

**UTILIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MNP<sub>s</sub>) Y BIOMASA  
RESIDUAL DE *Citrus unshuii/Citrus reticulata* PARA REMOCIÓN DE  
COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN AGUAS RESIDUALES  
SINTÉTICAS**

LIZETH ZORAIDA LEÓN PINTO

Código: 506651

DIEGO ALEXANDER MORA TORRES

Código: 506907



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ**

**2021**

**UTILIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MNPs) Y BIOMASA  
RESIDUAL DE *Citrus unshuii/Citrus reticulata* PARA REMOCIÓN DE  
COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES EN AGUAS RESIDUALES  
SINTÉTICAS**

**Presentado por:**

LIZETH ZORAIDA LEÓN PINTO

Código: 506651

DIEGO ALEXANDER MORA TORRES

Código: 506907

**Propuesta De Trabajo De Grado**

**Docente asesor:**

PHD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ**

**2021**



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the license. [Advertencia.](#)

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá, 28 de Junio de 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios gracias primeramente permitirnos vivir esta gran experiencia universitaria para llevarnos al campo profesional, y la capacidad de aprender.

Queremos agradecer a cada uno de los profesionales docentes que nos transmitieron su conocimiento y exigieron de nosotros lo mejor, así mismo a la Universidad Católica de Colombia por aceptar el ingreso y acompañarnos en nuestra formación como ingenieros civiles.

Al PhD. Wilfredo Marimón por darnos a conocer el semillero, enseñarnos tanto sobre la investigación científica por medio de su experiencia profesional y dedicación al estudio de la ciencia.

Finalmente, a los laboratoristas Javier Salamanca y Javier Mendoza por su amabilidad, y su disposición a ayudar a los futuros profesionales.

## DEDICATORIAS

A mis padres Julio Mora y Graciela Torres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mi Hermano Iván Mora por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar este Trabajo de grado a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

-Diego Alexander Mora Torres.

Este trabajo de grado lo dedico a Dios primeramente que por su gracia, misericordia y amor me ha dirigido por caminos que seguramente no hubiera escogido, por la sabiduría, fuerza y valentía que me da en Él.

A mi hija hermosa, Karito por ser la mayor motivación de nuestro futuro, por enseñarme a perseguir mis sueños en medio de las adversidades, por resistir, ser tan fuerte, alegre y ser paciente en este largo camino, por enseñarme a jamás rendirme.

A Sofy, mi hermanita, luchadora hasta el fin, por ella jamás me rendí, me enseñó a aferrarme a la vida, a valorar cada detalle, cada segundo, con su corta existencia me dejó tantas lecciones, me enseñó amar como nunca y comunicarnos por miradas para reír a carcajadas, ahora solo me quedan estas letras porque sus ojos se han cerrado para abrir sus alas y volar al lado de Dios, en su memoria por su amor y fuerza.

A mi mamá, Mercedes Pinto por guiarme y ayudarme a tomar las mejores decisiones bajo la dirección de Dios para mi vida, su apoyo en mi vida y con mi hija para poder cumplir mis sueños, su dedicación, amor y valentía. A mi mami Flor Pinto por estar presente desde mis primeros pasos y demostrarme con valentía a salir adelante. A mi padre John León por disponer de su tiempo para cuidar de mi seguridad, ayudarme y apoyarme en mis propósitos. A mi esposo Ricardo Monsalve, compañero de vida, confidente por sus cuidados, amor, paciencia y apoyo en alegrías y adversidades.

A cada uno de los compañeros y amigos que hicieron parte de mi proceso académico.

-Lizeth Zoraida León Pinto

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>14</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>19</b>
<b>4. ANTECEDENTES</b> .....	<b>23</b>
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>25</b>
<b>6. ALCANCES</b> .....	<b>26</b>
<b>7. LIMITACIONES</b> .....	<b>27</b>
<b>8. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>28</b>
<b>8.1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>28</b>
8.1.2 ADSORCIÓN .....	30
8.1.3 AGUAS RESIDUALES .....	31
8.1.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS .....	33
8.1.5 BIOMASA RESIDUAL .....	33
8.1.5.1 CÁSCARAS DE MANDARINA .....	34
8.1.6 NANOPARTÍCULAS .....	35
8.1.7 PRODUCTOS DE CUIDADO PERSONAL .....	36
8.1.8 MATERIALES AGROINDUSTRIALES .....	36
<b>8.2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>37</b>
<b>8.3. MARCO LEGAL</b> .....	<b>38</b>
<b>9. METODOLOGÍA</b> .....	<b>39</b>
<b>9.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA</b> .....	<b>40</b>
<b>9.2. PREPARACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL</b> .....	<b>41</b>

<b>9.3. PREPARACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MNPS) CON BIOMASA RESIDUAL .....</b>	<b>46</b>
<b>9.4. PREPARACIÓN DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA.....</b>	<b>54</b>
Fuente: Propia.....	56
<b>9.5. ENSAYOS DE ADSORCIÓN. ....</b>	<b>63</b>
<b>9.6. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE ADSORCIÓN EN TEST DE JARRAS.....</b>	<b>65</b>
<b>10. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
<b>10.1 CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL.....</b>	<b>68</b>
10.1.1. Parámetros Magnéticos. ....	68
10.1.2. Cristalografía (XRD).....	69
10.1.4. Espectro Infrarrojo (FTIR).....	70
<b>10.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA .....</b>	<b>71</b>
Fuente: Propia. ....	72
10.2.1. Efectos del pH.....	72
<b>10.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN.....</b>	<b>74</b>
<b>10.4. ISOTERMAS LINEALES DE ADSORCIÓN.....</b>	<b>79</b>
<b>10.5. SIMULACIÓN DE COLUMNA DE ADSORCIÓN.....</b>	<b>83</b>
10.5.1. Variación de cantidad de material adsorbente.....	84
10.5.2. Variación de los caudales.....	86
10.5.3. Variación de concentración.....	88
<b>10.6. PORCENTAJE DE REMOCIÓN.....</b>	<b>89</b>
<b>10.7. APLICACIÓN A ESCALA.....</b>	<b>89</b>
<b>11. CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>12. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>94</b>
<b>Webgrafía.....</b>	<b>97</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>98</b>



## TABLA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Consumo de agua en baños-lavamanos. ....	17
Ilustración 2 Consumo de agua en baños - duchas.....	17
Ilustración 3 Cáscaras de residuo agrícolas, .....	20
Ilustración 4. Técnicas de remoción de compuestos orgánicos.....	28
Ilustración 5. Técnica de adsorción.....	31
Ilustración 6. Riego de zonas verdes, .....	33
Ilustración 7 Biomasa residual / Ilustración 8 Biomasa Residual .....	34
Ilustración 9 Mandarina sin cascara / Ilustración 10 Cáscara de la mandarina .....	34
Ilustración 11. Nanopartícula, .....	35
<i>Ilustración 12. Nanopartícula magnética.</i> .....	35
Ilustración 13. Productos de cuidado personal. ....	36
Ilustración 14 Mapa conceptual Agua. ....	37
Ilustración 15 Metodología.....	39
Ilustración 16. Obtención de la biomasa residual.....	41
Ilustración 17 Retiro de la membrana interna de la cáscara de mandarina. ....	41
Ilustración 18. Se preparación de la cascara de mandarina. ....	42
Ilustración 19 Lavado de la biomasa residual, primer vez. ....	42
Ilustración 20 Lavado de cascara de mandarina, segunda vez.....	43
Ilustración 21 Lavado de biomasa residual con Alcohol. ....	43
Ilustración 22 Lavado de biomasa residual con Alcohol. ....	44
Ilustración 23 Empaque de la biomasa residual.....	44
Ilustración 24 Material llevado al horno.....	45
Ilustración 25 Material llevado al horno.....	45

Ilustración 26 Biomasa residual a macerar.....	46
Ilustración 27 Elementos limpios y secos de vidriería de laboratorio .....	47
Ilustración 28 Reactivos.....	47
Ilustración 29 Medición de agua. ....	48
Ilustración 30 Sustancias sonicando.....	49
Ilustración 31. Calentamiento de agua.....	49
Ilustración 32 Adición de soluciones de hierro.....	50
Ilustración 33 Adición de soda cáustica.....	50
Ilustración 34 Verificación de pH.....	51
Ilustración 35 Adición de solución de cisteína.....	51
Ilustración 36 Adición de soda cáustica restante.....	52
Ilustración 37 Adición de biomasa macerada de cáscaras de mandarina.....	52
Ilustración 38 Separación de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.....	53
Ilustración 39 Separación de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.....	53
Ilustración 40 Secado de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.....	54
Ilustración 41. Vidriería de laboratorio.....	54
Ilustración 42. Reactivos para adsorción.....	55
Ilustración 43. Soluciones disueltas en el balón aforado.....	55
Ilustración 44. Preparación del agua sintética.....	56
Ilustración 45. Configuración del diagrama de flujo de la columna de lecho fijo a implementar.....	60
Ilustración 46 Interfaz de FAST 2.0 beta.....	61
Ilustración 47. Distribución de agua sintética.....	63
Ilustración 48. Distribución de biomasa residual en matraces de Erlenmeyer.....	63
Ilustración 49 Agitación de muestras de agua sintética con biomasa residual.....	64

Ilustración 50 Izq. Agua sintética con biomasa residual; Centro. Toma de muestra para espectrofotometría; Der. Medición de absorbancia. ....	64
Ilustración 51 Procedimiento de adsorción para MNPs@Biomasa residual. ....	65
Ilustración 52 Distribución del agua sintética .....	65
Ilustración 53 Distribución de MNPS con biomasa residual y biomasa residual en el agua residual sintética. ....	66
Ilustración 54 Agitación en el Test de jarras. ....	66
Ilustración 55 Toma de muestras y medición de absorbancia en el test de jarras. ....	67
Ilustración 56 Medición de pH para agua preparada con MNPs@biomasa residual y biomasa residual. ....	67
Ilustración 57 Datos de entrada FAST 2.0 Beta.....	84

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Componentes químicos de los contaminantes.....	16
Tabla 2 Marco legal. ....	38
Tabla 3. Concentraciones del agua residual sintética.....	56
Tabla 4 Laboratorios métodos estándar. ....	57
Tabla 5 Tabla de variables.....	58
Tabla 6 Tabla de Conservación de muestras de Aguas Residuales.....	58
Tabla 7. Tabla de ecuaciones para métodos de adsorción.....	59
Tabla 8. Datos Obtenidos del ensayo. ....	71
Tabla 9 Parámetros cinéticos biomasa residual.....	77
Tabla 10 Parámetros cinéticos MNPs@biomasa residual. ....	78
Tabla 11. Datos biomasa residual.....	79
Tabla 12 Parámetros de isoterma de adsorción de azul de metileno con Biomasa residual .....	80
Tabla 13 Datos MNPs@biomasa residual. ....	81
Tabla 14 Parámetros de la Isotermas de adsorción de Azul de metileno con MNP`s@BiomasaResidual .....	82
Tabla 15 Capacidad de adsorción de azul de metileno en diferentes biomasas. ..	83
Tabla 16 Costo comparativo a gran escala de 1 gramo de adsorbentes útiles en remoción de Azul de metileno.....	90

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se muestra los estudios realizados para determinar la capacidad de adsorción de un material biodegradable proveniente de diferentes actividades como lo son el uso industrial, agrícola y actividades cotidianas del ser humano, evaluados en un escenario de agua sintética contaminada por el uso de productos de cuidado personal las cuales son desechados después de haber realizado actividades las personas; de esa manera se pretende caracterizar los compuestos orgánicos y realizar un aporte en cuidado ambiental en el agua.

Se llevó a cabo en la preparación de agua sintética mezclada con el contaminante azul de metileno debido a que su estructura química orgánica es similar al de los productos de cuidado personal, y con la aplicación de conocimientos adquiridos previamente sobre técnicas de adsorción para la remoción de partículas contaminantes de compuestos orgánicos implementando nanopartículas modificadas con biomasa residual de cáscara de mandarina citrus unshuiu/citrus reticulata, se realiza la caracterización de la cáscara de mandarina por métodos de parámetros magnéticos, cristalografía (XRD) y espectros infrarrojo (FTIR), se analiza por medio de los modelos de isoterma de Langmuir y Freundlich cuál se ajustaba más según los datos de absorbancia medidos por espectrofotometría, determinando que para la Biomasa residual se ajusta más el modelo Freundlich y para las MNPs@Biomasa residual se ajusta el modelo de Langmuir, al encontrar el equilibrio del adsorbente entre el adsorbato y por medio de una simulación de columna de adsorción en el programa FAST 2.0 beta, se varían parámetros definidos con los modelos anteriores hallando los valores de  $q_m$  y  $k_L$  para el modelo de Langmuir y  $k_f$  y  $n$  para el modelo de Freundlich, se varía caudal, masa y concentración de adsorbato, determinando que a mayor caudal más rápido se satura el material y su capacidad de adsorción disminuye, se trabajó con rango de masa del material de estudio entre 1g y 3g observando que a mayor masa se tarda más en llegar a la capacidad máxima de adsorción, para este estudio se encuentra que la capacidad de adsorción es del 22.8% a una concentración de 2mg/L, también se evalúa el pH inicial de la muestra verificando el cambio que tiene al agregar la biomasa residual y la síntesis de MNPs@Biomasa residual.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es indudable que el agua es un elemento esencial para el desarrollo de un país, actualmente tiene un efecto de amplio alcance pues desempeña un papel central en la economía mundial, donde aproximadamente el 70% del agua dulce se utiliza en la agricultura. La contaminación del agua es un problema universal (El-sayed, 2020) pues las actividades del ser humano generan residuos de distintos tipos y en su mayoría producen efectos negativos en diferentes aspectos; por nombrar algunos, el medio ambiente, la salud, la calidad del agua, perjudicando así la misma calidad de vida del individuo. Así como existen las anteriores afectaciones, el mismo hombre ha buscado la manera de mitigar estos impactos con métodos de reciclaje empleando diversos materiales, compuestos, técnicas, incluso los mal llamados “desperdicios” provenientes de materia prima como la caña, siendo residuos orgánicos que se consumen a diario para la elaboración de productos para el consumo humano.

De esta manera las partículas de los residuos orgánicos generan una capa de adsorción la cual se encarga de separar los elementos líquidos y los elementos sólidos, sin garantizar el 100% de remoción de partículas, pero si una identificación rápida de algunos compuestos o desechos existente en el agua, con el fin de recuperar nutrientes más no la potabilización del agua, pues se debe considerar estudios y análisis de bacterias y microorganismos que puedan afectar la salud de las personas; al ejecutarse la descomposición de la materia orgánica se obtiene CO<sub>2</sub> parte vital del ciclo de la biomasa.

En el mundo con el dinamismo industrial y social se encuentra afectada la calidad del agua, por contaminantes que son de origen orgánico de difícil control, de alguna manera clasificados como los productos farmacéuticos, drogas ilegales, productos para el cuidado personal (Peña-Guzmán et al., 2019), entre otros, provocando problemas de salud en infantes hasta adultos incluso la muerte, dichos contaminantes quienes por sus características propias, su manejo ambiental es responsabilidad de tratamientos avanzados como las plantas de tratamiento de agua residual (El-sayed, 2020).

Uno de los países con mayor riqueza hidrográfica a nivel mundial es Colombia (Gari et al., 2018), pues cuenta con una diversidad en flora y fauna que a su vez tiene múltiples afluentes de agua dulce, de donde se provee la comunidad y la naturaleza, viéndose afectada por la intervención de la mano del hombre al querer desarrollar su hábitat, en otras palabras, la construcción, actividades propias de las diferentes zonas como la pesca y la agricultura.

Por otra parte en Bogotá, ciudad representativa de Colombia con 7'181.469 de habitantes a la fecha del año 2019(Capital,2019)<sup>1</sup>, una ciudad muy activa, en donde se ejecutan bastantes proyectos de construcción, industriales, textiles y comerciales; de este modo el consumo de agua de la población está altamente intervenida por el ser humano, con procesos químicos, instalaciones industriales de productos cárnicos, y algunos contaminantes del hogar estos son los productos de cuidado personal que desembocan concluyendo en la contaminación del agua.

Claramente el agua es vital, como la ejecución de todas las anteriores actividades nombradas para el desarrollo de una región o población, por tanto debe existir una mejora en el uso del agua, debido a que por desear mejorar la calidad de vida del hombre, afecta significativamente recursos naturales e irremplazables por ser un elemento imposible de generar nuevamente, de manera que si los habitantes continúan afectando los recursos hídricos la calidad de vida, salud pública y economía posiblemente disminuirá el acceso al agua.

Por tanto, viendo la necesidad de un mejor aprovechamiento del agua, y emplear los avances del siglo XXI, a través de la nanotecnología siendo gran referente que podrían actuar con residuos provenientes de la naturaleza o biomasa, tales como frutos o tubérculos, debido a que existe la posibilidad de remover los compuestos orgánicos presentes en el agua como también los metales pesados con el fin de hacer un aporte a los habitantes de Bogotá. *¿Es posible la remoción de compuestos orgánicos por el vertimiento de productos de cuidado personal a través de la implementación de biomasa residual de cáscaras de mandarina modificada con nanopartículas magnéticas?*

---

<sup>1</sup> (Capital,2019) Visible en: <https://conexioncapital.co/bogota-habitantes-ultimo-censo-del-dane/>

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la ejecución de las actividades diarias del hombre, tales como, el deporte, desplazamientos de un lugar a otro, el trabajo, las aglomeraciones en el sistema de transporte, se producen toxinas en el cuerpo provocando que las personas se vean en la necesidad del uso de los productos de cuidado personal para su limpieza, generando un consumo de agua y a su vez modificando las características propias de la misma teniendo en cuenta que es el recurso más importante para el ciclo de la vida.

Realizando una investigación se evidencian pocos estudios sobre los contaminantes emergentes en Bogotá que afectan de manera significativa a mediano plazo el agua, que día a día generan un impacto negativo a los afluentes al hacer uso de champús, jabones, desodorantes, cremas corporales, cremas dentales, lociones, filtros UV(L. Li et al., 2019; Rasheed et al., 2019), entre otros, cada uno de estos productos están compuestos por elementos químicos como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 1 Componentes químicos de los contaminantes.

Contaminante	Componente químico
Desinfectantes	Triclosán
Fragancias	Almizcles
Protector solar	4-metil-bencilideno-alcanfor
Cosméticos	Metil parabeno
Productos de cuidado personal-general	4-clorofenol
Productos para el cuidado de la salud	Bactericida

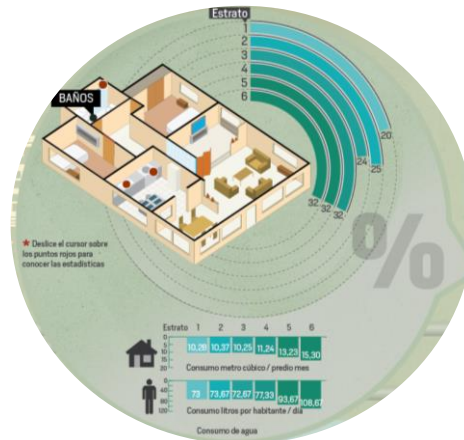
Fuente: Propia.

Según los componentes químicos de los productos de cuidado personal, se decide analizar la contaminación en el agua doméstica por causa de los protectores solares y el shampoo, enfocándonos en el azul de metileno debido a su estructura química orgánica. Es importante conocer el consumo de agua en Bogotá y según la publicación en una página interactiva e informativa del periódico El Tiempo, se informa que el promedio de consumo de agua diario de una familia en Bogotá es igual a 10,76 metros cúbicos de agua y el consumo por habitante es de 76,32 litros



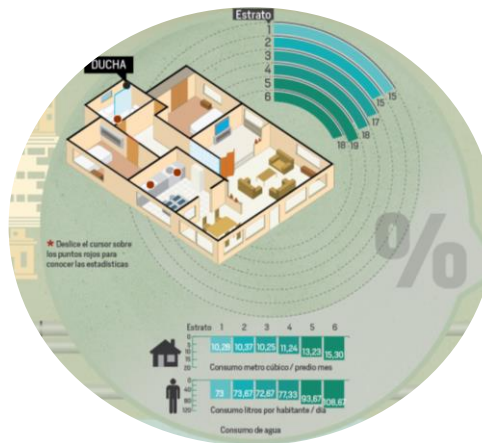
por día.(Tiempo, 2014) <sup>2</sup> A continuación se indica el porcentaje de consumo de agua en las casas de Bogotá

Ilustración 1 Consumo de agua en baños-lavamanos.



Fuente: El tiempo.com

Ilustración 2 Consumo de agua en baños - duchas



Fuente: El tiempo.com

Cifras que indican una conveniencia de reuso de las aguas del hogar. Por consiguiente es esencial la implementación de nuevas tecnologías para la eliminación de los compuestos de productos de cuidado personal como los protectores solares se hace por medio de técnicas de adsorción combinados con

<sup>2</sup> (Tiempo, 2014) Casa Editorial. El Tiempo. Visible en: [https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar\\_agua\\_bogota](https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota)

materiales agroindustriales como lo es la mandarina, por lo que es abundante, de fácil poder de adquisición debido a su bajo costo, pero la cáscara no se consume y es arrojada a la basura, siendo así un recurso útil y a la mano para tratar las aguas residuales domésticas removiendo los compuestos orgánicos originados por los compuestos anteriormente nombrados e implementarla para riegos en zonas verdes o cultivos pequeños en la ciudad. Al hacer uso de biomasa residual de la mandarina se aporta significativamente al área ambiental pues se disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su procedencia orgánica de manera que su posible contaminación es ser un sólido biodegradable, así mismo impulsaría la producción o los cultivos de mandarinos por el consumo masivo de esta fruta; por otra parte, se promueve el reciclaje a nivel local permitiendo el cuidado del agua.

Partiendo de la premisa que se tiene para las plantas de tratamiento quienes se encargan de la remoción de los compuestos orgánicos a gran escala mejorando la calidad del agua; ocupando extensiones de terreno para generar los espacios operativos, sin embargo la nanotecnología tiene ventajas a través de la implementación de nanopartículas las cuales trabajan en conjunto con la biomasa residual porque posibilita la remoción de compuestos orgánicos que se producen entre el uso de algunos productos que son de cuidado personal y el agua.

Por medio de esta investigación se busca determinar los contaminantes presentes en el agua de consumo diario en las viviendas a través de la utilización de MNPs y biomasa residual de citrus unshuiu/citrus reticulata para remoción de compuestos orgánicos persistentes en el agua para el reúso en riegos en zonas verdes o pequeños cultivos en la ciudad de Bogotá.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Los ecosistemas han sido alterados en gran manera debido a muchos factores como por ejemplo el aumento de la población que conlleva al incremento de la construcción de vivienda, igualmente se ha intensificado la búsqueda de recursos energéticos renovables, generado por hábitos como el reciclaje por lo que ayuda con el calentamiento global. Por otra parte, no se ha prestado atención especialmente al agua que se contamina a diario por el uso de los productos de cuidado personal, donde cerca de 12.000 productos farmacéuticos y cuidado personal se han distribuido para uso humano en todo el mundo. (Park & Lee, 2018). Sin embargo se han realizado estudios para la remoción de metales presentes en el agua, con nanotecnología y recursos naturales como es el caso la biomasa de cáscaras de limón químicamente modificada con la incorporación nano partículas de dióxido de titanio  $TiO_2$ , analizando los componentes de la cáscara de limón del Norte de Colombia, en términos de celulosa, hemicelulosa, lignina y ceniza reportando  $12.72 \pm 0.5\%$  p.,  $5.30 \pm 0.2\%$  p.,  $1.73 \pm 0.2\%$  p. y  $1,92 \pm 0,2\%$  en peso, respectivamente, se realizó la técnica de adsorción que es básicamente remover los iones al níquel. Este estudio concluyó que la biomasa modificada con las nanopartículas de  $TiO_2$  mostró un aumento de la adsorción de níquel hasta un  $90 \pm 0,1\%$ ; el pH de la solución afectó profundamente el proceso de adsorción debido a la protonación de la superficie de la biomasa, y se recomienda usar pH 4 o 6; que no influye significativamente el tamaño de las partículas en el rendimiento de remoción,..(Herrera-Barros et al., 2020).

La diversidad de usos que se ha encontrado a través de diferentes investigaciones sobre la biomasa y nanotecnología, como la recuperación de azúcar, la eliminación de lignina y los rendimientos de azúcar y etanol por medio de la biomasa de cáñamo. En este caso de investigación se realizaron diferentes pretratamientos para luego ejecutar el tratamiento principal que era de carácter biológico, donde se evidenció en los análisis de las comparaciones realizadas en la biomasa de cáñamo, con la biomasa de kenaf (pasto varilla y sorgo) y también con la base de maíz, dando como resultado la eficiencia y aunque la segunda comparación no fue significativamente alta para lo que esperaban; observaron que la biomasa seca de cáñamo mostró un mayor rendimiento de etanol (171 g / kg de biomasa) y una tasa de conversión (74%) en comparación con el cáñamo ensilado (163 g / kg de biomasa y 71%) en las mismas condiciones de pretratamiento (impregnación con 2% de  $SO_2$  seguido de pretratamiento con vapor a  $210^\circ C$  durante 5 min), comparó el potencial de cuatro variedades de biomasa de cáñamo para la producción de bioetanol y encontró que

la variedad Tygra mostró el mayor rendimiento de etanol (96,7%) en las mismas condiciones de pretratamiento y fermentación..(Zhao et al., 2020)

El uso del agua ha sido gravemente deteriorado en los últimos años por lo tanto la búsqueda de una mejora para la calidad se hace cada vez más importante pues se dispone de varias alternativas tecnológicas de tratamiento de aguas residuales como la nanotecnología con la aplicación de técnicas de adsorción, eliminación, floculación, entre otros con diversos grados de éxito para controlar o minimizar la contaminación del agua, pero estos métodos carecen de elevados costos de operación y mantenimiento. Comparativamente el proceso de adsorción se ve con buenos ojos para una alternativa de tratamiento del agua ya que tiene mayor facilidad de operación y diseño, por consiguiente, este proceso puede eliminar o reducir diferentes tipos de contaminantes. Se han analizado varios adsorbentes de bajo costo entre ellos las cáscaras de residuos agrícolas como materiales ricos en biomasa lignocelulosa porque abre nuevas puertas para la producción de adsorbentes renovables, de bajo costo y sostenibles para aplicaciones del tratamiento de agua.(Bhatnagar et al., 2015).

Ilustración 3 Cáscaras de residuo agrícolas,



Fuente: Bhatnagar et al, 2015

Dentro de las actividades humanas se adquieren diferentes productos orgánicos, como los las frutas, algunas más costosas que otras y de fácil acceso, donde su consumo óptimo está limitado por el recubrimiento o cáscara, existen casos interesantes la cual evidencian el aprovechamiento de los residuos de estas frutas

y tubérculos, como es el caso de la naranja, yuca, ñame, mandarina, entre otros productos agrícolas, donde industrialmente se producen grandes desechos, pero son reutilizados para la remoción de metales pesados gracias a los componentes de la estructura biológica de la fruta, de esta manera realizando diferentes investigaciones sobre adsorción y desorción.(Gupta & Suhas, 2009)

La cantidad de materia orgánica que se puede generar tanto en una industria como en las viviendas es considerablemente alta siendo proporcional al uso, todas las materias primas en términos de agroindustria resulta ser una tecnología eficiente para el área ambiental y tratamiento de aguas residuales, investigadores han realizado estudios con cáscaras de yuca, de granada, pomelo, yuca, plátano, se observa que no solo los productos cítricos o frutas son muy importantes e implementadas sino que también los tubérculos juegan un papel valioso en otros aspectos diferente al de la alimentación.

En las investigaciones realizadas se ha identificado que la cáscara de naranja modificada con ácido mercaptoacético se puede utilizar durante más de cinco ciclos, puede ser materia prima para preparar más adsorbentes. Aplicando diferentes métodos, inicialmente estudiando la capacidad de la cáscara de la fruta de naranja para eliminar Zn, Ni, Cu, Pb y Cr de una solución acuosa por adsorción y la adsorción fue del orden de Ni (II) > Cu (II) > Pb (II) > Zn (II) > Cr (II). La adsorción de Ni (II) dependía del pH y la eliminación máxima se produjo a pH 6. La desorción fue posible con HCl 0,05 M y se encontró que era del 95,83% en columna y del 76% en el proceso por lotes, respectivamente. El adsorbente gastado se regeneró y recicló tres veces. La remoción y recuperación también se realizó en aguas residuales y se encontró en 89% y 93,33%.Internacionalmente la yuca es reconocida por excelencia como materia prima para alimentos de tradición, ahora se ha investigado como biomasa modificada con ácido nítrico y ácido mercaptoacético usada como adsorbente de iones metálicos simples y múltiples Pb (II), Cu (II) y Cd (II). Las capacidades de adsorción de iones metálicos adsorbidos fueron óptimas a pH alrededor de 4 y 5. A partir de los datos termodinámicos, las capacidades de adsorción de iones metálicos Pb (II), Cu (II) y Cd (II) en biomasa modificada por ácido mercaptoacético 1,0 M fueron superiores a sobre biomasa modificada por ácido mercaptoacético 0,5 M y sobre biomasa activada por HNO<sub>3</sub>. En hospitales también realizaron estudios determinando que el pH indicado a trabajar es 8 para la absorción de iones de Cu y Pb, es importante destacar que para dichas investigaciones se tuvo en cuenta la temperatura para evidenciar cambios en procesos como la sorción. Se encontró que la eficiencia de sorción aumentaba con un aumento en la dosis de adsorbente y aumentó de 12% a 73%

para Pb (II) y de 26% a 79% para Cu (II) cuando la dosis de adsorbente aumentó de 2 a 12 gramo. Identificaron que la remoción máxima de 78.62% se obtuvo para una concentración de entrada de 50 mg / L, una altura del lecho de carbón de 30 cm y un caudal de 13.3 mL / min. También se evaluó la capacidad de la cáscara de yuca para eliminar el Cu (II) de la solución acuosa y se informó una capacidad máxima de adsorción de 41,77 mg / g.(Bhatnagar et al., 2015).

Otro de los productos de Colombia que tienen alto consumo es el ajo, para el tratamiento de aguas residuales que contienen Pb, Cu y Ni, donde es más compatible con el Pb que los otros elementos, sin embargo, realizando al comparar 2 especies de ajo, la nativa y mercerizada, esta última es 2.1 veces mejor en la adsorción, además que brinda pequeños poros útiles para adsorción. Esta biomasa ha sido implementada para varios contaminantes, donde según los experimentos en 25 minutos existe un poco más del 99% de eficiencia en la eliminación del Direct Red 12B presentes en las aguas residuales, aplicando una dosis de adsorbente de 0.2 g por 50mL para una concentración inicial de tinte de 50 mg/L. (Mohan et al., 2014)

Por otra parte, en otras indagaciones con cáscara de mandarina egipcia, se realizó la eliminación de iones de mercurio, por medio de la preparación de tres adsorbentes, que fueron la cáscara cruda, el segundo fue la cáscara de mandarina pretratada con NaOH y el tercero fue la cáscara de mandarina carbonizada. Se encontró que las capacidades máximas de adsorción de monocapa eran 19,01, 23,26 y 34,84 mg / g para MP, MNa y MC, respectivamente(X. Li et al., 2008). Si bien se han realizado investigaciones con la cáscara de mandarina para la remoción de metales pesados en las aguas residuales, se ha puesto la mira para investigar ahora los efectos que se producen aplicando técnicas de adsorción con nano partículas modificadas con cáscara de mandarina para la remoción de compuestos orgánicos originados por el consumo de productos de cuidado personal como lo son los filtros UV en aguas residuales domésticas en Bogotá.(Khaled et al., 2009)

#### 4. ANTECEDENTES

En el grupo de investigación CENIGAA en conjunto con el semillero de investigación Nanotechnology and water quality de la Universidad Católica de Colombia, se ha desarrollado en los últimos años diversos proyectos para evaluar, identificar la manera en que la nanotecnología puede aportar a los diferentes tratamientos del recurso natural más importante del planeta, el agua.

El primero que se nombra en este caso es una investigación donde se desarrolló un nanomaterial magnético capaz de retener metales pesados, obteniendo muestras del río Cuja localizado en el municipio de Fusagasugá, y por medio de los laboratorios simulamos tratamientos convencionales integrando nanopartículas; elaboramos un análisis del agua después de ser sometida en diferentes tratamientos, en esta investigación concluyeron que se logra remover de manera significativa el mercurio del agua, pero se debe tener en cuenta trabajar con un filtro lento para cumplir con los estándares de calidad debido a que no cumplieron con los estándares por la implementación de una filtración rápida.

Proyectos de investigación han sido propuestos con el objetivo de no solo remover los metales persistentes, sino también microorganismos, como es el caso de Unuabonah et al (2018), han empleado la Pirofilita, un mineral de arcilla de aluminosilicatos hidratado con la composición química de  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$  que se utilizó con el propósito de erradicar el 94% de E. coli en solución incluso en presencia de 10 mg de  $NaHCO_3$  en solución de pH de 7.1. (Unuabonah et al. 2018) Del mismo modo, ellos desarrollaron un nuevo compuesto de arcilla híbrido bacteriostático partir de una combinación de caolinita, Carica, papaya, semillas y cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ). Este compuesto se utiliza para acabar con bacterias tales como Vibrio Cholerae eficientemente y Typhi Samonella de agua con un tiempo de paso de 400 a 700 min para la eliminación de  $1,5 \times 10^6$  ufc/mL (unidad formadora de colonias) de S. typhi y V. cholerae en agua, respectivamente.(Haines et al et al., 2019).

Para procesos de tratamientos de agua lluvia también se han implementado nanopartículas magnéticas en la modificación de coagulante moringa, donde se obtuvo como resultado que no es efectivo el procedimiento a pesar de disminuir la turbiedad de la muestra de nanopartículas con el paso del tiempo, y el dato final que obtuvieron no era el mejor comparando con la muestra del coagulante solamente, concluyendo también que a partir del tren de floculación, coagulación y sedimentación se obtienen mejores resultados. La anterior metodología fue

realizado en el 2009 un estudio con coagulante a base de moringa para los ríos Kadahokwa y Rwamamba ubicados en Ruanda, en los cuales se reportó reducciones del 95 %, 99 %, y 99,8 % para turbiedades de 50, 250 y 450 NTU, respectivamente. También se encontraron reducciones de color por encima del 90 % para las muestras tomadas.<sup>19</sup> Resultados similares fueron hallados para agua cruda de un arroyo turbio, en Malasia, en una planta a escala piloto, utilizando la *M. Oleífera* como coagulante, y se lograron reducciones de turbiedades entre 21 y 202 UNT a valores entre 1,9 y 4,3 UNT. (Estupiñan et al et al, 2019).

Otro proyecto que se puede mencionar es la remoción de azul de metileno de cuerpos de agua utilizando nanopartículas magnéticas  $Fe_3O_4$ , donde se obtuvo éxito en la sedimentación de los contaminantes de origen textil, alimentos artificiales y cosméticos cuando se implementaron las nanopartículas modificadas con carbón activado, el azul de metileno se podía extraer con más facilidad del contenedor para su eliminación adecuada tal como lo dicen los autores con la metodología empleando carbón activado, que de por sí solo ya ha sido usado para este proceso y aunque es bueno no hace una completa extracción del colorante. Debido a eso al carbón se le hizo una mejora con nanopartículas magnéticas, impregnando estas al elemento. Hecho esto se procedió a preparar una solución madre de agua lluvia a la cual se le agrego un volumen de azul de metileno en estado líquido, solución a la cual se le realizaron varios ensayos antes del colorante, con el colorante y después de removido este (Carrillo et al, 2019).



## 5. OBJETIVOS

### 5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de implementación de un material conformado por nanopartículas magnéticas y biomasa residual de cáscaras de mandarina en eliminación de los compuestos orgánicos persistentes en agua residual contaminada con productos de cuidado personal.

### 5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las propiedades fisicoquímicas del agua contaminada con elementos de cuidado personal.
- Producir y caracterizar biomasa residual de cáscaras de mandarina modificada con nanopartículas magnéticas.
- Establecer la eficiencia y mecanismo de eliminación de los compuestos orgánicos por las nanopartículas magnéticas unidas con la biomasa residual.

## **6. ALCANCES**

El alcance del presente estudio busca caracterizar la composición del agua sintética con azul de metileno, sintetizar un material compuesto por cáscara de mandarina y nanopartículas magnéticas, realizar ensayos de adsorción Batch y continuo para remover el azul de metileno.

Se selecciona el componente orgánico azul de metileno debido a que tiene una estructura similar a los compuestos orgánicos de los productos de cuidado personal.

## 7. LIMITACIONES

Las posibles limitaciones que se presentan para el desarrollo de este proyecto son las siguientes:

- Dificultad con la programación porque el tiempo y disponibilidad de laboratorios se ve afectada por la emergencia sanitaria Covid-19 para la ejecución de los ensayos de laboratorio debido a que son indispensables para los cálculos y análisis de los resultados.
- Dificultad para conseguir el clorofenol para la ejecución de los ensayos de laboratorio.
- Las condiciones funcionales de los equipos de laboratorio de la Universidad Católica de Colombia.

Debido a la emergencia sanitaria Covid-19 se presentó un cambio en el componente orgánico puesto que no fue posible conseguir el clorofenol y se optó por trabajar con azul de metileno como compuesto orgánico representativo ya que tiene propiedades similares.

En caso de alguna limitación sea cumplida se verificará y recurrirá a los convenios de los laboratorios de otras universidades con la Universidad Católica de Colombia.

## 8. MARCO DE REFERENCIA

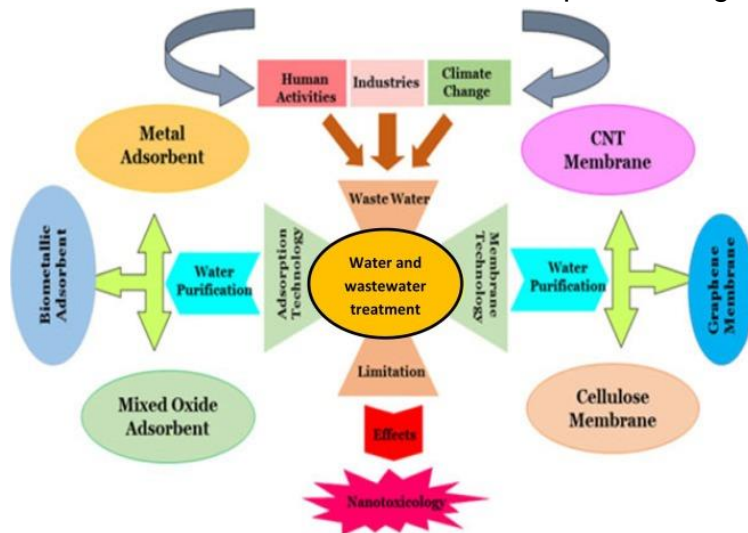
### 8.1. MARCO TEÓRICO

Los cambios climáticos y las actividades humanas han puesto en la mira del ser humano el recurso más importante del planeta: el agua, debido a su contaminación, por consiguiente, es importante, tener claridad en los conceptos que competen con el agua como recurso vital y la implementación de nuevas tecnología para su reúso.

#### 8.1.1 TÉCNICAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

Dentro de las técnicas de remoción de contaminantes del agua se tienen numerosos procedimientos de purificación del agua residual para generar agua limpia y segura. A continuación, se nombran dichas técnicas: intercambio iónico, precipitación química, Osmosis inversa, electrolisis, coagulación/floculación, ultrafiltración y adsorción.(El-sayed, 2020).

Ilustración 4. Técnicas de remoción de compuestos orgánicos



Fuente: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0048969720334239-gr2.jpg>

Definiendo las diferentes técnicas se tiene que el intercambio iónico es un proceso de transferencia de materia involucrando iones de estado líquido y sólida donde se transfieren iones de la misma carga unidos a grupos superficiales por fuerzas electrostáticas, cuando hay un equilibrio entre el estado sólido y fluido y dependiendo de la velocidad en que se transmite la materia se puede determinar la

eficiencia de esta operación. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resinas sintéticas. (EcuRed,2012)<sup>3</sup>

Otra técnica es la precipitación química que se define como el tratamiento de pretratamiento más habitual para la retirada de contaminantes, es implementada con el objetivo de reducir la concentración de metales presentes en un agua residual, por medio de procesos como lo son la coagulación, la floculación y la sedimentación, éstos procesos con ayuda de componentes químicos producen una eliminación de los contaminantes, de esta manera se ejecuta un movimiento molecular permitiendo la interacción de partículas agrupándolas para formar otras de un tamaño mayor, dependiendo de la velocidad, cuando es mayor es más rápida la coagulación. (Ceupe,s.f)<sup>4</sup>

Así mismo se define la técnica anteriormente nombrada dentro de la precipitación química, la coagulación, definido como un proceso al cual se agrega un coagulante que comúnmente es una sal de hierro o aluminio, éste proceso libera iones positivos que atraen las partículas coloidales neutralizando su carga, también puede ser formado por productos de baja solubilidad que precipitan y arrastran los coloides.

Se debe tener en cuenta el pH, la velocidad de agitación y el tipo de coagulante que se dosifica para que la coagulación sea óptima, de los anteriores parámetros es muy importante el pH que permite un área de trabajo para cada uno de los electrolitos, Para la corrección de los márgenes de trabajo, es posible la adición de coadyuvantes, como cal viva o apagada, carbonato sódico, sosa cáustica o ácidos minerales.(Ceupe,s.f)<sup>5</sup>

El segundo proceso de la precipitación química es la floculación donde los coágulos se unifican y forman partículas más grandes llamadas flóculos, estas partículas se unen a través de un floculante dosificado en el agua para ser agitado al contrario de la coagulación, es decir a una velocidad menor, entre más lenta sea la agitación va a permitir que se conserven los flóculos y evitar que se rompan.

---

<sup>3</sup> (EcuRed,2012) Visible en: [https://www.ecured.cu/Intercambio\\_i%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Intercambio_i%C3%B3nico)

<sup>4</sup> (Ceupe, s.f) Centro Europeo de Postgrado, Visible en: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>

<sup>5</sup> (Ceupe, s.f) Centro Europeo de Postgrado, Visible en: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>

Algunos de los floculantes más empleados pueden ser minerales, como la sílice activada, u orgánicos, caracterizados ambos por ser macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular. Los de origen sintético se obtienen a partir de monómeros simples sintéticos y los naturales, de menor eficacia, se obtienen a partir de extractos de algas, almidones y derivados de la celulosa.(Ceupe,s.f)<sup>6</sup>

Por último, para conocer la variedad de técnicas está la “La ósmosis inversa (RO)la cual se utiliza más como técnica de separación en la ingeniería química y medioambiental; la desalinización, la separación selectiva y el tratamiento de aguas residuales son ejemplos bien establecidos. El tratamiento por ósmosis inversa reduce los altos niveles de sales disueltas, pero tiene ciertas limitaciones en la eliminación de orgánicos de los efluentes de la industria química.(Application of Reverse Osmosis to Reduce Pollutants Present in Industrial Wastewater, 2003)

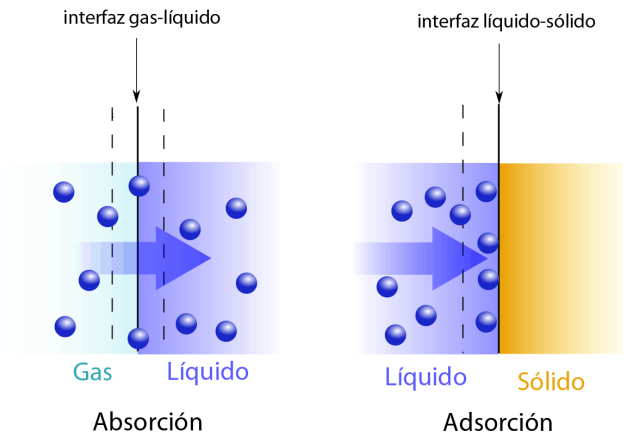
### **8.1.2 ADSORCIÓN**

En cuanto la adsorción será la técnica que se empleará para este trabajo, conociendo su definición: “La adsorción es un fenómeno de superficie y un mecanismo ampliamente utilizado para la eliminación de todo tipo de contaminantes. El proceso de adsorción depende de la interacción entre un soluto absorbible y un adsorbente sólido que tiene una estructura de superficie muy porosa. Las fuerzas de atracción entre el soluto y el adsorbente hacen que las moléculas de soluto se concentren en la superficie del adsorbente. El proceso de adsorción conduce a un aumento de la concentración del adsorbato en la superficie del adsorbente. Entre todos los métodos anteriores, la adsorción se considera una técnica muy apropiada para la purificación de agua y aguas residuales debido a su alta eficacia, rentabilidad, versatilidad y fácil control.(El-sayed, 2020).

---

<sup>6</sup> (Ceupe, s.f) Centro Europeo de Postgrado, Visible en: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>

Ilustración 5. Técnica de adsorción.



Fuente: <https://curiosoando.com/wp-content/uploads/2017/09/absorcion-vs-adsorcion.png>

### 8.1.3 AGUAS RESIDUALES

Aguas residuales se entiende por la modificación del agua por contaminantes provenientes de cualquier sector económico o fuente de desechos, en otras palabras, municipios, personas, empresas, fábricas, industrias entre otros, que pueden ser altamente peligrosas si el tratamiento no es el adecuado, de forma similar describe el periodista especializado en ecología y medio ambiente Enrique Arriols que las aguas residuales “son todas aquellas aguas que han sido usadas en los entornos domésticos y urbanos, en las industrias y ganaderías, así como las aguas naturales que, por accidente o mala praxis, se hayan mezclado con las anteriores. De este modo, nos encontramos con que las aguas residuales son agua pero, además de agua, también contienen una gran cantidad de elementos contaminantes, ya sean sólidos o disueltos en la misma agua”<sup>7</sup> (Arriols,2018), adicionalmente se pueden clasificar en aguas residuales domésticas o urbanas, industriales, de la agricultura y ganadería y derivadas de la lluvia ácida.

#### 8.1.3.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Esta clasificación “se trata de un tipo de agua residual con el que estamos en contacto todos los días. Este tipo de agua residual es el resultado del uso del agua

---

<sup>7</sup> (Arriols,2018) Ecología verde, Visible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican->

*en las viviendas y núcleos urbanos, donde también se concentran gran cantidad de comercios o lugares de trabajo. Se trata de un agua residual que es especialmente alta en contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables, así como en bacterias. Se trata del agua que desechamos cuando tiramos de la cadena del inodoro, cuando nos duchamos, cuando usamos el fregadero de la cocina”<sup>8</sup> (Arriols,2018), así como lo indica anteriormente Arriols, algunos contaminantes son los productos de cuidados personal, como jabones, cremas dentales, protectores solares y otros productos de consumo masivo.*

### 8.1.3.2 RIEGOS DE ZONAS VERDES

No es de menos importancia hablar de zonas verdes y su riego, porque el agua que se emplea en esta actividad muchas veces puede ser agua potable, cuando puede ser agua residual doméstica de reuso previamente tratada según el fin del área a tratar considerando que es un sistema automatizado donde puede mejorar el rendimiento y realizar un aporte relevante al medio ambiente por medio de la evolución y actualización que ha tenido. *“El riego de jardines ha evolucionado en las últimas décadas debido fundamentalmente al desarrollo de nuevos materiales y componentes, y a la aparición de modernos equipos que permiten un manejo más cómodo y eficiente. En la actualidad los métodos de riego mayoritarios son aspersión y localizado, en los que es necesario que el agua de riego esté dotada de una energía determinada para minada que ésta circule por las tuberías a presión.”*(Zarza, n.d.).

---

<sup>8</sup> (Arriols,2018) Ecología verde, Visible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican->



Ilustración 6. Riego de zonas verdes,



Fuente: (Zarza, n.d)

#### **8.1.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS**

*“Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono, formando enlaces covalentes carbono-carbono o carbono-hidrógeno. En muchos casos contienen oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, boro, halógenos y otros elementos menos frecuentes en su estado natural. Estos compuestos se denominan moléculas orgánicas.”*<sup>9</sup>(Equipos y laboratorio Colombia, s.f)

#### **8.1.5 BIOMASA RESIDUAL**

“Las biomásas residuales se han caracterizado desde un punto de vista estructural y se han reportado como polisacáridos de alto peso molecular , que consisten principalmente en celulosa y hemicelulosas (60% -80% de material leñoso) y lignina”.(Bonechi et al., 2017)

---

<sup>9</sup> (Equipos y laboratorio Colombia, s.f), Visible en:  
<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/busqueda?q=compuestos%20organicos>

Ilustración 7 Biomasa residual



Ilustración 8 Biomasa Residual



Fuente:[https://cdn.pixabay.com/photo/2012/12/19/18/13/background-70997\\_960\\_720.jpg](https://cdn.pixabay.com/photo/2012/12/19/18/13/background-70997_960_720.jpg) Fuente:[https://cdn.pixabay.com/photo/2014/09/09/21/00/biomass-440392\\_960\\_720.jpg](https://cdn.pixabay.com/photo/2014/09/09/21/00/biomass-440392_960_720.jpg)

#### 8.1.5.1 CÁSCARAS DE MANDARINA

La mandarina es una de las frutas con mayor uso por tanto sea aumenta en la producción de la misma, esta proviene de las zonas tropicales del Asia. Las cáscaras de mandarina con tienen aceites que son utilizados en la industria del perfume y también para los productos del cuidado personal.<sup>10</sup>

Ilustración 9 Mandarina sin cascara



Ilustración 10 Cáscara de la mandarina



Fuente:<https://www.ecured.cu/Mandarina>

Fuente:[https://cdn.pixabay.com/photo/2017/12/07/22/53/shell-3004746\\_960\\_720.jpg](https://cdn.pixabay.com/photo/2017/12/07/22/53/shell-3004746_960_720.jpg)

---

<sup>10</sup> (Ecured, s.f), Visible en: <https://www.ecured.cu/Mandarina>

### 8.1.6 NANOPARTÍCULAS

Las nanopartículas ocupan un espacio tan pequeño que es imposible de observar para el ojo humano pues las partículas son tan diminutas y se tiene que medir a escala(1-100nm).

Ilustración 11. Nanopartícula,

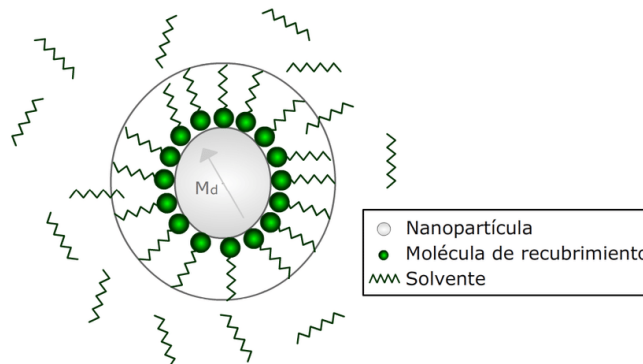


Fuente: <https://media.istockphoto.com/photos/nanoparticles-on-colorful-background-picture-id622777274>

#### 9.1.6.1 NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Se definen como un tipo de nanopartícula que ha suscitado un elevado interés son las nanopartículas magnéticas (MNPs), nanopartículas que pueden ser manipuladas bajo la influencia de un campo magnético externo. Las MNPs están formadas normalmente por elementos magnéticos, tales como el hierro, níquel, cobalto y sus óxidos. Presentan numerosas aplicaciones en biotecnología, biomedicina, ciencia de materiales, ingeniería y protección del medio ambiente.(García, 2012)

Ilustración 12. Nanopartícula magnética.



Fuente:[https://www.researchgate.net/profile/Mary\\_Mojica\\_Pisciotti/publication/45529487/figure/fig3/AS:669454027464712@1536621686631/Figura-21-Esquema-de-una-nanopartícula-magnética-con-aplicación-biológica-Se-presenta.ppm](https://www.researchgate.net/profile/Mary_Mojica_Pisciotti/publication/45529487/figure/fig3/AS:669454027464712@1536621686631/Figura-21-Esquema-de-una-nanopartícula-magnética-con-aplicación-biológica-Se-presenta.ppm)

### **8.1.7 PRODUCTOS DE CUIDADO PERSONAL**

Se puede definir productos de cuidado personal como “Sustancias o mezclas que, sin tener la consideración legal de medicamentos, productos sanitarios, cosméticos o biocidas, están destinados a ser aplicados sobre la piel, dientes o mucosas del cuerpo humano con finalidad de higiene o de estética, o para neutralizar o eliminar ectoparásitos.”<sup>11</sup> (Gobierno de España, 2015). Los cuales son fundamentales para limpieza y cuidado del ser humano debido a las actividades que realizan por consiguiente producen toxinas en el cuerpo y al hacer el uso de los productos generan los contaminantes orgánicos.

Ilustración 13. Productos de cuidado personal.



Fuente: <https://previews.123rf.com/images/belchonock/belchonock1211/belchonock121107447/16559640-una-gran-cantidad-de-diferentes-productos-cosm%C3%A9ticos-para-el-cuidado-personal-aislado-en-blanco.jpg>

### **8.1.8 MATERIALES AGROINDUSTRIALES**

Los materiales agroindustriales se pueden dividir en dos grupos, el primero “material alimentario” que corresponde a la transformación de materias primas en alimentos con varios formatos y propiedades; el segundo se denomina como “material no alimentario” en donde las materias primas se destinan a diversos procesos industriales que no están vinculados a la alimentación.<sup>12</sup>

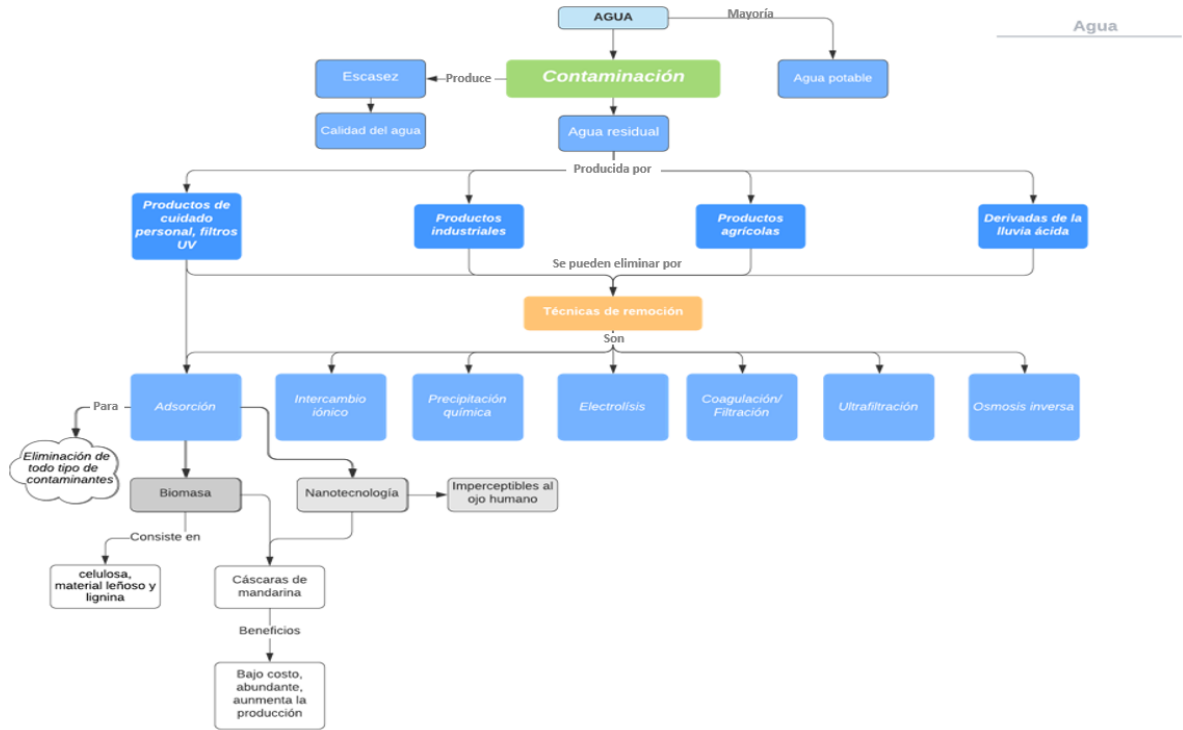
---

<sup>11</sup> (Gobierno de España, 2015), Visible en: <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-8343#a2>

<sup>12</sup> (Definicion.DE, s.f), Visible en: <https://definicion.de/agroindustria/#:~:text=La%20noci%C3%B3n%20de%20agroindustria%20alude,est%C3%A1n%20vinculadas%20a%20la%20agricultura.&text=La%20industria%20se%20compone%20de,procesar%20las%20materias%20primas%20naturales.>

## 8.2. MARCO CONCEPTUAL

Ilustración 14 Mapa conceptual Agua.



Fuente: Propia

8.3. MARCO LEGAL

Tabla 2 Marco legal.

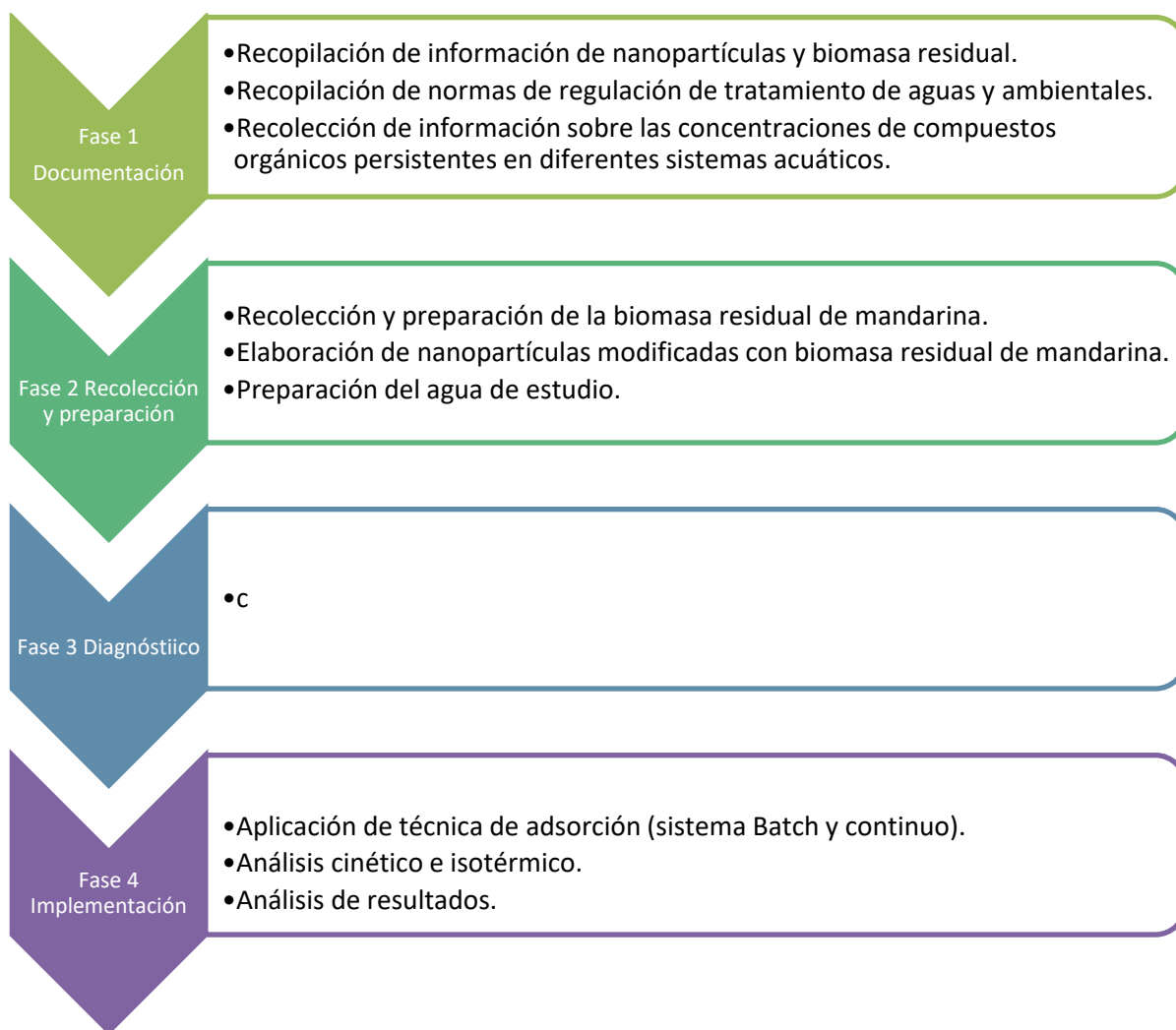
NORMA	VIGENCIA	DESCRIPCIÓN
Resolución 0631	2015	<p>Capítulo 3. Valores máximos permisibles microbiológicos en vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de agua superficiales</p> <p>Capítulo 4. Parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residuales domésticas-ARD y de las aguas (ARD-ARdN) en los cuerpos de agua superficiales</p>
Ley 373 de 1997	1997	<p>Artículo 1. Programa para el uso eficiente y ahorro del agua</p> <p>Artículo 5. Reusó Obligatorio del agua</p>
Decreto-Ley 2811 de 1974	1974	Artículo 134. “Corresponde al estado garantizar la calidad del agua para el consumo humano, en general, para las demás actividades en que su uso fuese necesario”.
Ley 1977	2019	Artículo 4. Evaluación del uso y ejecución a los recursos del sistema general de participaciones para el agua potable y saneamiento básico.
Ley Federal de control de la contaminación del agua	2002	(1) participar en tales investigaciones, estudios, experimentos y demostraciones que estime apropiadas, relativas a la remoción de hidrocarburos de cualquier agua y a la prevención, control, y eliminación de la contaminación por sustancias peligrosas.

Fuente: Propia.

## 9. METODOLOGÍA

La presente investigación se dividió en 4 fases, dentro de las cuales se tuvieron en cuenta, la recopilación de información, herramientas digitales a utilizar, recolección de los materiales, el diagnóstico, y por último el análisis y las conclusiones de los resultados que se obtuvieron para finalmente verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Ilustración 15 Metodología.



Fuente: Propia.

### 9.1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El desarrollo de la metodología como primera instancia para la ejecución de la investigación fue necesario tener información verídica, la cual se buscó en artículos científicos de revisión obtenidos en la base de datos ScienceDirect con el propósito de identificar conceptos como lo son nanopartículas y biomasa residual, proyectos que fueron desarrollados a partir de los conceptos anteriores teniéndolo en cuenta para así poder consolidar un planteamiento con referentes de otras biomasas y el manejo de agua. Así mismo se investigaron las normas y leyes que aplican para el territorio nacional e internacional en el manejo de aguas residuales, se tuvieron en cuenta el Reglamento Técnico del Sector de agua potable y Saneamiento básico (RAS), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, o como sus siglas en inglés “Environmental Protection Agency” (EPA), también se indagaron decretos y leyes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Por último, se buscó la información correspondiente a los compuestos orgánicos del agua y de los productos de cuidado personal.

Detallando la fase 2, se obtuvo el agua del grifo, en una cantidad de 1.5 litros, luego se realizó la preparación sintética de agua en el laboratorio agregándole cantidades en gramos de diferentes reactivos, disolviéndolas con agua destilada en cantidades variables entre 10ml – 30ml de, y seguido la disolución de azul de metileno como el contaminante seleccionado por la similitud de la estructura química orgánica al de los productos de cuidado personal. En cuanto a la biomasa residual se recolectaron 500g de cáscara de mandarina después de ser adquiridas en el mercado y consumidas en la casa para luego ser transportadas al laboratorio, después la cáscara de mandarina se lavó con agua destilada, se cortó en trozos pequeños y se secó a 100°C en el horno de laboratorio, se maceró hasta tener una muestra uniforme del material con aspecto visual de partículas entre 2mm y 3mm y se siguió con el procedimiento.



## 9.2. PREPARACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL

1. Comprar la mandarina para descascarar la fruta y obtener 450gr de biomasa residual.

Ilustración 16. Obtención de la biomasa residual.



*Fuente: Propia*

2. Retirar cuidadosamente la membrana interna blanca de la mandarina.

Ilustración 17 Retiro de la membrana interna de la cáscara de mandarina.



*Fuente: Propia*

3. Se procede a dejar la cáscara en varias partes para así poder hacer el posterior lavado.

Ilustración 18. Se preparación de la cascaras de mandarina.



*Fuente: Propia*

4. Luego de esto se procede hacer el lavado con agua, para eliminar cualquier suciedad que tenga la cáscara de mandarina.

Ilustración 19 Lavado de la biomasa residual, primer vez.



*Fuente: Propia*

5. El anterior proceso se debe hacer dos veces para obtener un buen lavado.

Ilustración 20 Lavado de cascaras de mandarina, segunda vez.



*Fuente: Propia*

6. Una vez realizado el proceso de lavado con agua se colocan las cáscaras de mandarina en un recipiente, para ser lavadas con alcohol.

Ilustración 21 Lavado de biomasa residual con Alcohol.



*Fuente: Propia*

7. Coloque la biomasa residual en un recipiente limpio y seco, en un lugar donde reciba el sol y déjelo secar durante unas 10 horas.

Ilustración 22 Lavado de biomasa residual con Alcohol.



*Fuente: Propia*

8. Cuando pase dicho tiempo con ayuda de una bolsa resellable recoja todo el material y empáquelo para llevarlo a la nevera.

Ilustración 23 Empaque de la biomasa residual.



*Fuente: Propia*

9. Luego de esto saque el material de la nevera y póngalo a secar en un horno por 24 horas a una temperatura de 80C°.

Ilustración 24 Material llevado al horno.



Fuente: Propia

10. Después de llevar la muestra al horno se procede a sacar la biomasa residual para ver que este completamente seca.

Ilustración 25 Material llevado al horno.



Fuente: Propia

### 9.3. PREPARACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MNPS) CON BIOMASA RESIDUAL

Seguido se ejecutó la elaboración de las nanopartículas de magnetita mediante el método de coprecipitación partiendo de una solución acuosa de cloruro férrico y cloruro ferroso, cisteína y soda cáustica pesadas y depositadas cada reactivo en un beacker de 40ml agregando 30ml de agua destilada y 40ml para la soda cáustica, sonicándolas por 5 minutos y después agregarlas en un balón aforado sometido a calor en la chaqueta de calentamiento hasta alcanzar los 80°C agitándose continuamente en el agitador mecánico por 1 hora a 120 rpm, se agregaron 40ml de hidróxido de sodio quien se encarga de evidenciar una coloración negra propia de las nanopartículas de magnetita, posteriormente se adicionaron 5g de cáscara de mandarina en polvo manteniendo constante la agitación Una vez estuvo a temperatura ambiente la mezcla, se separó por decantación magnética, se lavaron dos veces con agua destilada y se colocaron en una cápsula de porcelana en el horno de vacío a 40°C por 48 horas.(Marimón-Bolívar et al., 2018).

1. Macerar la biomasa residual dejándola en partes muy pequeñas.

Ilustración 26 Biomasa residual a macerar.



Fuente: Propia.

2. Lavar cuidadosamente la vidriera a utilizar, en especial 1 balón de 250 ml y 4 beakers pequeños.

Ilustración 27 Elementos limpios y secos de vidriería de laboratorio



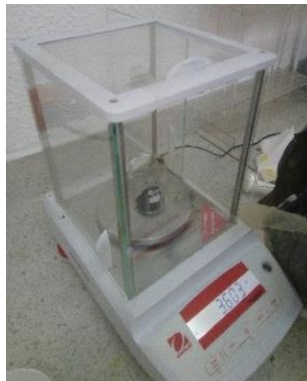
. Fuente: Propia

3. Pesar en los 4 beakers las sustancias a utilizar (cada sustancia en 1 beaker diferente):

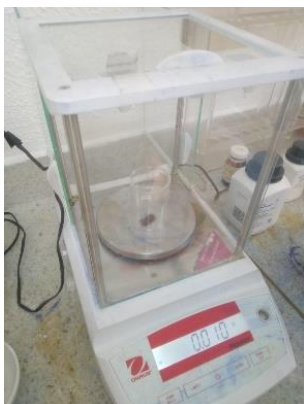
Ilustración 28 Reactivos.

a. 3.6 gramos de cloruro férrico.

b. 6 gramos de soda cáustica.



c. 1.3 gramos de sulfato ferroso



d. 1 gramo de cisteína



Fuente: Propia

4. Adicionar 20 ml de agua destilada a cada uno de los beakers, a excepción del que contiene soda cáustica, a éste adicionar 40 ml.

Ilustración 29 Medición de agua.



Fuente: Propia



- Colocar los beaker en el sonicador de 3 a 5 minutos, tapándolos para evitar salpicaduras.

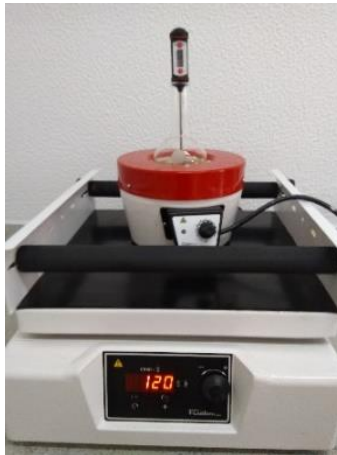
Ilustración 30 Sustancias sonicando.



Fuente: Propia

- Adicionar 50 ml de agua destilada en el balón de 250 ml, colocándolo en la chaqueta de calentamiento para empezar a calentar el agua y ubicarlos en el agitador mecánico a 120 rpm.

Ilustración 31. Calentamiento de agua.



Fuente: Propia

7. Adicionar al agua del balón las soluciones de hierro que se estaban sonicando, garantizando con la piseta que todo el contenido sea vertido en el balón.

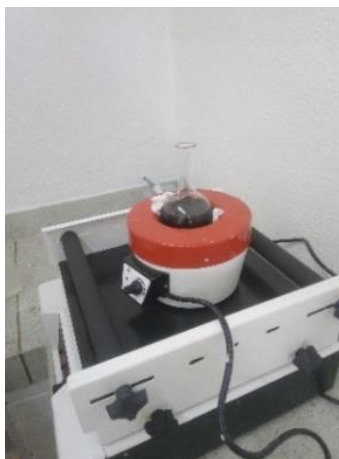
Ilustración 32 Adición de soluciones de hierro.



Fuente: Propia

8. Calentar la mezcla del balón a 70°C agitando constantemente con el agitador mecánico para adicionar 37 ml de la solución de soda cáustica verificando que el contenido se torne de color negro.

Ilustración 33 Adición de soda cáustica.



Fuente: Propia.

9. Al llegar a la temperatura de 80°C empezar a tomar 1 hora del tiempo asegurando que la temperatura debe estar en el rango de 80°C a 85°C. Ir chequeando con las tirillas de pH, que éstas al contacto con la solución el color sea un azul oscuro.

Ilustración 34 Verificación de pH.



Fuente: Propia

10. Después de poner en marcha el cronómetro cuando pasen 15 min adicionar la solución de cisteína preparada en el paso 3.

Ilustración 35 Adición de solución de cisteína.



Fuente: Propia

11. Al pasar 1 min de adicionado la solución de cisteína se debe agregar unos 3 ml de la solución de soda para mantener el pH alcalino.

Ilustración 36 Adición de soda cáustica restante.



Fuente: Propia

12. Cuando vayan 30 min, adicionar 3g de la biomasa macerada de cáscaras de mandarina y dejar reaccionando por 30 minutos adicionales. Al acabar estos 30 minutos detener la agitación y calentamiento del balón.

Ilustración 37 Adición de biomasa macerada de cáscaras de mandarina.



Fuente: Propia

13. Retire el balón de la chaqueta y colóquelo encima del imán de separación.

Ilustración 38 Separación de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.



Fuente: Propia

14. Cuando se vea que las partículas se van al fondo del balón, retire con cuidado el agua sobrenadante, sin retirar el imán de la base, esto para evitar la pérdida de nanopartículas magnéticas, repetir este paso 2 veces eliminando el sobrenadante de agua para colocarlas después en una cápsula de porcelana.

Ilustración 39 Separación de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.



Fuente: Propia

15. Coloque las partículas sin agua sobrenadante en el horno y seque a una temperatura de 40°C a 45°C por 12 horas.

Ilustración 40 Secado de nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina.



Fuente: Propia

#### 9.4. PREPARACIÓN DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA.

1. Limpiar muy bien la vidriera a utilizar: balón aforado de preparación de la solución estándar, Erlenmeyer de 100ml, beakers, probetas, pipetas, tubos para micropipeta, espátulas.

Ilustración 41. Vidriería de laboratorio.

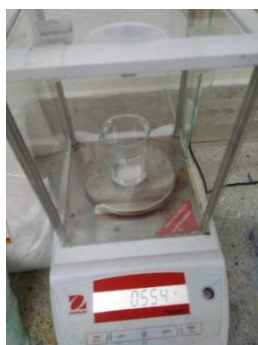


Fuente: Propia

2. Pesar por separado en cada uno de los beackers los siguientes reactivos:

Ilustración 42. Reactivos para adsorción.

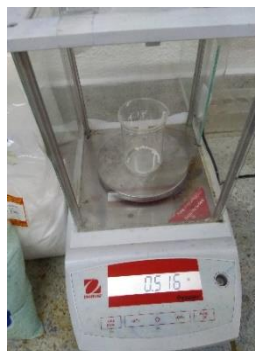
a. 0,5g de Ftalato  
 $C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$



b. 0,04g de cloruro  
de Zinc ( $ZnCl_2$ )



c. 0,5g de Urea  
( $CH_4N_2O$ )



d. 0,017g de sulfato  
de magnesio  
( $MgSO_4$ )



Fuente: Propia

3. Adicionar a cada uno de los reactivos 30 ml de agua destilada y luego llevarlos al sonicador para que se disuelvan y verter el contenido de las soluciones disueltas al balón aforado de 500 ml asegurándose con las pisetas que todo el contenido se deposite en el balón.

Ilustración 43. Soluciones disueltas en el balón aforado.



Fuente: Propia

4. Pesar en otro beacker 0,01 g exactos de azul de metileno, luego adicionar 10 ml de agua destilada y dejar disolver, y con la micropipeta tomar 1ml exacto de la solución de azul de metileno y adicionarlo a las soluciones del balón aforado, completar el balón hasta la marquilla del recipiente.

Ilustración 44. Preparación del agua sintética.



Fuente: Propia.

Tabla 3. Concentraciones del agua residual sintética.

sustancia	cantidad (g)	volumen (L)	Concentración (g/L)
Ftalato	0.5	0.03	16.667
Urea	0.5	0.03	16.667
Cloruro de zinc	0.04	0.03	1.333
Sulfato de magnesio	0.017	0.03	0.567
Azul de metileno	0.001	0.5	0.002

Fuente: Propia.



En la fase 3 se realizó el proceso de caracterización del agua en el que básicamente se midió con la técnica de espectrofotogrametría UV adicionando la ejecución de las siguientes técnicas de caracterización:

Tabla 4 Laboratorios métodos estándar.

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Especificación</b>
pH	ASTM D1293 - 18	Métodos de prueba estándar para pH del agua
Absorbancia a 663nm	ASTM D2008 - 12 (2018)	Método de prueba estándar para absorbancia ultravioleta y absortividad de productos derivados del petróleo.

Fuente: Propia.

La implementación se refiere a dosificar los 1.5 litros de agua obtenidos del grifo de laboratorio en diferentes cantidades a temperatura ambiente para la variedad de ensayos, primero para los ensayos Batch se hicieron pruebas en 500 ml para el agua sin modificar y 500 ml para el agua con diferentes cantidades entre 0.2 gramos a 2 gramos de las nanopartículas de magnetita modificadas con biomasa residual de cáscara de mandarina a una velocidad de agitación de 120 rpm con un tiempo de contacto de 60 minutos, verificando el pH esté entre 5 y 9. Así mismo se preparó 500ml distribuidos de a 250 ml en beacker de 1000ml cada uno, se agregan 2 gramos de biomasa residual y MNPs@Biomasa residual, en cada uno de las beacker para realizar el ensayo del test de jarras, agitándose a 120 rpm durante 60 minutos, tomando muestras en distintos tiempos que van de desde 2 minutos hasta los 60 minutos.

Las variables que se tuvieron en cuenta para la investigación fueron las siguientes:

Tabla 5 Tabla de variables.

Clasificación de variable	Variable	Descripción	Unidad
<b>Independiente</b>	Cantidad de Biomasa	500 g	g
	Cantidad de nanopartículas	1g-10g	g
	pH	Rango: 3-9	Unidades de pH
<b>Dependientes</b>	Concentración de Azul de metileno	20mg/L – 50mg/L	mg/L

Fuente: Propia.

A continuación, se especifican los parámetros y tiempos de conservación y almacenamiento de muestras de agua según el IDEAM para la obtención de buenos resultados:

Tabla 6 Tabla de Conservación de muestras de Aguas Residuales.

Parámetro para analizar	Conservación	Máximo almacenamiento recomendado
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 horas / 0.25 horas
pH	Analizar inmediatamente	0.25 horas / 0.25 horas

Fuente: Adaptada del IDEAM

Capacidad de adsorción

Las concentraciones finales se midieron con un espectrofotómetro de adsorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 100. Las capacidades de adsorción se calcularon a partir del siguiente balance de masa:

$$q = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad (1)$$

Donde  $C_o$  y  $C_f$  son las concentraciones iniciales y finales de los metales en  $\text{mgL}^{-1}$ ,  $V$  es el volumen en litros de la solución empleada en los experimentos de adsorción y  $W$  es la masa del adsorbente en gramos. (Ramón de los Santos et al., 2019)

Tabla 7. Tabla de ecuaciones para métodos de adsorción.

Referencia	Cinética	Isotermas
Langmuir	-----	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m}$
Freundlich	-----	$q_e = K_F C_e^{1/n}$
Pseudo-Primer Orden	$q_t = q_e(1 - e^{-k \cdot t})$	-----
Pseudo-Segundo Orden	$q_t = \frac{t}{\left(\frac{1}{(k_2 \cdot q_e^2)}\right) + (t/q_e)}$	-----
Modelo Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \log(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \log(t)$	-----
Difusión Intraparticular	$q_t = k \cdot \sqrt{t} + C$	-----

Fuente: Propia

Para el cálculo de remoción de compuestos orgánicos en la muestra de agua sintética se realizó con las ecuaciones:

$$\text{Porcentaje removido} = \left[ \frac{C_j - C_e}{C_j} \right] \times 100\% \quad (2)$$

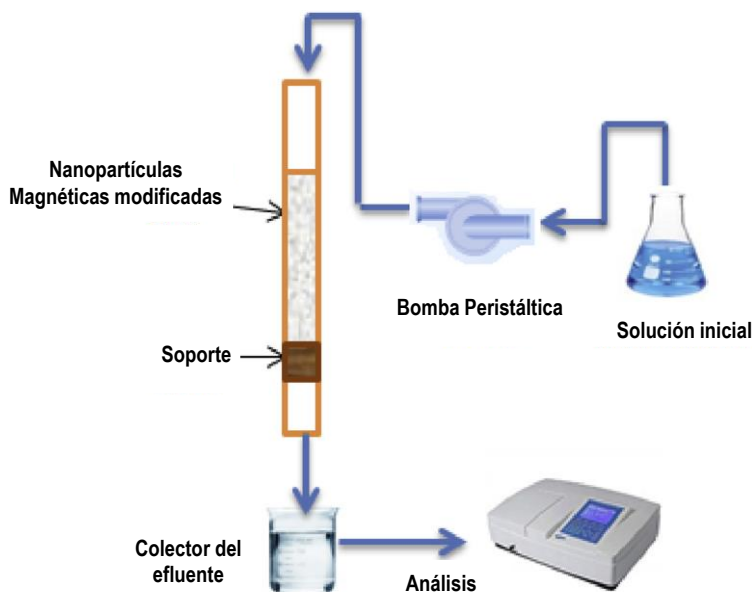
$$K_d = \frac{q}{C_e} \quad (3)$$

Donde  $C_i$  es la concentración inicial de los productos de cuidado personal (ml),  $C_e$  es la concentración en el equilibrio,  $K_d$  es el coeficiente de distribución y  $q$  es la concentración de equilibrio en la fase sólida en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

Para el sistema continuo se realizan seguidos de hacer los análisis por ensayos Batch, lo ideal es que se emplee una columna cerrada de lecho fijo para evaluar la eliminación de los compuestos orgánicos de productos de cuidado personal por las nanopartículas magnéticas modificadas que se obtuvieron en la fase 2 del proyecto.

Dichos estudios de adsorción de columna de lecho fijo se llevan a cabo en una columna de vidrio con un diámetro definido. En su parte inferior, se coloca 1 cm de lana de vidrio y una capa de perlas de vidrio y distintas cantidades del nanomaterial de tal forma que se evalúen a diferentes alturas de relleno para tratamiento. Se bombea por la parte superior de la columna fluyendo de arriba abajo el agua sintética que simula la contaminación por azul de metileno como se muestra a continuación:

Ilustración 45. Configuración del diagrama de flujo de la columna de lecho fijo a implementar.

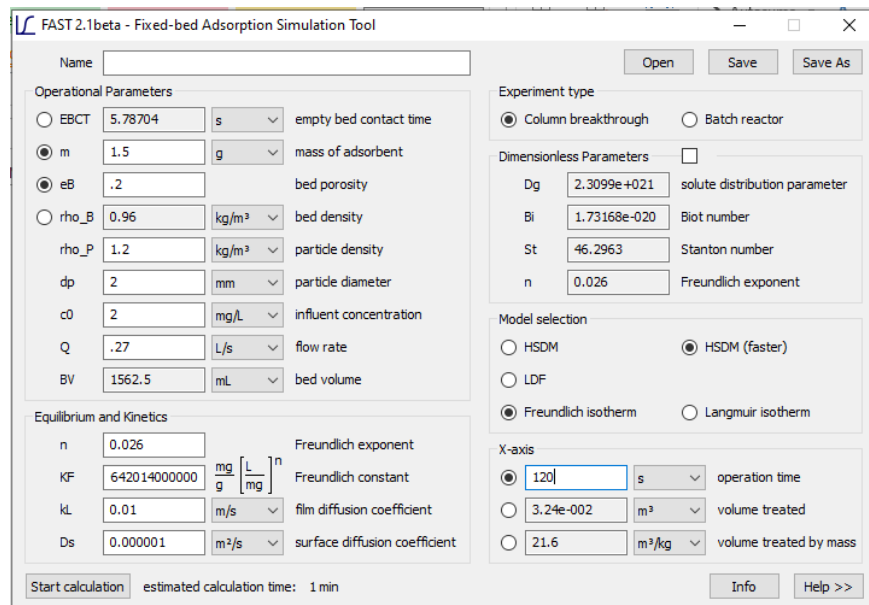


Fuente: W.Marimón

Es de aclarar que fue suministrado por el asesor de trabajo de grado un software para realizar simulaciones de columnas de adsorción que lleva por nombre FAST

2.0 beta; este software es de fácil acceso para descargar e implementar, por ende se decide usarlo como herramienta clave para el presente estudio, debido a las afectaciones sociales en el país y también por la emergencia sanitaria que ocurre en el presente año. En las simulaciones realizadas se tienen en cuenta variables y las unidades de cada uno, como la masa del material, la concentración del contaminante, el tiempo para remoción, el caudal de agua a usar, así como también parámetros propios de la biomasa, por ejemplo la dimensión de la partícula, la porosidad y también constantes halladas con modelos isotérmicos que se pueden seleccionar para luego comparar los resultados sobre la cantidad removida del contaminante en un tiempo definido, realizando cambios a parámetros como el caudal de entrada, la cantidad de material a usar tanto biomasa residual como MNPs@Biomasa residual, y la cantidad del contaminante o concentración de azul de metileno en el agua sintética preparada, el programa muestra el tiempo estimado para la simulación y arroja datos en porcentaje de la saturación indicando si el caudal de salida es igual al caudal de entrada o en que proporción va removiendo el adsorbente a continuación se muestra la interfaz del programa y algunos datos ingresados como ejemplo:

Ilustración 46 Interfaz de FAST 2.0 beta.



Fuente: Propia.

La simulación se muestra más clara del presente estudio, con su respectiva gráfica en el ítem de Análisis y resultados. La concentración final de los compuestos orgánicos es medida por la técnica de espectrofotometría UV.

Con el fin de establecer las condiciones operacionales para el diseño a escala del sistema de tratamiento, se estudiaron los modelos cinéticos de adsorción. Es así como, el porcentaje total de eliminación del adsorbato se determinó a partir de la relación de la masa total de adsorbato ( $q_{total}$ ) a la cantidad total de adsorbato que se comprime en el lecho ( $m_{total}$ ).

$$\%R = \frac{q_{total}}{m_{total}} \times 100 \quad (4)$$

La capacidad máxima de adsorción de adsorbato se determinó a partir de:

$$q_{total} = \frac{Q \times C_i}{1000} \int_{t=0}^{t=t \text{ final}} \left(1 - \frac{C_e}{C_i}\right) dt \quad (5)$$

Dónde  $\left(1 - \frac{C_e}{C_i}\right)$  representa la concentración de azul de metileno que se adsorbió a través de las nanopartículas, y son las concentraciones de los compuestos orgánicos en el afluente y el efluente, respectivamente, y Q representa la velocidad de flujo (ml/min). La longitud de la zona de transferencia de masa (MTZ) depende de la velocidad de adsorción y la velocidad de flujo del influente. La longitud de MTZ se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{MTZ} = L \frac{t_e - t_b}{t_e} \quad (6)$$

Donde L es la altura de la cama, y  $t_b$  es el tiempo que se desea alcanzar el punto de ruptura. El tiempo del avance se calculó, mientras que la concentración de azul de metileno en la alimentación del efluente va más allá de aproximadamente el 5% de la concentración de la solución influente lo que indica que el tiempo de la columna de lecho fijo sigue siendo válido.

### 9.5. ENSAYOS DE ADSORCIÓN.

1. Tomar 7 matraces de Erlenmeyer y verter 70ml de la solución del balón aforado en cada uno de los matraces.

Ilustración 47. Distribución de agua sintética.



Fuente: Propia

2. A cada uno de los matraces de Erlenmeyer adicionar biomasa residual de cáscaras de mandarina en diferentes cantidades y dejar uno de control.

Ilustración 48. Distribución de biomasa residual en matraces de Erlenmeyer.



Fuente: Propia

3. Colocar las muestras en el agitador mecánico a 120 rpm, y retirarlas al cabo de 1 hora.

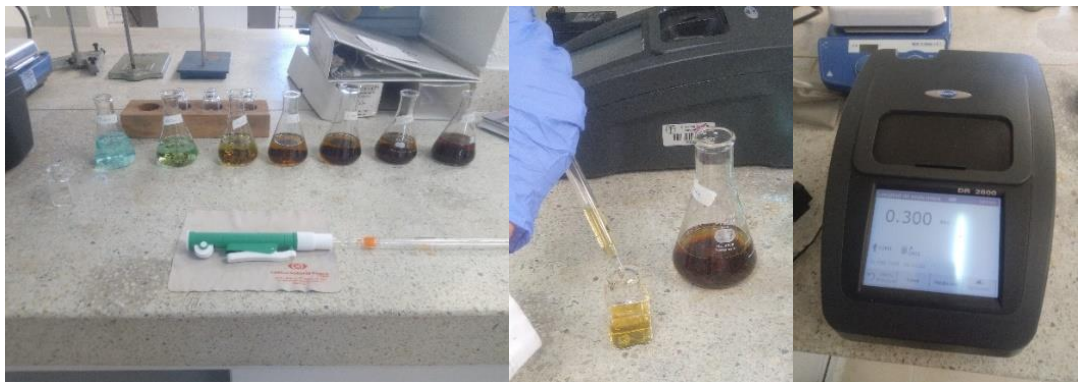
Ilustración 49 Agitación de muestras de agua sintética con biomasa residual.



Fuente: Propia

4. Dejar reposar las muestras durante 10 minutos para después tomar 10ml con la pipeta y medir la absorbancia con el espectrofotómetro usando una longitud de onda de 663nm.

Ilustración 50 Izq. Agua sintética con biomasa residual; Centro. Toma de muestra para espectrofotometría; Der. Medición de absorbancia.



Fuente: Propia



5. El anterior procedimiento se realizó también con las nanopartículas magnéticas (MNPs) con biomasa residual de cáscaras de mandarina.

Ilustración 51 Procedimiento de adsorción para MNPs@Biomasa residual.



*Fuente: Propia*

#### 9.6. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE ADSORCIÓN EN TEST DE JARRAS.

Para esta técnica es necesario hacer la preparación de 500ml del agua residual sintética del procedimiento 10.4 del punto 1 al punto 4 y continuar así:

1. Distribuir los 500 ml del agua preparada de a 250ml que deben ser medidos con una probeta, y verterla en dos beaker de una capacidad de 1000 ml cada uno, y medir el pH de la muestra sin afectación de la técnica de adsorción.

Ilustración 52 Distribución del agua sintética



*Fuente: Propia*

- Adicionar a cada uno de los beakers dos gramos del material adsorbente, uno con nanopartículas con cáscaras de mandarina y en el otro con la biomasa residual de cáscaras de mandarina, verter los 250ml del paso 1. Ver ilustración 51.

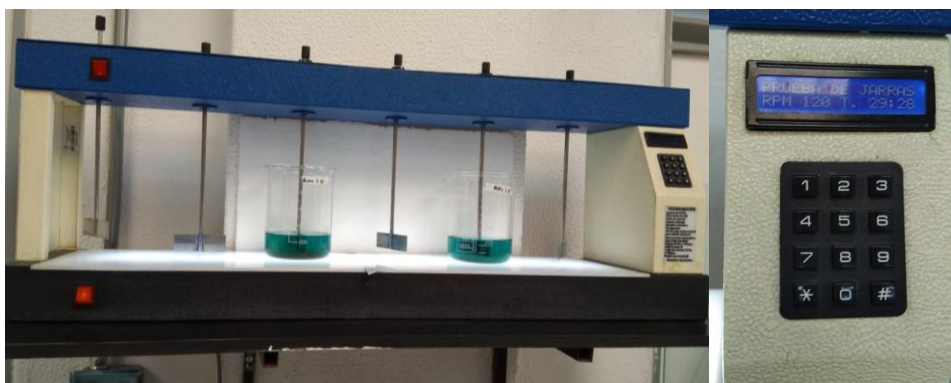
Ilustración 53 Distribución de MNPS con biomasa residual y biomasa residual en el agua residual sintética.



Fuente: Propia

- Ubicar cuidadosamente los beakers en el test de jarras para comenzar la agitación a 120 rpm.

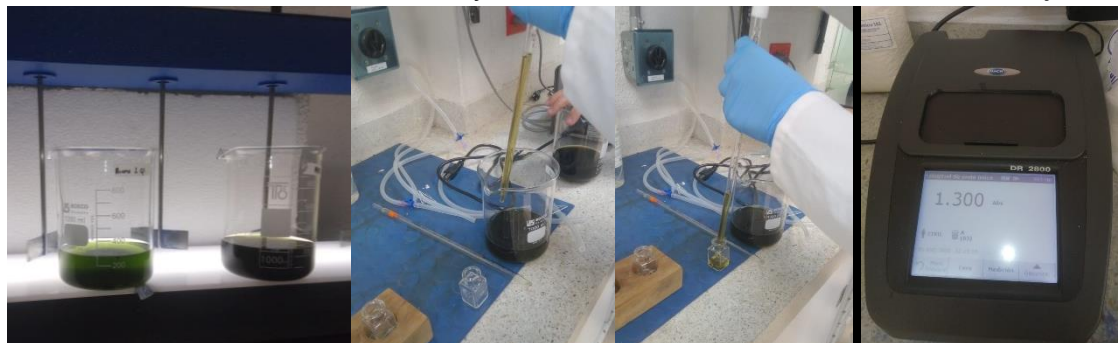
Ilustración 54 Agitación en el Test de jarras.



Fuente: Propia

4. Tomar muestras de 10 a 15ml a diferentes tiempos (2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 min) realizar la medición de absorbancia en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 663 nm.

Ilustración 55 Toma de muestras y medición de absorbancia en el test de jarras.



Fuente: Propia

5. Al finalizar la toma de muestras y medición de absorbancia se mide el pH con el pHmetro para cada agua.

Ilustración 56 Medición de pH para agua preparada con MNPs@biomasa residual y biomasa residual.



Fuente: Propia

## 10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para determinar el comportamiento de los compuestos orgánicos persistentes en el agua, se realiza el estudio de azul de metileno, compuesto tomado como referencia debido a que su estructura química orgánica es representativa o similar a los compuestos orgánicos que contienen los productos de cuidado personal, evaluando la efectividad de remoción del contaminante en agua residual contaminada con productos de cuidado personal por medio de la implementación de las MNPs@biomasa residual.

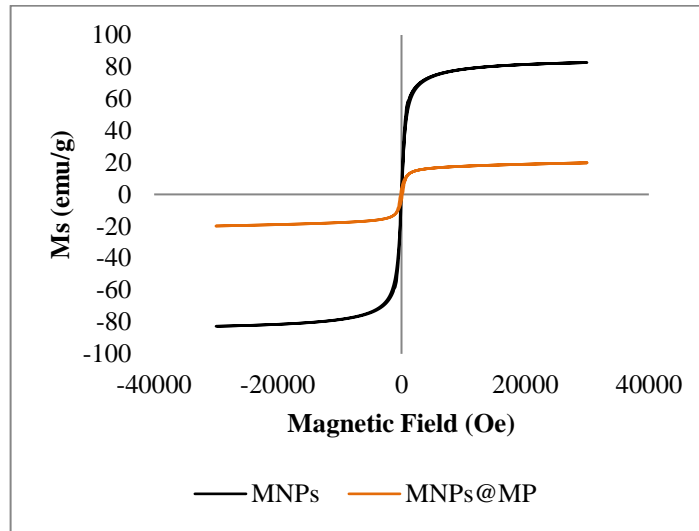
### 10.1 CARACTERIZACIÓN DEL NANOMATERIAL

#### 10.1.1. *Parámetros Magnéticos.*

En la curva de saturación de la biomasa residual y de las nanopartículas se evidencia en la gráfica 1, donde la magnetización de la saturación ( $M_s$ ) de las nanopartículas con la biomasa muestra un decrecimiento en sus propiedades magnéticas, presentando un valor máximo de 19.80 eum/g colacionando con el estado inicial de las nanopartículas de 82.67 eum/g, teniendo en cuenta que el valor teórico de las nanopartículas de la magnetización de la saturación es de 90 eum/g, este fenómeno se puede presentar ya que no se conoce los compuestos orgánicos que conforman la estructura de la biomasa, llevando a cabo una disminución del hierro presente en la síntesis al contacto con el agua.

Al analizar la gráfica 1 del material estudiado se puede inferir que no presenta bucles de histéresis magnéticos; ya que su remanencia y coercitividad se evidencia cercano a cero, esto hace que el material en estudio presente un comportamiento superparamagnético, lo que quiere decir que cuando tenga un campo magnético cercano, su capacidad magnética no incrementa, esto se produce a temperatura ambiente.

Gráfica 1 Magnetización a temperatura (26.85° C) ambiente de MNPs obtenidas.



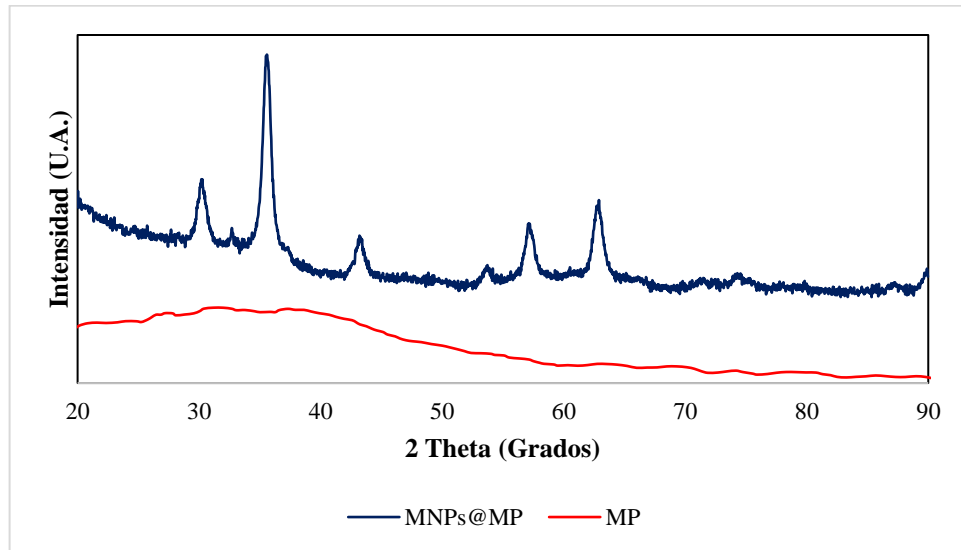
Fuente: Propia.

### 10.1.2. Cristalografía (XRD)

El análisis (XRD) o difracción de rayos X, es la única técnica de laboratorio que permite determinar la estructura cristalográfica de materiales particulados, para el material de estudio, se realizó la radiación con  $\text{CrK}\alpha$  y  $\text{Cu}$  ( $1.5406 \text{ \AA}$ ), con un intervalo de ángulos entre  $20$  y  $90$  grados, presentando una velocidad de escaneo de  $0.04^\circ/\text{s}$  y un ancho de paso de  $0.02$ . La gráfica 2, muestran los difragtogramas de nanopartículas sintetizadas con biomasa residual, mostrando picos de intensidad U.A. con valores de  $(220)$ ,  $(311)$ ,  $(400)$ ,  $(422)$ ,  $(511)$  y  $(440)$ , valores determinados teóricamente de la magnetita, ya que están dentro del mismo rango de ángulos. Estos datos se pueden asociar a directamente a una estructura cubica espinela, la cual corresponde a la estructura de la magnetita (Noval et al., 2017). Los picos de XRD fueron registrados usando datos de El Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD) el cual mantiene una base de datos de patrones de difracción database.

En la Gráfica 2, la serie de datos roja (biomasa residual) no presenta crestas, lo que permite verificar que es un material orgánico, al no presentar una conformación cristalina.

Gráfica 2 Patrón de difracción de rayos X

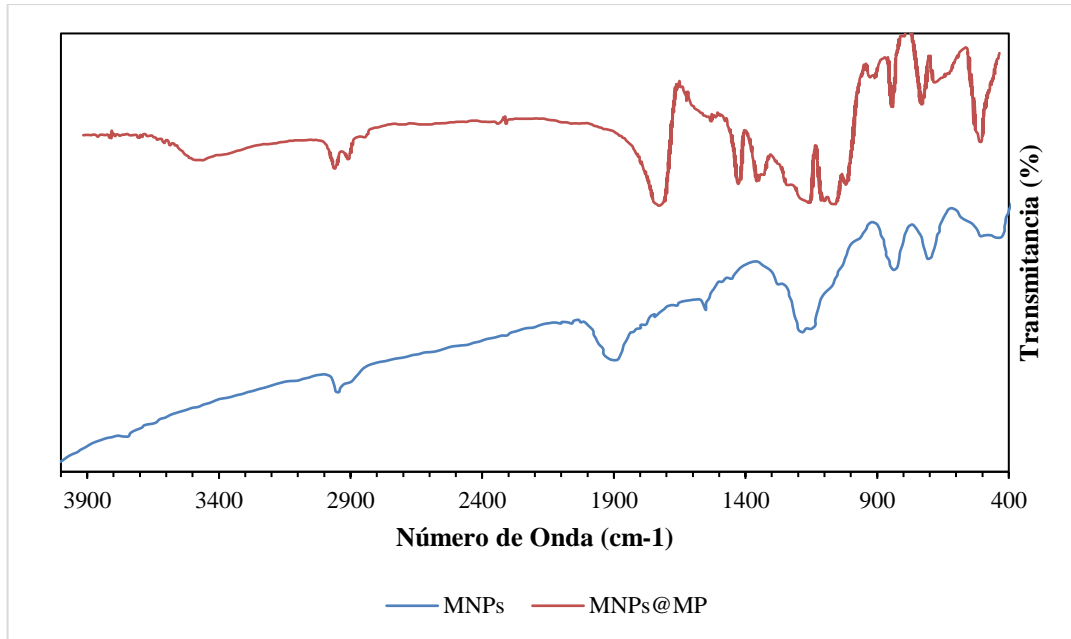


Fuente: Propia.

### 10.1.3. Espectro Infrarrojo (FTIR)

La espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permite conocer la composición de sólidos, líquidos y gases o de materiales desconocidos, para las nanopartículas con biomasa residual se ve presentado en la Gráfica 3, la cual muestra cinco crestas correspondientes a la síntesis de estos compuestos; determinados por los grupos funcionales en distintos puntos, el cual se basó en el estudio donde analizaron 60 muestras de frutas y vegetales, promediando el número de onda y así encontrar los picos del material en estudio, en  $3480\text{ cm}^{-1}$  (N-H stretching),  $2958\text{ cm}^{-1}$  (C-H stretching),  $1721\text{ cm}^{-1}$  (C=O stretching),  $1423\text{ cm}^{-1}$  (O-H bending),  $1056\text{ cm}^{-1}$  (C-O stretching). Por otra parte, las nanopartículas  $508\text{ cm}^{-1}$  es asociado al enlace (Fe-O),  $1551\text{ cm}^{-1}$  y  $3743\text{ cm}^{-1}$  corresponden a vibraciones de resonancia incrementando la amplitud de los hidroxilos en la superficie de la magnetita. Una fuerte absorción a  $1056\text{ cm}^{-1}$  surge del estiramiento de los enlaces simples de C-O. Este resultado revela que la molécula de biomasa fue adherida a núcleo magnético de magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  como carboxilato (Zhang et al., 2006), el cual es el producto de la reacción química entre un ácido orgánico de la cascara de mandarina y un ion metálico proveniente de las nanopartículas demostrando que la biomasa modificó la estructura original de la magnetita.

Gráfica 3 Espectro FTIR



Fuente: Propia.

### 10.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA

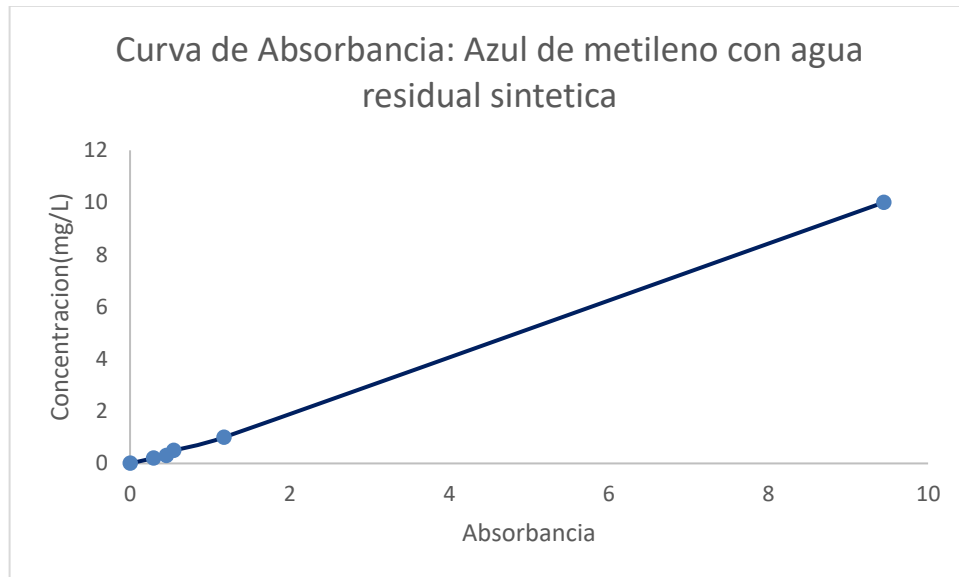
En el análisis de la caracterización del agua sintética se midieron con el espectrómetro con una longitud de onda de 663 nm varias concentraciones de la muestra de biomasa residual para así obtener las diferentes absorbancias del material, esto con el fin de mostrar la curva de calibración de los datos obtenidos en el laboratorio, a continuación, ver la Tabla No 8 y Gráfica 4.

Tabla 8. Datos Obtenidos del ensayo.

Concentración (mg/L)	Absorbancia
0	0
0.2	0.292
0.3	0.455
0.5	0.545
1	1.175
10	9.443

Fuente: Propia.

Gráfica 4 Curva de Calibración



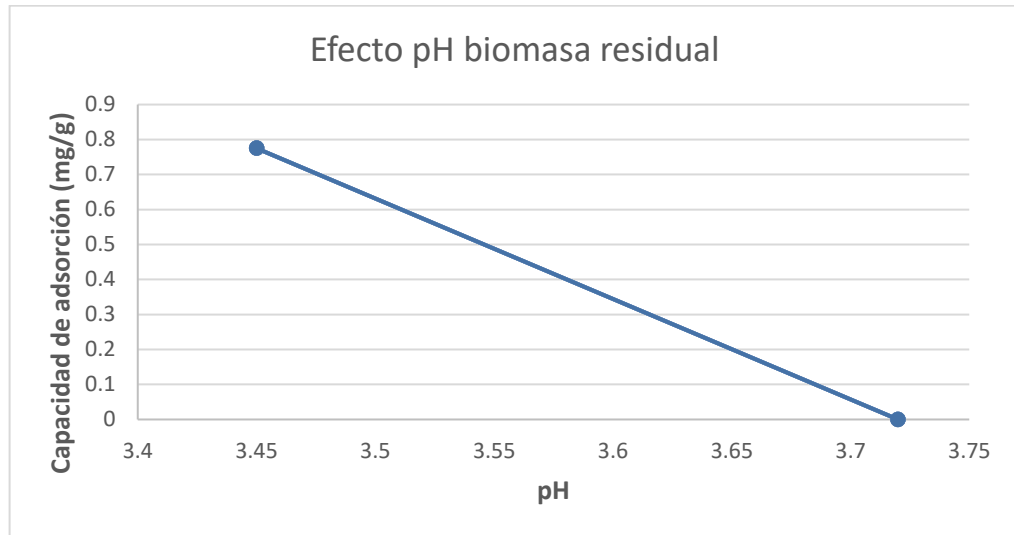
Fuente: Propia.

#### **10.2.1. Efectos del pH**

Para evaluar el impacto en el rendimiento de la biomasa a la muestra de agua residual sintética se tuvo en cuenta el pH inicial y final de la muestra por lo tanto se trabajó con un pH inicial de 3.72 para las dos muestras de biomasa residual y Nanopartículas, en esta última se ve reflejado un cambio significativo ya que su pH final es de 9.54 lo que define que este pH tiene más concentraciones de iones de hidrogeno en la muestra de agua sintética y tiene una mejor capacidad de adsorción respecto a los efectos que se tienen con la biomasa residual ya que su pH tiende a reducir sus concentraciones de iones de hidrogeno como se visualiza en las gráficas 5 y 6.

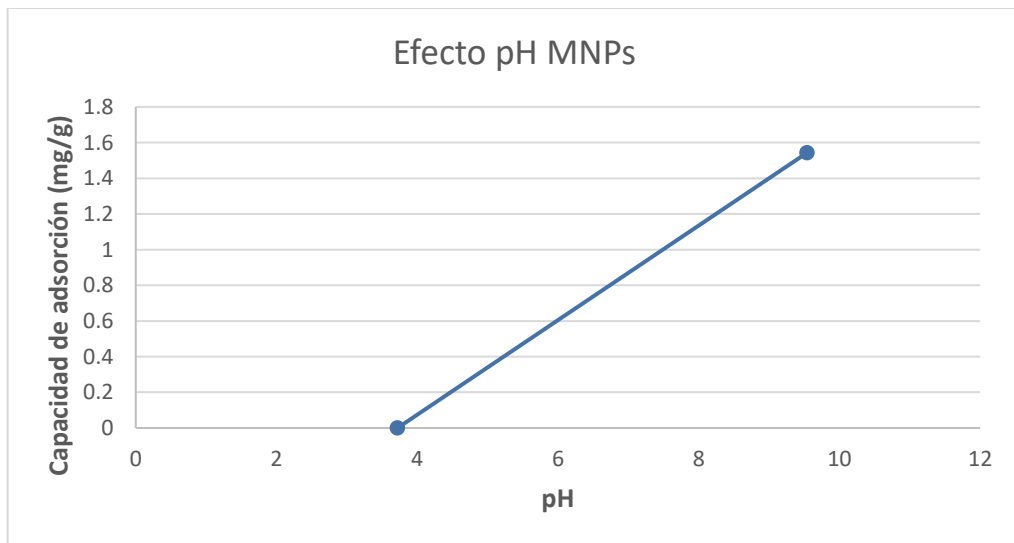


Gráfica 5 Efecto pH Biomasa residual



Fuente: Propia.

Gráfica 6 Efecto pH Nanopartículas magnéticas de cascaras de mandarina

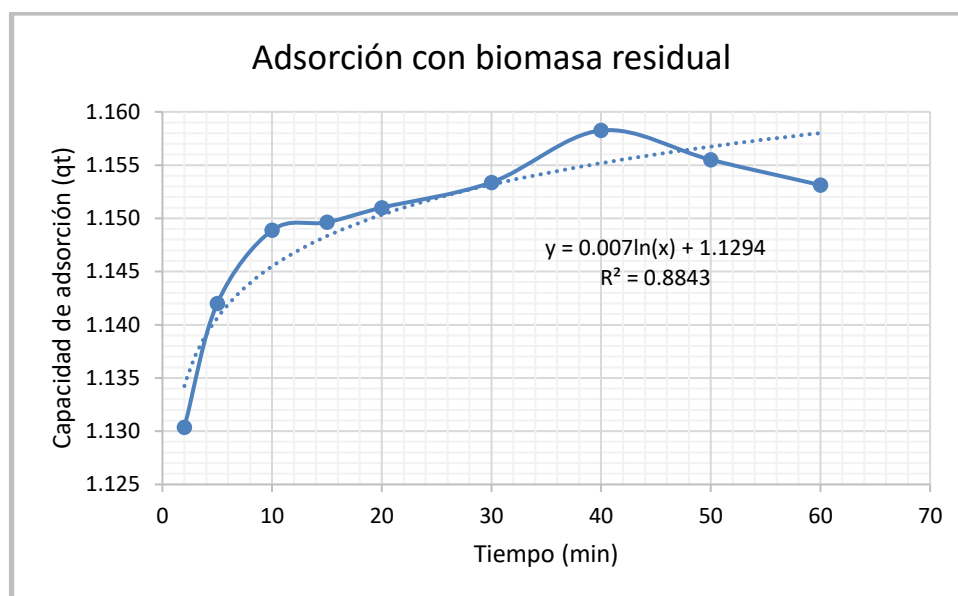


Fuente: Propia.

### 10.3. CINÉTICA DE ADSORCIÓN

El comportamiento de la capacidad de adsorción de la cáscara de mandarina es evaluada en el test de jarras a 120rpm en proporciones de 1mg/L de azul de metileno, pH inicial de 3.72 y 2g de biomasa residual a diferentes tiempos de agitación que van desde 2 minutos, 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos, hasta completar 60 minutos, esto se puede observar en la Gráfica 7, hay poca variabilidad de adsorción del material y a los 40 minutos se presenta 1.158 mg/, y a los 30 minutos se encuentra el tiempo de equilibrio, en relación con otras biomosas como el ajo(Asfaram et al., 2014) resulta para la mandarina ser más lenta la capacidad de adsorción, debido a factores como el pH, la cantidad de biomasa o la concentración inicial del contaminante.

Gráfica 7. Comportamiento cinético de adsorción de biomasa residual según tiempo de contacto.

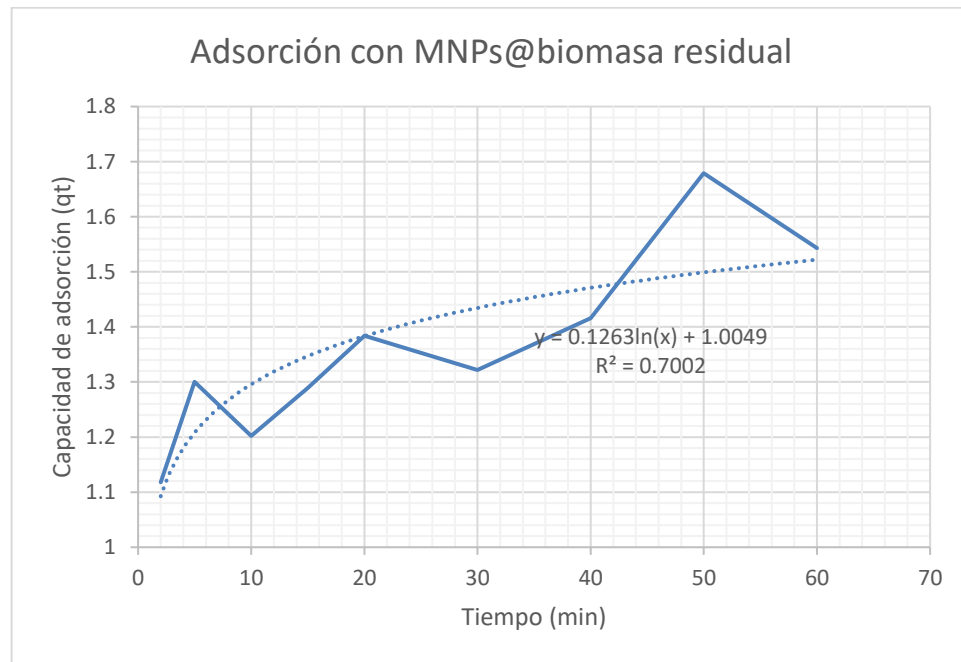


Fuente: Propia.

En cuanto a las MNPs con biomasa residual las cuales fueron experimentadas en las mismas condiciones de la biomasa, y el mismo test de jarras se puede observar en la Gráfica 8 que su comportamiento es diferente respecto a otras biomosas residuales y afecta de manera significativa desde los primeros minutos, la integración de la cáscara de mandarina con las nanopartículas no es la esperada con tantas crestas de modo que se presenta un desprendimiento de las partículas

de la cáscara y en el momento de realizar la medición con el espectrofotómetro, se ve afectada por las nanopartículas suspendidas en el agua residual sintética.

Gráfica 8. Comportamiento cinético de adsorción de MNPs@biomasa residual según tiempo de contacto..

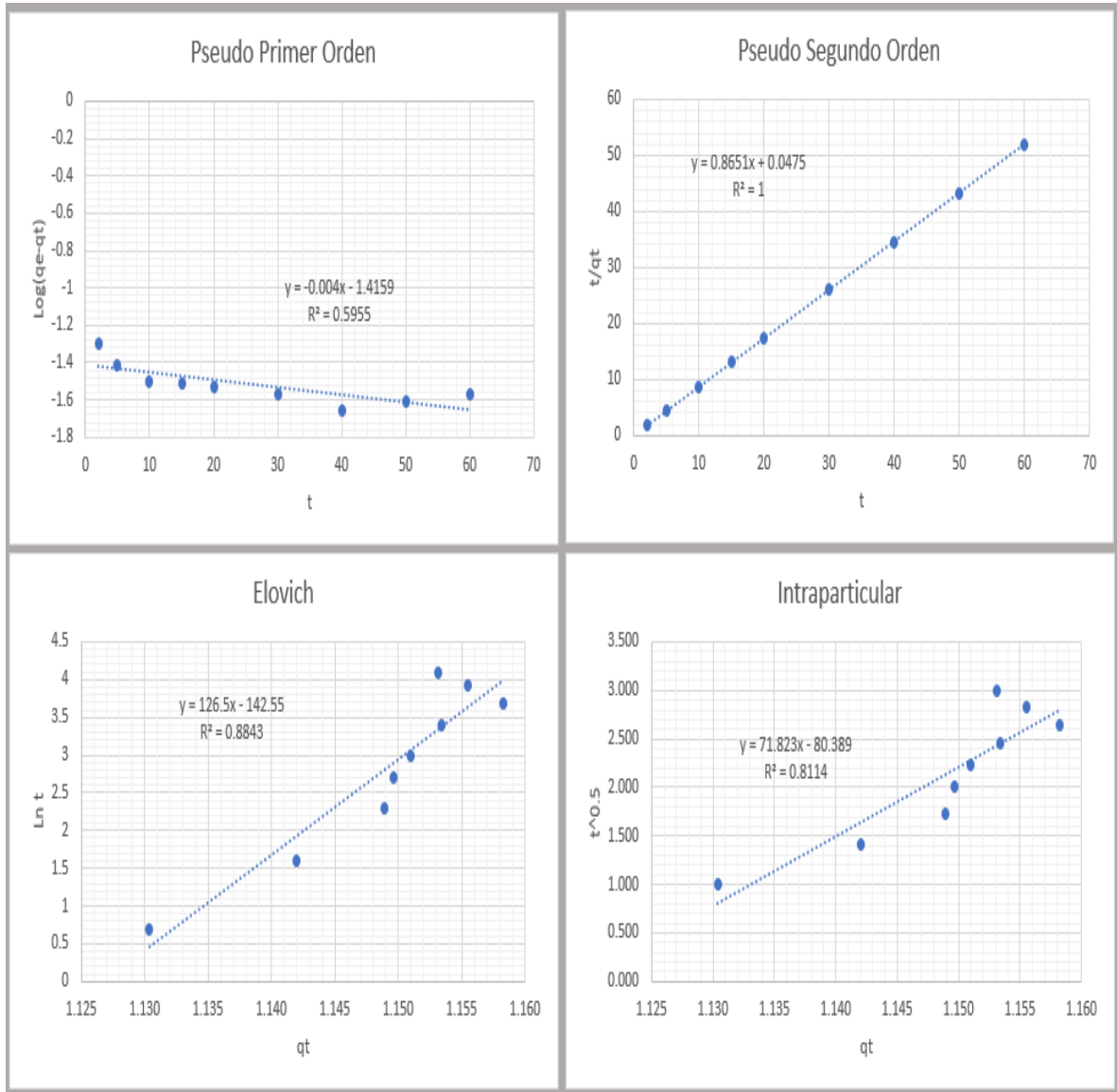


Fuente: Propia

Las MNPS@biomasa residual obtiene su capacidad máxima de adsorción de 1.679 mg/g en el minuto 50 de agitación, como también se observa el aumento de adsorción en el minuto 10 con respecto a la biomasa residual.

En cuanto a la aplicación de las ecuaciones cinéticas de adsorción se hallaron constantes de adsorción como  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$   $k_i$  conforme a la Tabla 7. Tabla de ecuaciones para métodos de adsorción del presente trabajo y de esta manera obtener las siguientes gráficas de Pseudo primer orden, Pseudo segundo orden, Difusión intraparticular y la ecuación de Elovich, ecuaciones que aportan al cálculo de la velocidad de remoción del contaminante en el agua residual sintética.

Gráfica 9. Gráficas cinéticas lineales de biomasa residual.



Fuente: Propia.

Al observar la gráfica 9. Muestra los resultados de las ecuaciones cinéticas de adsorción presentado el mejor ajuste a los datos experimentales la ecuación de Pseudo segundo orden dado que la correlación es igual a 1, interpretando que la velocidad de interacción entre el adsorbato y adsorbente es gobernado por la quimisorción o adsorción química describiendo la cinética de adsorción de azul de metileno con biomasa residual.

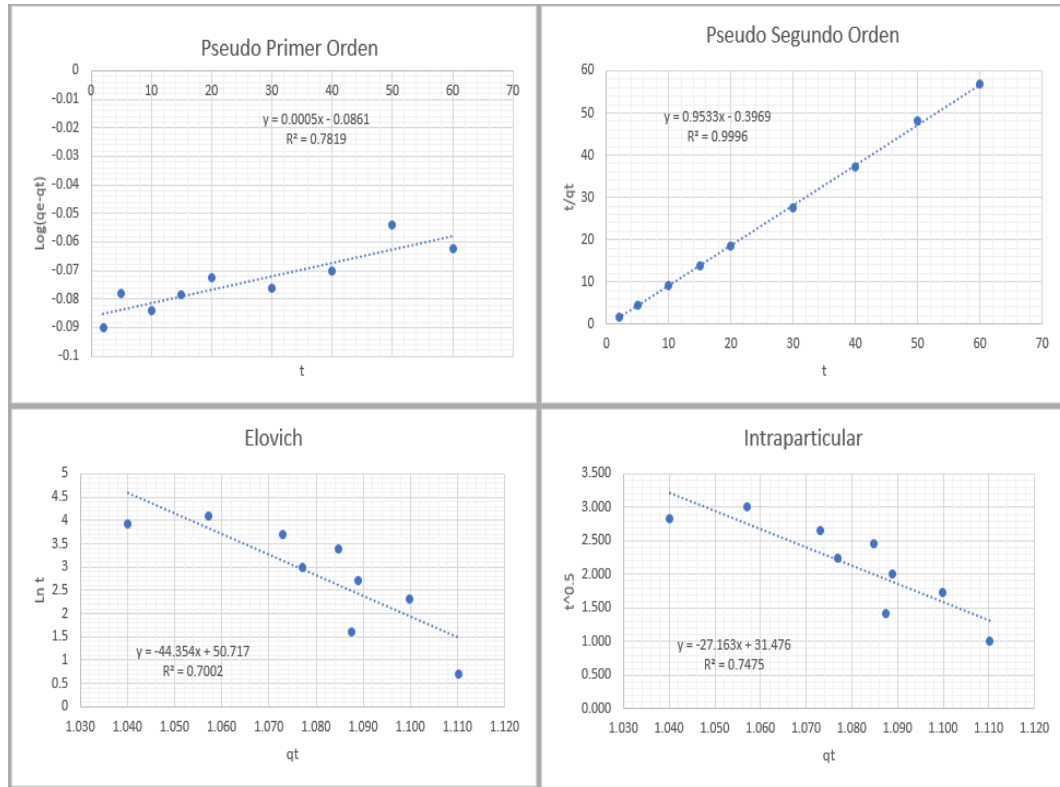
Tabla 9 Parámetros cinéticos biomasa residual.

<b>Parámetros de la cinética de adsorción en agua sintética con Biomasa residual</b>		
<b>Ecuaciones</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Pseudo-Primer Orden</b>	<b><math>q_e(\text{mg/g})</math></b>	0.038
	<b><math>K_t(\text{min}^{-1})</math></b>	-0.004
	<b><math>R^2</math></b>	0.595
<b>Pseudo-Segundo Orden</b>	<b><math>q_e(\text{mg/g})</math></b>	1.156
	<b><math>K_2(\text{mg}^{-1} \text{min}^{-1})</math></b>	15.756
	<b><math>R^2</math></b>	1
<b>Elovich</b>	<b><math>\alpha(\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min}))</math></b>	40.992
	<b><math>\beta(\text{g}/\text{mg})</math></b>	0.008
	<b><math>R^2</math></b>	0.884
<b>Difusión Intraparticul ar</b>	<b><math>K_t(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{1/2})</math></b>	71.823
	<b><math>C(\text{mg}/\text{g})</math></b>	-80.689
	<b><math>R^2</math></b>	0.811

Fuente: Propia

Los resultados que se muestran en la Gráfica 10 corresponden a las ecuaciones cinéticas de adsorción para MNPs@biomasa residual, presentado el mejor ajuste a los datos experimentales en la ecuación de Pseudo segundo orden dado que la correlación es igual a 0.99, por tanto presenta una quimisorción o adsorción química entre el adsorbato y adsorbente, describiendo la cinética de adsorción de azul de metileno con MNPs@biomasa residual.

Gráfica 10. Gráficas cinéticas lineales de MNPs@biomasa residual.



Fuente: Propia.

Tabla 10 Parámetros cinéticos MNPs@biomasa residual.

Parámetros de la cinética de adsorción en agua sintética de MNP's		
Ecuaciones	Parámetro	Valor
Pseudo-Primer Orden	$q_e(\text{mg/g})$	0.138
	$K_t(\text{min}^{-1})$	0.0005
	$R^2$	0.782
Pseudo-Segundo Orden	$q_e(\text{mg/g})$	1.049
	$K_2(\text{mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	-2.290
	$R^2$	0.999
Elovich	$\alpha(\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min}))$	-14.136
	$\beta(\text{g}/\text{mg})$	-0.023
	$R^2$	0.7002
Difusion Intraparticular	$K_t(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{1/2})$	-27.163
	$C(\text{mg}/\text{g})$	31.476
	$R^2$	0.7475

Fuente: Propia.

#### 10.4. ISOTERMAS LINEALES DE ADSORCIÓN

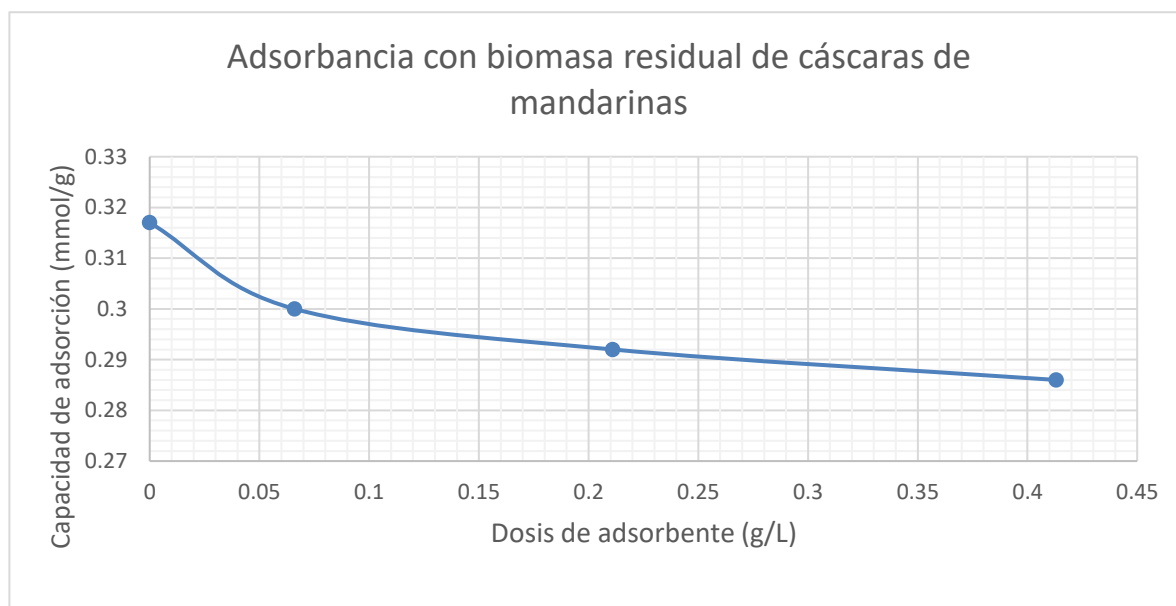
Según los laboratorios desarrollados se obtienen los siguientes datos tomando diferentes cantidades de la biomasa residual y agregada a la muestra de agua residual sintética con azul de metileno:

Tabla 11. Datos biomasa residual.

Datos con biomasa residual de cáscaras de mandarina		
	MUESTRA	ABSORBANCIA
1	0	0.317
2	0.066	0.3
3	0.211	0.292
4	0.413	0.286

Fuente: Propia.

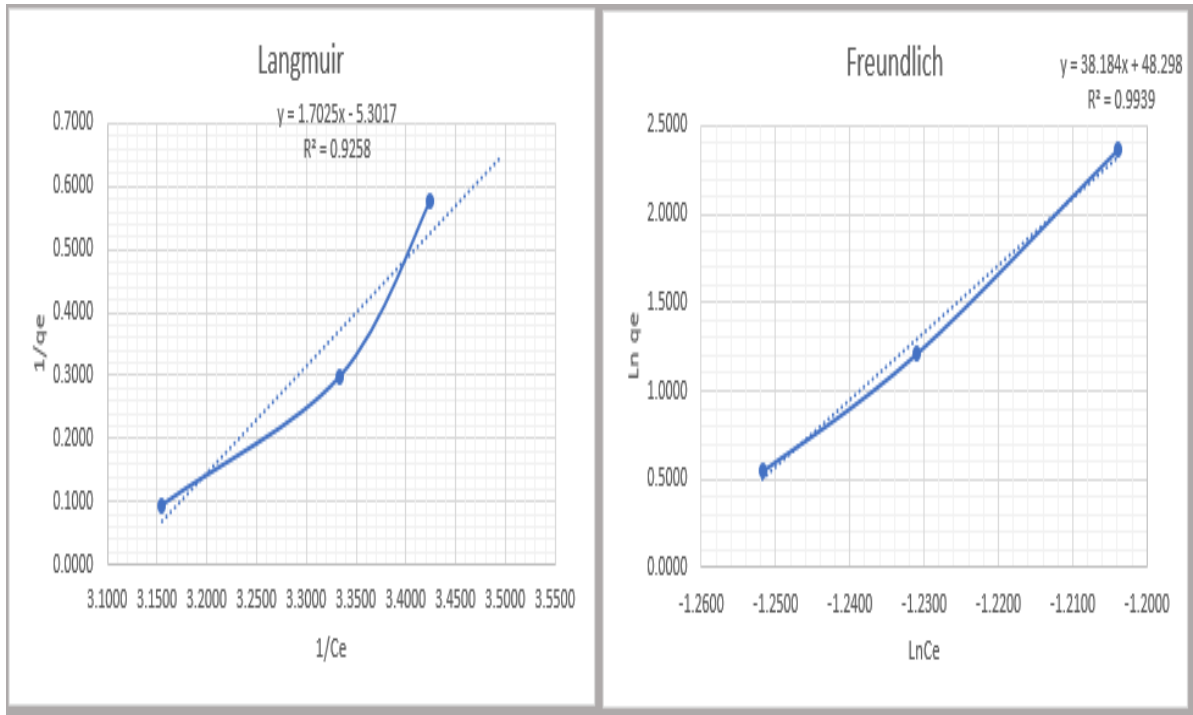
Gráfica 11. Absorbancia de biomasa residual



Fuente: Propia.

La Gráfica 11 muestra que a mayor dosis de biomasa residual se obtiene menor capacidad de adsorción del contaminante azul de metileno, la muestra es analizada en temperatura de 14°C tomando la muestra del ensayo Batch en un beacker de 100ml con una variación de dosis de masa entre (0 a 0.413)g y una concentración inicial de 2mg/L.

Gráfica 12. Isotermas para biomasa residual.



Fuente: Propia

Tabla 12 Parámetros de isoterma de adsorción de azul de metileno con Biomasa residual

Ecuaciones	Parámetro	Valor
Langmuir	$q_m$	0.189
	$K_L$	3.114
	$R^2$	0.926
Freundlich	$K_f$	9.453E+20
	$n$	0.026
	$R^2$	0.994

Fuente: Propia

El objetivo de las isotermas es mostrar la repartición de una sustancia definida entre la superficie de un sólido y una disolución, alcanzado un equilibrio a una temperatura determinada, describe de manera macroscópica los datos mas no el mecanismo del proceso de adsorción en sí (Sosa, 2012). Para este proyecto se emplean dos modelos de isotermas que son el modelo de Langmuir y el modelo de Freundlich.

Al realizar los ajustes lineales de los modelos de isotermas en la Gráfica 12 se observan los coeficientes de correlación y para la biomasa residual el modelo que mejor se ajusta es el de Freundlich.



El procedimiento se realiza también para la muestra con MNPs@Biomasa residual, y en la ejecución de los laboratorios se obtienen los siguientes datos agregando diferentes cantidades de las MNPs@Biomasa residual previamente sintetizadas:

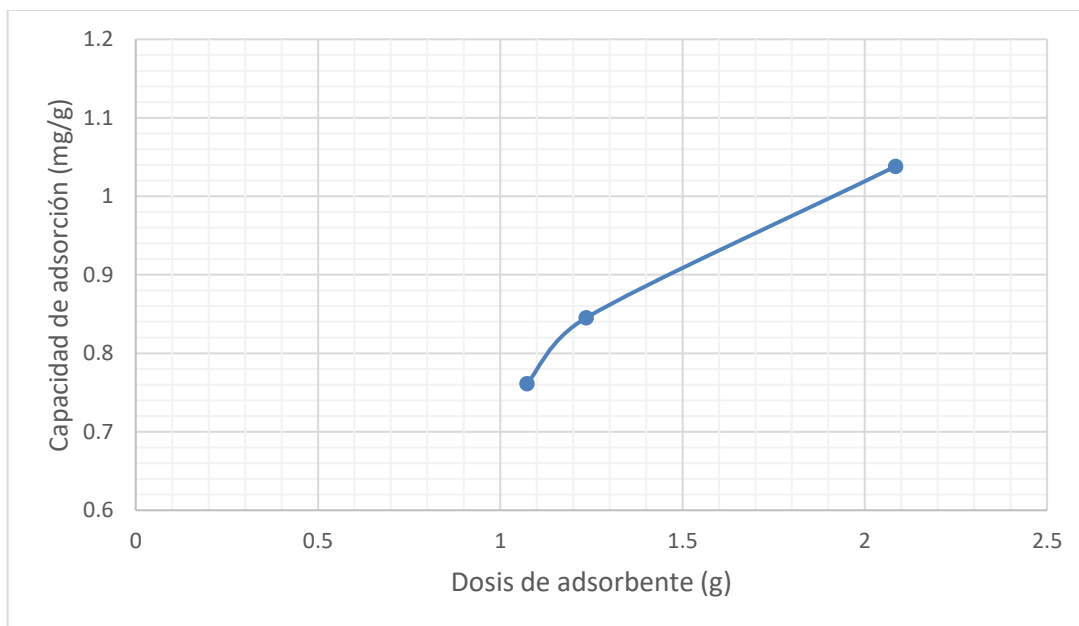
Tabla 13 Datos MNPs@biomasa residual.

Datos MNPs con biomasa residual de cáscaras de mandarina		
No.	MUESTRA	ABSORBANCIA
1	1.073	0.761
2	1.235	0.845
3	2.084	1.038

Fuente: Propia

Para el caso de la isoterma de MNPs@Biomasa residual en la gráfica 13 se observa que a mayor cantidad de adsorbente la capacidad de adsorción del material aumenta, la máxima cantidad empleada fue de 2.084g.

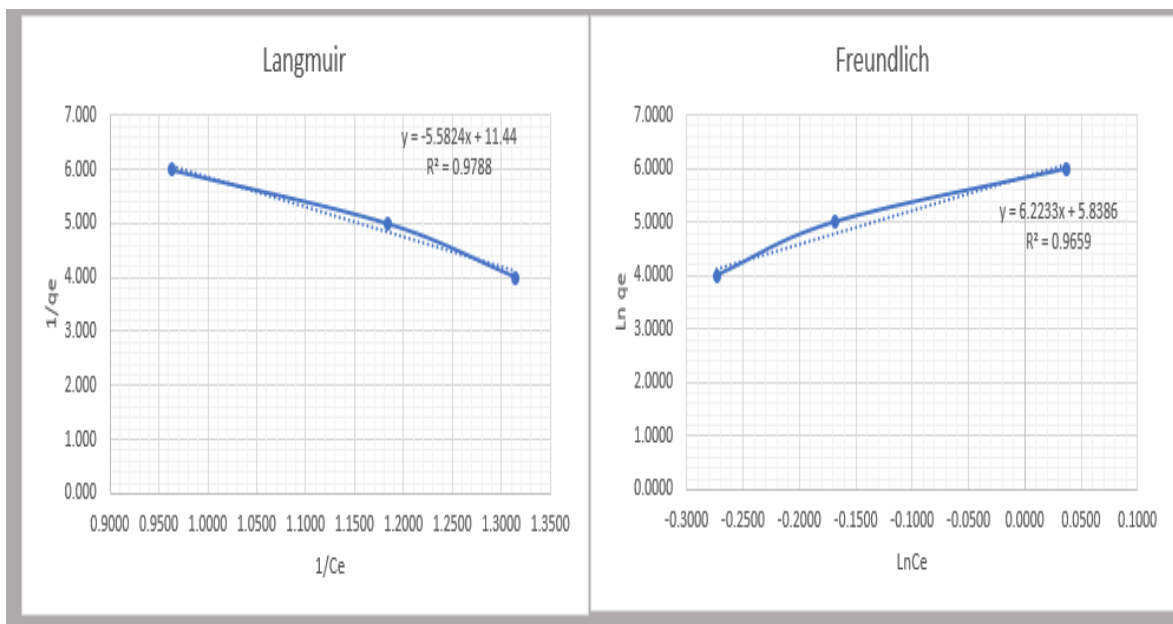
Gráfica 13 Adsorbancia MNPs@biomasa residual



Fuente: Propia

Al realizar los ajustes lineales de los modelos de isotermas que se pueden observar en la Gráfica 14. Los coeficientes de correlación y para las MNPs@biomasa residual el modelo que mejor se ajusta es el de Langmuir, y determinando un  $q_m$  de 0.018mg/L

Gráfica 14 Isotermas para MNPs@biomasa residual.



Fuente: Propia

Tabla 14 Parámetros de la Isotermas de adsorción de Azul de metileno con MNP`s@BiomasaResidual

Ecuaciones	Parámetro	Valor
Langmuir	$q_m$	0.087
	$K_L$	2.049
	$R^2$	0.979
Freundlich	$K_f$	1.981
	$n$	0.980
	$R^2$	0.966

Fuente: Propia

Tabla 15 Capacidad de adsorción de azul de metileno en diferentes biomásas.

Material	$q_m$ (mg/g)	$C_o$ azul de metileno (mg/L)	Relación $q_m/C_o$	Ref
<b>Cáscara de pomelo</b>	133.0	140	0.95	El-sayed, 2020
<b>Cáscara de yaca</b>	285.71	35-400	0.72	El-sayed, 2020
<b>Cáscara de ajo</b>	142.86	25-200	0.71	El-sayed, 2020
<b>Tallos de perejil</b>	400	25-450	0.89	G. Akkaya , F. Güzel
<b>Cáscaras de pepino</b>	111.11	25-450	0.25	G. Akkaya , F. Güzel
<b>Cáscaras de Sandía</b>	57.14	25-450	0.13	G. Akkaya , F. Güzel
<b>Este proyecto</b>	0.087	2	0.0435	

Fuente: Propia.

### 10.5. SIMULACIÓN DE COLUMNA DE ADSORCIÓN

En el presente trabajo se contempló dentro de las limitaciones la emergencia sanitaria por la pandemia COVID-19 la cual no permitió realizar la columna de adsorción de manera física, por tanto, se decide implementar el software FAST 2.0 para realizar este proceso, se realiza modelaciones de las isotermas de Langmuir y Freundlich variando la dosis de biomasa residual, MNPs@Biomasa residual y caudales, para entender el comportamiento del material.

A continuación se muestra la interfaz del simulador y los parámetros a usar donde solo se modifican las variables de masa, concentración del contaminante y caudal para cada isoterma y cada condición:

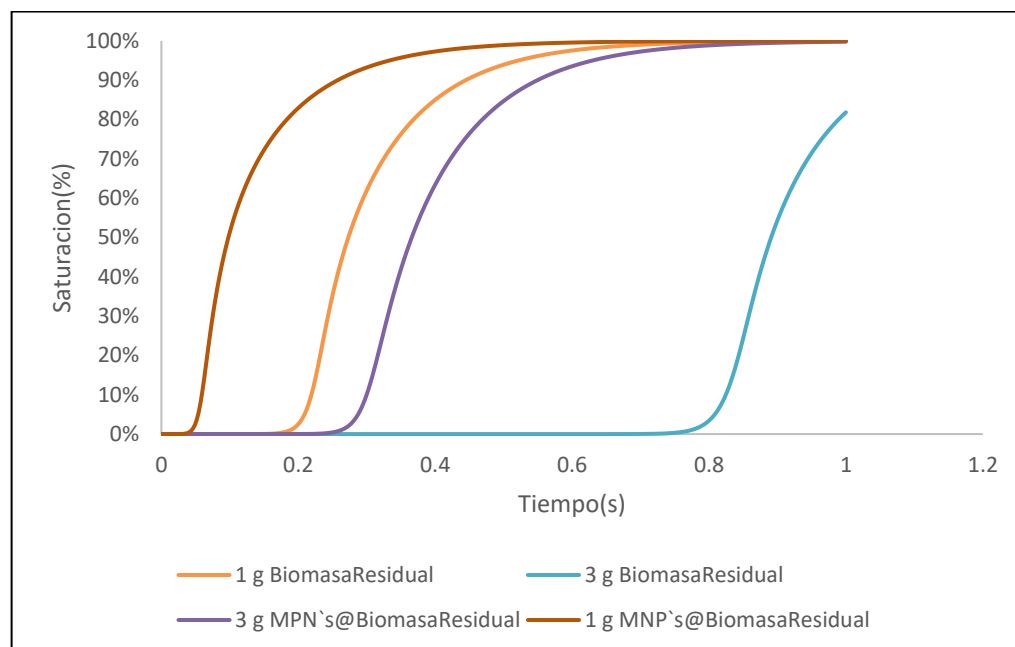
Ilustración 57 Datos de entrada FAST 2.0 Beta.

Fuente: Propia.

### 10.5.1. Variación de cantidad de material adsorbente

Para la variación de cantidad de material adsorbente óptimo, se emplearon varias iteraciones entre los dos modelos isotérmicos analizados en la simulación del estudio, encontrando que para 1g y 3g tarda mayor tiempo la biomasa residual de 3g para saturarse lo contrario de 1g de MNPs@Biomasa residual, como también se observa que 3g de MNPs@Biomasa residual resultan tener más tiempo para saturarse que 1 g de Biomasa residual, concluyendo que entre más MNPs@Biomasa residual el tiempo en saturarse el material es superior a 0.4s. Para este modelo se utilizó un tiempo de operación de 1 segundo, con un caudal de 0.27 L/s y una concentración inicial de 2 mg/L, en la gráfica 15 también se observa que la biomasa residual de mandarina presenta una saturación después de pasar 1s en comparación de la MNP's@BiomasaResidual en donde se evidencia que al 0.6 segundo se satura por completo en los tiempos de operación con el modelo de Langmuir.

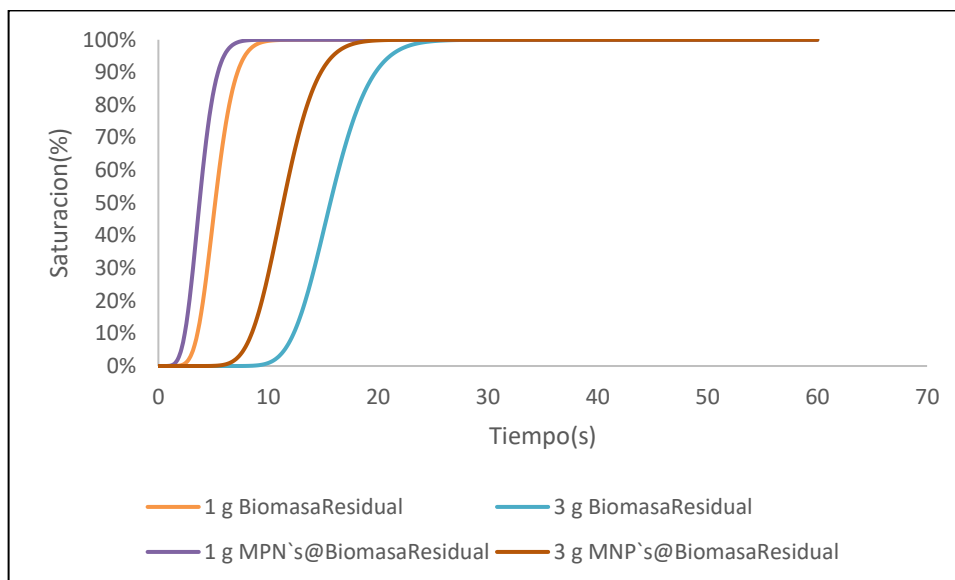
Gráfica 15 Capacidad de adsorción variando la cantidad de biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Langmuir



Fuente: Propia.

El comportamiento del material en el modelo de isoterma de Freundlich respecto al modelo de Langmuir se simula con tiempo de 60 segundos debido a que al segundo no era posible verse con claridad la variación de la saturación, por ende se concluye que en 3g de ambos materiales se tardan más tiempo para saturarse en comparación que el material en dosis de 1g de los dos materiales, sin embargo tiene mejor comportamiento la biomasa residual sin modificación de MNPs así como se muestra en la gráfica 16. Para los dos modelos de isotermas la cantidad óptima a usar es de 3g de MNPs@biomasa residual.

Gráfica 16 Capacidad de adsorción variando la cantidad de biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Freundlich.



Fuente: Propia.

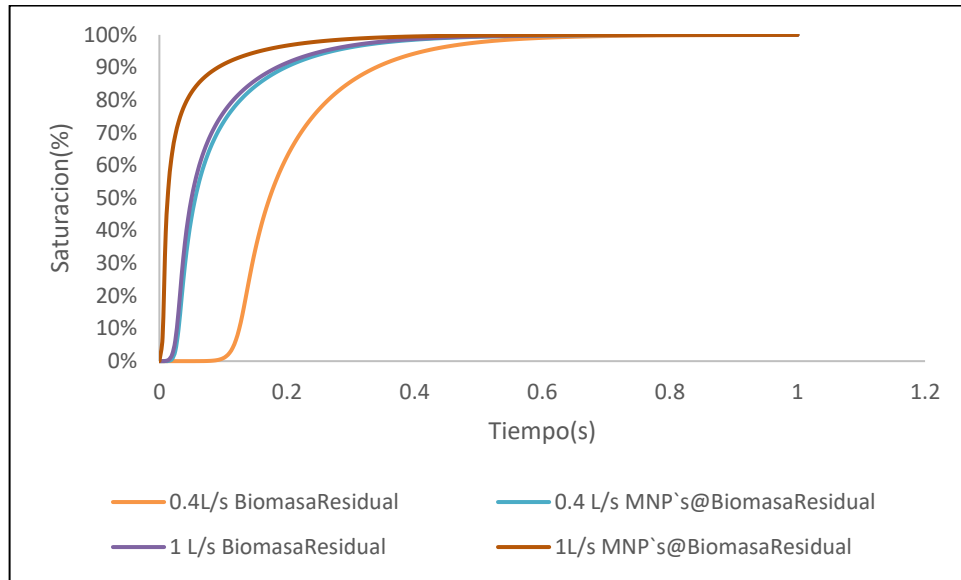
### 10.5.2. Variación de los caudales

En la variación de caudales se realiza la simulación de la columna con una bomba peristáltica que maneja caudal hasta 100 L/s máximo evaluándose con las condiciones iniciales para los dos modelos de isothermas trabajadas, se puede visualizar en la gráfica 17 y 18 que la columna trabaja de manera efectiva con un caudal de 0.4 L/s con el fin de remover el contaminante en mayor tiempo antes de alcanzar la saturación, verificando la reacción con una variación de 0.1L/s arriba del caudal seleccionado para Langmuir en el modelo de Freundlich.

Se observa que el rendimiento de los materiales para adsorber resulta mejor cuando se aplica un caudal bajo o inferior a 1L/s como fue trabajado y evidenciado en la simulación de la columna de adsorción.

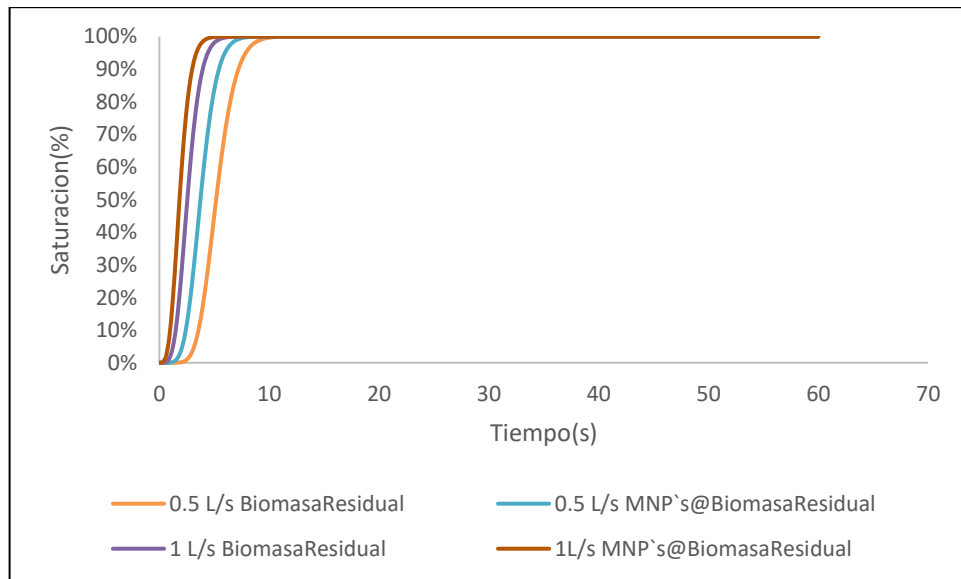
También se observa la similitud del comportamiento entre MNPs@Biomasa residual a 0.4 L/s con la biomasa residual a 1 L/s debido a su cercanía en la curva de la gráfica presentada.

Gráfica 17 Capacidad de adsorción variando el caudal de entrada para biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Langmuir.



Fuente: Propia.

Gráfica 18 Capacidad de adsorción variando el caudal de entrada para biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Freundlich.



Fuente: Propia.

La saturación de las muestras en la gráfica 18 es poco variable trabajando a menor caudal y a mayor caudal, saturándose primero las MNPs@Biomasa residual a 1L/s,

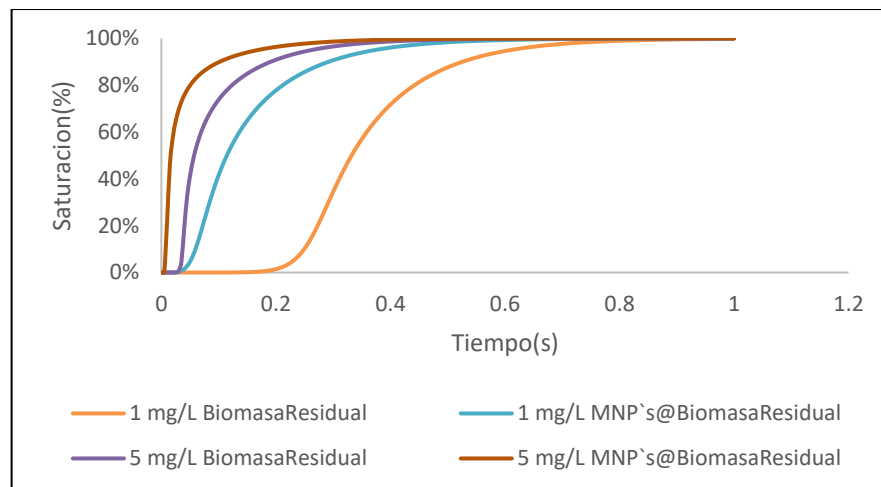
seguido de 1 L/s de biomasa residual, mostrando nuevamente que el material en tardarse es la biomasa residual trabajando mejor con un caudal de 0.5L/s para adsorber el contaminante.

### 10.5.3. Variación de concentración

En la gráfica 19 se evidencia que por el método de las isothermas de Langmuir todas sus variaciones de concentración inicial llegan al 100% de la saturación lo que significa que el contaminante de azul de metileno en el agua sintética se adsorbe a los 0.8s en todas las concentraciones, saturándose el primer material en los 5 mg/L de MNP`s@BiomasaResidual al segundo 0.41 de la simulación en el programa Fast 2. Beta.

En las graficas 19 y 20 se observa el comportamiento que tiene la columna de adsorción cuando se van variando las concentraciones del contaminante, los análisis se realizaron con concentraciones de 1mg/L y 5mg/L tanto para el modelo Langmuir y Freundlich. En la grafica 19 se evidencia que tanto para Biomasa residual y MNPs@Biomasa residual se llega a la saturación total en el tiempo de operación de 1 segundo, siendo 0.5 segundos el tiempo donde se saturan las tres primeras curvas de los materiales indicados, resultando con mayor tiempo de saturación la curva de biomasa residual con 1mg/L de concentración del contaminante.

Gráfica 19 Capacidad de adsorción variando la concentración inicial para biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Langmuir.



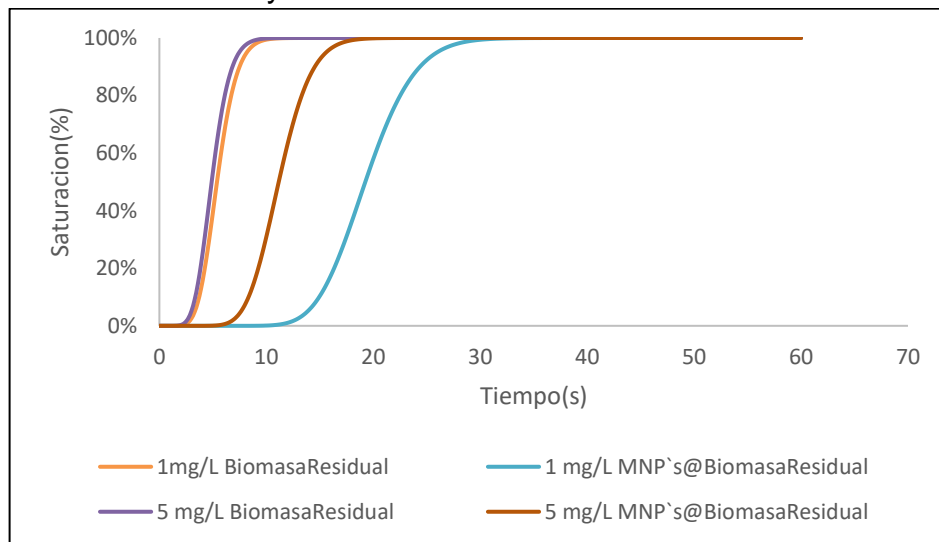
Fuente: Propia.

Se observa que para la gráfica 20 se presenta una similitud entre la concentración de 5mg/L y 1mg/L solamente la Biomasa residual llega al tiempo de saturación sobre los 10 segundos simulando en la columna de adsorción en un tiempo de 60



segundos, en comparación con MNPs@Biomasa residual las cuales se saturan en mayor tiempo, pero se satura primero con la concentración mayor estudiada de 5mg/L tardándose 18 segundos, y finalmente a una concentración de 1mg/L de MNPs@Biomasa residual llega a saturarse a los 28 segundos, dando como resultado que la concentración de salida es igual a la concentración de entrada en el segundo 30 de la simulación.

Gráfica 20 Capacidad de adsorción variando la concentración inicial de entrada para biomasa residual y MNPs@Biomasa residual en el modelo Freundlich.



Fuente: Propia.

### 10.6. PORCENTAJE DE REMOCIÓN

El cálculo de remoción de azul de metileno en el agua residual sintética es hallado con concentración de inicial de 2mg/L y una concentración final medida con la tecnología de espectrofotometría UV, de 1.543 mg/L sometida a agitación y variable al tiempo en una muestra de 250ml, por tanto, el porcentaje que remueven las MNPs@Biomasa residual es del 22.8%, el cual define que el material no presenta una adsorción relevante y no es apto debido a que no tiene al menos una remoción del 50%.

### 10.7. APLICACIÓN A ESCALA

Para dar una aproximación en tema de costos de aplicación se propone el cálculo para tratar un efluente contaminado con el colorante azul de metileno de un flujo promedio de 1000 m<sup>3</sup>/día y una concentración inicial del tinte de 1000 mg/L para

lograr una concentración aceptada según la regulación colombiana (Decreto 1594 de 1984) de 500 ppb (0.5 mg/L). Donde la cantidad de nanomaterial está dado por:

$$m = \frac{Q(C_i - C_f)}{qm} * F \quad (7)$$

Con  $m$ = cantidad de nanomaterial necesario para el tratamiento (g/día),  $Q$  = caudal a tratar (m<sup>3</sup>/día)  $C_i$  =concentración inicial de AM (ppb)  $C_f$  = concentración a la que se quiere llevar el contaminante en el efluente de salida (ppb)  $F$ = factor de seguridad de tratamiento con valores entre 1.3 y 1.7 (Marimón-Bolívar et al., 2018)

Teniendo en cuenta lo anterior se usó un parámetro  $F$  de 1.5 y capacidad máxima de adsorción de 0.1026 mg/g para obtener la cantidad de 1.79 E+07 g/día.

Tabla 16 Costo comparativo a gran escala de 1 gramo de adsorbentes útiles en remoción de Azul de metileno.

Tecnología	Ítem	Cantidad necesaria (g)	Valor unitario (kg)	Valor total	
MNPs@Biomasa residual	FeCl <sub>3</sub>	3.6	\$ 0.80	\$ 0.0029	
	NaOH	6	\$ 0.30	\$ 0.0018	
	FeSO <sub>4</sub>	1.3	\$ 0.06	\$ 0.0001	
	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> S	1	\$ 0.876	\$ 0.0009	
	Agua	250	\$ 0.0012	\$ 0.0003	
	Gastos de operación			\$	0.01
	<b>Total</b>			<b>\$</b>	<b>0.0136</b>
<b>Carbón activado</b>				<b>0.98</b>	
<b>DMSO@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>				<b>0.86</b>	

Fuente: Propia.

Para la comparación de los compuestos se tuvieron en cuenta los materiales de la síntesis de nanopartículas magnéticas, basándose en la aplicación de un factor de 1.3 para un desperdicio del 30%, así como también los gastos de operación son calculados con 2 operarios con jornadas laborales de 4 horas a un valor 2 SMLV del presente año, los precios a gran escala son tomado de compras por internet para precios industriales, implicando que el presente trabajo es más económico que la aplicación de técnicas como el carbón activado.

## 11. CONCLUSIONES

Se logró realizar la síntesis de las nanopartículas magnéticas con biomasa residual de cáscaras de mandarina mediante el empleo de síntesis verde, es de decir, un método que es más amigable con el medio ambiente.

La cáscara de mandarina con MNPs no resultó tener un comportamiento como se esperaba al obtener crestas las gráficas para la adsorción de los compuestos orgánicos existentes en el agua residual sintética según los ensayos de laboratorio.

La integración de las nanopartículas con la biomasa residual de cáscaras de mandarina presenta un desprendimiento de las partículas de la biomasa y se ve reflejado en la medición espectrofotométrica por las nanopartículas suspendidas en el agua residual.

Se podría tener mejores resultados con la variación del pH a un ácido, tomando como referencia la literatura de otras biomásas empleadas para la adsorción de azul de metileno.

En el estudio se muestra que el resultado que remueven las MNPs@Biomasa residual es del 22.8%, el cual define que el material no presenta una adsorción relevante y no es apto debido a que no tiene al menos una remoción del 50%.

La implementación de ésta tecnología puede ser acogida por estudiantes principalmente para posteriores estudios con otros materiales biodegradables y evaluar la remoción de componentes orgánicos presentes en aguas residuales, ver la posibilidad de ser implementado como un proceso de separación de los contaminantes en aguas residuales y su reutilización, para brindar a la sociedad más posibilidades de aprovechamiento del agua, cooperando con el medio ambiente, así mismo indagar más en el componente de contaminantes emergentes que actualmente se encuentra con pocos estudios.

El uso del software FAST 2 facilitó la simulación de la columna de adsorción debido a que, por factores externos a la universidad y a los investigadores, no fue posible recrear el prototipo a escala real y por ende se optó por simular las variables en este programa para evaluar los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich los cuales al analizarlos nos dan unos resultados variables en donde podemos concluir

que el modelo de Langmuir se ajusta al material de MNPs@Biomasa residual, y el de Freundlich para la biomasa residual de cáscaras de mandarina.

## 12. RECOMENDACIONES

Aumentar el pH para verificar que la desorción no sea alta en el material y sea de mayor efectividad la remoción del contaminante.

Se recomienda calibrar el espectrofotómetro con la muestra de azul de metileno para dar datos con una mayor efectividad.

Al momento de hacer la síntesis de las MNPs@Biomasa Residual se recomienda que el imán no quede cerca a la salida del recipiente, sino que se coloque en la base del balón de aforo para evitar las posibles pérdidas de la muestra sintetizada con nanopartículas.

Los contaminantes emergentes son una problemática que compromete a la ciencia e ingeniería en el desarrollo de estudios que ha surgido recientemente en diferentes partes del mundo. En Colombia es necesario generar un mayor volumen de información para mejorar el conocimiento sobre su presencia y distribución en cuerpos de agua, así como evaluar tecnologías para su eliminación.

## Referencias

- Application of reverse osmosis to reduce pollutants present in industrial wastewater.* (2003). 155, 101–108.
- Asfaram, A., Fathi, M. R., Khodadoust, S., & Naraki, M. (2014). Removal of Direct Red 12B by garlic peel as a cheap adsorbent: Kinetics, thermodynamic and equilibrium isotherms study of removal. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 127, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.02.092>
- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., & Witek-Krowiak, A. (2015). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification - A review. *Chemical Engineering Journal*, 270, 244–271. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.135>
- Bonechi, C., Consumi, M., Donati, A., Leone, G., Magnani, A., Tamasi, G., & Rossi, C. (2017). *Biomass: An overview*.
- El-sayed, M. E. A. (2020). Science of the Total Environment Nanoadsorbents for water and wastewater remediation. *Science of the Total Environment*, 739, 139903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139903>
- García, J. S. (2012). *Nanopartículas magnéticas para aplicaciones biomédicas*. 125.
- Gari, S. R., Ortiz Guerrero, C. E., A-Urbe, B., Icely, J. D., & Newton, A. (2018). A DPSIR-analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council. *Water Science*, 32(2), 318–337. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.06.001>
- Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Haines et al, 2019, goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A., Haines et al, 2019, goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A., Haines et al, 2019, & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Herrera-Barros, A., Bitar-Castro, N., Villabona-Ortíz, Á., Tejada-Tovar, C., & González-Delgado, Á. D. (2020). Nickel adsorption from aqueous solution using lemon peel biomass chemically modified with TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100299>
- Khaled, A., El Nemr, A., El-Sikaily, A., & Abdelwahab, O. (2009). Treatment of artificial textile dye effluent containing Direct Yellow 12 by orange peel carbon. *Desalination*, 238(1–3), 210–232. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.02.014>
- Li, L., Zou, D., Xiao, Z., Zeng, X., Zhang, L., Jiang, L., Wang, A., Ge, D., Zhang, G., & Liu, F. (2019). Biochar as a sorbent for emerging contaminants enables improvements in waste management and sustainable resource use. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1324–1342. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.087>
- Li, X., Tang, Y., Cao, X., Lu, D., Luo, F., & Shao, W. (2008). Preparation and

- evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317(1–3), 512–521.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.11.031>
- Marimón-Bolívar, W., Tejeda-Benítez, L., & Herrera, A. P. (2018). Removal of mercury (II) from water using magnetic nanoparticles coated with amino organic ligands and yam peel biomass. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10(May), 486–493.  
<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.10.001>
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., & Pittman, C. U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>
- Noval, V. E., Puentes, C. O., & Carriazo, J. G. (2017). Magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): Uma estrutura inorgânica com múltiplas aplicações em catálise heterogênea. In *Revista Colombiana de Química* (Vol. 46, Issue 1, pp. 42–59). Universidad Nacional de Colombia.  
<https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.QUIM.V46N1.62831>
- Park, S., & Lee, W. (2018). Removal of selected pharmaceuticals and personal care products in reclaimed water during simulated managed aquifer recharge. *Science of the Total Environment*, 640–641, 671–677.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.221>
- Peña-Guzmán, C., Ulloa-Sánchez, S., Mora, K., Helena-Bustos, R., Lopez-Barrera, E., Alvarez, J., & Rodriguez-Pinzón, M. (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. *Journal of Environmental Management*, 237(February), 408–423.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>
- Ramón de los Santos, C., Barajas Fernández, J., Pérez Hernández, G., Hernández Rivera, M. Á., & Díaz Flores, L. L. (2019). Adsorción de cobre (II) y cadmio (II) en suspensiones acuosas de CaCO<sub>3</sub> biogénico nanoestructurado. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 58(1), 2–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.05.003>
- Rasheed, T., Bilal, M., Nabeel, F., Adeel, M., & Iqbal, H. M. N. (2019). Environmentally-related contaminants of high concern: Potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment. *Environment International*, 122(September 2018), 52–66.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.038>
- Sosa, G. L. (2012). *Un trabajo de laboratorio con enfoque ambiental*. 23(4), 492–497.
- Zarza, R. P. (n.d.). *No Title*.
- Zhang, L., He, R., & Gu, H.-C. (2006). Oleic acid coating on the monodisperse magnetite nanoparticles. *Applied Surface Science*, 253(5), 2611–2617.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.05.023>
- Zhao, J., Xu, Y., Wang, W., Griffin, J., Roozeboom, K., & Wang, D. (2020). Bioconversion of industrial hemp biomass for bioethanol production: A review.

*Fuel*, 281(June). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118725>  
G. Akkaya , F. Güzel  
Chem. Eng. Comun. , 201 ( 2013 ) , Aplicación de algunos desechos  
domésticos como nuevos biosorbentes de bajo costo para la eliminación de  
azul de metileno: estudios cinéticos y de equilibrio. págs. 557 – 578



## Webgrafía

<https://conexioncapital.co/bogota-habitantes-ultimo-censo-del-dane/>. (2019).

[https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar\\_agua\\_bogota](https://www.eltiempo.com/Multimedia/especiales/salvar_agua_bogota). (2019)

(EcuRed,2012) Visible en: [https://www.ecured.cu/Intercambio\\_i%C3%B3nico](https://www.ecured.cu/Intercambio_i%C3%B3nico)

(Ceupe, s.f) Centro Europeo de Postgrado, Visible en:


<https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>

Jhon Jairo Feria Díaz, Sixto Bermúdez Roa, Ana María Estrada Tordecilla.

Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú\*. 2013.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552014000100001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100001)

## Anexo

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> <small>de Colombia</small> FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS	<b>FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE                  LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)</b>	F 053 LI 103 02
--	--	-----------------

**Proyecto de investigación asociado al trabajo de grado**  
**Utilización de MNPs\_Biomasa residual CITRUS UNSHUII\_ CITRUS RETICULATA para remoción de compuestos orgánicos persistentes y metales pesados.**

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:			
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELEFONO
506651	Lizeth Zoraida León Pinto	lzeon51@ucatolica.edu.co	3223651449
506907	Diego Alexander Mora Torres	damora07@ucatolica.edu.co	3194961935
	Wilfredo Marimon	wmarimon@ucatolica.edu.co	3008297875

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL		HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO <sup>(1)</sup> (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO	
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)	HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO <sup>(1)</sup> (HH:MM)			HORA FIN <sup>(1)</sup> (HH:MM)
1	06/03/2021	7:00AM	9:00AM				D	Color, Olor, Conductividad, Turbidez, DOO, DBO, pH
2	13/03/2021	7:00AM	9:00AM				D	fenoles, sólidos disueltos, dureza, pH
3	20/03/2021	7:00AM	9:00AM				D	Fosforo total, fenoles, pH
4	27/03/2021	7:00AM	9:00AM				D	Conductividad, pH
5	20/03/2021	7:00AM	9:00AM				D	Acidez total, pH
6	10/04/2021	7:00AM	9:00AM				D	Alcalinidad total, pH
7	17/04/2021	7:00AM	9:00AM				D	Zinc, Hierro, pH
8	24/04/2021	10:00AM	12:00AM				D	Imprevistos

<sup>(1)</sup> Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.  
<sup>(2)</sup> A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Mandarinas	g	500		X	Se va utilizar todos los implementos del proyecto de investigación
Champú	mL	180		X	
Bloqueador solar	mL	30		X	
Tapabocas		2		X	
Papel filtro		5	X		
Sulfato de aluminio	kg	1	X		
Dimetilsulfóxido	g	1	X		
Horno		1	X		
Espectrómetro		1	X		
Guantes		2		X	

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a **cumplir a cabalidad** con el "Reglamento de los laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte del personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

**FIRMA  
S**

 _____ SOLICITANT E 1	 _____ SOLICITANTE 2	_____ SOLICITANT E 3
_____ SOLICITANT E 4	 _____ DOCENTE / TUTOR ENCARGADO	_____ COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar imagen del formato totalmente diligenciado a [vil](mailto:vil)