

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Producción de Hidrocarbon de semilla de *Moringa Oleifera*
modificada con ácido cítrico para la adsorción de metales
pesados presentes en aguas del Rio Tumbes**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio
Ambiente

MORQUENCHO APOLO, SILVANA VALERIA

Autor

TUMBES – 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Producción de Hidrocarbon de semilla de Moringa Oleifera
modificada con ácido cítrico para la adsorción de metales
pesados presentes en aguas del Rio Tumbes**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Francisco Alburqueque Viera
Presidente

M Sc. Alduvar Nectali López Celi
Secretario

M Sc. José Antonio Silva Chávez
Vocal

TUMBES – 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Producción de Hidrocarbon de semilla de Moringa Oleifera
modificada con ácido cítrico para la adsorción de metales
pesados presentes en aguas del Rio Tumbes**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido
y forma:**

Bach. Morquencho Apolo, Silvana Valeria (Autora)

Dr. Cruz Cerro, Gerardo Juan Francisco (Asesor)

Mg. Rimaycuna Ramírez, John Henry (Co Asesor)

TUMBES – 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

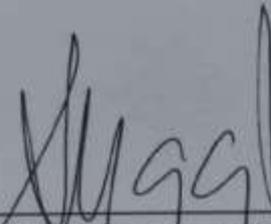
En Tumbes, a los veintisiete días del mes de abril del dos mil veintitrés, siendo las diecinueve horas, y en la modalidad virtual, a través de la plataforma Google meet, a través del siguiente enlace <https://meet.google.com/myt-xxes-own> se reunieron el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, ratificado por **Resolución N° 085-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D**, el Dr. FRANCISCO ALBURQUEQUE VIERA (presidente), M Sc. ALDUVAR NECTALI LOPEZ CELI (secretario) y M Sc. JOSE ANTONIO SILVA CHAVEZ (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al Dr. GERARDO JUAN FRANCISCO CRUZ CERRO como asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: "**Producción de hidrocarbon de semilla de moringa oleifera modificada con ácido cítrico para la adsorción de metales pesados presentes en aguas del Rio Tumbes**" para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por la : **Br. MORQUENCHO APOLO SILVANA VALERIA**. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la: **Br. MORQUENCHO APOLO SILVANA VALERIA** con calificativo de **BUENO** aprobado por **UNANIMIDAD**.

Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

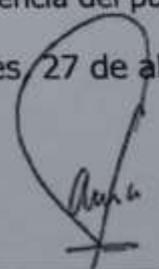
En consecuencia, queda **APTA** para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las veinte horas y siete minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, en forma virtual, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

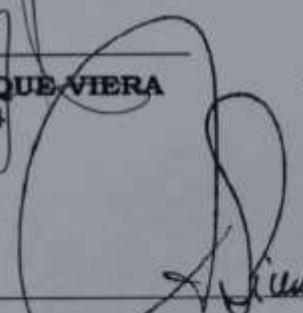
Tumbes, 27 de abril del 2023



Dr. FRANCISCO ALBURQUEQUE VIERA
DNI N° 03605124
Presidente



M Sc. ALDUVAR NECTALI LOPEZ CELI
DNI N° 32826529
Secretario



M Sc. JOSE ANTONIO SILVA CHAVEZ
DNI N° 41013171
Vocal

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	10 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	1 %
5	Zhang, K.j.. "Granular activated carbon (GAC) adsorption of two algal odorants, dimethyl trisulfide and @b-cyclocitral", Desalination, 20110131 Publicación	1 %
6	repositorio.untumbes.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1 %
7	Moreno Tovar Rosario. "Sí ntesis, modificació n y caracterizació n de cmk-3 para la adsorció n de pb2+, cd2+ y ch4", TESIUNAM, 2014 Publicación	<1 %



8	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
10	bpadjogja.info Fuente de Internet	<1 %
11	bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 Fuente de Internet	<1 %
12	Keke Wu, Xi Song, Siyuan Cui, Zhentao Li, Yanpeng Jiao, Changren Zhou. "Immobilization of bovine serum albumin via mussel-inspired polydopamine coating on electrospun polyethersulfone (PES) fiber mat for effective bilirubin adsorption", Applied Surface Science, 2018 Publicación	<1 %
13	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
16	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
17	ri.ues.edu.sv	

	Fuente de Internet	<1 %
18	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
19	scielo.sld.cu Fuente de Internet	<1 %
20	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Juan José Hinostroza-Mojarro, Mirza Mariela Ruiz Ramírez, Carolina Silva Carrillo, Rosa Maria Felix Navarro et al. "Síntesis de película delgada de microesferas abiertas de nanovarillas de TiO ₂ aplicado como sensor electroquímico de Hg ²⁺ ", REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS, 2020 Publicación	<1 %
22	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words



DEDICATORIA

Dedico con mucho amor este trabajo a mi madre Rumina, quien siempre me impulsó a ser mejor persona y no rendirme en este largo camino, así mismo a mis hermanos Edu, Luana y Farid; y a mis sobrinos Esteban y Bruno por ser fuente de inspiración a luchar por un futuro mejor.

A la familia Apolo por sus palabras de apoyo incondicional.

Por último a mi hija Rita, quien me acompañó en cada amanecida y estuvo siempre para mí, fiel en cada paso que doy.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, por darme salud y haberme permitido realizar la culminación de este gran proyecto en mi vida profesional.

A la Universidad Nacional de Tumbes, por ser la casa de estudios que me abrió sus puertas brindándome sus ambientes educativos como aulas y laboratorios, además de una enseñanza de calidad y la oportunidad de ser una profesional con ética útil para mi país.

Al Dr. Cruz Cerro Gerardo Juan Francisco y al M Sc. Rimaycuna Ramírez Jhon por su asesoramiento brindado antes, durante y después de la elaboración de este proyecto de investigación, gracias por sus conocimientos, apoyo profesional y moral, a la M Sc. Gonzaga Sernaque Angie por sus orientaciones durante algunos procesos del desarrollo investigativo.

A mis amigos y familiares por ser un hombro de descanso en mis días difíciles, y por sus palabras de apoyo que me han brindado.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	15
II.	REVISION DE LITERATURA.....	17
III.	MATERIALES Y METODOS	23
3.1.	Material, equipos y reactivos	23
3.2.	Procedimiento experimental	24
3.2.1.	Recolección de la materia prima.....	24
3.2.2.	Acondicionamiento de la materia prima	24
3.2.3.	Tratamiento hidrotermal.....	24
3.2.4.	Caracterización del hidrocarbon	25
3.2.5.	Recolección de muestras de agua.....	26
3.2.6.	Pruebas de adsorción en Batch	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1.	Puntos de recolección de agua	28
4.2.	Contenido de Humedad	29
4.3.	Contenido de Ceniza.....	30
4.4.	pH carga zero	31
4.5.	Espectrofotometría Infrarrojo (FTIR)	34
4.6.	Pruebas de Adsorción	36
4.6.1.	Adsorción de cadmio	36
4.6.2.	Adsorción de plomo	39
V.	CONCLUSIONES	43
VI.	RECOMENDACIONES	44
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	45
VIII.	ANEXOS	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales utilizados	23
Tabla 2: Equipos utilizados	23
Tabla 3: Reactivos utilizados.....	23
Tabla 4: Código y descripción de los hidrocarbones obtenidos	25
Tabla 5: Ecuaciones no lineales de modelos de cinética.....	27
Tabla 6: Parámetros obtenidos por la aplicación de diferentes modelos no lineales de cinética para la adsorción de cadmio	38
Tabla 7: Parámetros obtenidos por la aplicación de diferentes modelos no lineales de cinética para la adsorción de plomo	42

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Plano de la Red Hidrográfica de la cuenca del Rio Tumbes	18
Gráfica 2: Mapa de Puntos de Recolección del Agua de Rio Tumbes.....	28
<i>Gráfica 3: Contenido de Humedad de las muestras de hidrocarbon de moringa modificada con ácido cítrico mediante tratamiento hidrotermal</i>	<i>29</i>
<i>Gráfica 4: Contenido de ceniza de las muestras de hidrocarbon de moringa modificada con ácido cítrico mediante tratamiento hidrotermal</i>	<i>30</i>
Gráfica 5: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon testigo (sin modificación) siguiendo el método del pH drift	32
Gráfica 6: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M1 (12.5 g/L de ácido cítrico) siguiendo el método del pH drift	32
Gráfica 7 :Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M2 (25 g/L de ácido cítrico) siguiendo el método del pH drift	33
Gráfica 8: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M3 (50 g/L de ácido cítrico) siguiendo el metodo del pH drift	33
Gráfica 9: Espectro de los hidrocarbones testigo, M1, M2 y M3 obtenidos por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en la región 4000 – 400 cm ⁻¹	34
Gráfica 10: Adsorción de cadmio en mg/g con dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de acido citrico	37

Gráfica 11: Adsorción de cadmio en mg/g con dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico	37
Gráfica 12: Adsorción de plomo en mg/g con dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico	40
Gráfica 13: Adsorción de plomo en mg/g con dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico	41

RESUMEN

La semilla de moringa es una materia forestal poco aprovechada en el departamento de Tumbes y el resto del país a pesar de ser considerada como el árbol de la vida. Al respecto, en este trabajo de investigación se realizó la producción de hidrocarbon de *Moringa oleifera* modificada con ácido cítrico para evaluar su capacidad de adsorción de iones de Plomo (Pb^{+2}) y Cadmio (Cd^{+2}) presentes en aguas del Rio Tumbes utilizando este material. La semilla de moringa fue modificada mediante tratamiento hidrotermal a 200 °C por 4 horas con diferentes concentraciones de ácido cítrico, obteniéndose cuatro muestras finales de hidrocarbon Testigo (sin adición de ácido cítrico), M1 (concentración de 12.5 g/L de ácido cítrico), M2 (concentración de 25 g/L de ácido cítrico) y M3 (concentración de 50 g/L de ácido cítrico).

Las pruebas que se realizaron en este estudio fueron espectrofotometría FTIR, pH punto de carga cero, contenido de humedad, contenido de ceniza y el desarrollo de pruebas de adsorción en Batch con dosis de 3 y 5 g/L de hidrocarbon, obteniéndose isothermas de adsorción que fueron analizadas con modelos matemáticos no lineales de Pseudo primer y Pseudo segundo orden. Los resultados obtenidos del pH_{PZC} de los hidrocarbones de moringa obtenidos estuvieron en rango ácido para las cuatro muestras. Los espectros infrarrojos (FTIR) detectaron grupos funcionales pertenecientes a alquenos, esteres, anillos aromáticos, carbonilos y ácidos carboxílicos. Finalmente la capacidad de adsorción del hidrocarbon de moringa para Cadmio (II) y Plomo (II) se incrementó con la adición de ácido cítrico alcanzado valores de 0.145 mg/g para Cd (II) y de 0.126 mg/g para Pb (II) con la muestra M3 a una dosis de 3 g/L de hidrocarbon directamente colocado en aguas del Rio Tumbes. En conclusión, el ácido cítrico juega una papel fundamental en la eliminación de iones de plomo y cadmio.

Palabras claves: Hidrocarbon, ácido cítrico, hidrotermal, adsorción.

ABSTRACT

Moringa seed is a forest material that is little exploited in the department of Tumbes and the rest of the country despite being considered the tree of life. In this regard, in this research work, the production of hydrocarbon from *Moringa oleifera* modified with citric acid was carried out to evaluate its adsorption capacity of lead (Pb^{+2}) and cadmium (Cd^{+2}) ions present in the waters of the Tumbes River using this material. The moringa seed was modified by hydrothermal treatment at 200 °C for 4 hours with different concentrations of citric acid, obtaining four final samples of hydrocarbon Witness (without addition of citric acid), M1 (concentration of 12.5 g/L of citric acid), M2 (concentration of 25 g/L of citric acid) and M3 (concentration of 50 g/L of citric acid).

The tests performed in this study were FTIR spectrophotometry, pH zero loading point, moisture content, ash content and the development of Batch adsorption tests with doses of 3 and 5 g/L of hydrocarbon, obtaining adsorption isotherms that were analyzed with nonlinear mathematical models of Pseudo first and Pseudo second order. The results obtained for the pHPZC of the moringa hydrocarbons obtained were in the acidic range for all four samples. Infrared spectra (FTIR) detected functional groups belonging to alkenes, esters, aromatic rings, carbonyls and carboxylic acids. Finally, the adsorption capacity of moringa hydrocarbon for Cadmium (II) and Lead (II) increased with the addition of citric acid reaching values of 0.145 mg/g for Cd (II) and 0.126 mg/g for Pb (II) with sample M3 at a dose of 3 g/L of hydrocarbon directly placed in the waters of the Tumbes River. In conclusion, citric acid plays a fundamental role in the elimination of lead and cadmium ions.

Keywords: Hydrocarbon, citric acid, hydrothermal, adsorption.

I. INTRODUCCIÓN

La actual contaminación por metales pesados en recursos hídricos es una de las problemáticas más severas que comprometen la salud pública y la seguridad alimentaria a niveles globales y locales. Según la tabla periódica los metales pesados se consideran como elementos químicos de alto peso atómico, densidad y masa, siendo aún en concentraciones bajas tóxicos. Algunos de estos elementos son Cobre (Cu), Hierro (Fe), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros (Londoño et al., 2016)

Las actividades humanas como la minería son las causales principales de la presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos; generando daños en las plantas, humanos y animales que consumen estas aguas contaminadas. Marshall et al. (2020) indican que existen 87 centros procesadores de oro en la cuenca alta del río Puyango-Tumbes en Ecuador. En su mayoría estos centros bordean las márgenes de los afluentes principales del río Puyango: los ríos Amarillo, Calera, y Pindo. Yarlequé (2019) comprobó que las aguas de esta cuenca se encuentran contaminadas con metales pesados a niveles que exceden los ECA para bebida de animales y riego de vegetales.

La fuente principal de agua para consumo humano de la ciudad de Tumbes es captada del río Tumbes es así que la población queda expuesta a la eficiencia de los tratamientos del agua mientras que las comunidades asentadas en las márgenes del río captan y consumen el agua sin previos tratamientos. Actualmente se reportan altas concentraciones de metales pesados en la población de Rica Playa (García, 2020), afectando la salud generalmente en niños y adultos mayores; las principales enfermedades relacionadas al plomo que suelen padecer los pobladores son: dolores del corazón, gripes, enfermedades al riñón, dolores de huesos, dolores de estómago y presión arterial elevada (Gavilánez García & Puño Lecarnaque, 2017).

Ante esta problemática y con miras a lograr una disminución de la presencia de metales pesados en aguas del río Tumbes para conservar y proteger el ambiente surge la alternativa de usar la semilla de *Moringa oleifera* modificada como adsorbente.

El objetivo del presente trabajo investigativo, fue evaluar la capacidad de adsorción de metales pesados presentes en aguas del río Tumbes usando la semilla de *Moringa oleifera* modificada mediante el uso del tratamiento hidrotermal con soluciones acuosas de ácido cítrico.

Dada la eficacia de los resultados la importancia de la investigación en la parte económica radica en su aplicación en tratamientos de potabilización de agua que sean de bajo costo monetario para la eliminación de metales pesados mientras que su importancia social nace en mejorar la calidad de vida de las personas que consumen aguas del río Tumbes sin tratamientos efectivos para la eliminación de metales pesados, así mismo ayudará a mejorar la calidad de los alimentos (de origen animal y vegetal) que son abastecidos con aguas contaminadas de metales pesados en poblaciones aledañas a esta cuenca.

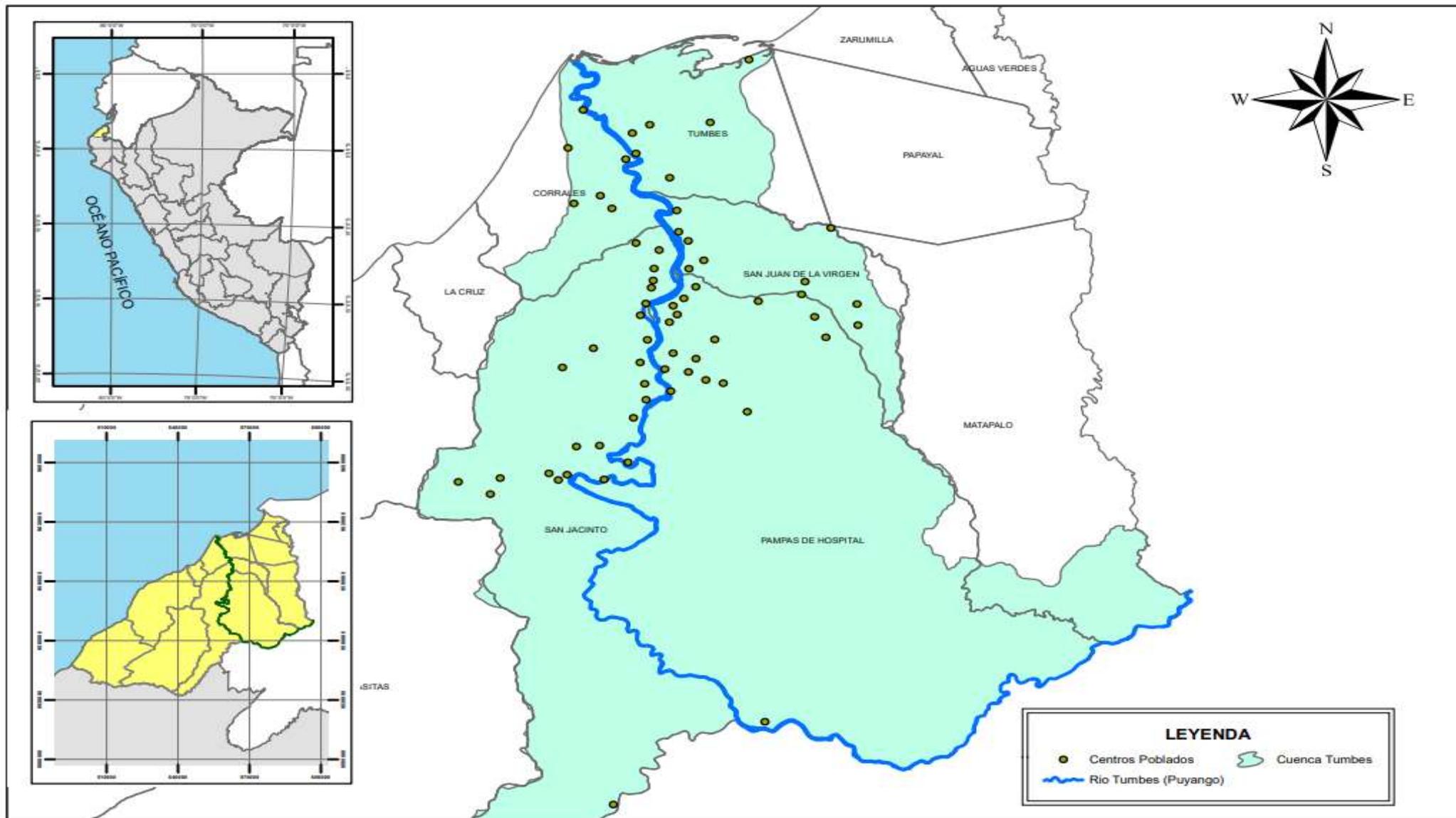
II. REVISION DE LITERATURA

El río Puyango -Tumbes presenta una superficie total de 4 850 km² de la cual solo 1 806 km² pertenecen a Perú. Nace en los páramos de Cerro Negro y Chilla, zona de Portovelo, donde recibe el nombre de río Pindo. Para que se forme el río Tumbes, primero el río Puyango recibe a la Quebrada Cazaderos. Los principales tributarios de la cuenca del río Puyango -Tumbes son los ríos Moro moro, Amarillo, Calero y Ambocas, sumándose también por la margen izquierda la quebrada Cazaderos.

Dentro del territorio peruano sus afluentes son las quebradas Angostura, Garzas, Guanábano, Las Peñas, Vaquería, Higuierón y más. Esta red hídrica presenta una longitud total de 230 km aproximadamente, con una pendiente promedio de 1.5 %. Por año el río Tumbes arrastra un promedio de 1.56 hm³, acumulándose mayoritariamente en los bancos presentes que forman las Islas de Manglares (Autoridad Nacional del Agua, 2022).

Se han reportado en estudios nuevos la presencia de metales pesados como mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr) en alimentos como peces, papa, brocoli, leche, carnes y mariscos como consecuencia de la bio acumulación y transporte de estos elementos desde el ambiente hasta fuentes hídricas (Reyes et al., 2016).

El sector industrial, tecnológico, agropecuario, minero y agrícola hacen uso de químicos altamente dañinos para el ambiente, los cuales incorporan muchas veces metales pesados a fuentes de agua que finalmente llegan a vegetales, animales, alimentos y seres humanos, desestabilizando la cadena trófica y poniendo el riesgo a la naturaleza y sociedad conjuntamente (Londoño et al., 2016).



	Universidad Nacional de Tumbes	REGION TUMBES	AUTORA: SILVANA VALERIA MORQUENCHO APOLO	ESCALA: 1/360 000
	TESIS: ADSORCION DE METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS DEL RIO TUMBES USANDO LA SEMILLA DE MORINGA OLEIFERA MODIFICADA	CUENCA TUMBES	PLANO: RED HIDROGRAFICA DE LA CUENCA DEL RIO TUMBES	FECHA: JULIO DE 2022
		RIO RIO TUMBES		

Gráfica 1: Plano de la Red Hidrográfica de la cuenca del Rio Tumbes
Elaboración propia

Los metales pesados como el plomo y cadmio son los principales contaminantes de la red hídrica del río Tumbes. El cadmio es metal que genera importante contaminación ambiental (Marruecos et al., 1993), cuando ingresa al organismo de los seres vivos suele concentrarse en el riñón e hígado, produciendo daños irreversibles aun en bajas concentraciones. Mientras que el plomo de símbolo Pb y color gris, presenta efectos negativos asociados a la salud de las personas como daños al sistema sanguíneo, anemia, cólico saturnino, daños al tejido cerebral, inhibición del calcio, muerte fetal, abortos y nacimientos prematuros, las fuentes de contaminación ambiental por este metal se dan por su uso en la explotación metalúrgica y minera (Azcona-Cruz & Ramírez Ayala, 2015).

Como medio descontaminante de estos metales en aguas del río Tumbes, se usó en esta investigación la semilla de moringa (*Moringa oleifera*) la cual es un árbol semi perennifolio de uso agroforestal, tamaño mediano, perteneciente a la familia Moringaceae. Esta planta puede soportar sequías y heladas suaves (Lakshmi Priya & Santhosh Kumar, 2016). La moringa es rica en vitamina A, proteínas, aminoácidos esenciales y flavonoides. Estudios indican que tiene funciones farmacológicas, antioxidantes, anticancerígenas, neuroprotectoras y reductoras de lípidos en la sangre (Xianjuan et al., 2018).

La moringa puede ser utilizada en el control de vectores de aguas estancadas. Se ha demostrado que extractos de sus semillas evitan la reproducción de larvas de *Aedes aegypti* (Coelho, J.S. et al., 2009). La semilla de moringa fue modificada con ácido cítrico el cual fue descubierto por Jabir Ibn Hayyan y está presente en cítricos como limón y lima, este ácido orgánico es cristalizado por primera vez en 1784 a partir del jugo de limón. Presenta acidez debido a sus tres grupos carboxilos y sus principales usos en la industria son como conservante y saborizante, también tiene presencia en industrias textiles, cosméticas, farmacéuticas, agrícolas, etc (Núñez, 2008).

El uso del tratamiento hidrotermal se ha convertido en una herramienta importante para el procesamiento de materiales avanzados, debido a sus diversas ventajas de elaboración de materiales nano estructurales de aplicación amplia. El término hidrotermal es nombrado por primera vez por el geólogo Roderick Murchison, donde describe la acción del agua a presión y temperatura elevada.

Petrović et al. (2016) afirma que la carbonización hidrotermal es una prometedora ruta para la producción de sorbentes de plomo eficientes en tratamientos de aguas.

Jahn (1988) demostró la efectividad del uso de semillas de moringa para la remoción de materiales en suspensión presentes en aguas turbias, comprobando así que la moringa también presenta otras propiedades como coagulante y bactericida útiles en la potabilización del agua.

Vera Cabezas et al. (2018) realizó un trabajo investigativo sobre ensayos de bioadsorción de Cd^{+2} y Pb^{+2} usando cascara de cacao. Los porcentajes de remoción del contaminante fue de 91 y 90% para ambos. El modelo de dosis – respuesta fue el que mejor curvas de ruptura reprodujo.

Investigaciones pasadas nos ampliaron la visión sobre las líneas investigativas a tomar en cuenta, así como datos y estadísticas que nos permitieron lograr un trabajo de investigación útil para nuestra sociedad, algunos de estos reportes son:

Petrović et al. (2016) produjeron hidrocarbón de orujo de uva con tratamiento hidrotermal para adsorber plomo de una solución acuosa. Para ello modificaron el hidrocarbón con KOH 2 M, realizaron experimentos por lotes para evaluar el efecto de la dosis de sorbente, tiempo de contacto y pH. Resultando que el KHO aumentó la capacidad de adsorción del plomo desde un 27.8 mg/g^1 hasta 137 mg/g^1 . La cinética de adsorción siguió un modelo de PSO.

Acebedo Quezada (2016) utilizó semilla de *Moringa oleifera* como material adsorbente para remover el plomo en aguas del río Mantaro en Junín. Tomó 27 muestras totales y obtuvo un 91 % de adsorción de plomo de las aguas a un pH de 2.5. Llegando a concluir que utilizar moringa es una herramienta económica y efectiva para remover plomo en aguas.

Urquia (2017) aportó con su investigación que la semilla de *Moringa oleifera* es más eficiente que la *Opuntia ficus* como coagulante natural para el tratamiento y descontaminación de aguas residuales que se depositan en el río Huaycoloro, para ello aplicó el test de jarras y obtuvo una diferencia de 30.9 % de remoción de turbidez y 28.5 % de sólidos disueltos en comparación de la moringa versus la *Opuntia ficus*, además de ser una alternativa que no contamina el ambiente.

Rivera (2017) tuvo como objetivo determinar el % de remoción de contaminantes en aguas residuales de lavado vehicular en el distrito de San Martín de Porres usando carbón activado de moringa para lograr cumplir la normativa peruana vigente. Logró determinar que la dosis óptima de polvo elaborado de semillas de moringa es de 140 mg/L ya que logró reducir un 98 % la turbidez, 99 % de grasas y aceites, 63 % de hidrocarburos y 97 % de sólidos suspendidos totales; logrando cumplir con los VMA para aguas residuales no domésticas descargadas a alcantarillado.

Hernández et al. (2017) desarrollaron su investigación en la ciudad de El Salvador, donde evaluaron que tan efectiva era la harina de semilla de moringa para la remoción de arsénico y plomo, concluyendo que para la remoción de arsénico hubo un 82.11 % de remoción y para el plomo un 99.90 %. Sin embargo, los niveles de arsénico seguían sin cumplir con los valores establecidos en la NSO 13.07.01:08.

Alfaro Fuentes & Negrete Mendoza (2017) demostraron en su proyecto investigativo propiedades reductoras de manganeso debido a la formación de MnO₂, dando entrada a futuras investigaciones sobre esta capacidad reductiva de la moringa.

Vargas et al. (2017) en su investigación para bachiller estudió la remoción de metales como cadmio, hierro y plomo pesados en agua usando aceite de semillas de *Moringa oleifera*, el parámetro de concentración de metales se midió usando espectrofotometría de adsorción atómica. Se logró una capacidad de remoción de cadmio del 95.6 %, 90.4 % de hierro y 97.0 % de plomo.

Gómez-Medina et al. (2018) utilizó semillas de moringa como bioabsorbente de cromo total en aguas residuales de tenerías en Guanajuato, evaluando las muestras en pH diferentes 3.0, 5.0 y 7.0, resultando que el cromo sedimentó totalmente a un valor de pH 7.0, además de disminuir la turbidez de las aguas.

Mogro Mantilla & Naranjo Pineda (2021) estudiaron la presencia de metales pesados como arsénico, mercurio y plomo en tallos, hojas y raíces de moringa ubicados en la ciudad de Calichana, provincia del Oro, Ecuador. Sus resultados obtenidos determinaron que los límites de fitotoxicidad permisibles estaban en concentraciones permitidas por la normativa ecuatoriana.

Vázquez Guerrero (2021) estudió la capacidad de adsorción de As (V), Cd (II) y Pb (II) de un nuevo adsorbente híbrido. El adsorbente era una combinación de nanofibras de celulosa (NCRI-M-7) y nanopartículas de hierro. Las nanofibras de celulosa (NCRI) fueron obtenidas a partir de *Moringa oleifera*. Se logró obtener una efectiva remoción de los metales antes mencionados, los cuales llegaron a su equilibrio de adsorción al minuto 420.

Arellano Flores & Rojas Valuis (2021), en su investigación utilizaron polvo de semilla de moringa como coagulante de plomo el cual excedía los estándares de calidad ambiental (ECA's) en aguas del Rio Santa, para lo cual sometieron el material a un caracterización química y posteriormente utilizaron un biofiltro, logrando concluir que el polvo de moringa es efectivo para la remoción de plomo hasta en un 96 %; además de disminuir los niveles de turbidez, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales.

III. MATERIALES Y METODOS

En el presente capítulo se describe el desarrollo de los métodos y técnicas aplicados durante el desarrollo del trabajo investigativo para la obtención de la materia prima de moringa modificada con ácido cítrico por el método hidrotermal, así mismo el proceso de pruebas en Batch.

3.1. Material, equipos y reactivos

En la siguiente tabla se presenta el registro de los materiales usados durante la experimentación.

Tabla 1: Materiales utilizados

Espátulas	Papel toalla	Envases de vidrio con tapa
Vasos de precipitado	Papel filtro (Whatman N° 41 – 125mm)	Botellas plásticas esterilizadas de 1L
	Bolsas Ziploc	Fiolas de 250 ml
	Galonera plástica transparente	Micropipeta de 10ml
Piseta	Tamiz 250 µm	Micropipeta de 100 µm – 1000 µm
Mortero	Tamiz 75 µm	Embudos
Probeta graduada	Placas petri	Jeringas
Papel aluminio	Matraz Erlenmeyer	Fibra de vidrio
		Tubos de plástico de 10 ml.

Tabla 2: Equipos utilizados

EQUIPOS	MARCA Y MODELO
Centrifuga	Orto alresa Unicen 21
Balanza analítica	Santoruis
Estufa	Memmert SNB 400
Espectrofotómetro	Analytik Jena – Shimadzu IR Tracer 100
Agitador magnético	Ingenieurbüro CAT M. Zipperer GmbH
Agitador múltiple	Multistirrer 15
Reactor de carbonización hidrotermal	-
Termómetro de sonda	DigiSense 20250-02
Molino manual para granos	-
pH metro	inoLab 7310
Horno mufla	Marconi 385

Tabla 3: Reactivos utilizados

REACTIVOS	FORMULA	MARCA	PUREZA
Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	Barrera Pacheco	-
Ácido nítrico	HNO ₃	Scharlau	65%
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	-	-
Nitrato de potasio	KNO ₃	EMSURE	-

3.2. Procedimiento experimental

3.2.1. Recolección de la materia prima

Las vainas donde se encuentra la semilla de *Moringa oleifera* fueron extraídas con ayuda de tijeras de poda de diferentes plantas (individuos de moringa) ubicadas en distintos puntos del distrito de Zorritos. Luego fueron limpiadas manualmente con ayuda de una franela para quitarle restos de polvo o algún contaminante visible, para un mayor control de limpieza fueron lavadas con abundante agua fría y puestas a secado al ambiente indirectamente a la radiación del sol. Las vainas una vez limpias fueron colocadas en bolsas plásticas y finalmente se transportaron al departamento de Análisis ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes.

3.2.2. Acondicionamiento de la materia prima

Las semillas fueron extraídas de las vainas de moringa manualmente, una vez extraídas se procedió a quitarles la cascara externa que las cubre seleccionando las que se hallaban en mejores condiciones quedando un total de 2.250 kg de semilla. Posteriormente éstas fueron colocadas en la estufa a 80°C por 96 hrs. Finalmente las semillas secas, fueron machacadas en un mortero y luego pasadas por un molino manual hasta obtener un polvillo fino el cual fue tamizado hasta obtener partículas de 250 µm, este material obtenido fue colocado en la estufa a 80°C por 48 hrs.

3.2.3. Tratamiento hidrotermal

Para la modificación se utilizó materia prima de *Moringa oleifera* a tamaño de <250 µm y como agente precursor una solución de ácido cítrico a concentraciones de 12.5; 25 y 50 g/L de agua destilada. En el Reactor de Tratamiento Hidrotermal para cada tratamiento se agregó 10 g de materia prima de moringa con 100 ml de solución cítrica preparada, por un periodo de 4 horas a 200°C de temperatura, con agitación constante de 1600 rpm y una presión asistida entre 5 y 12 bar, obteniendo así el hidrocarbon de moringa modificada.

Culminado el proceso se separa la parte sólida de la líquida con ayuda de una centrifuga por un lapso de 30 minutos a una velocidad de 4200 rpm. Posteriormente el material centrifugado se pasa por un tamiz de 75 µm, descartando la parte líquida y reservando el material sólido para ser colocado en placas petri. Finalmente las placas listas son llevadas a secado en estufa por 48 horas a 105°C.

Tabla 4: Código y descripción de los hidrocarbones obtenidos

Código	Ácido cítrico	Tratamiento hidrotermal
Testigo	0 g/L	4 horas
M1	12.5 g/L	4 horas
M2	25 g/L	4 horas
M3	50 g/L	4 horas

3.2.4. Caracterización del hidrocarbon

3.2.4.1. Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad del hidrocarbon modificado de moringa se tomó como referencias las normas ASTM D 2867 – 04, utilizando el método de prueba de secado al horno, para ello se pesó porciones de 1 g de cada una de las muestras de hidrocarbon de moringa modificado mediante tratamiento hidrotermal con ácido cítrico y se colocó en placas petri previamente pesadas. Seguidamente las muestras de hidrocarbon se colocaron en la estufa a una temperatura de 105°C por un periodo de tiempo de 24 horas, finalizado el proceso las placas con el material modificado fueron colocadas rápidamente de manera cuidadosa en el desecador para evitar que ganen humedad del ambiente. Finalmente una vez frías fueron pesadas en la balanza analítica, los pesos registrados fueron utilizados en la siguiente formula:

$$\text{Contenido de Humedad \%} = [(C-D) / (C-B)] * 100$$

Donde:

B: peso de la placa (g)

C: peso de la placa más la muestra original (g)

D: peso de la placa más la muestra seca (g)

3.2.4.2. Contenido de cenizas

Se realizaron pruebas de porcentaje de contenido de cenizas a los hidrocarbones mediante la norma ASTM D2867 – 04. Para ellos a los resultados obtenidos se les aplicó la siguiente formula:

$$\text{Contenido de ceniza \%} = [(C - D) / (C - B)] * 100$$

Donde:

B: peso del crisol (g)

C: peso del crisol más la muestra original (g)

D: peso del crisol más la muestra seca (g)

3.2.4.3. pH carga zero

El punto de carga cero fue medido utilizando el método de $\text{pH}_{\text{carga zero}}$ drift, para ello se preparó una solución de KNO_3 (0.01 M), que fue dividida en ocho matraz Erlenmeyers de 50 mL cada uno. El nivel de pH se ajustó a valores de 3 a 10 de pH usando soluciones de 0.1 M H_2SO_4 y/o NaOH, a cada matraz se le agregó 0.1 g de hidrocarbon obtenido y se colocó a agitación constante por 48 horas. Finalmente fue filtrado y el pH final medido. El $\text{pH}_{\text{carga zero}}$ se calculó de la intercepción de las curvas $\text{pH}_{\text{inicial}}$ vs pH_{final} .

3.2.4.4. Espectrofotometría Infrarrojo (FTIR)

Para determinar los grupos funcionales de la superficie del hidrocarbon de moringa modificado por tratamiento hidrotermal con ácido cítrico, se utilizó la técnica de espectrofotometría infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), usando un espectrofotómetro.

3.2.5. *Recolección de muestras de agua*

Las muestras de agua del Rio Tumbes fueron extraídas de tres puntos estratégicos guiándonos del último informe de Análisis de Agua realizado por la Autoridad Nacional del Agua – ANA, todos los puntos fueron georreferenciados.

Para la recolección del agua se utilizaron botellas de plástico transparente de 1L de capacidad; y se manejó con cuidado cada muestra haciendo uso de EPP's y bolsas Ziploc evitando alguna contaminación externa.

3.2.6. *Pruebas de adsorción en Batch*

Se realizaron pruebas de cinética de adsorción de cadmio y plomo, usando el modelo tipo Batch. Las muestras recolectadas del Rio Tumbes fueron filtradas con papel filtro Whatman N° 41 para disminuir la turbidez, luego fueron homogenizadas uniendo las tres muestras de agua en una galonera plástica esterilizada y finalmente se le agregó ácido nítrico para ser conservadas.

Previamente en un matraz Erlenmeyer se agregó 200 ml de agua de rio con dosis de 3 y 5 g/L de material adsorbente (hidrocarbon de moringa) y se colocó a agitación constante de 400 rpm durante 5 horas, se fueron extrayendo alícuotas de 10 ml con una micropipeta en los tiempos 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 minutos. Las muestras fueron filtradas utilizando papel filtro *Whatman* N° 41 y almacenadas en tubos de ensayo posteriormente para determinar la capacidad de

adsorción de plomo y cadmio del hidrocarbón de moringa modificada en el espectrofotómetro de adsorción atómica utilizando la técnica de Flama ContrAA 800, en un equipo *Analytik Jena*. Para el análisis los datos de esta prueba se aplicó modelos cinéticos, el Pseudo primer orden (PFO) y el Pseudo segundo orden (PSO).

Tabla 5: Ecuaciones no lineales de modelos de cinética

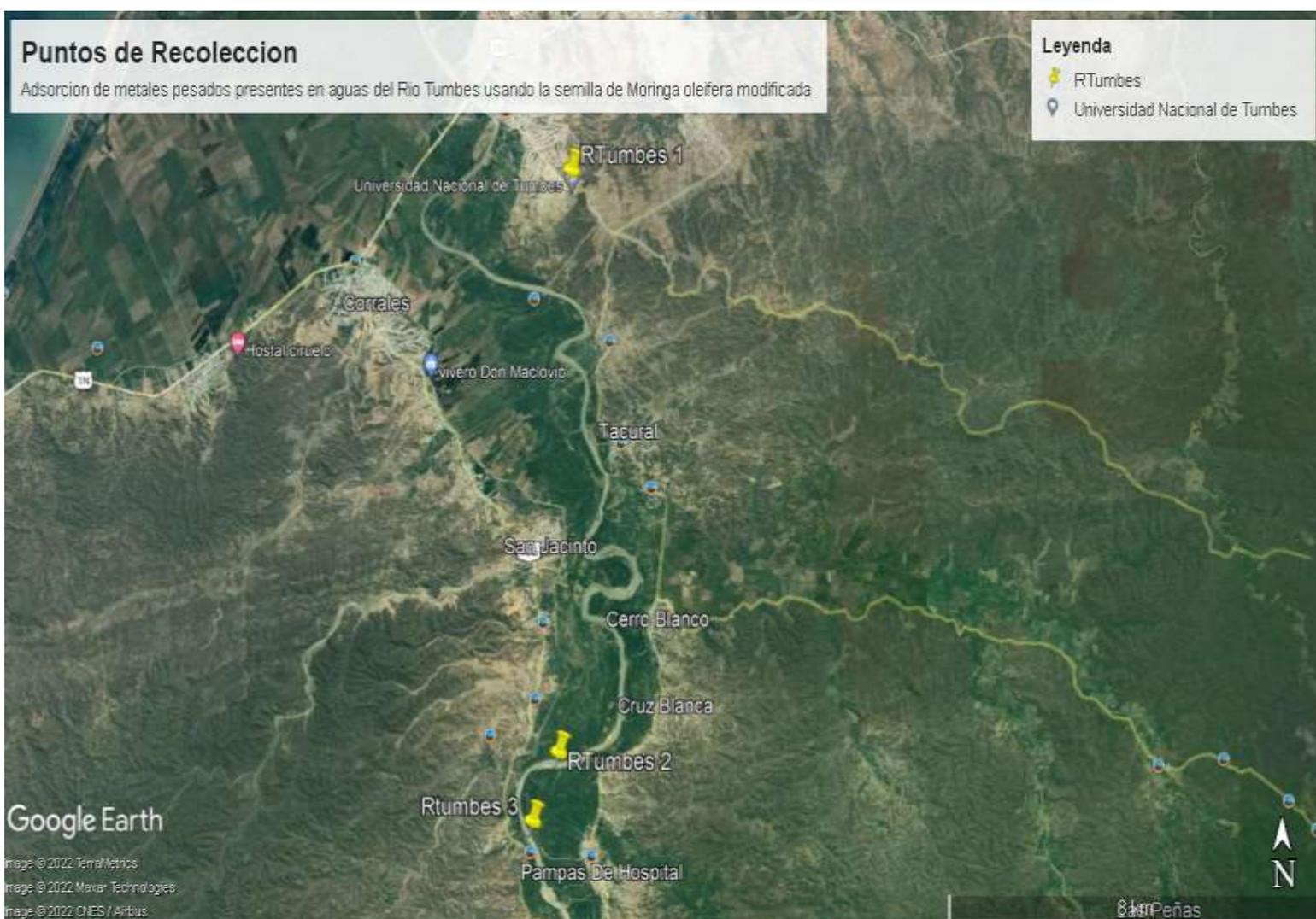
Modelo	Ecuación	Parámetros
Pseudo primer orden (PPO)	$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t})$	<p>q_t: Cantidad de adsorción de adsorbato para masa de adsorbente en cualquier tiempo t(min) (mg/g)</p> <p>q_e: Cantidad de adsorción de adsorbato por masa de adsorbente en el equilibrio (mg/g)</p> <p>k_1: Constante de velocidad de la ecuación de PFO (1/min)</p>
Pseudo segundo orden (PSO)	$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + k_2 q_e t}$	<p>k_2: Constante de velocidad de la ecuación PPO (g/mg*min)</p> <p>h: Tasa de adsorción inicial (mg/g*min), $h = k_2 q_e^2$</p>

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Puntos de recolección de agua

En la siguiente tabla se detallan los puntos donde fueron recolectadas las muestras de agua del Rio Tumbes, junto a sus coordenadas.

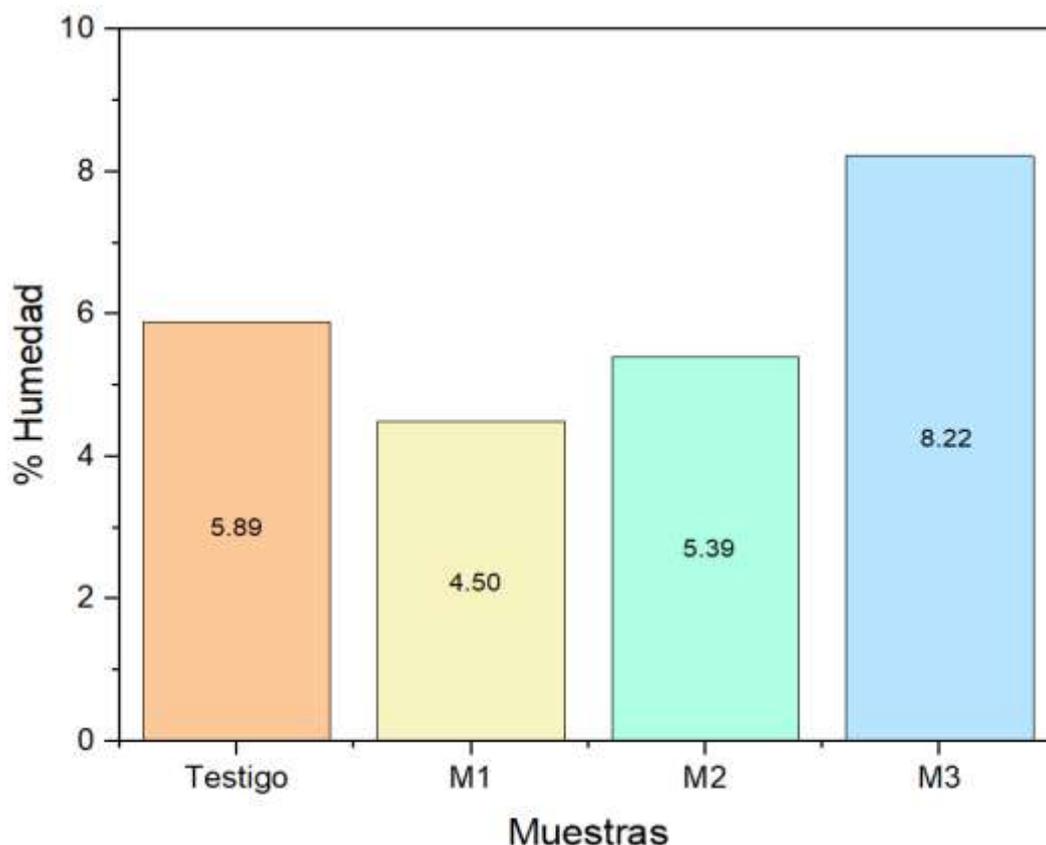
Puntos	Nombre del Lugar	Zona	Este	Norte
RTumbes 1	Canal Puerto del Cura	17 M	561894	9603608
RTumbes 2	Bocatoma La Peña	17 M	561546	9593369
RTumbes 3	Puente Francos	17 M	560975	9592159



Gráfica 2: Mapa de Puntos de Recolección del Agua de Río Tumbes

4.2. Contenido de Humedad

En la gráfica 4 se detallan los resultados obtenidos del contenido de humedad de los hidrocarbones de moringa modificada con ácido cítrico en concentraciones de 0, 12.5, 25 y 50 g/L con tratamiento hidrotermal de 4 horas.

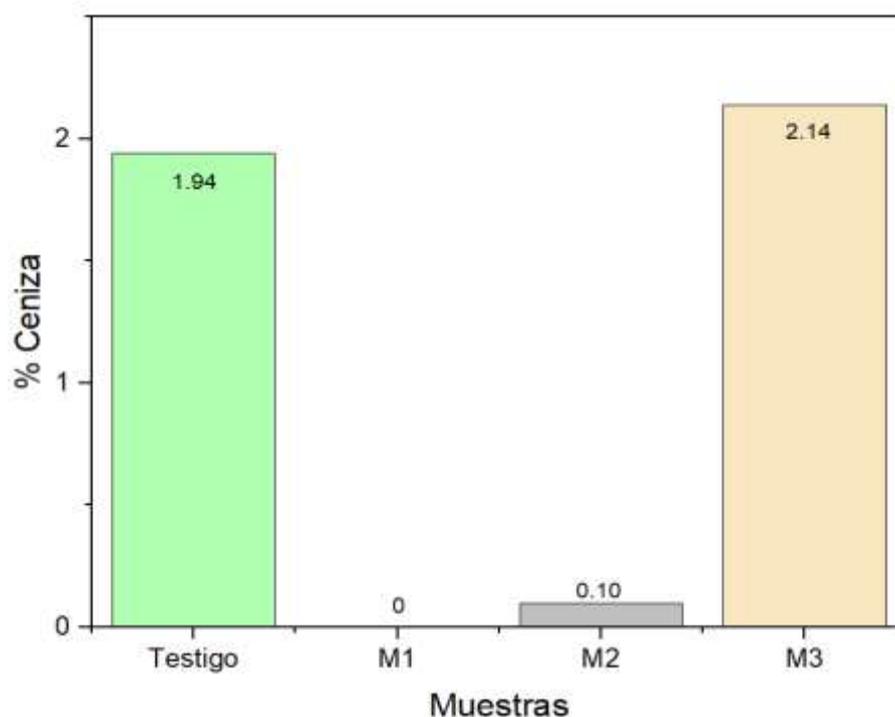


Gráfica 3: Contenido de Humedad de las muestras de hidrocarbon de moringa modificada con ácido cítrico mediante tratamiento hidrotermal

Se puede observar que la muestra M3 perteneciente al hidrocarbon de moringa modificada con 50 g/L de ácido cítrico obtuvo un contenido de humedad de 8.22 % siendo el más alto en relación a las otras muestras, la muestra M2 perteneciente al hidrocarbon de moringa modificada con 25 g/L de ácido cítrico obtuvo un contenido de humedad de 5.39 %. Mientras que la muestra M1 perteneciente al hidrocarbon de moringa modificada al 12.5 g/L con ácido cítrico obtuvo un contenido de humedad del 4.50 % siendo el más bajo en comparación de las cuatro muestras trabajadas. La muestra testigo que no fue modificada con ácido cítrico obtuvo un contenido de humedad del 5.89% ajustándose a los datos obtenidos por Lago-Abascal et al., (2022). Los resultados de la muestras testigo y M3 demuestran que el ácido cítrico influye en el contenido de humedad del hidrocarbon obtenido; y que a mayor contenido de ácido cítrico se obtiene mayor contenido de humedad.

4.3. Contenido de Ceniza

El contenido de ceniza de los hidrocarburos de moringa modificada mediante tratamiento hidrotermal con ácido cítrico en concentraciones de 12.5, 25 y 50 g/L se detallan en la gráfica 5.



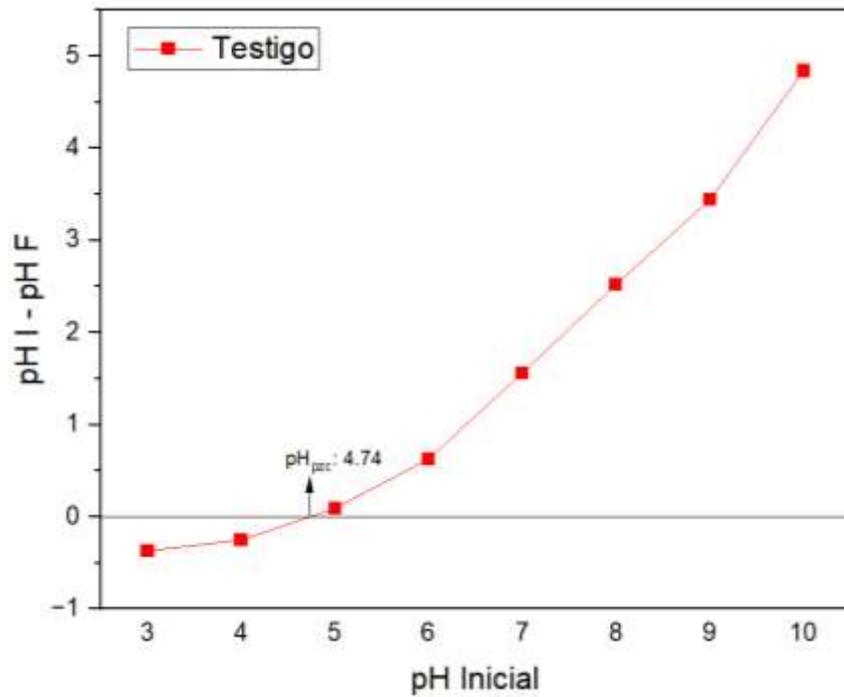
Gráfica 4: Contenido de ceniza de las muestras de hidrocarbón de moringa modificada con ácido cítrico mediante tratamiento hidrotermal

Karim et al., (2015) menciona que el contenido de ceniza está relacionado a los residuos de combustión y concentraciones de minerales de la materia orgánica. La muestra testigo resultó con un contenido de ceniza de 1.94 % siendo inferior al resultado obtenido por Zumalacárregui et al. (2021) las cuales obtuvieron un valor de 4.52%; estas diferencias pueden deberse a variados elementos químicos presentes en las cenizas que influyen en el comportamiento del punto de fusión. La muestra M1 obtuvo un resultado del 0% respecto al contenido de ceniza, la muestra M2 perteneciente al hidrocarbón de moringa modificada con 25 g/L de ácido cítrico obtuvo un valor del 0.10 % de contenido de ceniza, finalmente la muestra M3 perteneciente al hidrocarbón de moringa modificada con 50 g/L de ácido cítrico resultó tener 2.14 % de contenido de ceniza. Los resultados obtenidos demuestran que el ácido cítrico influye en el contenido de ceniza de las muestras de hidrocarbón de moringa modificada. Concluyendo que a una mayor concentración de ácido cítrico es mayor el porcentaje de contenido de ceniza.

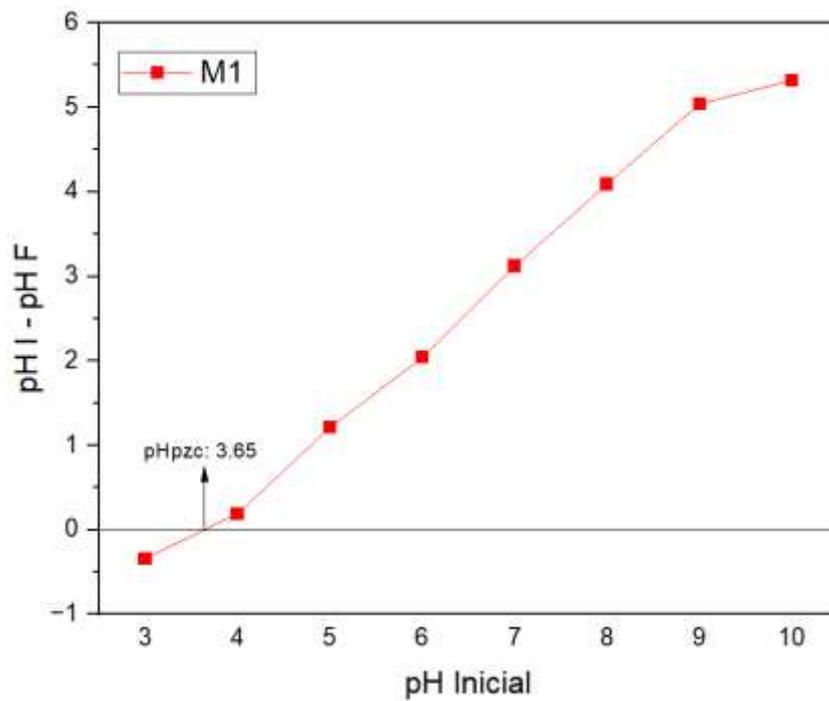
4.4. pH carga zero

En la gráfica 6 se observa el pH de carga cero perteneciente a las cuatro muestras de hidrocarbon obtenido mediante tratamiento hidrotermal de 4 horas con ácido cítrico en concentraciones de 0, 12.5, 25 y 50 g/L. El pH evaluado oscila entre valores de 3 a 10 los cuales fueron ajustados y fue determinado a través del método drift. La muestra inicial de agua del Rio Tumbes obtuvo un pH de 7, considerándose neutro.

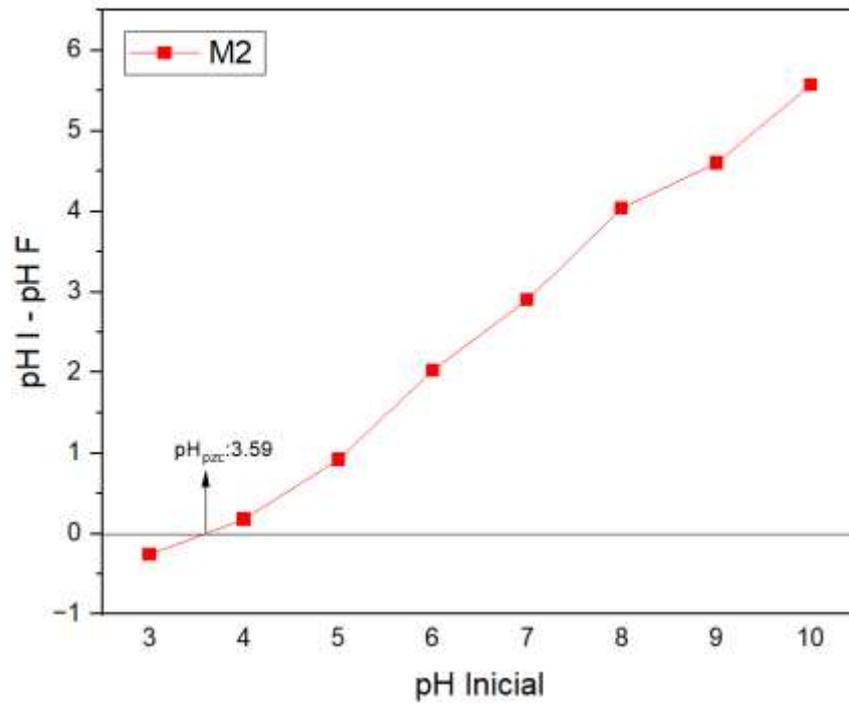
El hidrocarbon con tratamiento hidrotermal sin modificación con ácido cítrico obtuvo un valor de 4.74 siendo de grado ácido, esto se debe a que la moringa contiene en su composición ácido α -linoleico (Doménech et al. , 2017). Los hidrocarbones M1, M2 y M3 con adición de ácido cítrico en concentraciones de 12.5, 25 y 50 g/L respectivamente mediante tratamiento hidrotermal muestran un pH mucho más ácido que el hidrocarbon testigo, este cambio se debe a la presencia del ácido cítrico y las altas temperaturas a las que fueron expuestos. Sin embargo, la muestra M3 (50 g/L a.c) presentó un pH de 3.36 que en comparación con la muestra M2 (25 g/L a.c) que presentó un pH de 3.59 y la muestra M1 (12.5 g/L a.c) que presentó un pH de 3.65 estos resultados demuestran que a mayor adición de ácido cítrico menor es el pH, volviéndose más ácido. Las altas temperaturas a las que fue expuesto la moringa mediante el tratamiento hidrotermal con ácido cítrico a 200°C juegan un papel importante en la determinación del pH (Axelsson at al., 2012) ya que a mayor presencia de ácido cítrico la presión se elevaba más en el reactor hidrotermal, esto generaba que se degradara la sustancia cítrica, descomponiendo el ácido α -linoleico presente naturalmente en la moringa el cual presenta un punto de ebullición de 165 °C.



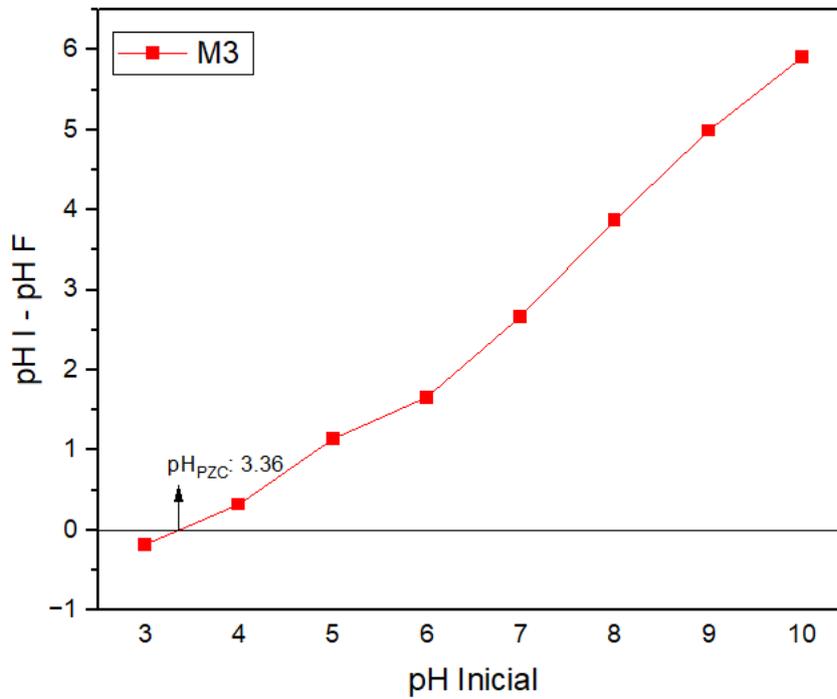
Gráfica 5: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon testigo (sin modificación) siguiendo el método del pH drift



Gráfica 6: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M1 (12.5 g/L de ácido cítrico) siguiendo el método del pH drift

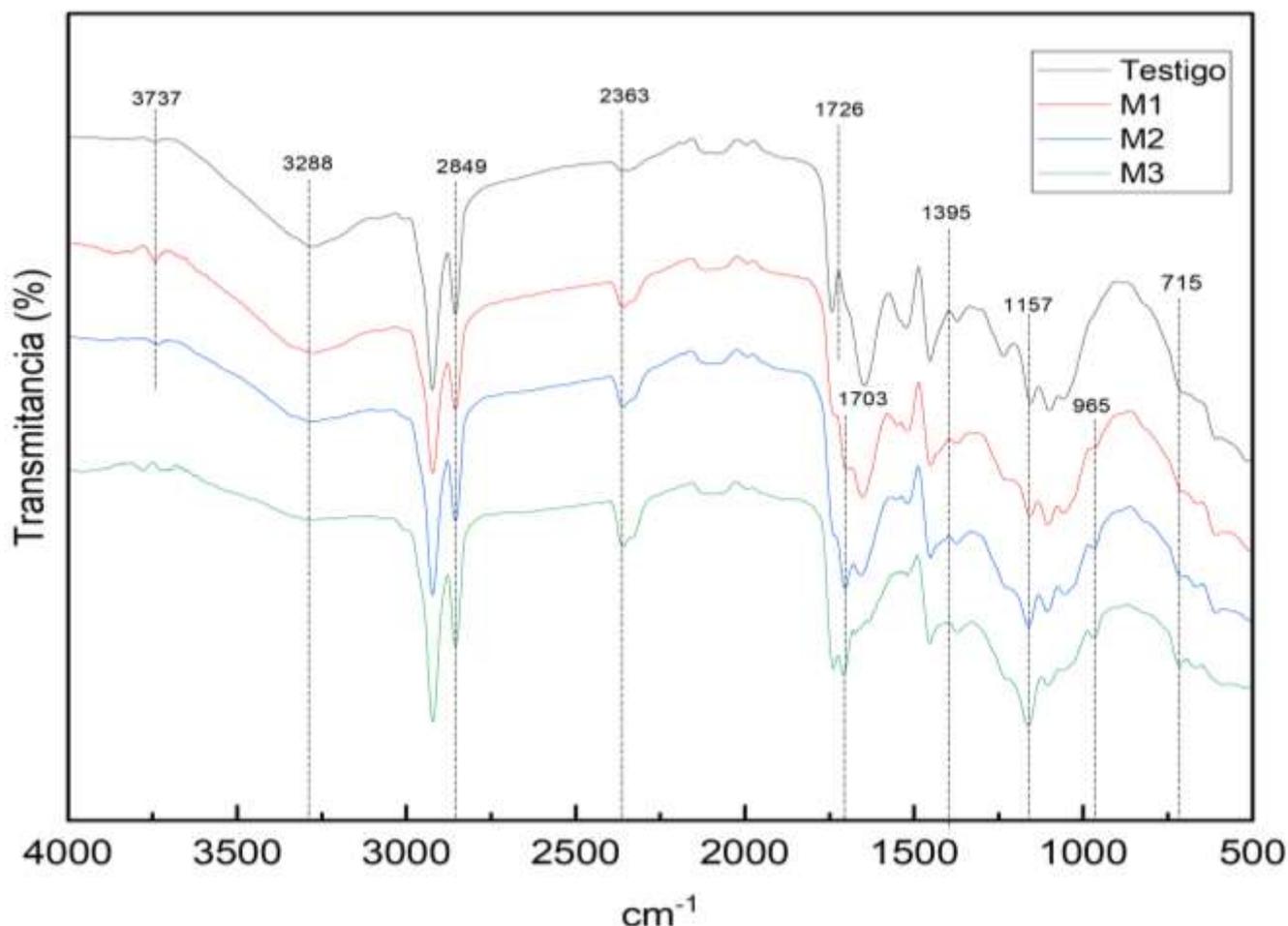


Gráfica 7 :Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M2 (25 g/L de ácido cítrico) siguiendo el método del pH drift



Gráfica 8: Determinación del pH de carga cero de la muestra de hidrocarbon M3 (50 g/L de ácido cítrico) siguiendo el método del pH drift

4.5. Espectrofotometría Infrarrojo (FTIR)



Gráfica 9: Espectro de los hidrocarburos testigo, M1, M2 y M3 obtenidos por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en la región 4000 – 400 cm^{-1}

En la gráfica 9 se pueden observar los resultados de las muestras FTIR de los hidrocarburos de moringa modificada obtenidos mediante tratamiento hidrotérmal con ácido cítrico. Los espectros infrarrojos (4000 – 400 cm^{-1}) muestran los grupos funcionales de la fase sólida de las muestras testigo, M1, M2, M3 de los hidrocarburos en concentraciones de 0, 12.5, 25 y 50 g/L respectivamente.

La banda 715 cm^{-1} asociada a grupos aromáticos presenta vibraciones de flexión =C-H de un anillo aromático, el pico de la muestra M3 es más evidente que el testigo, demostrando que a mayor concentración de ácido cítrico se generará un alargamiento más notorio.

El pico de la banda 965 cm^{-1} no está presente en la muestra testigo, por lo tanto el ácido cítrico genera la presencia de este pico que está asociado a los carbohidratos y presenta vibraciones de flexión C=C del grupo funcional alquenos (Rios et al., 2017).

La banda 1157 cm^{-1} perteneciente al grupo funcional de esteres presenta una deformación del enlace O-H del alcoholes primarios y secundarios, esto demuestra que el ácido cítrico influye en el aumento de ácido esteárico presente en la semilla de moringa oleifera. Otro pico importante es el perteneciente a la banda 1395 cm^{-1} la cual pertenece al grupo amida II, aquí la banda sufre una deformación simétrica por presencia del ácido cítrico el cual genera que las aminas se transformen en sales de amonio solubles en agua y por efecto del tratamiento hidrotermal desaparezcan (Fajula et al., 2003), siendo así que en la imagen este pico aparece con mayor presencia en la muestra testigo la cual no ha sido modificada con ácido. Los picos de las bandas $1703 - 2363\text{ cm}^{-1}$ pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos y sufren una deformación que fue inducida por la presencia del ácido cítrico (Stuart, 2004) esto se debe a causa de la degradación de componentes como complejos orgánicos y proteínas de la moringa notándose que a mayor ácido cítrico en la muestra mayor es su estiramiento del grupo OH. El pico 1726 cm^{-1} solo está presente en la muestra testigo y pertenece a los grupos carbonilos C=O debido a la presencia de los enlaces C=C-H de anillos aromáticos propios de la moringa sin modificar con ácido cítrico.

El pico de la banda 2849 cm^{-1} presenta vibraciones de estiramiento del enlace C-H perteneciente a los alcanos, este pico está presente en las cuatro muestras obtenidas. El pico de la banda 3288 cm^{-1} presenta vibraciones de extensión de enlaces N-H, los cuales son característicos de los aminoácidos presentes en la moringa y que en presencia de agua solapa con señales correspondientes a enlaces hidroxilos O-H; en el gráfico se observa que a medida que aumenta la presencia de ácido cítrico en la muestra este pico disminuye su extensión. Finalmente se obtuvo el pico de la banda 3737 cm^{-1} perteneciente al grupo de los ácidos carboxílicos y está relacionado a las vibración de tensión de enlaces O-H debido a la captación de agua durante el proceso de tratamiento hidrotermal; se logra observar que en la muestra M3 este pico es tenue mientras que en la muestra M1 es más representativo, es decir el ácido cítrico presenta influencia en la banda.

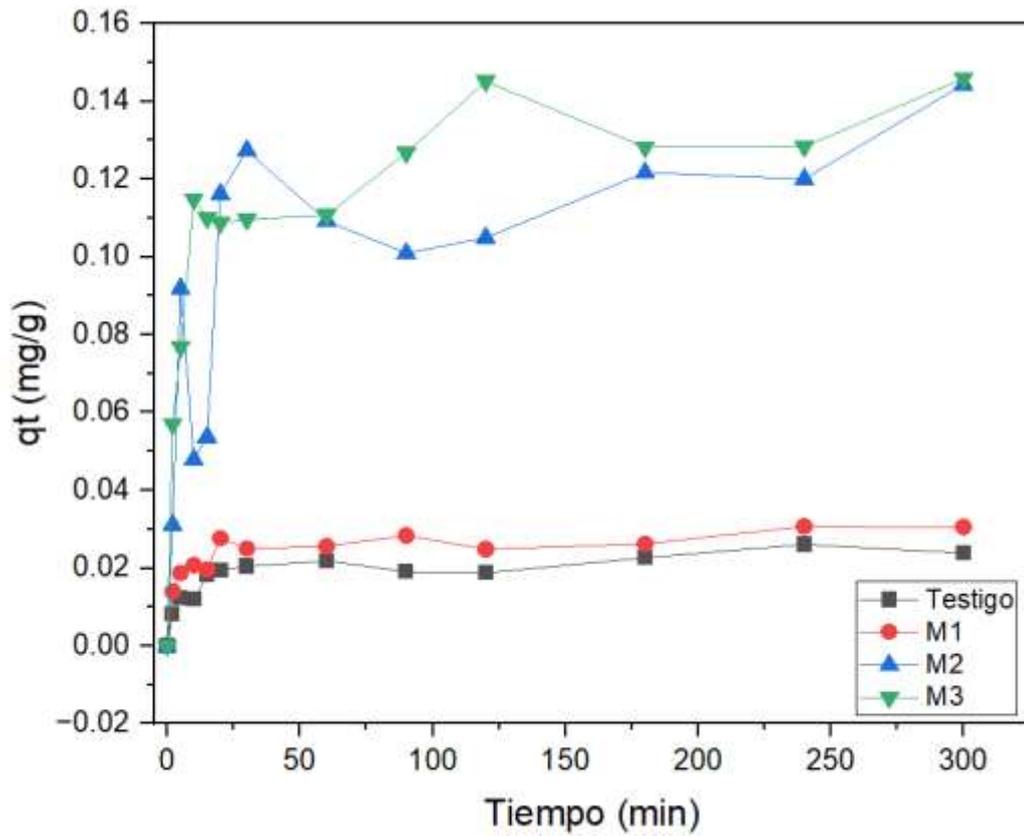
4.6. Pruebas de Adsorción

4.6.1. Adsorción de cadmio

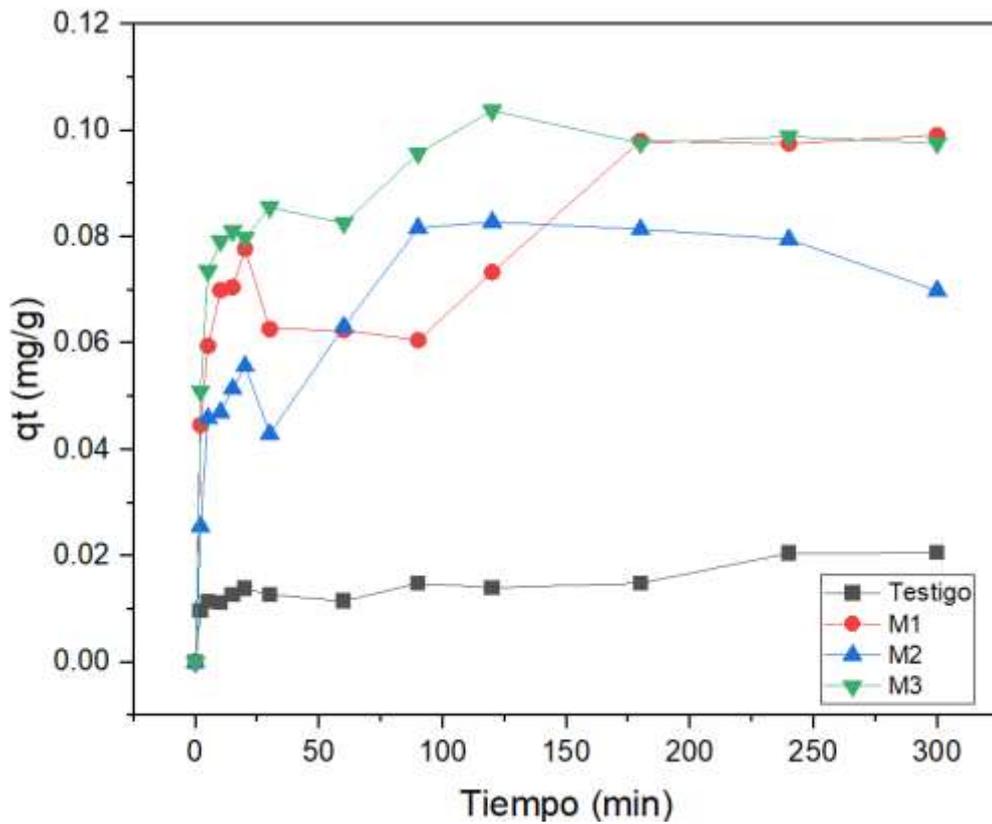
Las pruebas de cinética para la adsorción de cadmio se desarrollaron con el modelo tipo Batch, para ello se utilizó hidrocarbon de moringa modificada mediante tratamiento hidrotermal por cuatro horas a 200°C con dosis de 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico. En dos matraz Erlenmeyer se colocaron 200 ml de agua de rio Tumbes y se trabajaron dosis de 3 g/L y 5 g/L de material adsorbente, extrayéndose alícuotas de 10 ml en trece tiempos diferentes durante 300 minutos.

En la gráfica 10 se aprecia la adsorción del cadmio en mg/g con la dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa. El testigo y la muestra M1 llegaron a un punto de equilibrio en los primeros 30 minutos, mientras que las muestras M2 y M3 no llegaron a equilibrio al pasar los 300 minutos que se trabajaron en Batch, esto indica que ambas requieren un mayor tiempo de contacto del adsorbente con el contaminante. La muestras M2 y M3 presentan una acelerada adsorción de cadmio pasando de 0 a 0.03 mg/g y 0 a 0.06 mg/g en solo dos minutos y finalizando con una adsorción de 0.1458 mg/g y 0.15 mg/g respectivamente, estos resultados se pueden explicar basándonos en la disponibilidad de sitios de adsorción dados por el hidrocarbon, jugando un papel clave en la adsorción.

En la gráfica 11 se aprecia la adsorción de cadmio en mg/g con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa. La muestra testigo obtuvo el valor menor de adsorción con solo 0.02 mg/g en 300 minutos, mientras que las dosis M1 y M3 obtuvieron los valores mayores con 0.099 y 0.097 mg/g respectivamente y lograron un punto de equilibrio al minuto 180. La muestra M2 obtuvo una adsorción acelerada de 0 a 0.055 mg/g en 20 minutos y luego paso de 0.079 mg/g al minuto 240 a 0.069 mg/g al minuto 300, con esta disminución se puede considerar que esta muestra de hidrocarbon llegó a su punto de saturación en los primeros 240 minutos al contacto con el contaminante, seguidamente se observa que la muestra M1 obtuvo un significativo aumento de 0 a 0.077 mg/g en 20 minutos y de 0.060 mg/g a 0.097 mg/g en 90 minutos, mientras que la muestra M3 pasó de 0 a 0.051 mg/g en solo dos minutos.



Gráfica 10: Adsorción de cadmio en mg/g con dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico



Gráfica 11: Adsorción de cadmio en mg/g con dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico

En la comparativa de las gráficas 10 y 11 se logra observar que con una dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con ácido cítrico se obtiene mayor adsorción de cadmio en comparación con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon, ya que se finalizó con valores de 0.15 mg/g y 0.097 mg/g respectivamente con la muestra M3 esto se debe a que existe un menor grado de saturación por parte del adsorbente en el medio acuoso. Con una dosis de 5 g/L la muestra de hidrocarbon M1 presentó una notoria capacidad de adsorción superando a la muestra M2 y casi llegando a alcanzar los valores de la muestra M3. Con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon se logró alcanzar el punto de equilibrio con la muestra M3 al minuto 180 mientras que con la dosis de 3 g/L de hidrocarbon no se logró. En ambos gráficos se observa que la muestra testigo no logró valores de adsorción significativos.

Tabla 6: Parámetros obtenidos por la aplicación de diferentes modelos no lineales de cinética para la adsorción de cadmio

Pseudo - first order						
Tratamiento	Cd (II) dosis 3 g/L			Cd (II) dosis 5 g/L		
	qe [mg/g]	k1 [g/(mg.h)]	R²	qe [mg/g]	k1 [g/(mg.h)]	R²
Testigo	0.022	0.124	0.886	0.015	0.395	0.670
M1	0.027	0.237	0.868	0.077	0.346	0.737
M2	0.117	0.099	0.732	0.072	0.104	0.778
M3	0.125	0.220	0.904	0.091	0.355	0.917

Pseudo - second order						
Tratamiento	qe [mg/g]	k2 [g/(mg.h)]	R²	qe [mg/g]	k2 [g/(mg.h)]	R²
	Testigo	-97.430	0.000	-1.602	0.016	28.894
M1	0.028	13.482	0.927	0.082	6.071	0.779
M2	0.124	1.370	0.762	0.077	2.152	0.868
M3	0.133	2.472	0.943	0.096	5.462	0.962

En la tabla N°6 se observan los resultados obtenidos de los parámetros experimentales para modelos matemáticos no lineales usados de Pseudo – Primer Orden y Pseudo – Segundo Orden, con el objetivo de hallar el modelo que más se ajuste a la cinética de adsorción de cadmio del hidrocarbon de moringa modificada mediante tratamiento hidrotermal por 4 horas con dosis de 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico.

Se determinó mediante los datos experimentales que el modelo no lineal que presenta un mejor ajuste es el de Pseudo – Segundo Orden, esto se atribuye a que durante el proceso de adsorción el grado de ajuste para todos los hidrocarbones estaba controlado principalmente por el proceso químico en vez del paso de transferencia de masa. Los valores de los coeficientes de correlación (R^2) de las muestras T, M1, M2 y M3 para la dosis de 3 g/L de hidrocarbon muestran valores que van desde 0.762 hasta 0.943 siendo los resultados que más se acercaban a 1. Mientras que para la dosis de 5 g/L de hidrocarbon los valores los coeficientes de relación (R^2) fueron desde 0.748 a 0.962.

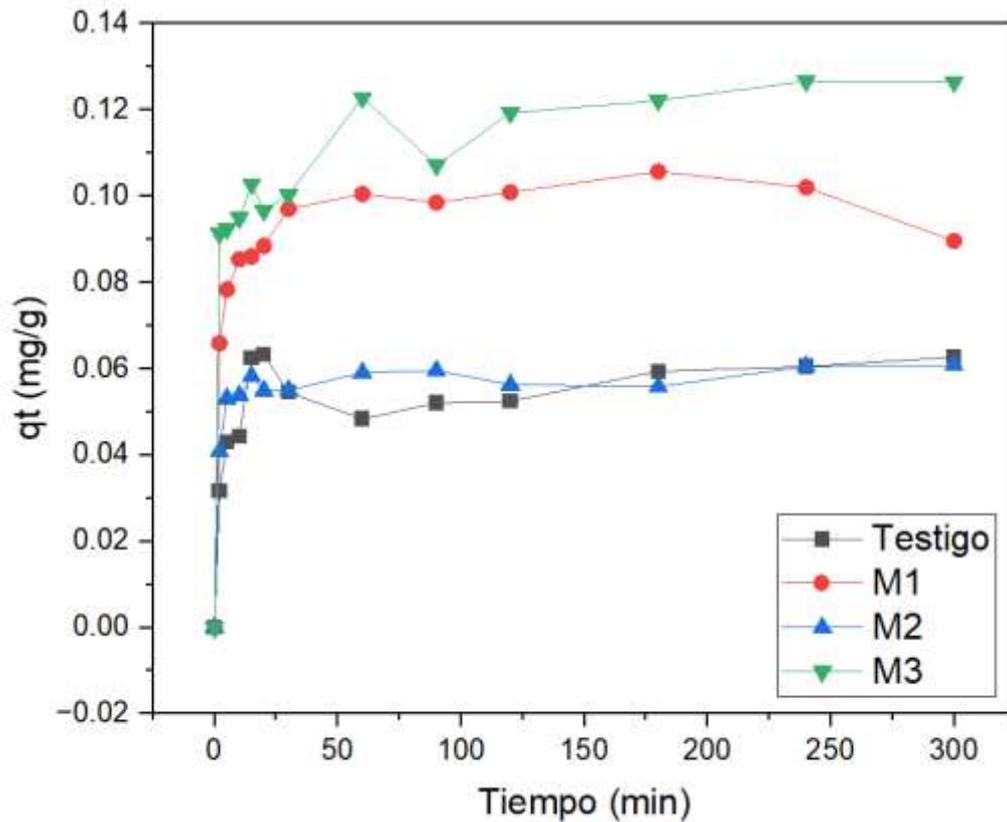
4.6.2. Adsorción de plomo

Las pruebas de cinética para la adsorción de plomo se desarrollaron con el modelo tipo Batch, para ello se utilizó hidrocarbon de moringa modificada mediante tratamiento hidrotermal por cuatro horas a 200°C con ácido cítrico en dosis de 0, 12.5, 25 y 50 g/L. En dos matraz Erlenmeyer se colocaron 200 ml de agua de rio Tumbes y se trabajaron dosis de 3 g/L y 5 g/L de material adsorbente, extrayéndose alícuotas de 10 ml en trece tiempos diferentes durante 300 minutos.

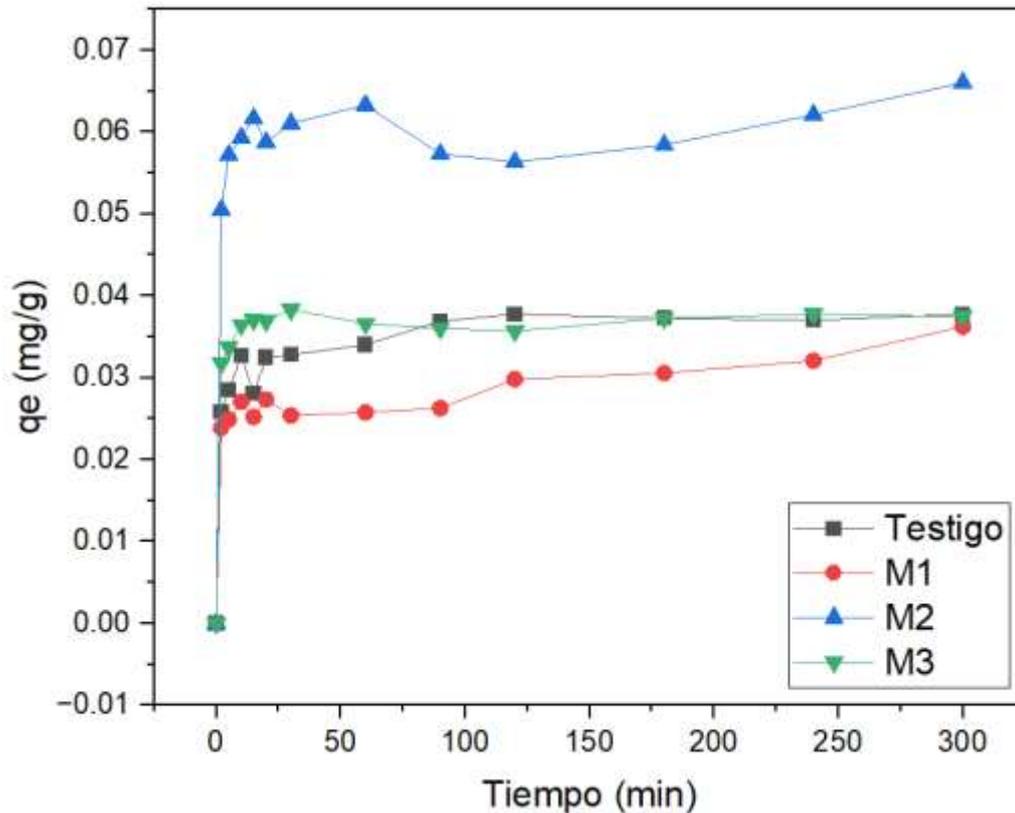
En las gráfica 12 se aprecia la adsorción del plomo en mg/g con la dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa. El testigo y la muestra M2 llegan a su punto de equilibrio en el minuto 60, mientras que la muestra M1 llega a equilibrio al minuto 90 y la muestra M3 recién logra equilibrio al minuto 240, esto indica que la muestra M3 tiene más disponibilidad para adsorber plomo antes de saturarse. Las muestras M3 y M1 presentaron una acelerada adsorción de plomo pasando de 0 a 0.065 y 0 a 0.091 mg/g en solo dos minutos respectivamente, ambas lograron altos valores finales de adsorción de plomo, para M1 fue de 0.089 mg/g y para M3 fue de 0.126 mg/g demostrando ser la mejor muestra para adsorber plomo en aguas del rio Tumbes a través del método de Batch.

En la gráfica 13 se aprecia la adsorción de plomo en mg/g con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa. La muestra M1 obtuvo el menor valor de adsorción de plomo con solo 0.036 mg/g en 300 minutos, mientras que la muestra M2 fue la mejor muestra con un valor de adsorción final de 0.066 mg/g por encima de las tres muestras de hidrocarbon obtenido (T, M1 y M3).

La muestra M2 pasó a adsorber plomo de 0 a 0.05 mg/g en dos minutos, mientras que las muestras testigo y M3 lograron un valor final de adsorción de 0.037 mg/g en los 300 minutos de prueba en Batch. Las muestras testigo, M1 y M3 alcanzaron su punto de equilibrio al minuto 30, sin embargo la M2 no logró alcanzar equilibrio indicando que requiere más tiempo de contacto con el contaminante para lograr su punto de saturación, siendo así la mejor muestra para adsorber plomo con dosis de 5 g/L.



Gráfica 12: Adsorción de plomo en mg/g con dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico



Gráfica 13: Adsorción de plomo en mg/g con dosis de 5 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con 0, 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico

En la comparativa de las gráficas 12 y 13 se logra observar que con una dosis de 3 g/L de hidrocarbon de moringa modificada con ácido cítrico se obtiene mayor adsorción de plomo en comparación con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon. Con la dosis de 3 g/L de hidrocarbon se logró un valor de adsorción de 0.0126 mg/g con la muestra M3, si embargo con la dosis de 5 g/L de hidrocarbon la mejor muestra fue la M2, pero solo se llegó a valores finales de 0.066 mg/g de adsorción de plomo esto se debe a que existe una mayor grado de saturación por parte del adsorbente en el medio acuoso. La muestra M2 aumenta su capacidad de adsorción a medida que aumenta la dosis de hidrocarbon en el agua de Rio Tumbes, pues pasó de ser la muestra con menor adsorción con 3 g/L de hidrocarbon a ser la de mayor adsorción con 5 g/L de hidrocarbon. Con la dosis de 3 g/L de hidrocarbon en aguas del Rio Tumbes se observó que la muestra M1 fue la que presentó menor capacidad de adsorción y con la dosis de 5 g/L fue la muestra M2.

Tabla 7: Parámetros obtenidos por la aplicación de diferentes modelos no lineales de cinética para la adsorción de plomo

Pseudo - first order						
Tratamiento	Pb (II) dosis 3 g/L			Pb (II) dosis 5 g/L		
	qe [mg/g]	k1 [g/(mg.h)]	R ²	qe [mg/g]	k1 [g/(mg.h)]	R ²
Testigo	0.056	0.321	0.895	0.036	0.597	0.907
M1	0.095	0.499	0.936	0.029	0.867	0.854
M2	0.057	0.602	0.981	0.061	0.890	0.973
M3	0.111	0.778	0.865	0.037	0.968	0.989

Pseudo - second order						
Tratamiento	qe [mg/g]	k2 [g/(mg.h)]	R ²	qe [mg/g]	k2 [g/(mg.h)]	R ²
	Testigo	0.058	10.592	0.897	0.036	25.972
M1	0.099	8.431	0.972	0.029	52.622	0.881
M2	0.059	21.127	0.986	0.061	41.514	0.977
M3	0.115	9.570	0.913	0.037	75.504	0.994

En la tabla N°7 se observan los resultados obtenidos de los parámetros experimentales para modelos matemáticos no lineales usados de Pseudo – Primer Orden y Pseudo – Segundo Orden, con el objetivo de hallar el modelo que más se ajuste a la cinética de adsorción de plomo del hidrocarbon de moringa modificada mediante tratamiento hidrotermal por 4 horas con dosis de 12.5, 25 y 50 g/L de ácido cítrico. Se determinó mediante los datos experimentales que el modelo no lineal que presenta un mejor ajuste es el de Pseudo – Segundo Orden, esto se atribuye a que durante el proceso de adsorción el grado de ajuste para todos los hidrocarbones estaba controlado principalmente por el proceso químico en vez del paso de transferencia de masa. Los valores de los coeficientes de correlación (R²) de las muestras T, M1, M2 y M3 para la dosis de 3 g/L de hidrocarbon muestran valores que van desde 0.897 hasta 0.986 siendo los resultados que más se acercaban a 1. Mientras que para la dosis de 5 g/L de hidrocarbon los valores los coeficientes de relación (R²) fueron desde 0.881 a 0.994.

V. CONCLUSIONES

1. La producción de hidrocarbon a partir de semilla de *Moringa oleifera* modificada mediante tratamiento hidrotermal con concentraciones de con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) permitió la obtención de un material con características funcionales diferentes a nivel estructural, de textura y físicos – químicos.
2. Se logró obtener hidrocarbones con buenas capacidades de adsorción de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) a partir de la semilla de *Moringa oleifera* modificada mediante tratamiento hidrotermal con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$).
3. Las características del hidrocarbon del moringa modificada con ácido cítrico mediante tratamiento hidrotermal fueron altamente afectadas, como el pH que mostró una reducción notoria fuerte pasando de neutro a ácido en todas las muestras modificadas incluidas la testigo, influyendo en la variable de adsorción.
4. Con la muestra M3 en dosis de 3 g/L de hidrocarbon se logró obtener una mayor adsorción de cadmio (0.15 mg/g) y plomo (0.13 mg/g) presentes en aguas del Rio Tumbes, volviéndose un material muy atractivo para la utilización en la remoción de estos metales pesados en fuentes de agua contaminados.
5. En las pruebas de espectrofotometría se resaltaron picos pertenecientes a bandas de grupos aromáticos debido a la presencia del aceite natural que contiene la semilla de moringa y O-H que fue adicionado mediante el tratamiento hidrotermal que se aplicó a las muestras,
6. Los resultados del pH de carga zero demuestran que a menor pH del hidrocarbon es mayor la adsorción de plomo y cadmio, esto se debe a que la carga de ambos metales es positiva y el pH es ácido, obteniéndose mayor atracción y posterior adsorción.
7. Las pruebas de adsorción en Batch mostraron que el hidrocarbon con presencia de ácido cítrico adicionado mediante tratamiento hidrotermal influye positivamente en la capacidad de adsorción de plomo y cadmio, a mayor adición de ácido cítrico fue mejor la adsorción de ambos metales.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios haciendo uso del hidrocárbon de moringa para descontaminar aguas de uso agrícola en la región Tumbes.
- Utilizar la cascara y hoja de la moringa como materia prima para posteriores proyectos sobre adsorción de metales pesados y/o descontaminación de medios acuosos.
- Utilizar el tratamiento hidrotermal para mejorar la capacidad de adsorción de metales pesados con distintas materias primas.
- Realizar nuevos estudios modificando distintas materias primas con ácido cítrico, buscando mejorar su capacidad de adsorción de contaminantes en medio acuoso.
- Realizar proyectos factibles y sostenibles relacionados a la siembra, cosecha y producción de hidrocárbon de moringa para descontaminar aguas con presencia de metales pesados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acebedo Quezada, Y. P. (2016). *Eficiencia de la semilla marango (Moringa Oleífera) como material adsorbente para la remoción de plomo del río Mantaro, en el distrito Paccha, Jauja, Junín, 2016*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Alfaro Fuentes, R., & Negrete Mendoza, F. (2017). Determinación de la capacidad de adsorción de metales en disoluciones acuosas con Moringa oleífera. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 3(3).
- Arellano Flores, J., & Rojas Valuis, M. (2021). *Remoción de plomo en el Río Santa, tramo Recuay–Ticapampa, mediante biofiltro con polvo de Semilla de Moringa–Ancash, 2021*. Ancash: Universidad Cesar Vallejo.
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *Hidrografía de Tumbes*. Obtenido de <http://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/tumbes/Hidrograf%C3%ADa>
- Axelsson, L. F. (2012). Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(3), 246–256. doi:<https://doi.org/10.1002/bbb>
- Azcona-Cruz, M., & Ramírez Ayala, R. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>
- Castellar Ortega, G., Cardozo Arrieta, B., Suarez Guerrero, J., & Vega Taboada, J. (22 de junio de 2013). Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospectiva*, 11(1), 66-75.
- Coelho, J.S. et al. (2009). Effect of M. oleífera lectin on development and mortality of A. aegypti larvae. *Chemosphere*.
- Doménech Asensi, G., Durango Villadiego, A., & Ros Berruezo, G. (2017). Moringa oleífera: Revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2). Obtenido de <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/2/art-3/>

- Fajula , X., Arias, M., Morell, J., & Navarrete, F. (2003). Caracterización mediante espectrofotometría FT-IR del PVC sometido a degradación termoquímica en medio ácido oxidante. *Boletín Intexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*(124), 29-34.
- Garcia, A. (2020). *Concentración de metales pesados en el agua de consumo de las zonas rurales asentadas en la rivera de la margen izquierda del río Tumbes y su relación con la concentración de estos en el agua superficial del río Tumbes*. Tesis de titulación, Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes. Obtenido de <http://repositorio.untumbes.edu.pe/>
- Gavilanez García, L., & Puño Lecarnaque, N. (2017). Estudio de la concentración del plomo en el agua del río Tumbes período 2012 – 2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del caserío de Rica Playa – Tumbes - 2016. *UCV-Scientia*, 9(1), 165-167. Obtenido de <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/>
- Gómez-Medina, A., Vázquez-Rodríguez, G., Baltazar-Vera, J., Ramírez-Ramírez, N., & Torres D.T. (2018). Evaluación de la semilla moringa oleífera como pretratamiento de coagulación-floculación para remover cromo en aguas residuales de tenerías. *Jovenes en la Ciencia*, 4(1), 2452-2456.
- Hernandez, M., Rivas, H., & Ventura, G. (2017). *Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (Moringa oleífera Lam .) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano*. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, El Salvador.
- Jahn, S. (1988). Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *Water Works Assoc.*, 80(43).
- Karim, A. A. (2015). Banana Peduncle Biochar : Characteristics and Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*, 1–10. doi:10.9734/IRJPAC/2015/16163
- Lakshmipriya, G., & Santhosh Kumar, D. (2016). Moringa oleifera: Una revisión sobre la importancia nutritiva y su aplicación medicinal. *Ciencia de los Alimentos y Bienestar Humano*, 5(2), 49-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>

- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145.
- Luna, D., Gonzalez, A., Gordon, M., & Martin, N. (2007). Obtención de carbono activado a partir de la cascara de coco. *ContactoS*, 64(10), 39-48.
- Marruecos, L., Nogué, S., & Nolla, J. (1993). *Toxicología Clínica*. Madrid: Difusión Jurídica y Temas de Actualidad S.A.
- Marshall, B., Veiga, M., da Silva, H., & Guimarães, J. (2020). Contaminación por cianuro del río puyango-tumbes causada por la minería artesanal de oro en Portovelo-Zaruma, Ecuador. *Informes actuales de salud ambiental*, 7(3), 303-310.
- Martínez de la Torre, M., Reyes Estrada, C., Ruíz de Chávez, D., & Flores Lozano, J. (2020). EFECTOS A LA SALUD ANTE EXPOSICIÓN DE METALES PESADOS MERCURIO, PLOMO Y ARSÉNICO EN NIÑOS. *bn Sina –Revista electrónica semestral en Ciencias de la Salud*, 11(2). Obtenido de <http://revistas.uaz.edu.mx/index.php/ibnsina>
- Mogro Mantilla, M., & Naranjo Pineda, R. (2021). *Determinación de mercurio, plomo, arsénico en el tallo de moringa (Moringa oleífera) Vía Calichana, Cantón Pasaje, Provincia de El Oro*. Tesis doctoral, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Ecuador.
- Núñez, F. J. (2008). *Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha*. Universidad de Cadiz, Ciencias Químicas, España. Obtenido de <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/6411/34254675.pdf>
- Olivera Huacasi, M. (2018). *Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018*. Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Puno. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1681>

- Petrović, J. (2016). Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb²⁺ from aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 182, 292-300.
- Puente Heredia, R. A. (2019). *Determinación de la eficiencia de bioadsorción de cromo hexavalente con restos de Moringa oleífera en medio acuoso*. Tesis de Titulación, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20531>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARI. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rios, C., Lopez, S., Ramirez Corona, N., & Lopez Malo, A. (2017). Effect of short wave ultraviolet radiation on selected properties of edible films formulated with pomegranate juice and chitosan. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17, 63-73.
- Rivera Ñacari, A. (2017). *Uso de moringa oleífera y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de San Martín de Porres – Lima 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Inglaterra: John Wiley & Sons.
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, Á., & Jiménez Villadiego, M. (2017). REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE SOBRE RESIDUOS DE CACAO PRETRATADOS QUÍMICAMENTE. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 139-147. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000100016&lng=en&tlng=es.
- Urquia, K. (2017). *Eficiencia de la Opuntia Ficus-indica frente a la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas del rio Huaycoloro*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. Obtenido de <http://www.udea.edu.com>
- Vargas, M., Landázuri Flores, A., & Lagos Estrella, A. (2017). *Adsorción de cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleífera Lam*. Tesis de

bachiller, Universidad San Francisco de Quito, Ciencias e Ingenierías, Quito.
Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6576>

Vázquez Guerrero, A. (2021). *Evaluación del adsorbente sintetizado con nanopartículas de hierro y soportados en celulosa de Moringa oleifera Lam., en el proceso de adsorción de As (V), Cd (II) y Pb (II) en solución acuosa.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Química, Michoacan, Mexico. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5756

Vera Cabezas, L., Bermejo Campos, D., Uguña Rosas, M., Garcia Alvear, N., Flores Zamora, M., & Brazales, D. (2018). MODELADO EN COLUMNA DE LECHO FIJO PARA LA BIOADSORCIÓN DE Cd²⁺ Y Pb²⁺ CON CÁSCARA DE CACAO. *Rev. Int. Contaminacion Ambiental*, 34(4), 611-620.

Vivian Lago-Abascal, V., Magaly Duarte-Ginorio, M., Mileydis Martínez-Azcarraga, M., Ernesto Almora-Hernández, E., Nabila Figueredo-Moreno, N., & Efraín Rodríguez-Jiménez, E. (Abril-Junio de 2022). CARACTERIZACIÓN Y USO DE LA CÁSCARA DE SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA COMO SALVADO EN LA FORTIFICACIÓN DE MINI PANQUÉS. *Revista Centro Azucar*, 49(2). Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n2/2223-4861-caz-49-02-100.pdf>

Xianjuan , K., Biao , L., Olayanju , J., & Drake, J. (2018). Potencial nutracéutico o farmacológico de Moringa oleifera Lam. *Nutrientes*, 10(3), 343. doi:<https://doi.org/10.3390/nu10030343>

Yarlequé, J. F. (2019). *Nivel de contaminación por metales pesados: Hg, Pb, As y Cianuro (CN-), en el naciente río Binacional Puyango – Tumbes (Perú – Ecuador).* Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13007>

Zumalacárregui Cárdenas, B., & Ferrer-Serrano, Cándida, C. (2022). Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de Moringa oleifera ecotipo Plain. *Revista Cubana de Química*, 34(2), 227-241. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212022000200227&lng=es&nrm=iso

VIII. ANEXOS

8.1. Panel fotográfico



A) Semilla de *Moringa oleifera* en estado seco con cascara exterior. B) Proceso de molienda de la semilla de moringa con mortero



C) Semilla de moringa molida y secada en estufa



D) Reactor de tratamiento hidrotermal



E) Hidrocarbon de moringa en estado liquido obtenido luego de la mordificacion con acido cítrico y tratamiento hidrotermal



F) Obtencion de muestras de agua del Rio Tumbes



G) Procedimiento de las pruebas en Batch.