cellulose from the Banana Stem: Optimization of Extraction by Response Surface Methodology (RSM) and Charaterization. *Heliyon* **2022**, 8 (12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11845>

- (25) Oviedo Chávez, A.; Vinueza Galárraga, J. Estudio de Caracterización Físicoquímica de Residuos Lignocelulósicos y Sus Usos: Una Revisión. *infoAnalítica* **2020**, 134–148. <https://doi.org/10.26807/ia.vi.174>
- (26) Muñoz-Muñoz, D.; Pantoja-Matta, A. J.; Fernando Cuatin-Guarin, M. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales Como Biocombustibles y Biorrefinería; Julio-Diciembre, 2014; Vol. 12. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a02.pdf> (accessed 2024-03-07)
- (27) Pereira, N. R. L.; Anjos, F. E.; Magnago, R. F. Lignocellulosic Residues of Banana Cultivation: A Review of the Cellulose Extraction Chemical Processes. *Revista Virtual de Quimica. Sociedade Brasileira de Quimica* **2019**, pp 1165–1179. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190080>
- (28) Gañán, P.; Zuluaga, R.; Castro, C.; Restrepo-Osorio, A.; Cock, J. V.; Osorio, M.; Montoya, Ú.; Vélez, L.; Álvarez, C.; Correa, C.; Molina, C. Celulosa: Un Polímero de Siempre Con Mucho Futuro. *Revista colombiana de materiales* **2017**, 01–04. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/materiales/article/view/328779>
- (29) Rivas Siota, S. Valorización de hemicelulosas de biomasa vegetal international doctoral thesis biomass hemicellulose valorization; 2014. <https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/141/Valorizacion%20de%20hemicelulosas%20de%20biomasa%20vegetal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (30) Parth G, M.; Anirban, D.; Bharti, S. Isolation of Nanocellulose from Lignocellulosic Biomass: Synthesis, Characterization, Modification, and Potential Applications. *J Environ Chem Eng* **2021**, 9 (6), 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106606>
- (31) Maceda, A.; Soto-Hernández, M.; Peña-Valdivia, C. B.; Trejo, C.; Terrazas, T. Lignin: Composition, Synthesis and Evolution. *Madera y Bosques* **2021**, 27 (2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- (32) Chen, M.; Li, Y.; Liu, H.; Zhang, D.; Shi, Q. S.; Zhong, X. Q.; Guo, Y.; Xie, X. B. High Value Valorization of Lignin as Environmental Benign Antimicrobial. *Materials Today Bio. Elsevier B.V.* February 1, **2023**. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2022.100520>
- (33) Ciro Velásquez, H. J.; Mary, Montoya López, L.; De Jesús, L.; Cardona, M. Caracterización de Propiedades Mecánicas Del Banano (Cavendish Valery). *Rev.*

- Fac. Nac. Agron. Medellín 2005, 58 (2), 2975–2988.
<https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914237011.pdf>
- (34) Maldonado, L.; Manzano, P.; Cuesta, F.; Cedeño, Y.; Zevallos, N. Caracterización Físico-Químicas de Las Fibras Obtenidas Del Pseudotallo de La Planta de Banano (Musa Paradisiaca) Procedente Del Canto El Guabo de La Provincia de El Oro. Revista científica Yachana 2013, 2 (1), 10–17.
<https://doi.org/https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v2.n1.2013.190>
- (35) Awogbemi, O.; Kallon, D. V. Von. Pretreatment Techniques for Agricultural Waste. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering **2022**, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100229>
- (36) Murgueitio-Manzanares, E.; Campo-Fernandez, M.; Nirchio-Tursellino, M.; Cuesta-Rubio, O.; Tocto-Leon, J. Composición Química y Actividad Biológica Del Pseudotallo de Musa x Paradisiaca L (Banano); Milagro, **2019**.
<https://www.redalyc.org/journal/5826/582661248003/html/#:~:text=En>
- (37) Roa, K.; Oyarce, E.; Boulett, A.; ALSamman, M.; Oyarzún, D.; Pizarro, G. D. C.; Sánchez, J. Lignocellulose-Based Materials and Their Application in the Removal of Dyes from Water: A Review. Sustainable Materials and Technologies. Elsevier B.V. September 1, **2021**. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00320>
- (38) Luzardo Gorozabel, B. P.; Ruíz Reyes, E.; Pérez Parra, J. C. Transformación de Biomasa Lignocelulósica En Biocombustible de Segunda Generación: Estado Del Arte Del Pretratamiento. Revista Bases de la Ciencia **2023**, 7 (Especial), 3–22.
<https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4243>
- (39) Mujtaba, M.; Fernandes Fraceto, L.; Fazeli, M.; Mukherjee, S.; Savassa, S. M.; Araujo de Medeiros, G.; do Espírito Santo Pereira, A.; Mancini, S. D.; Lipponen, J.; Vilaplana, F. Lignocellulosic Biomass from Agricultural Waste to the Circular Economy: A Review with Focus on Biofuels, Biocomposites and Bioplastics. Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd May 20, **2023**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>
- (40) Bilal, M.; Asgher, M.; Iqbal, H. M. N.; Hu, H.; Zhang, X. Biotransformation of Lignocellulosic Materials into Value-Added Products—A Review. International Journal of Biological Macromolecules. Elsevier B.V. May 1, 2017, pp 447–458.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.133>

- (41) Bustamante, V.; Carrillo, A.; Prieto, J.; Corral-Rivas, J.; Ciro, J. Química de La Biomasa Vegetal y Su Efecto En El Rendimiento Durante La Torrefacción: Revisión. *Rev Mex Cienc For* **2016**, *7* (38), 5–24. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v7n38/2007-1132-remcf-7-38-00005-en.pdf>
- (42) Beejapur, H. A.; Zhang, Q.; Hu, K.; Zhu, L.; Wang, J.; Ye, Z. TEMPO in Chemical Transformations: From Homogeneous to Heterogeneous. *ACS Catalysis*. American Chemical Society April 5, **2019**, pp 2777–2830. <https://doi.org/10.1021/acscatal.8b05001>
- (43) Serra, A.; González, I.; Oliver-Ortega, H.; Tarrès, Q.; Delgado-Aguilar, M.; Mutjé, P. Reducing the Amount of Catalyst in TEMPO-Oxidized Cellulose Nanofibers: Effect on Properties and Cost. *Polymers (Basel)* 2017, *9* (11). <https://doi.org/10.3390/polym9110557>
- (44) Rathi, B. S.; Kumar, P. S. Application of Adsorption Process for Effective Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater. *Environmental Pollution* **2021**, 280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116995>
- (45) Jyothi, R. K.; Thenepalli, T.; Ahn, J. W.; Parhi, P. K.; Chung, K. W.; Lee, J. Y. Review of Rare Earth Elements Recovery from Secondary Resources for Clean Energy Technologies: Grand Opportunities to Create Wealth from Waste. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd September 10, **2020**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122048>
- (46) Varghese, R. T.; Cherian, R. M.; Antony, T.; Tharayil, A.; Das, H.; Kargarzadeh, H.; Chirayil, C. J.; Thomas, S. A Review on the Best Bioadsorbent Membrane-Nanocellulose for Effective Removal of Pollutants from Aqueous Solutions. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. Elsevier Ltd June 1, **2022**. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100209>
- (47) Salah Omer, A.; El Naeem, G. A.; Abd-Elhamid, A. I.; Farahat, O. O. M.; El-Bardan, A. A.; Soliman, H. M. A.; Nayl, A. A. Adsorption of Crystal Violet and Methylene Blue Dyes Using a Cellulose-Based Adsorbent from Sugercane Bagasse: Characterization, Kinetic and Isotherm Studies. *Journal of Materials Research and Technology* **2022**, *19*, 3241–3254. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.045>

- (48) Bedoya-Betancur, S. A.; Arriola-Villaseñor, E.; Valencia-Gonzalez, J. D.; Ortiz-Muñoz, D. A.; Barrera-Zapata, R.; Hernández-Maldonado, J. A.; Ardila-Arias, A. N. Adsorción de Metales Pesados Presentes En Aguas Residuales No Domésticas Usando Residuos Agroindustriales de Banano. *Revista ION* **2023**, 36 (2). <https://doi.org/10.18273/revion.v36n2-2023002>
- (49) Fomina, M.; Gadd, G. M. Biosorption: Current Perspectives on Concept, Definition and Application. *Bioresour Technol* 2014, 160, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- (50) Costa, T. B. da; Silva, M. G. C. da; Vieira, M. G. A. Recovery of Rare-Earth Metals from Aqueous Solutions by Bio/Adsorption Using Non-Conventional Materials: A Review with Recent Studies and Promising Approaches in Column Applications. *Journal of Rare Earths*. Chinese Society of Rare Earths April 1, **2020**, pp 339–355. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2019.06.001>
- (51) Tejada-Tovar, C.; Villabona-Ortiz, Á.; Garcés-Jaraba, L. Adsorption of Heavy Metals in Waste Water Using Biological Materials; Medellín, 2014; Vol. 18. www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992015000100010&script=sci_arttext.
- (52) Zhang, L.; Tang, S.; He, F.; Liu, Y.; Mao, W.; Guan, Y. Highly Efficient and Selective Capture of Heavy Metals by Poly (Acrylic Acid) Grafted Chitosan and Biochar Composite for Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Journal* **2019**, 378. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122215>
- (53) Tan, P.; Sun, J.; Hu, Y.; Fang, Z.; Bi, Q.; Chen, Y.; Cheng, J. Adsorption of Cu²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from Aqueous Single Metal Solutions on Graphene Oxide Membranes. *J Hazard Mater* 2015, 297, 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.068>
- (54) Joseph, L.; Jun, B. M.; Flora, J. R. V.; Park, C. M.; Yoon, Y. Removal of Heavy Metals from Water Sources in the Developing World Using Low-Cost Materials: A Review. *Chemosphere*. Elsevier Ltd August 1, **2019**, pp 142–159. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.198>
- (55) Salazar, L.; Cely, E. Nanofibras de Celulosa Oxidadas Con Tempo a Partir Del Raquis de Banano Para La Recuperacion Selectiva de Ytrio; 2023. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22319> (accessed 2024-03-09).

- (56) Li, M.; Messele, S. A.; Boluk, Y.; Gamal El-Din, M. Isolated Cellulose Nanofibers for Cu (II) and Zn (II) Removal: Performance and Mechanisms. *Carbohydr Polym* **2019**, 221, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.078>
- (57) Rodríguez, J.; Cascaret, D.; Ricardo, C.; La Rosa, K. Evaluación de La Capacidad de Adsorción de MN^{2+} Por Biomasa Residual de Caña de Azúcar; **2019**. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000200209&lng=es&tlng=es. (accessed 2024-03-11)
- (58) Valladares-Cisneros, M. G.; Valerio Cárdenas, C.; de la Cruz Burelo, P.; Melgoza Alemán, R. M. Adsorbentes No-Convencionales, Alternativas Sustentables Para El Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 2017, 16 (31), 55–73. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n31a3>
- (59) Tejada Benítez, L.; Tejada Tovar, C.; Marimón Bolívar, W.; Villabona Ortiz, Á. Estudio de Modificación Química y Física de Biomasa (*Citrus Sinensi* y *Musa Paradisiaca*) Para La Adsorción de Metales Pesados En Solución.; 2014. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321732142008> (accessed 2024-03-11)
- (60) Serna-Cock, L.; Pabón-Rodríguez, O. V.; Quintana-Moreno, J. D. Effects of the Ionic Force and Time of Soaking of Dry Legumes on Their Tecnofuncional Properties. *Information Technological* **2019**, 30 (2), 201–210. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200201>

ANEXOS

ANEXO A. Tratamiento preliminar de la muestra

Troceado y secado del material lignocelulósico de banano.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO B. Pulverización del raquis de banano

Granulometría obtenida de 125 μm , uso de tamiz



Fuente: Elaboración propia

Almacenamiento en fundas zipper



Fuente: Elaboración propia

ANEXO C. Obtención del material insoluble MIA.

Preparación del etanol para obtener MIA



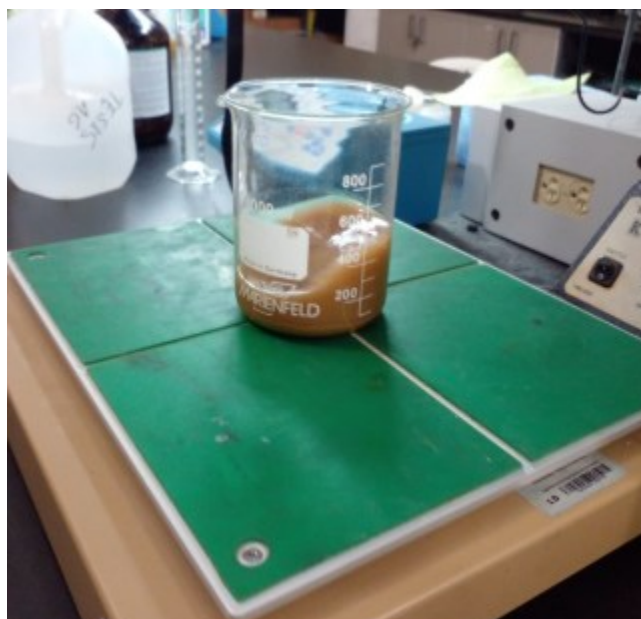
Fuente: Elaboración propia

Inmersión del material derivado de raquis en el etanol para obtener MIA



Fuente: Elaboración propia

Agitación orbital 125 rpm para obtener al MIA



Fuente: Elaboración propia

ANEXO D. Obtencion del material insoluble modificado con TEMPO.

Peso del bromuro de sodio para preparar al MIA



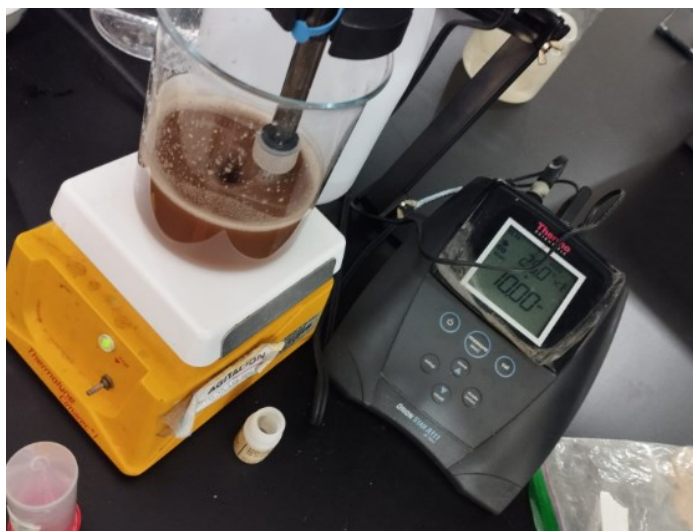
Fuente: Elaboración propia

Peso del TEMPO para oxidar al MIA



Fuente: Elaboración propia

Agitación magnética para oxidar al MIA con TEMPO (MIA-T)



Fuente: Elaboración propia

ANEXO E. Diluciones de las muestras de estudios para lectura de equipo.

Diluciones de las muestras para ser leídas en el equipo ICP.



Fuente: Elaboración propia

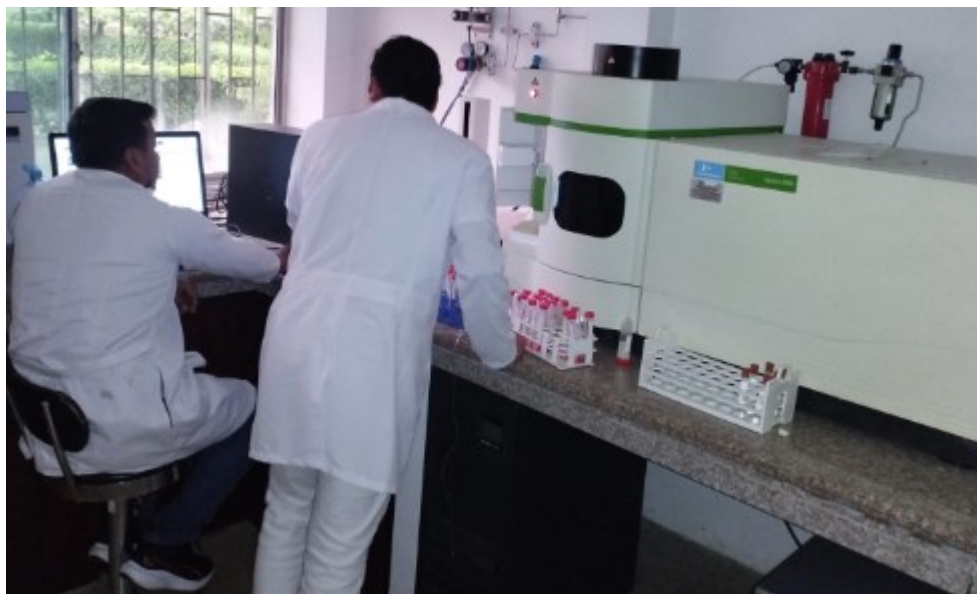
Preparación de la micropipeta para diluir muestras



Fuente: Elaboración propia

ANEXO F. Lectura en el espectrómetro de emisión atómica acoplado inductivamente.

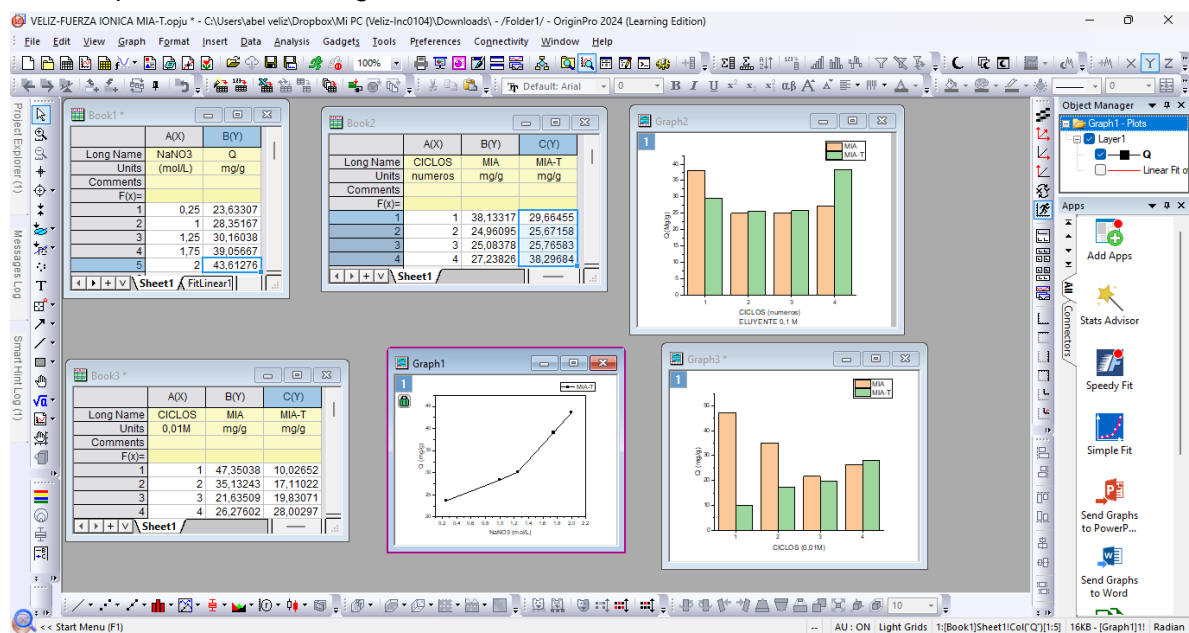
Lectura y análisis de datos en el equipo ICP-OES



Fuente: Elaboración propia

ANEXO G. Procesamiento de datos obtenidos en Origin Pro.

Datos procesados en Origin Pro



Fuente: Elaboración propia