

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



Evaluación de tela no-tejida Nylon 6 y nanopartículas modificadas para la adsorción de fosfatos

Por:

Martha Melissa Ledezma Aguayo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Evaluación de tela no-tejida de Nylon 6 y nanopartículas modificadas para la
adsorción de fosfatos**

Por:

Martha Melissa Ledezma Aguayo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

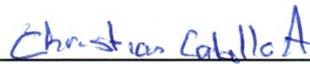
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada por Comité de Asesoría:



Dr. Marco Adán Juárez Verdayes

Asesor Principal interno



Dr. Christian Javier Cabello Alvarado

Asesor Principal externo



Dr. Carlos Alberto Ávila Orta

Co-Asesor

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de tela no-tejida de Nylon 6 y nanopartículas modificadas para la adsorción de fosfatos

Por:

Martha Melissa Ledezma Aguayo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada por el Jurado Examinador:



Dr. Marco Adán Juárez Verdayes

Presidente



Dr. Diego Martínez Carrillo

Vocal



Dra. Marissa Pérez Álvarez

Vocal



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos de la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Martha Melissa Ledezma Aguayo

Pasante de Ingeniero en Biotecnología

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto titulado: “Desarrollo de filtros selectivos nacionales a base de polímeros y nanopartículas modificadas, para mejorar el tratamiento de hemodiálisis y sustituir el acaparamiento del mercado de empresas extranjeras”, segunda etapa, del fondo F003 en el marco de la Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera. Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia con la clave del proyecto 320802, por la beca otorgada.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por brindarme la oportunidad de realizar mi residencia profesional en sus instalaciones.

A mis asesores internos, al Dr. Christian Javier Cabello Alvarado y al Dr. Carlos Alberto Ávila Orta por su confianza y tutela durante todo mi tiempo de estancia como tesista en CIQA.

A la Dra. Marlene Lariza Andrade Guel por su apoyo en el laboratorio.

Al Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos a través del proyecto CONACYT-321244, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a todo el personal de CIQA por el apoyo técnico:

- L.C.Q Janett Anaid Valdez Garza
- Antelmo R. Yasser Ruiz
- M.C. Myrna Salinas
- L.C.Q. Ma. Guadalupe Méndez Padilla
- Maricela Garcia Zamora

- Al Dr. Víctor Javier Cruz Delgado por su apoyo en el equipo de extrusión de fibras de las telas no-tejidas en planta piloto 1.
- Al L.C.Q. Jesús Ángel Cepeda Garza por el análisis en SEM de las telas no-tejidas.
- Al L.C.Q. Jesús Alejandro Espinosa Muñoz por las facilidades para el uso del laboratorio de caracterización química y su material.
- Al Ing. Rodrigo Cedillo por la capacitación para el uso del equipo de ángulo de contacto.

- AL Ing. Gilberto Hurtado López.
- Lic. Julieta Sánchez Salazar

DEDICATORIA

- A mi Dios Jehova por darme la fuerza y la capacidad de realizar este trabajo de tesis.
- A mi Hijo Thomas Maximilliano por ser la inspiración de mis días.
- A mi Madre Tomasita Aguayo por siempre darme su apoyo incondicional y por ser el ser que me dio la vida.
- A mi padre Israel Ledezma por darme el carácter para que yo pueda estar cumpliendo cada una de mis metas.
- A mis hermanos mayores Leslie (many) y Jair por brindarme su apoyo moral y servir de inspiración para seguir a delante.
- A Karina de casados, Adrian casados, Perla perez, Areli davila. Por siempre motivarme a ser mejor persona. Y siempre brindarme una palabra de aliento en momentos difíciles.
- A mi amiga Fatima, por su amistad desde la prepa y a pesar de las adversidades sigue siendo una amiga en la que siempre pueda confiar.
- Al Dr. Roberto por estar siempre al pendiente de mi progreso seglar, por brindarme su apoyo y sus conocimientos.
- Al Dr. Marco por demostrar ser un excelente investigador y permiritreme ser su alumna tesista.
- A mis perros Anakin, Padmre. por siempre recibirme al llegar a casa feliz y regalarme sonrisas con sus tructos.
- A cada una de mis mastreos que con los conocimientos que me enseñaron me ayudaron a estar aquí.

ÍNDICE

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO	4
AGRADECIMIENTOS	5
Índice	6
Resumen	8
Introducción	9
REVISIÓN DE LITERATURA	10
Riñón y su anatomía	10
Nefronas	11
Enfermedad renal crónica	11
Causas de la enfermedad crónica renal y sus factores de riesgo	11
Etapas de la enfermedad renal crónica	12
Determinación clínica de la ERC.	13
Enfermedad renal crónica y sus factores de riesgo	14
México y su transición demográfica-epidemiológica, nacional e internacional	14
Hipertensión	15
Diabetes	16
Toxinas urémicas	16
Tratamientos para la insuficiencia renal crónica.	18
Hemodiálisis	18
Mecanismo del dializador	19
Tiempo de cada tratamiento.	20
Hiperfosfatemia (Fósforo alto)	20
Fósforo y su progresión en la enfermedad renal crónica	21
Nanotecnología	21
Nanocompuestos poliméricos	22
JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	22
Justificación	22
Hipótesis	22
Objetivos	22
Objetivo general	22
Objetivos específicos	23
Desarrollo experimental	24
Metodología	24
Localización del sitio de actividades	24
Método de preparación de soluciones acuosas (fosfatos), para tratamiento en agitación y flujo continuo	24
Preparación de soluciones para la determinación de fosfatos	24
Preparación de muestras de tela no-tejida de Nylon 6 con carbón black y nanoarcillas.	25

Establecimiento del tratamiento en agitación	25
Realización de pruebas de tratamiento en flujo continuo	25
Diagrama de metodología	26
TECNICAS DE CARACTERIZACION	27
Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR	27
Análisis Termogravimétrico TGA	28
Microscopía electrónica de barrido (SEM)	28
Espectroscopia ultravioleta visible (UV-Vis)	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
• Pruebas de absorción de fósforo en agitación y flujo continuo	30
CARACTERIZACIÓN DE LA TELA NO-TEJIDA DESPUÉS DE LA ADSORCIÓN DE FÓSFORO.	33
Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	33
Análisis Termogravimétrico (TGA)	37
Pruebas en agitación.	37
Pruebas a flujo continuo	38
Microscopía electrónica de barrido (SEM)	40
CONCLUSIONES	44
LITERATURA CITADA	45

RESUMEN

La enfermedad renal crónica es uno de los problemas de salud que más afectan a los mexicanos, los principales tratamientos para este padecimiento son la diálisis peritoneal y la hemodiálisis. En el tratamiento de hemodiálisis se realiza la función de un riñón mediante la utilización de un dializador que contiene una membrana polimérica que sirve para la eliminación de toxinas urémicas y sales minerales como el fósforo. En esta investigación se presenta la evaluación de telas no-tejidas de Nylon 6 y nanopartículas modificadas para la adsorción de fosfatos. El proceso de adsorción se realizó en lotes mediante agitación continua para después elegir las telas no-tejidas que presentaban mayor adsorción para probarlas en un prototipo de dializador en un sistema continuo utilizando dos flujos a 200ml/min considerado un flujo alto y a 50 ml/min (flujo bajo). Después del proceso de adsorción se caracterizaron las telas no-tejidas mediante espectroscopia de infrarrojo FTIR, microscopía electrónica de barrido (SEM).

PALABRAS CLAVE. NANOPARTICULAS, ENFERMEDAD CRONICA RENAL, NYLON 6, FOSFATOS, TOXINAS.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad renal crónica (ERC) es una de las enfermedades con más relevancia a nivel mundial y nacional, debido a la prevalencia de ciertos factores de riesgo como enfermedades crónicas tales como diabetes, e hipertensión, así como malos hábitos alimenticios y estilos de vida sedentarios. Si las enfermedades crónicas no son controladas a tiempo o los pacientes no reciben un tratamiento adecuado, el funcionamiento de ciertos órganos se ve afectado. Se comienza con el deterioro de órganos vitales, y en este caso el protagonista de la enfermedad crónica renal, es el riñón, conocido mejor por ser el órgano depurador de toxinas. Dentro de él ocurren ciertas rutas metabólicas que ayudan a eliminar, regular y/o depurar compuestos, ayudando a mantener el equilibrio ácido-base del organismo, y así mismo teniendo en cuenta ciertos mecanismos hormonales y metabólicos que son de vital importancia para el cuerpo humano [1]. Junto al mal funcionamiento del riñón se deriva la hiperfosfatemia, es una alteración de fosfato en la sangre que nos indica que hay indicios de ERC, el fosfato es una de las toxinas más comunes en el cuerpo humano. En México el 12.2% de muertes por cada 100 mil habitantes son debido a la ERC (así mismo la mayor parte de la población mexicana presenta los factores de riesgo que propician el desarrollo de ERC). Estas cifras de muertes por ERC resultan alarmantes, por ello se necesitan tecnologías que presenten alternativas mejoradas o de mejor desempeño comparadas con los métodos tradicionales para tratar pacientes con ERC. Actualmente, se han empleado dos tratamientos dentro del área médica como son la diálisis peritoneal y la hemodiálisis (método que consiste en el bombeo constante de sangre a través de un filtro conocido como dializador). Estas tecnologías artificiales ayudan a filtrar las toxinas que presenta la sangre, o bien que no pudieron ser desechadas de una forma adecuada en el metabolismo. Los filtros dializadores que se encuentran en las instituciones mexicanas presentan una incapacidad ante la selectividad de toxinas urémicas. Ahora bien, la nanotecnología trabaja en la búsqueda de nuevas nanopartículas que tengan grandes cualidades fisicoquímicas. El silicio y el carbon-black, son materiales que han formado parte de grandes descubrimientos de compatibilidad en la adsorción de toxinas urémicas. Y al mismo tiempo han dado buenos resultados para el empleo de adsorbentes de toxinas urémicas. Por ello, en este trabajo se evalúan los filtros dializadores de telas no-tejidas de Nylon 6 que están adicionadas con nanopartículas modificadas de carbon-black y nanopartículas modificadas de nanoarcillas (C20A); este filtro dializador, cuenta con una tecnología selectiva de las toxinas. La porosidad, permeabilidad, de las telas de los filtros mantiene una capacidad nula de seleccionar solamente las toxinas o impurezas, y dentro del mercado mexicano sólo se encuentran estas tecnologías no-selectivas. Los pacientes con ERC necesitan alternativas que los ayuden a tener una mejor calidad de vida aun y teniendo ERC. Por eso es de vital importancia que se encuentren nanocompuestos que mantengan una biocompatibilidad ante el cuerpo humano para que de esta forma puedan emplearse y ayuden a la selectividad, y/o eliminación de las toxinas del cuerpo del paciente con ERC.

JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Justificación

En la enfermedad renal crónica se encuentra el paciente con altos niveles de fósforo en la sangre que limita la función renal, en los procesos de diálisis peritoneal y hemodiálisis la cantidad de retención y/o eliminación de fósforo no es la adecuada o es mínima. Debido a esto, se requiere de nuevas membranas poliméricas que incrementen la absorción de este. Hasta el momento no se encuentra reportado la adsorción de fósforo en telas no-tejidas con nanopartículas, por tal motivo, se considera que es un área de interés actual, para la mejora en los procesos de hemodiálisis.

Hipótesis

Es posible la adsorción de fósforo en telas no-tejidas de Nylon 6 con nanopartículas modificadas mediante los métodos de agitación y flujo continuo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la capacidad de adsorción de fósforo en telas no-tejidas de Nylon 6 y nanopartículas modificadas (carbon black y closite 20A).

Objetivos específicos

- Llevar a cabo las pruebas de adsorción de fósforo para las telas no-tejidas de Nylon 6/carbon black.
- Determinar la capacidad de adsorción de fósforo para las telas no-tejidas de Nylon 6/closite20A.
- Caracterizar las telas no-tejidas de Nylon 6/carbon black mediante FT-IR, TGA, SEM después de la adsorción.
- Caracterizar las telas no-tejidas de Nylon 6/ closite20A mediante FT-IR, TGA, SEM después de la adsorción.

REVISIÓN DE LITERATURA

Riñón y su anatomía

El cuerpo humano tiene dos riñones, uno ubicado del lado derecho y otro del lado izquierdo, y están situados detrás del hígado y el estómago. Los riñones son los encargados de producir orina, medio por el cual excretan toxinas, esta es la manera por la cual el cuerpo humano elimina sustancias tóxicas de desecho. Además de que mantienen los niveles de presión arterial estables y ayudan a la estimulación de la médula ósea para que esta produzca glóbulos rojos. En la **Figura 1 sistema urinario masculino y femenino**, se muestra la anatomía del sistema urinario masculino, del lado derecho el sistema urinario femenino, en ambas figuras se aprecia el riñón derecho e izquierdo, los uréteres, la vejiga con orina y uretra.

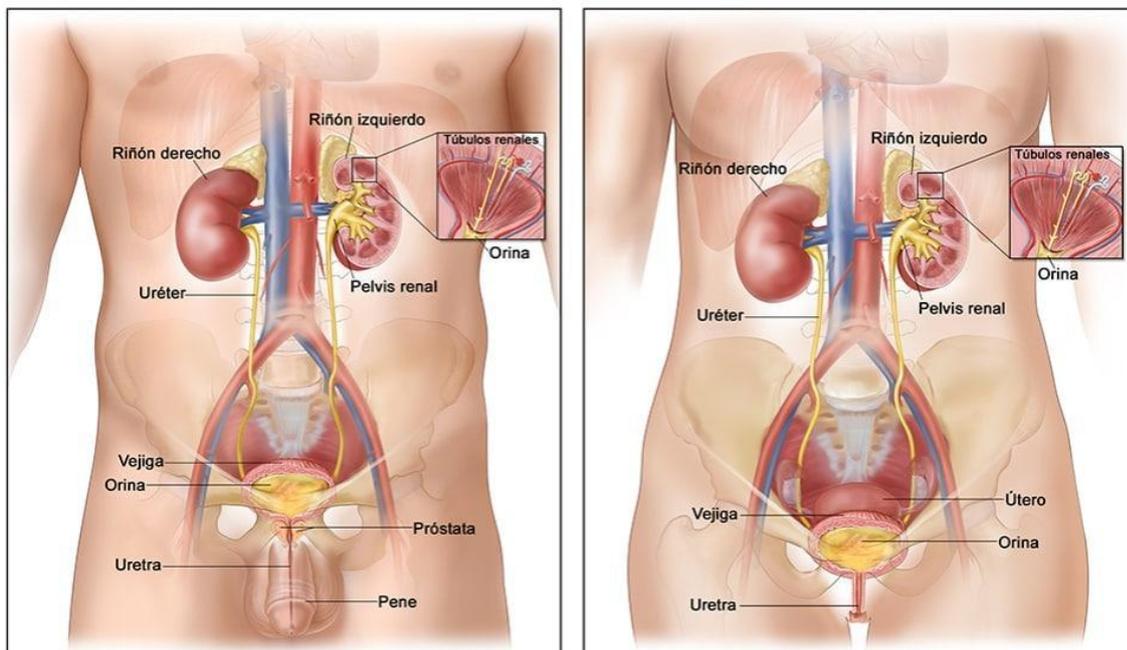


Figura 1. Sistema urinario Masculino y Femenino. Sistema urinario del cuerpo humano, femenino y masculino. (Imagen tomada de Centers for Disease Control and Prevention [2].

Nefronas

La función principal de las nefronas es el desechar los residuos encontrados en la sangre excretados mediante la orina. En la **Figura 1** se muestra la estructura de una nefrona, y las partes de cada una de ella. Por medio de las nefronas ocurre la formación de la orina da inicio en la cavidad glomerular, el filtrado glomerular no genera gasto energético para el organismo. Por lo que, se considera un proceso mecánico, en que la presión hidrostática de la arteria empuja la sangre contra la membrana de filtración glomerular[6].

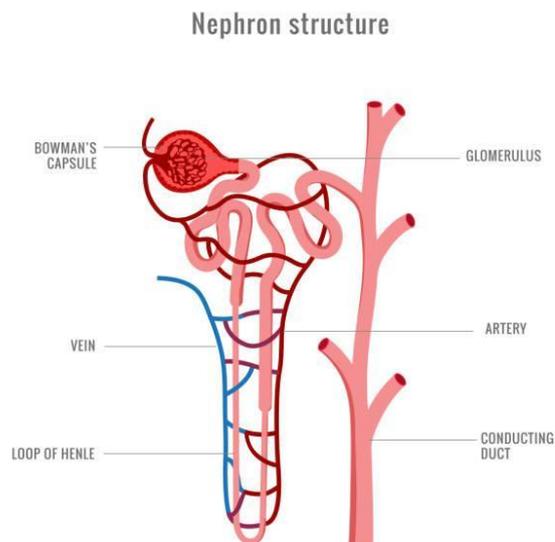


Figura 2. La nefrona. Las nefronas son la unión estructural del riñón, por cada riñón hay un millón de nefronas, y las nefronas se forman por el agrupamiento de capilares, que son llamados glomérulos.

Enfermedad renal crónica

La enfermedad renal crónica (ERC) se define como: el deterioro funcional del riñón, y puede presentarse por patologías como: albuminuria $>30\text{mg/ml}$, riñones poliquísticos, anomalías sanguíneas con alteraciones en sus niveles de regulación osmótica [3]. Al ser una enfermedad crónica es la responsable de las condiciones del riñón y las circunstancias desencadenadas después de ser adquirida la enfermedad.

Se considera que la enfermedad renal crónica la padecen 1 de cada 10 individuos, y generalmente, las personas que lo padecen son asintomáticas [4].

La ERC ocurre cuando existe un deterioro de las nefronas. La nefrona es la unidad funcional de filtración del riñón, las nefronas funcionan a través de un proceso de dos pasos: el glomérulo filtra la sangre y el túbulo devuelve las sustancias necesarias a la sangre y elimina los desechos [5].

Causas de la enfermedad crónica renal y sus factores de riesgo

El estilo de vida que se lleva a cabo hoy en día, es muy acelerado debido a malos hábitos alimenticios, la edad avanzada, carga de genes hereditarios o bien casos clínicos con antecedentes de daño renal en familiares, o factores que afectan la función adecuada de los riñones, son promotores para la enfermedad renal crónica. Sin embargo, hay estudios que reportan que se han encontrado casos de ERC, no relacionados a los antecedentes tradicionales o comunes, a este fenómeno se le denomina nefropatía. Estudios han

reportado que en las últimas décadas esta patología se ha extendido desde el sur de México hasta países de la costa pacífica como Panamá, pero solo han sido científicamente comprobados en El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. Al ser causas desconocidas se necesitan estudios que puedan interpretar la sintomatología de las regiones afectadas. Y estas anomalías, son causas desconocidas de la enfermedad crónica renal, situada en zonas agrícolas de Centroamérica de causas no tradicionales [7]. Los campesinos de ciertas zonas agrícolas de la caña de azúcar son el grupo más vulnerable o de mayor riesgo, de igual forma se reportan mineros, pescadores y trabajadores relacionados con la industria naviera. Aunque las causas no se han determinado hay una creciente evidencia de que los compuestos químicos en la agricultura contienen compuestos químicos toxicológicos tales como fungicidas, herbicidas, fertilizantes, insecticidas, que al estar expuestos diariamente es donde se genera el daño renal o la nefropatía crónica por agroquímicos

De igual forma el trabajo que realizan las personas dedicadas al campo hacen que estén en constante estrés por calor agravado y por el daño osmótico provocado por el alto consumo de bebidas concentradas con azúcares o bien fructuosa. Esto podría contribuir al daño renal crónico de estas personas, esta hipótesis podría ser que se le atribuyen los daños por la diabetes mellitus.

Se considera la nefropatía crónica por agroquímicos por los puntos considerados anteriormente que son nuevas causas a las que se le atribuye este nombre y podrá traer más diagnósticos certeros.

La enfermedad crónica renal ocurre cuando existe un deterioro de las nefronas, la nefrona es la unidad funcional del riñón, las nefronas funcionan a través de un proceso de dos pasos: el glomérulo filtra la sangre y el túbulo devuelve las sustancias necesarias a la sangre y elimina los desechos[5].

Etapas de la enfermedad renal crónica

Insuficiencia renal aguda, se caracteriza principalmente por la disminución del filtrado glomerular que ocurre en el órgano, y se comienza a tener una incapacidad de poder eliminar las sustancias nitrogenadas, como creatinina y urea, y por ende se tiende a tener una acumulación de estos desechos. Así mismo, hay un desequilibrio en el balance hidrolítico y ácido-base, pero cuando este desbalance es menor a 400 mL en 24 horas, se le denomina insuficiencia renal aguda clásica oligúrica o anúrica, cuando es mayor a 400 mL en 24 horas, se le llama no oligúrica, no clásica o de gasto alto, y los volúmenes pueden ser de hasta más de 2,000 mL en 24 horas.

El proceso de filtración es muy importante para asignar a la etapa o estadio por la que está pasando el paciente, por ello hay que resaltar las funciones de las siguientes membranas: la membrana de filtración glomerular, la membrana basal y la membrana podocitaria. Para así poder entender el porqué de la etapa que se asigna o se diagnostica. Comenzando por la membrana de filtración glomerular, es la membrana que evita el paso al túbulo renal de células y proteínas plasmáticas, generando un ultrafiltrado que principalmente en su estructura se encuentra por agua y elementos pequeños de tamaño circulantes en la sangre, con el fin de realizar la filtración por poros capilares, que su tamaño impide el paso de células o proteínas [8]. La membrana basal situada entre la capa endotelial y epitelial presenta un grosor de 240 a 340 nm. Y en su estructura encontramos colágenos tipo IV Y

V, glicoproteínas y proteoglicanos como el heparán sulfato, la composición que presenta la membrana basal ayuda a tener una carga electronegativa que hubiesen atravesado la barrera endotelial fenestrada. La membrana podocitaria: los podocitos son células polarizadas van orientados hacia la lámina basal del endotelio, estos presentan un citoplasma aplanado, y este emite prolongaciones a modo de que abrazan la lámina basal del endotelio, mediante complejos moleculares para proceder a la formación de diafragmas de ranura, a través de los cuales toxinas de tamaño pequeño y de elementos líquidos, pasarán de la estructura glomerular al túbulo. Los podocitos mantienen una baja actividad mitótica y su número permanece prácticamente invariable al estar reprimida su capacidad replicativa[6].



Figura 3. Formación de la orina. Esquema resumido de el filtrado glomerular (1), la formación de orina se completa con la reabsorción (2) y la filtración (3) tubular. La orina que se elimina con la excreción (4) contiene menos del 1% del líquido filtrado.

Determinación clínica de la ERC.

Existen diferentes etapas de la ERC, las cuales se dividen en cinco y cada una presenta una característica distintiva, ver Tabla 1. En la etapa 1 de la enfermedad crónica renal no se presentan síntomas, es el estadio más temprano de esta enfermedad, en esta etapa aún no se encuentra un daño renal, y solo se puede diagnosticar por mediciones rutinarias de laboratorio, o diagnósticos incidentales para evaluar otra enfermedad. Algunos síntomas para detectar la etapa uno puede ser la pérdida de proteínas por la orina, esto evidenciado en rayos X, ultrasonido, IRM, TAC o una historia familiar de enfermedad poliquística renal. En la etapa 2, los pacientes aún pueden estar asintomáticos, pero se pudiera presentar presión arterial elevada, anomalías urinarias y creatinina sérica normal o levemente elevada. En la etapa 3 los pacientes pueden estar asintomáticos o levemente sintomáticos, con alteraciones urinarias y elevaciones de creatinina. Etapa 4, hay una gran variedad de síntomas de formas leves, pero no específicas y casi siempre está la falla renal y malestares asociados. En la etapa 5 hay síntomas severos que pueden poner en peligro la vida, en esta etapa se necesitan una prescripción rigurosa de medicamentos, los signos y síntomas de la

falla renal se incrementan en la mayoría de los pacientes y se necesitan diálisis o trasplante renal [9].

Tabla 1. Dentro del daño renal se pueden distinguir diferentes etapas, se agrupan en 5 etapas, cuando más avanza la enfermedad por daño renal la filtración glomerular tiene una disminución [5], colocar los acentos en las celdas .

Etapa	Descripcion	Indice de filtracion glomerular
1	Dañor renal, proteínas en orina.	Con un indice de 90% o más
2	Daño renal con disminucion leve de GFR	Con una dismunucion de 60%-89%
3a	Disminucion moderada del GFR	Con un indice de 45-59
3b	Disminucion moderada del GFR	Con un indice de 30% a 44%
4	Disminucion grave del GFR	Con un indice de 15% -29%
5	Insuficiencia renal	Menos de 15%

Enfermedad renal crónica y sus factores de riesgo

Esta enfermedad ha tomado mucha importancia en el área médica y en investigación de salud pública ya que de acuerdo a los datos de salud la diabetes mellitus y la hipertensión arterial, respectivamente, son causas importantes de dicha enfermedad, existen otros factores que ayudan al desarrollo de esta enfermedad, como hábitos del día a día, herencia genética, malos hábitos alimenticios, que forman parte de los precursores a desarrollar dicha enfermedad [3].

México y su transición demográfica-epidemiológica, nacional e internacional

La enfermedad renal crónica es una de las enfermedades olvidadas, así lo consideran varios estudios y artículos, debido a que no se le da la importancia debida. En México representa un grave problema de salud pública. Al haber un desequilibrio de toxinas en el cuerpo humano causadas a los altos índices de hipertensión, obesidad, que presenta la mayor parte de la población mexicana, por esto aumenta el riesgo y probabilidad de que la población llegue a tener esta enfermedad.

Según la Secretaría de Salud en 2017, se reportó una prevalencia de ERC del 12.2% y 51.4 muertes por cada 100 mil habitantes en México. Además, la ERC en México está teniendo un gran impacto en las finanzas de las instituciones y en la economía de las familias; en 2014, el gasto en salud anual medio por persona para esta patología se estimó en 8,966 dólares estadounidenses (USD) en la Secretaría de Salud, y de 9,091 USD en el Instituto Mexicano del Seguro Social. Siendo esto también un importante impacto económico en nuestro país debido a la ERC. Además, se ha estimado que actualmente alrededor de 6.2 millones de mexicanos con diabetes tienen insuficiencia renal en sus distintas etapas, sin que necesariamente todos ellos sepan que la padecen. Hasta 98 % de las personas con ERC por diabetes en México se encuentra en etapas tempranas, cuando por fortuna la ERC es todavía controlable y reversible (Secretaría de Salud. 2020).

La enfermedad renal crónica (ERC) resulta ser un problema de salud pública muy importante a nivel nacional y mundial, su diagnóstico es relevante porque afecta en su mayoría a personas de la tercera edad y a esto se le añaden más daños a la salud. Se conoce como la pérdida permanente de las funciones de los riñones, el riñón presenta una de las funciones

más importantes que es la depurar moléculas o residuos que ya no son necesarios para nuestro metabolismo, existen diferentes enfermedades crónicas que pueden ser las causantes del mal funcionamiento de este órgano tan importante, de las cuales no son transmisibles, se encuentran las más frecuentes diabetes mellitus y la hipertensión.

Según archivos de medicina familiar y general del 2013, mencionan que la diabetes es la primera causa de ingreso a diálisis crónica en Latinoamérica. En Argentina se ha observado un aumento del porcentaje de pacientes diabéticos que ingresan a tratamiento dialítico crónico (31,4% en 2004 vs. 33,3% en 2007), siendo la nefropatía diabética la primera causa de los nuevos ingresos [10].

Enfermedades crónicas degenerativas como diabetes, hipertensión, obesidad, pueden ser los causantes de la enfermedad crónica renal. Dos de las principales enfermedades crónicas degenerativas que desarrollan la enfermedad crónica renal suelen ser la diabetes y la hipertensión, la arteria que pasa por el riñón deja de suministrar la suficiente sangre y por ende comienza haber un déficit de filtración de toxinas o bien un incremento en los residuos del metabolismo.

Hipertensión

La hipertensión o también conocida como presión arterial alta, es una enfermedad relacionada al bombeo constante y rápido de la sangre a una presión superior a la normal. La revista cubana de medicina menciona que es conocida por la estrecha relación que existe entre la presencia de hipertensión arterial y el incremento del riesgo de padecer cardiopatía isquémica, insuficiencia cardíaca, enfermedad cerebrovascular, insuficiencia renal, insuficiencia vascular periférica y retinopatía [11]. La presión arterial depende fundamentalmente de dos variables: el volumen de sangre propulsada por el corazón en unidad de tiempo y las resistencias que oponen las arterias y, sobre todo, las arteriolas. Existe evidencia reciente que el cambio de hábitos como tener un peso adecuado y realizar actividad física reduce las cifras de presión arterial, disminuye el riesgo cardiovascular y puede así mismo reducir la dosis de la medicación antihipertensiva [12]. Una presión arterial elevada afecta a largo plazo órganos muy importantes para la función del cuerpo encontraremos que el principal afectado es el corazón un incremento de volumen del ventrículo izquierdo puede evolucionar a una insuficiencia cardíaca lo cual aumenta la probabilidad de sufrir un infarto de miocardio [13].

Diabetes

Es una enfermedad que se desarrolla en el páncreas debido a una incapacidad de producción de insulina. La Diabetes Mellitus es una enfermedad metabólica crónica caracterizada por la glucosa en sangre elevada (hiperglucemia). Se asocia con una deficiencia absoluta o relativa de la producción y/o de la acción de la insulina. En este caso se puede dividir en 4 tipos:

1. Se da como resultado de la destrucción autoinmune de las células beta del páncreas, se le da esta caracterización por falta de insulina.
2. Se desarrolla cuando hay un incremento en la acción de la glucosa y el organismo no produce la suficiente insulina para superar la glucosa.
3. La diabetes gestacional es una forma de intolerancia a la glucosa que afecta durante el embarazo.
4. Defectos genéticos con efecto en la función de las células beta de acción en la insulina, relacionadas con las enfermedades de páncreas [14].

Cualquier tipo de diabetes que se presente en el paciente puede desencadenar una serie de problemas metabólicos que comprometen otros órganos, como lo es el riñón y generado toxinas para el cuerpo humano.

Toxinas urémicas

Se le denomina toxina a toda sustancia dañina de origen celular producida por el mismo organismo. Las toxinas a su vez pueden causar daños graves a la salud, y un deterioro en el desarrollo o crecimiento del organismo, la toxicidad que presente definiría el daño causado en el organismo o bien destrucción de algún órgano en particular [15]. La investigación de toxinas urémicas se ha estudiado desde muchos años atrás, para conocer estos parámetros se deben realizar estudios clínicos que determinen las disfunciones de las nefronas [1]. Se conocen 90 toxinas urémicas (**Tabla 2 Toxinas urémicas**) se clasifican en pequeñas moléculas hidrosolubles, moléculas medias y moléculas pequeñas unidas a proteínas. La homocisteína asimétrica (ADMA), es un inhibidor endógeno del óxido nítrico, su acumulación en la enfermedad crónica renal disminuiría la producción de ácido nítrico, provocando disfunción endotelial. Algunos de los ligados a proteínas como el p-cresol, al ácido CMPF y el indoxilsulfato ejercen efectos tóxicos sobre sistemas enzimáticos e interfieren con la unión de fármacos a proteínas [16]. La glicación no enzimática de cadenas de proteínas con glucosa y sus productos de degradación dan lugar a productos AGEs. En la diabetes y la enfermedad crónica renal estos se acumulan. Ya que estos productos inducen efectos biológicos como la producción de apoptosis de polimorfonucleares, estimulación del estrés oxidativo e inhibición de los inhibidores endógenos del ácido cítrico. Los AGEs se han relacionado con disfunción endotelial y aterogénesis acelerada, habiendo sido localizados en la pared arterial de los urémicos. La acumulación de las AGEs es el resultado de una alteración del balance en el equilibrio entre factores pro-oxidantes y antioxidantes, los productos de la oxidación proteica son mediadores de la inflamación, y se relacionan con la aterosclerosis acelerada de la insuficiencia renal [1, 17]

Tabla 2. Toxinas urémicas. Clasificación de algunas de las toxinas urémicas reportadas (Tabla tomada y modificada de: *Fisiología de la insuficiencia renal crónica* [1]).

Moléculas pequeñas (<500 Dalton)	Moléculas pequeñas ligadas a proteínas (<500 Dalton)	Moléculas medias (>500 Dalton)
Dimetil arginina asimétrica (ADMA)	A. carboximetilpropilufuranpropionico (CMPF)	Adrenomedulina
A. B-guanidinpropionico	Fuctoselisina	Péptido natriurético atrial
Creatinina	Glioxal A.hipurico	β-microglobulina
Guanidina	Homocisteina	β-endorfina
A.aguanidinacetico	Hidroquinona	Factor D complemento
A.guanidinosuccinico	A. indoxil.3. acetico	Cistatina C
Hipoxantina	Indoxilsulfato	Endotelina
Malonildialdehido	Metilglioxal	A. hialuronico
Metilguanidina	Carboximetil-lisina	Interleukina 1β
Moinositol	P. cresol	Interleukina 6
A.erotico	Pentosidina	Inmunoglobulinas cadenas ligeras (igLCs)
Orotidina	Fenol	Leptina
Oxalato	A.hidroxihipurico	Neuropeptido y
Urea	A. quinolinico	Parathorma (PTH)
A. urico	Espermidina	Proteina ligada al retinol(RBP)
Xantina	Espermina	TNF

Tratamientos para la insuficiencia renal crónica.

Actualmente existen algunos tratamientos para la enfermedad renal crónica como la diálisis y la hemodiálisis, estos tratamientos ayudan al paciente a depurar las toxinas de la sangre, sales y excedentes de agua, que se lleguen a acumular, ayuda a mantener una concentración adecuada de ciertas sustancias químicas en la sangre, contribuyen a regular la presión sanguínea [18].

Hemodiálisis

La hemodiálisis (HD) es un tipo de diálisis en la que se filtra la sangre fuera del cuerpo con una máquina y un dializador, un filtro que actúa como un riñón artificial (**Figura 4**). Durante la hemodiálisis (HD), la máquina de hemodiálisis extrae una pequeña cantidad de sangre del cuerpo mediante una aguja o un catéter [18, 19].

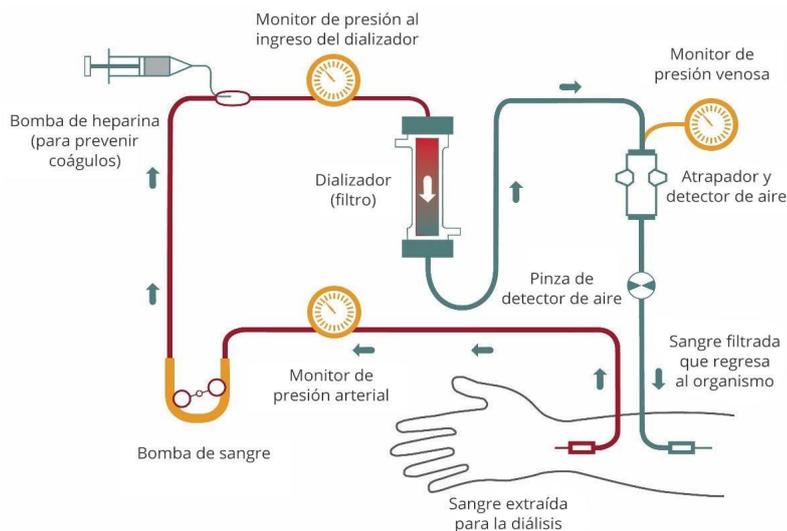


Figura 4. Proceso de hemodiálisis. Durante la hemodiálisis se bombea la sangre a través de un filtro conocido como dializador. (Imagen tomada del: Instituto Nacional de la Diabetes y las Enfermedades Digestivas y Renales).

En ciertos casos es necesario hacer uso de injerto, de forma que el injerto se una a una arteria o a una vena cercana con un tubo blando de material sintético y este se coloca debajo de la piel, cuando este ya haya cicatrizado se le colocaran dos agujas una del lado de la arteria y en el lado de la vena la fistula o el injerto cada vez que le aplique tratamiento. Un tubo lleva la sangre al filtro dializador en donde pasa por la purificación, se limpia la sangre y regresa al cuerpo. Por medio de un catéter este se inserta en una vena grande del cuello o del tórax. Este tipo de acceso es empleado cuando se requiere diálisis por un tiempo corto. Los catéteres se pueden conectar directamente a los tubos de diálisis y, por lo tanto, no se utilizan agujas.

Mecanismo del dializador

El dializador se compone de dos partes: una que dirige a la sangre y otra para un líquido de lavado denominado dializado (**Figura 5**). Existe una membrana delgada que ayuda a la separación de las dos partes [18]. En la figura cuatro se muestra como la sangre del organismo se dirige al dializador y las fibras o membranas situadas dentro del dializador permiten el paso de la sangre ya purificada de toxinas y va de regreso al organismo.

Mediante esto las células sanguíneas, proteínas y elementos que se encuentran en la sangre prevalecen ya que la partícula que tienen no es posible que pase a través del filtro o membrana. Los desechos que son pequeños como urea creatinina y líquido en exceso pasan a través de la membrana y estos son eliminados. El dializado o líquido de lavado se puede modificar para las necesidades de acuerdo a cada paciente.

Un nefrólogo especialista indica el tipo de solución que se emplea durante el tratamiento del paciente, y de igual forma se ajusta el equilibrio los productos químicos mediante dos parámetros, que los análisis de sangre muestran que concentración de minerales contiene. Como por ejemplo potasio o calcio, y que el paciente tenga antecedentes de presión arterial baja o calambres durante la hemodiálisis [20].

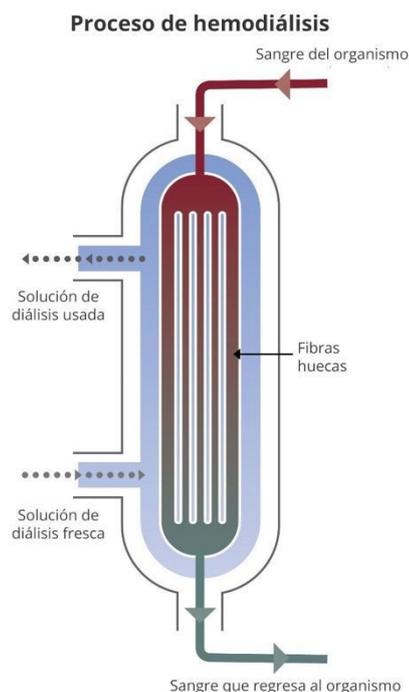


Figura 5. Partes del dializador. Dentro del filtro hay un flujo continuo que permite a las fibras filtrar las toxinas, y los excedentes de sales y agua. (Imagen tomada de: Instituto Nacional de la Diabetes y las Enfermedades Digestivas y Renales).

Tiempo de cada tratamiento.

Los tratamientos de hemodiálisis generalmente se hacen tres veces por semana, cada tratamiento dura 4 horas generalmente, se puede llegar a necesitar más tiempo para asegurar la eliminación de las toxinas. El tiempo va en base al nivel o etapa por la que se haya diagnosticado o bien el funcionamiento de sus riñones, el líquido aumentado en cada tratamiento, el peso del paciente, cantidad del producto desechado en la sangre, el tipo de riñón sintético o artificial que esté usando en su dializador.

Hiperfosfatemia (Fósforo alto)

La hiperfosfatemia significa que se mantienen niveles altos de fósforo en la sangre superando los rangos normales permisibles en la sangre que la cifra normal va de 2.5 y 4.5mg/dL. Normalmente cuando una persona mantiene sus niveles de fósforo anormales, es un indicio de daño renal [21].

El fósforo es el segundo mineral más abundante en el organismo y representa el 1% del peso corporal (600-800g) ver **tabla 3** [22]. y es encontrado en procesos como lo es la síntesis de ADN, síntesis de lípidos, señalización intracelular, en el metabolismo celular para la síntesis de ATP, manteniendo la homeóstasis ácido-base y mineralización ósea [23]. Se ha reportado que una persona puede tener una la ingesta diaria de fosfato (PO_4) varía entre 700 mg y 2000 mg, de acuerdo a la porción de alimentos ingeridos ricos en este mineral. Al encontrarse disponibles en el metabolismo se utiliza a nivel celular o se deposita a la médula ósea o tejidos blandos. La excreción de este residuo puede dar un valor de 600 y 1500 mg/día o por tubo digestivo en menor valor cercano a 500 mg [24]. Los alimentos que se destacan por ser ricos en este mineral son las carnes rojas. Este mineral puede debilitar los huesos y provocar comezón en la piel si se consume demasiado.

El control del fósforo puede incluso ser más importante que el del calcio mismo para prevenir las enfermedades óseas y las complicaciones relacionadas. Los alimentos como la leche y el queso, frijoles secos, guisantes, nueces y mantequilla de cacahuete, así como bebidas como gaseosas (sodas), son ricos en fósforo y se deben evitar. Probablemente necesitará tomar un aglutinante de fosfatos con los alimentos para controlar el fósforo en la sangre entre las sesiones de diálisis [25].

Tabla 3. Distribución de fósforo en el cuerpo humano. El fósforo se distribuye a nivel estructural, celular y metabólico a través de todo el cuerpo.

% de Distribución	Lugar de Distribución
85%	Esqueleto
14%	Nivel celular
1%	espacio extracelular

Fósforo y su progresión en la enfermedad renal crónica

Se dice que, en las etapas iniciales de la ERC, se logra mantener el equilibrio en los niveles de fósforo, y a su vez la TFG continúa en descenso y es casi nula una adecuada evacuación o expulsión de fósforo, y este pasa a ser un sustrato toxicológico para el desarrollo de desequilibrios minerales y óseos. La progresión que tienen los altos índices de fósforo en el cuerpo humano se ha asociado con problemas con ERC y a su vez los altos niveles de fosfatos haciendo que se incremente el avance de dicha enfermedad.

En estudios realizados en 2011 se ha demostrado que la función renal esta en relación de la albumina sérica, el bicarbonato sérico y el uso de diuréticos son determinantes significativos de niveles de fósforo sérico. Y se relaciona el fósforo sérico con el deterioro de la función renal [26].

El fósforo es una toxina a considerar ya que la disminución en función renal es un factor importantísimo para el avance de la misma y aun así si la enfermedad se encuentra en etapas ya avanzadas [27]. Y de igual forma se considera que la relación entre los antecedentes hereditarios ya antes mencionados es de gran importancia entre pacientes que se encuentran en etapa 3, y que mantienen estudios con una enfermedad renal media con una Tasa de filtración glomerular (TFG) de 43+/- 19 mL/min y se pudo demostrar su relación con el fosfato sérico basal [28]. El contenido de fósforo predice la progresión de la disfunción renal durante los siguientes 2.5 años del paciente, la literatura nos muestra como la relación que existe entre la velocidad de la progresión renal y los niveles séricos de fósforo da como un resultado en la alteración de la gravedad de la enfermedad cónica renal.

Nanotecnología

La nanotecnología es una rama de la ciencia que estudia materiales a partir de tamaños de grupos de átomos y que estos a su vez presentan propiedades electrónicas, magnéticas, ópticas y químicas mejoradas. Ofrecen un potencial mayor a nivel económico. Los nanomateriales se pueden encontrar como polvos y materiales optimizados a nano escala (1-100 nm). A partir de esta tecnología se pueden crear nuevas aplicaciones mejoradas en cuanto a materiales. Algunas de las propiedades esperadas es la transparencia, la hidrofobicidad, la fotoluminiscencia, la tenacidad y la dureza, detección química y biodisponibilidad de cada material [29, 30].

En la actualidad ya se utiliza en sectores como el de la información y las comunicaciones. También se emplea en cosméticos, protectores solares, textiles, revestimientos, algunas tecnologías alimentarias y energéticas o en determinados productos sanitarios y fármacos.

Hay varios métodos ya estudiados para la síntesis de nanomateriales que poseen aplicaciones reales en la práctica. Existen aplicaciones de nanopartículas de oro, plata, magnéticas y de materiales semiconductores (puntos cuánticos que pueden ser de uso de sensores ópticos, electroquímicos y másicos, y son ampliamente potenciados en sus cualidades físicas químicas y de especificidad [31]

Nanocompuestos poliméricos

Un nanocompuesto polimérico es un material con base de un polímero y nanopartículas, caracterizado por la dispersión homogénea de dichas partículas de dimensiones nanométricas en la matriz polimérica [29].

Los nanocompuestos son materiales compuestos por dos o más fases. Actualmente se han formado nanocompuestos para diferentes aplicaciones en distintas áreas. Hoy en día se ha dado la búsqueda de nuevas aplicaciones para tecnologías que ayuden en el ámbito de la salud.

Existen nanocompuestos a base de polímero y silicatos laminados que han sido de gran relevancia por sus sorprendentes propiedades.

La estructura y morfología de nanocompuestos dependen no solo de la compatibilidad en la fase orgánica e inorgánica, sino también del método de mezclado y dispersión que se utilice en el material. La morfología que presentan los compuestos poliméricos de tipo convencional (es decir, a los cuales se ha agregado un componente inorgánico no nanoestructurado, por ejemplo los plásticos reforzados con fibra de vidrio), existe una separación a nivel microscópico entre las fases orgánica e inorgánica, lo que representa una limitación al mejoramiento de los materiales poliméricos; la ventaja de los nanocompuestos polímero/filosilicato es que permiten superar dicho límite, mejorando las características mecánica, térmicas y de permeabilidad del mismo polímero, agregado cantidades mínimas (del orden del 5%) de silicatos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Metodología

En este apartado se describirán los materiales, equipos, métodos y técnicas de caracterización empleadas para determinar las propiedades físicas, químicas y morfológicas de los materiales obtenidos.

Localización del sitio de actividades

Las actividades de este trabajo de investigación se llevaron a cabo en el laboratorio del Departamento de Materiales Avanzados del Centro de Investigación de Química Aplicada. Localizado en Enrique Reyna H. No. 140- C.P. 25294, Saltillo, Coahuila.

Método de preparación de soluciones acuosas (fosfatos), para tratamiento en agitación y flujo continuo

1. Se pesaron 0.050 g de K_2HPO_4 y se disolvieron en 25 0mL de H_2O desionizada, para tratamiento en agitación
2. Se pesaron 0.2 g de K_2HPO_4 y se disolvieron en 1 L de agua desionizada, en un matraz de aforación con capacidad de 1000 mL, para tratamiento en flujo continuo.

Preparación de soluciones para la determinación de fosfatos

Para la preparación de estas soluciones se implementó la metodología que es acordé a la del artículo Modified single solution method for the determination of phosphate in natural Waters [32].

1. Solución de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) (5N): se diluyeron 17.5 mL de ácido sulfúrico concentrado a 125 mL de agua desionizada.
2. Solución de Molibdato de amonio $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$. Se disolvieron 5 g de molibdato de amonio en 125 mL de agua.
3. Solución de Acido ascórbico ($C_6H_8O_6$) (0,1 M), se disolvieron 1.32 g de ácido ascórbico en 75 mL de agua desionizada esta solución se preparó el día que se necesita ya que el ácido ascórbico se oxida fácilmente.
4. Solución de Tartrato de antimonio y potasio (1mg sb/mL). Se disolvió 0,2743 g de potasio tartrato de antimonio, en agua desionizada y se diluyó en 100 mL.
5. Reactivo de soluciones mixtas. Se mezclaron 125 mL de ácido sulfúrico 5N y 37,5 mL de molibdato de amonio, se añadieron 75 mL de solución de ácido ascórbico y 12.5 mL de solución de tartrato de potasio.

Preparación de muestras de tela no-tejida de Nylon 6 con carbón black y nanoarcillas.

1. Se cortaron 2 muestras de 3x3 cm de la parte central del rollo de tela no-tejida de Nylon 6, y se tomó el peso inicial, por cada tratamiento de las diferentes concentraciones presentes en las nanopartículas en la tela y de los rollos de tela, para el tratamiento en agitación.
2. Se tomó un trozo de tela con medidas de 15 cm de ancho por 30 cm de largo, después se tomó el peso inicial y se colocó alrededor de la membrana de aluminio del dializador. Este procedimiento se repitió continuamente para cada una de las concentraciones correspondientes de cada tela, para flujo continuo ya sea flujo alto o flujo bajo.

Establecimiento del tratamiento en agitación

1. Se colocaron 2 parrillas de agitación con 2 matraces con capacidad de 100 mL a los cuales se les añadió 50 mL de solución acuosa de fosfato, y a su vez se les añadió la muestra de tela no-tejida de nylon 6 en sus variantes de nanoarcilla y carbon black, con su respectivo agitador magnético a lo cual se agitaron a 200 rpm durante 4 horas.
2. Se tomaron alícuotas de 2 mL cada 15 min, de los dos matraces.
3. Se dejaron reposar 24 h las 32 muestras de los tratamientos de agitación, para después realizar la titulación de fosfatos y leer absorbancias en el UV-vis.
4. Terminado el tratamiento se secan las muestras de tela a temperatura ambiente y se pesan.

Realización de pruebas de tratamiento en flujo continuo

1. Lavado del dializador. Con jabón industrial a una concentración de 1% se lavó previamente el dializador, con agua de la toma de agua y después con agua desionizada.
2. Previamente se le colocó alrededor del tubo concéntrico del prototipo dializador la tela seleccionada (que obtuvieron mayor absorbancia en el tratamiento en agitación) de Nylon 6 con carbon black al 75% ,1% y Nylon 6 nanoarcillas a una concentración.
3. Al estar listo el dializador se le colocaron los soportes en la mesa de trabajo y se le conectan las mangueras.
4. Se preparó la bomba peristáltica, marca Masterflex, L/S EW-07521-40, con las mangueras conectadas hacia el dializador y a la bomba para permitir que el flujo continuo, y se cambia la velocidad de alimentación de la bomba para contar con un flujo bajo y flujo alto.
5. En una cubeta con capacidad de 5 litros, se le añadió el litro de la solución de K_2HPO_4 , y previamente se tomó un alícuota de 2 mL para medir su absorbancia, junto a ello se le añadieron 1.500 L de agua desionizada.
6. Se enciende la bomba peristáltica a una presión de 200 ml/min flujo alto o 50 ml/min para flujo bajo.
7. Y se comienzan a tomar alícuotas de 2 ml cada 15 minutos durante 4 horas.
8. Terminado el tratamiento la tela se dejó secar la tela a temperatura ambiente durante 24 hrs.
9. Se dejan reposar las alícuotas obtenidas 24 hrs para luego añadir reactivo titulante de fosfatos y leer muestras en el UV-VIS como se observa en la figura 6 .

Diagrama de metodología

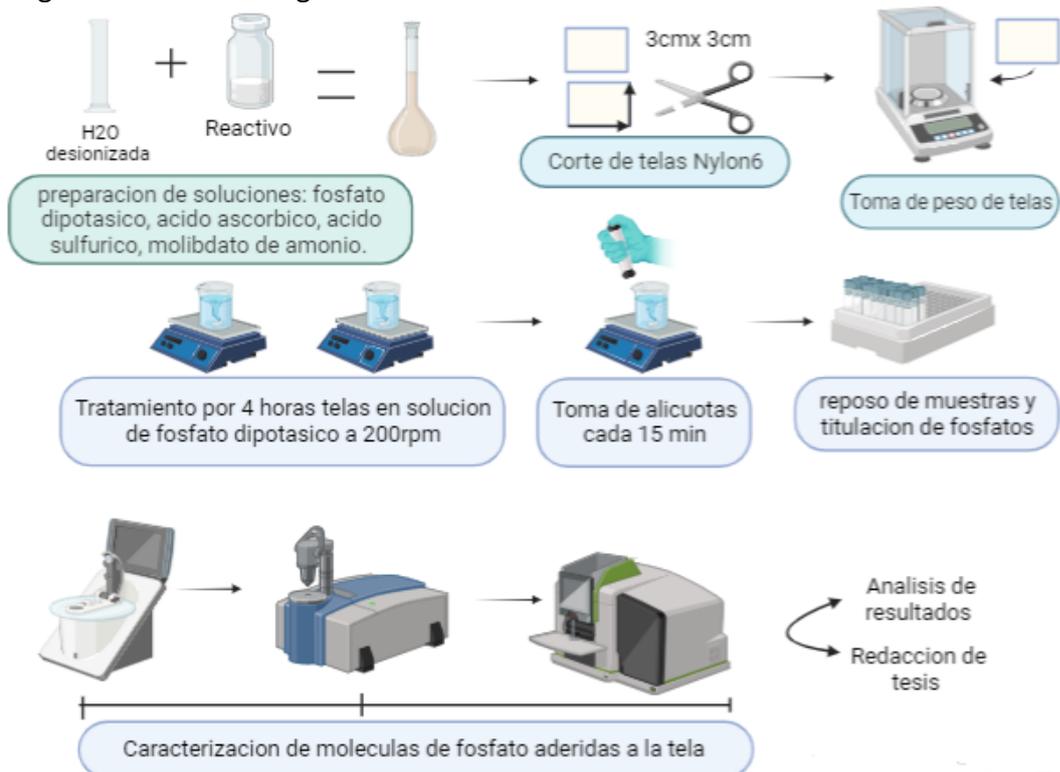


Figura 6. Diagrama de metodología empleada en la parte del presente trabajo.

TECNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Las muestras tratadas son caracterizadas por medio de diferentes técnicas espectroscópicas y microscópicas.

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR

Se empleó el uso de un espectrofotómetro cualitativo, de regiones IR que va desde los 400 cm^{-1} a los 4000 cm^{-1} . Esta técnica ayuda a la identificación de grupos funcionales presentes en una mezcla, la energía que absorbe cada grupo funcional genera una señal exacta por medio de un análisis frecuencial, que realiza el espectrofotómetro, que es basado en la transformada de Fourier, y esto ayuda a la visualización de las bandas colocada en la transmitancia (T), y de esta forma da la relación entre la potencia radiante transmitida por una muestra y la potencia radiante incidente de la muestra; a su vez se pueden encontrar la absorbancia (A) y es el logaritmo de base 10 del equitativo de la transmitancia. El equipo que se uso en esta caracterización fue el de la marca Thermo Scientific modelo Nicolet iS50 mostrado en la **figura 7**.

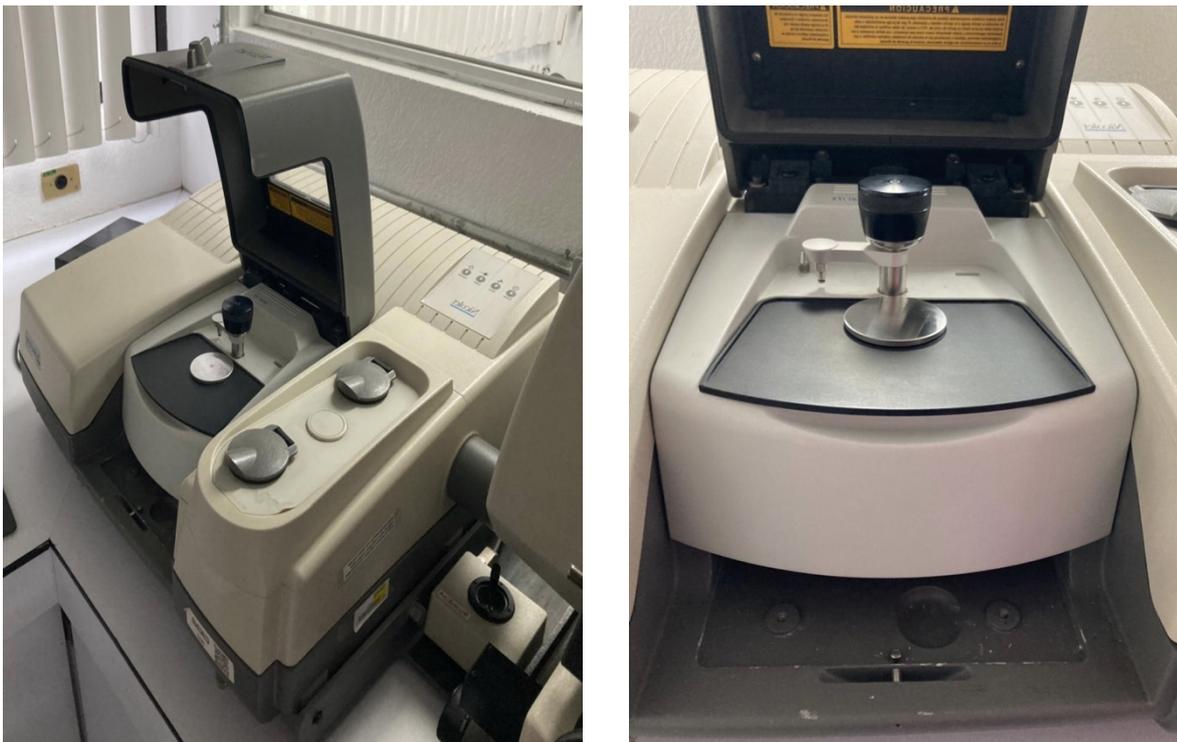


Figura 7. Imagen del equipo de espectroscopia infrarroja FT-IR.

Análisis Termogravimétrico TGA

El equipo utilizado fue el TGA Q500 TA con una temperatura desde 25 hasta 800 °C, en una atmósfera compuesta por N₂. con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, el equipo se muestra en la **Figura 8**.



Figura 8. Imagen del equipo de análisis termogravimétrico TGA.

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Para la observación de las partículas de fósforo fijadas en las telas no tejidas de nylon6 se utilizó un microscopio electrónico de barrido (Scanning Electron Microscope) JMC 6000 de la marca JEOL como se observa en la **figura 9**, los microscopios electrónicos emplean electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo la cual permite que se enfoque una gran parte de la muestra. Y produce imágenes de alta resolución que significa que características especialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación.



Figura 9. Imagen del microscopio electrónico de barrido JMC 6000 marca JEOL .

Espectroscopia ultravioleta visible (UV-Vis)

El equipo empleado en esta técnica fue en el equipo fluorescence and absorbance spectrometer marca Horiba Scientific a una longitud de onda de 726nm. La espectrofotometría ultravioleta visible, es un tipo de espectroscopia de absorción en la que se ilumina la muestra con rayos electromagnéticos de varias longitudes de onda en el rango de 500 nm - 800 nm como se muestra en la **figura 10**.

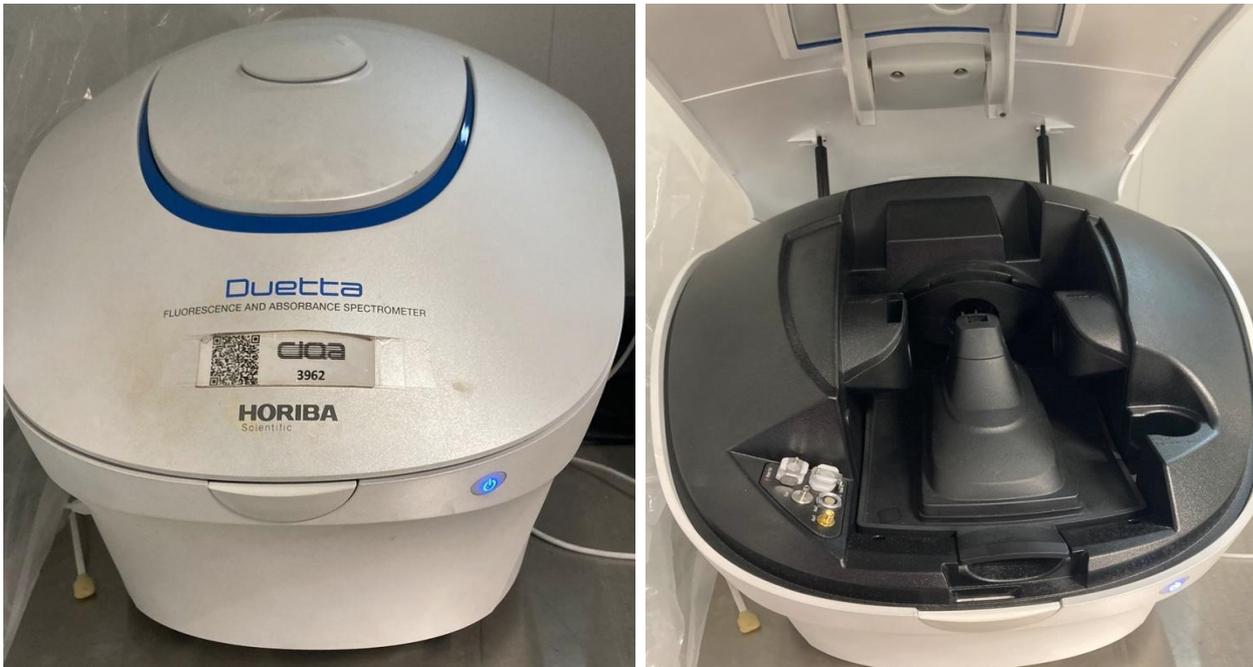


Figura 10. Imagen del equipo de UV-Vis HORIBA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de absorción de fósforo en agitación y flujo continuo

La evaluación de la adsorción de fósforo se realizó mediante agitación donde se probaron diferentes telas no-tejidas a base de Nylon 6 y nanopartículas de carbón black que se presentan en la **Figura 10**. En las primeras dos horas la remoción del fósforo es menor al 10 % conforme incrementa el tiempo el proceso de retención del fósforo en la membrana polimérica aumenta y a partir de los 180 min, se registran cambios en el porcentaje de remoción de fósforo, la muestra Nylon6CB 1%, Nylon6CB 0.75%, Nylon6CB 0.5% son las que presentan mayor porcentaje de remoción de fósforo 40, 31 y 28 % respectivamente, por lo que se seleccionaron para los próximos experimentos en un flujo continuo utilizando un prototipo. El carbón black es un material ampliamente usado para remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos que en los últimos años se ha utilizado para la adsorción de fósforo en sedimentos, logrando una buena adsorción [33]. El mecanismo de adsorción puede ser mediante una adsorción física por la porosidad de la tela no-tejida y también por el área superficial de las nanopartículas de carbón black, así mismo una adsorción química por los grupos funcionales adicionados por la modificación química ayudan a una interacción electrostática por cargas de los fosfatos y los iones hidroxilo de los ácidos carboxílicos [34].

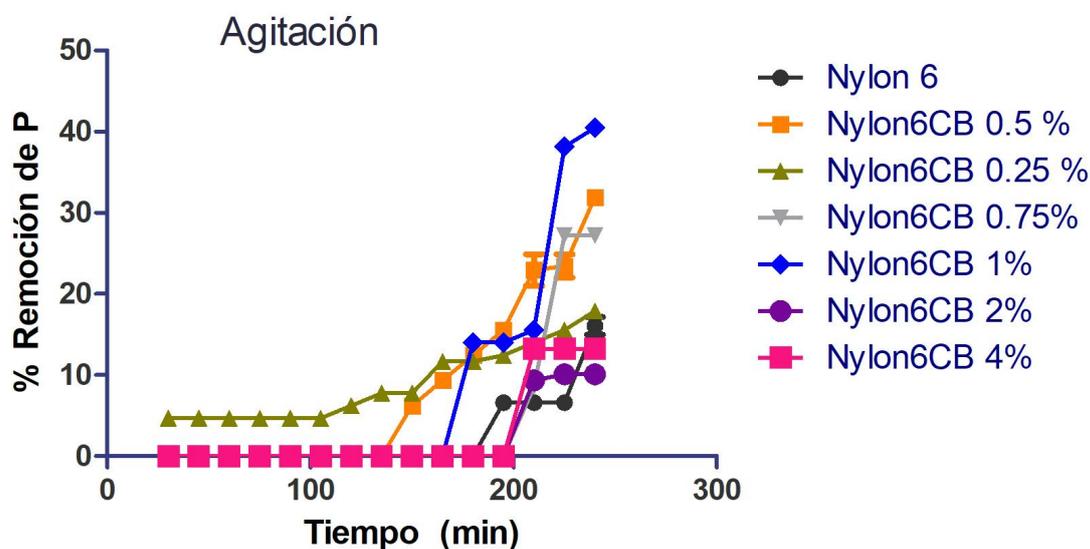


Figura 11. Porcentaje de remoción de fósforo (P) de las telas no-tejidas de Nylon 6 sin nanopartículas y Nylon6CB con diferente concentración de nanopartículas utilizando agitación como método.

En la **Figura 11** se presentan los resultados de adsorción de las telas no-tejidas que contienen nanoarcilla, se observa que todas las muestras presentan una baja remoción de fosforo menor al 5 %, en cambio las telas de Nylon6/C20A 0.5 % a partir de los 20 min presenta una adsorción del 30 % que incrementa conforme pasa el tiempo hasta alcanzar 50 % de remoción. La tela no-tejida de Nylon6C20A 0.75% presenta un 48 % de remoción,

en cambio el nylon 6 sin nanoparticulas y las otras telas con mayor contenido de nanoarcilla presentan valores remoción menores a 20 %, esto puede deberse a la aglomeración de las nanoarcillas cuando se tiene un contenido mayor al 1 % que no permite una dispersión homogénea de las nanoarcillas en la membrana polimérica por lo tanto la adsorción es baja. Esto ya ha sido reportado para telas de Nylon6ZnO, donde se observa un mayor porcentaje de remoción en contenidos de 0.5% de nanoparticulas [35].

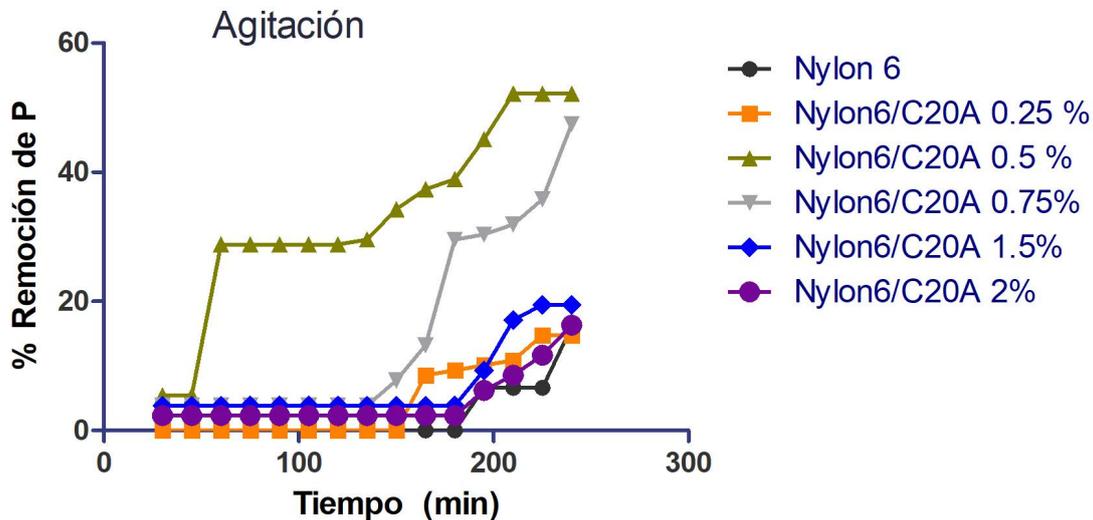


Figura 12. Porcentaje de remoción de P de las telas no-tejidas de Nylon 6 sin nanoparticulas y Nylon6C20A con diferente concentración de nanoparticulas utilizando agitación como método.

En la **Figura 12** se muestran los resultados de sistema continuo a alto flujo de 200 mL por min. utilizando el prototipo de dializador, como se observa en la gráfica de remoción de fósforo es partir de los 200 min que hay un aumento en la remoción de fósforo en todas las muestras, comportamiento observado en el método de agitación. La tela no-tejida de Nylon 6 presenta un porcentaje menor al 5 %, el proceso de adsorción en la membrana se debe principalmente a las nanoparticulas modificadas que presentan sitios de adsorción ya sean físicos o químicos para el atrapamiento de fósforo y así removerlo de la solución. En un proceso de hemodiálisis la eliminación de bioelementos, cationes o toxinas se lleva a cabo por un proceso de difusión, en el prototipo de dializador ocurre un proceso distinto en el cual la membrana atrapa o retiene en su superficie las toxinas o bioelementos que se requieren remover de la sangre [36]. La tela no-tejida de Nylon 6 CB 1 % es la que presenta mejor porcentaje de remoción del 43 %, las otras telas no-tejidas de Nylon6C20A presentan el 22 %, un alto flujo en un sistema continuo no permite un mayor tiempo de contacto entre la membrana y la solución que contiene el fósforo, esto puede afectar al proceso de adsorción como se muestra en la figura 13. El carbon black tiene una mayor área superficial debido a esto cuenta con mayores sitios activos para una adsorción física mediante interacciones débiles tipo dipolo-dipolo, o van der Waals, además cuando se modifica superficialmente contiene grupos funcionales que pueden forman enlaces con el fósforo [37,38].

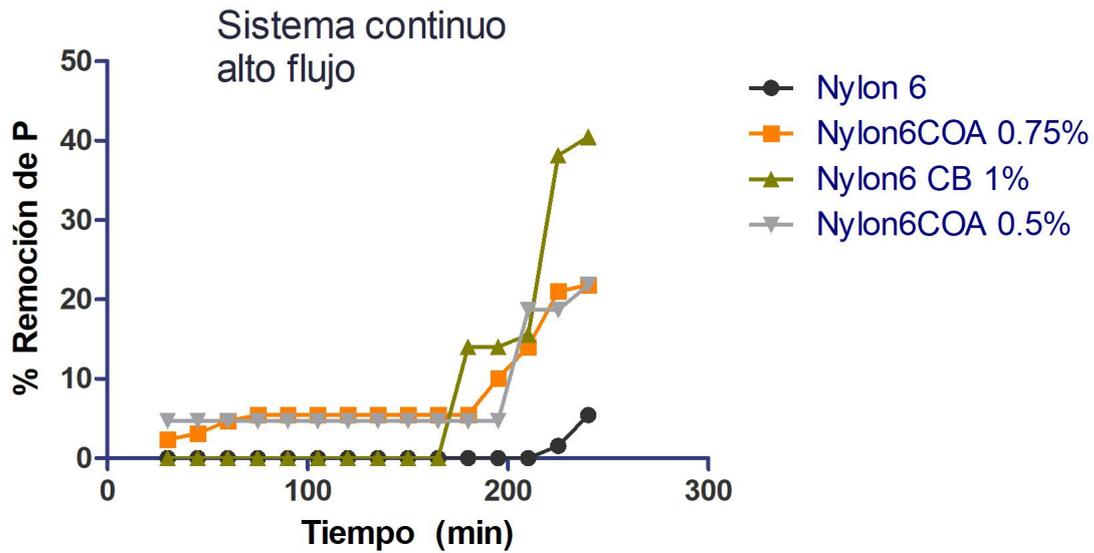


Figura 13. Porcentaje de remoción de P de las telas no-tejidas de Nylon 6 sin nanopartículas , Nylon6CB y Nylon6COA con diferente concentración de nanopartículas utilizando un sistema continuo a alto flujo como método.

Los resultados de la remoción de fósforo en un sistema continuo con un bajo flujo se presentan en la **Figura 14** donde se observa que el Nylon 6 sin nanopartículas presenta un bajo porcentaje de remoción menor a 20 %, al igual que la tela no-tejida con nanopartículas de carbón black con 1 %. En cambio, las telas no-tejidas con 0.5 % y 0.75 % de nanoarcilla closite 20A presentan porcentajes de remoción de fósforo de 62 % y 50 %, respectivamente. Esto puede deberse a que un flujo bajo permite mayor tiempo de contacto con la membrana polimérica, y que sitios activos puedan ser ocupados homogéneamente sin que estos se saturen rápidamente para que exista un equilibrio de adsorción, esto ya ha sido reportado por Vanaamudan *et al.* los cuales estudiaron el efecto de la concentración y el efecto del tiempo del proceso de adsorción de cloisite 30A [39].

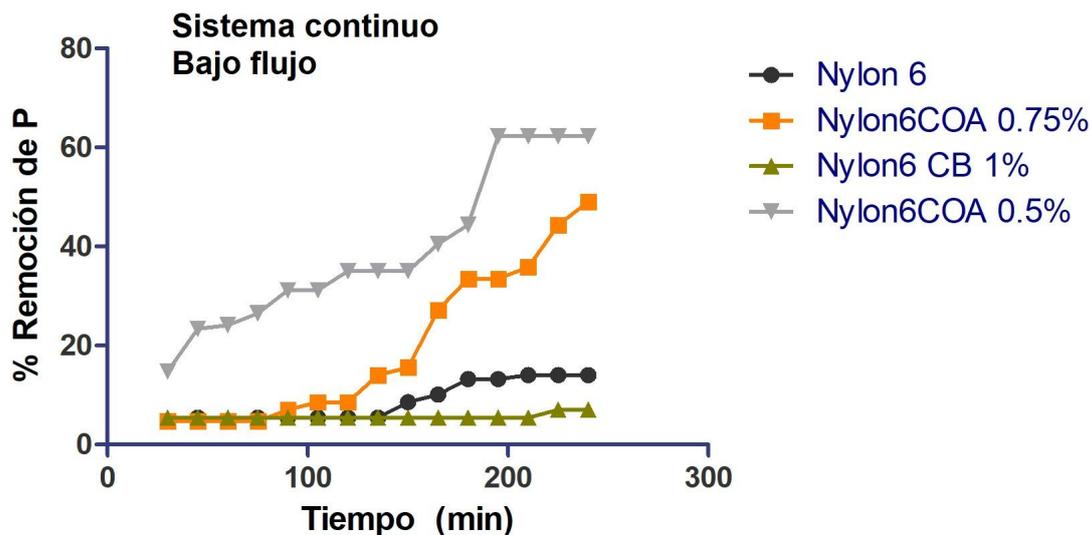


Figura 14. Porcentaje de remoción de P de las telas no-tejidas de Nylon 6 sin nanopartículas , Nylon6CB y Nylon6COA con diferente concentración de nanopartículas utilizando un sistema continuo a bajo flujo como método.

Caracterización de telas no tejidas por microscopía electrónica de barrido

Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros FTIR de las telas no-tejidas después de la adsorción de Nylon6C20A se presentan en la Figura 14. En 3300 cm^{-1} y 1538 cm^{-1} se encuentran asociadas a los estiramientos del enlace N-H, indicando que se llevó a cabo cierto grado de injerto de la amina en la arcilla C20A [40]. La señal 1633 cm^{-1} se atribuye a la absorción de los grupos carbonilos (C=O) presentes en la estructura del Nylon 6. Por otro lado, se puede observar la presencia de la señal 2920 cm^{-1} la cual se atribuye a las vibraciones simétricas y asimétricas de los enlaces CH_2 correspondientes a la poliamida [41]. Las señales de fósforo se encuentran localizadas entre la región de 1000 a 500 cm^{-1} esto se puede ver que en la muestra con blanco y con 0.75% de nanoarcilla si se presentó. En otras muestras no está presente debido a que se encuentran empalmadas las señales de fosfato y las de Nylon 6 no es posible distinguir la presencia de las señales de fósforo después de la adsorción.

FT-IR telas de nanoarcilla en agitación

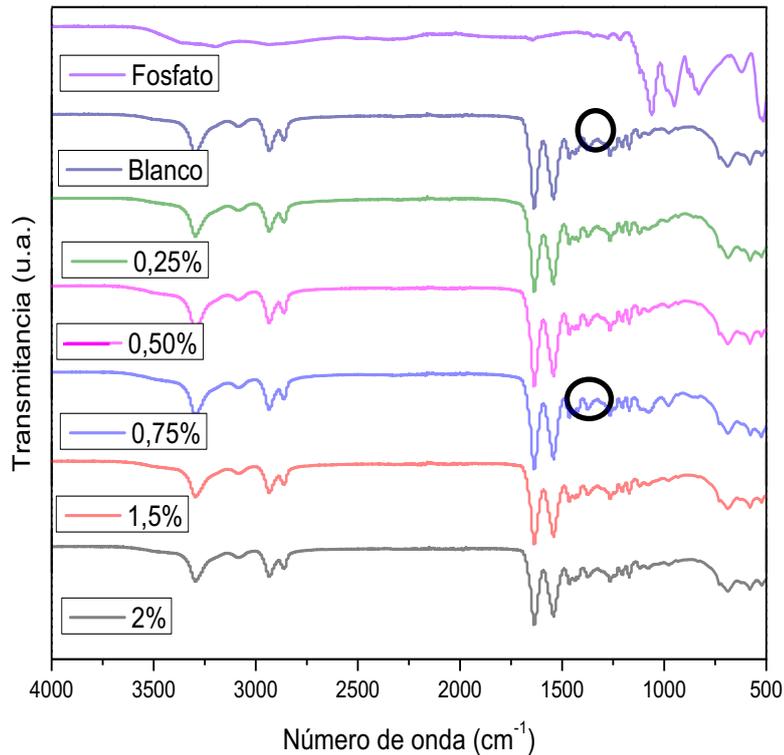


Figura 15. Espectro FT-IR de las telas no-tejidas de Nylon6C20A después de la adsorción mediante un tratamiento de agitación.

En la Figura 15 se presentan los espectros FT-IR después de la adsorción de fósforo en la tela no-tejida de nylon6CB con diferentes concentraciones de nanopartículas modificadas de carbon black. En todos los espectros se presentan las señales características del nylon 6, las bandas de adsorción puro, localizadas a 3313 cm^{-1} atribuida a las vibraciones de estiramiento del enlace N-H y 1548 cm^{-1} que corresponde a amida II [42]. También se muestran otras bandas localizadas en 2935 y 2858 cm^{-1} las cuales son atribuidas a las vibraciones simétricas y asimétricas de los grupos CH_2 de la poliamida, así como también la banda de absorción en 1639 cm^{-1} se le atribuye al estiramiento del enlace $\text{C}=\text{O}$ del grupo amida I [43]. Debido a que la carga de nanopartículas es menor a 10 % no se logran observar señales de las nanopartículas modificadas. La adsorción del fósforo tampoco es posible observar debido a que las señales se encuentran en la misma región que las del Nylon 6, sin embargo, se observan desplazamientos de número de longitud de onda que pudiera indicar un cambio de ambiente químico.

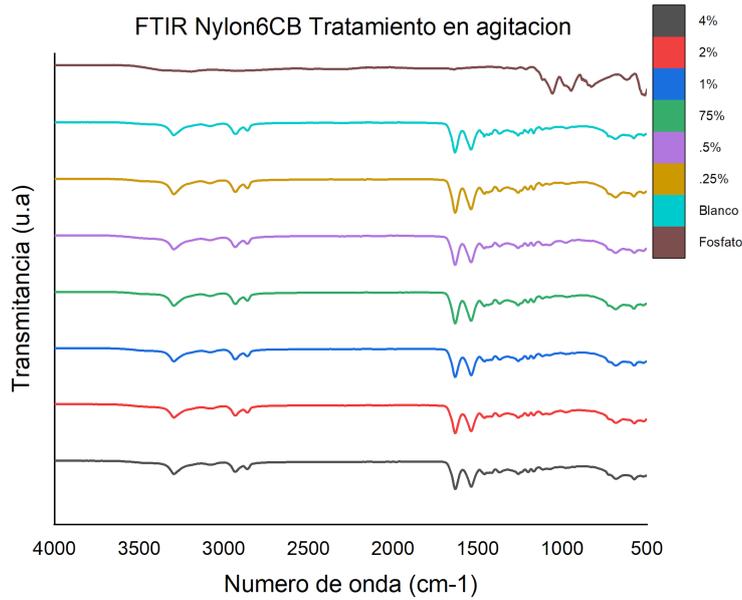


Figura 16. Espectro FT-IR de las telas no-tejidas de Nylon6CB después de la adsorción mediante un tratamiento de agitación.

En la **Figura 16** se presentan los espectros de las telas no-tejidas después de la adsorción de fósforo, donde en la región de 1000 a 500 cm^{-1} se observan las señales características del fósforo, en 500 cm^{-1} se observa una pequeña banda de baja intensidad en las telas no-tejidas después de la adsorción. Se ha reportado el enlace O-P-O entre 500 y 600 cm^{-1} después de la adsorción de fosfatos en nanomateriales a base de lantano [44]. También se observan las señales intensas del Nylon 6 en 3300 cm^{-1} el enlace N-H correspondiente al grupo amino, 2935 y 2858 cm^{-1} atribuidas al enlace C-H de la cadena de poliamida.

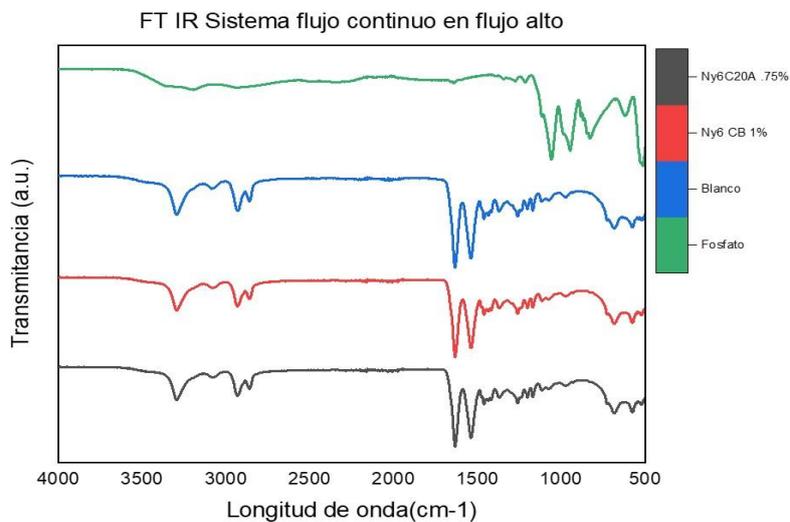


Figura 17. Espectro FT-IR de las telas no-tejidas de Ny 6 CB 1 %, Ny6 C20A 0. 75 %, Ny6 (blanco) y fosforo mediante un tratamiento de flujo continuo a 200 ml/min.

El espectro FT-IR de las muestras de Ny6, Ny6C20A, Ny6CB y fosfato se muestran en la Figura 18, donde se pueden observar las señales típicas de la poliamida sin la presencia de alguna señal de las nanopartículas ya que debido a la baja concentración no es posible observarlas mediante esta técnica espectroscópica. En la región de 600 a 500 cm^{-1} se observa una señal de baja intensidad atribuida al fósforo adsorbido en la superficie de la tela no-tejida.

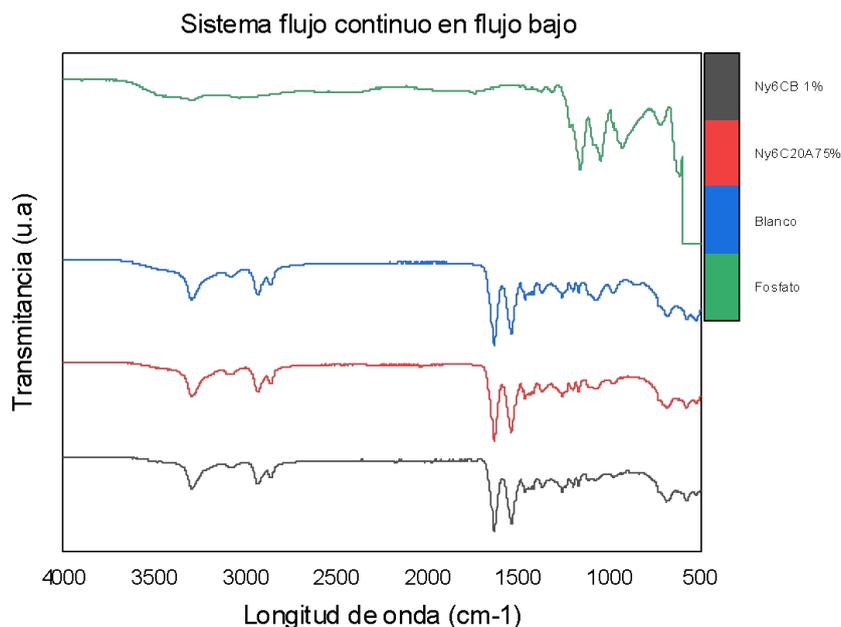


Figura 19. Espectro FT-IR de las telas no-tejidas de Ny 6 CB 1 %, Ny6 C20A 0. 75 %, Ny6 (blanco) y fosforo mediante un tratamiento de flujo continuo a 50 ml/min.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

Pruebas en agitación.

Se llevó a cabo el análisis termogravimétrico para observar la presencia de moléculas orgánicas en las telas no-tejidas que se trataron. En la Figura 18 se puede ver los análisis de TGA y del fosfato y de las telas no-tejidas de Nylon 6 y nanoarcilla closite 20 A con diferentes porcentajes en peso. En la Figura 18 a) se presenta un acercamiento de la región de 400 a 600 $^{\circ}\text{C}$ de las diferentes pérdidas de peso para una mejor interpretación. En la gráfica se puede observar que la muestra la que contiene 0.5 % de nanoarcilla closite 20 A modificada, fue la que presentó un mejor comportamiento térmico, es decir es más estable térmicamente, y en el acercamiento si se compara con el comportamiento térmico del fosfato por si solo se puede ver que arriba de 480 $^{\circ}\text{C}$ una pérdida de peso que coincide con el comportamiento de la muestra Nylon6/C20A-0.5%. En la literatura se ha encontrado que las sales de fosfato se descomponen básicamente en tres pasos, con pasos de degradación a 230 $^{\circ}\text{C}$, 277 $^{\circ}\text{C}$ y 357 $^{\circ}\text{C}$ para el dihidrógenofosfato de potasio [45].

Esto para el proceso de agitación, esto quiere decir que el mejor resultado se logró con la muestra Nylon6/C20a 0.5%.

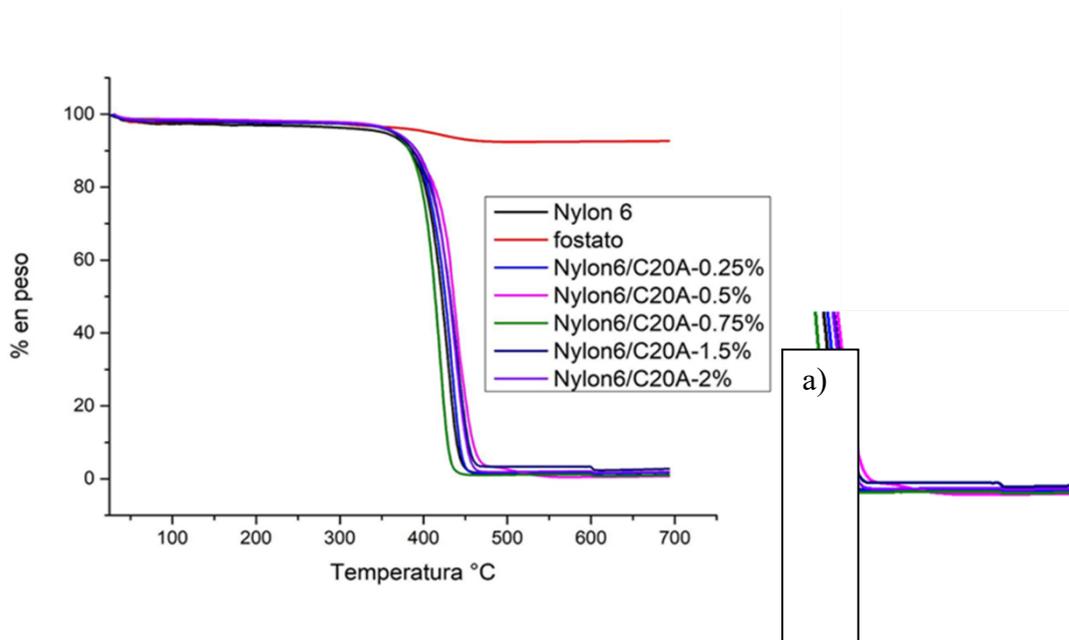


Figura 20. TGA de las muestras de nylon 6 y nanoarcilla closite 20A a diferentes concentraciones de carga que adsorbieron fofatos mediante agitación.

También se llevó a cabo el análisis termogravimetrico con telas no-tejidas que contenían nanopartículas de carbon black modificadas a diferentes concentraciones 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2 y 4 % (Figura 19). En este termograma se puede apreciar que la tela que es menos estable termicamente es la que posee un 4 % de carbón black modificado, ya que empieza su degradacion a una temperatura de 372 ° C el Nylon 6 por si solo se degrada a una temperatura de 422 ° C y la muestra mas estable es la que contiene 2 % de nanopartículas de carbón black, además se puede observar que la muestra Nylon 6/CB-0.25 comparada con el comportamiento de descomposición del fosfato es el que adsorbió mayor cantidad de fosfato. Se han visto que el cambio a temperaturas de 600 y 700 °C es donde se degradan cristales de fosfato [46].

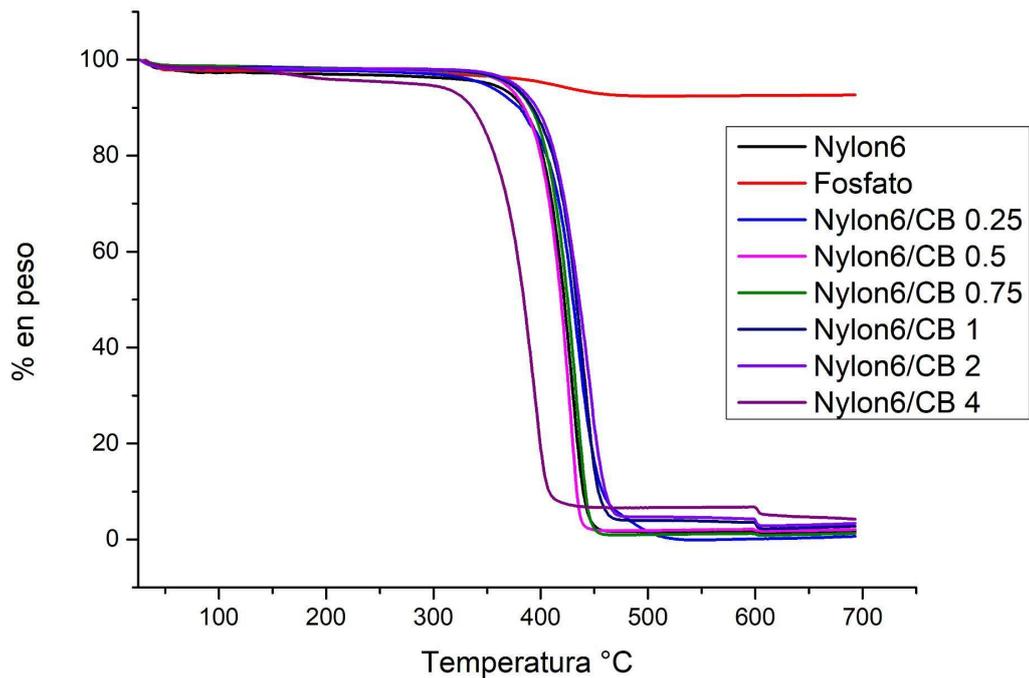


Figura 21. TGA de las muestras de nylon 6 y nanoparticulas de carbón black a diferentes concentraciones de carga que adsorbieron fosfatos mediante agitación.

Pruebas a flujo continuo

Se realizaron pruebas de análisis de TGA a flujo alto y a flujo bajo y a la muestra con 0.75 % de nanoarcillas closite 20 A (Figura 20). Se tomó una muestra para ver el comportamiento a flujo bajo y a flujo alto, en estos resultados se pudo observar que a un flujo alto se degrada más rápidamente a temperaturas de 410 °C y con flujo bajo aumentó a 429 °C, no se ve un cambio significativo ni la descomposición de los fosfatos, esto pudiera ser por que el tiempo de tratamiento a flujo continuo no se pudo ver en este análisis la adsorción del fosfato. Esto puede ser debido a que se adsorbieron las sales de fosfato en los flujos bajos.

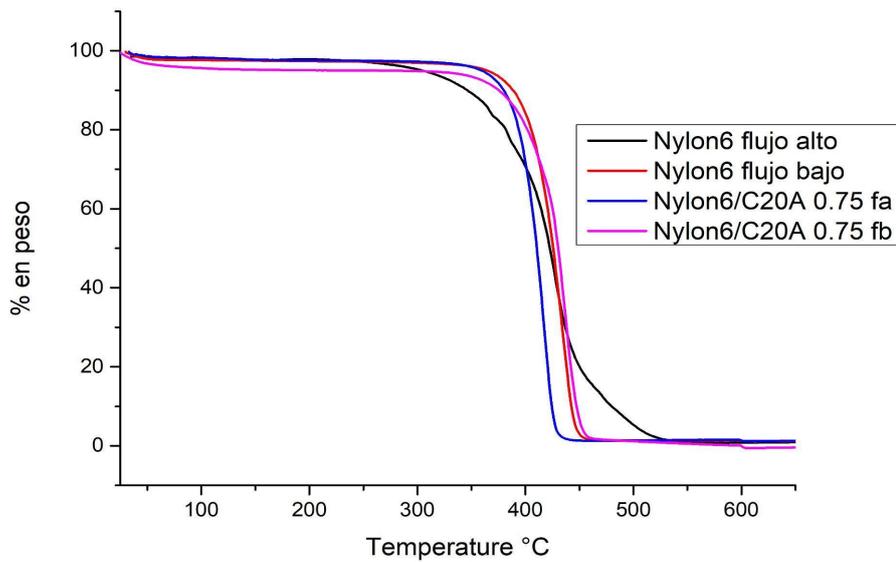


Figura 22. TGA de las muestras de nylon 6 y nanoparticulas de nanoarcillas closite 20A a diferentes concentraciones de carga que adsorbieron fofatos en alto y bajo flujo a continuo

En la **Figura 21** análisis termogravimetrico a las muestras con 1 % de nanoparticulas de cabon black a flujo alto y flujo bajo, en estos resultados no se vieron cambios significativos y la temperatura de degradación fueron casi iguales a 426 °C.

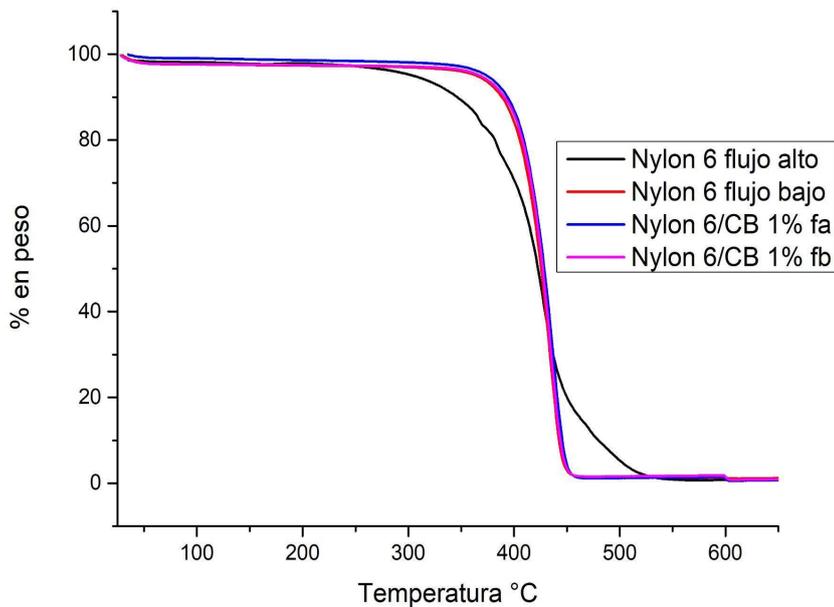


Figura 23. TGA de las muestras de nylon 6 y nanopartículas de carbon black al 1 % de carga que adsorbieron fosfatos en alto y bajo flujo a continuo.

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se eligieron las muestras de tela no-tejida de flujo continuo para la caracterización por microscopía electrónica de barrido debido a que se llevó a cabo en el prototipo. En las imágenes de SEM de NyC20A a magnificaciones de 80x y 150x se observan las fibras entrelazadas de diferentes diámetros (Figura 22 a y b), en la misma Figura se presenta la imagen de SEM a 400x donde se detecta en las fibras partículas sobre su superficie, las cuales pueden deberse a la presencia de fosfatos. En el EDS se corrobora la presencia de P, además de los elementos de Nylon 6 C y N, y los de las nanopartículas de la nanoarcilla cloiste20A Si y Al. Jabur y col. reportan imágenes de SEM de nylon 6 y quitosano donde observan fibras similares con diámetros que aumentan conforme aumenta la concentración de quitosano [47].

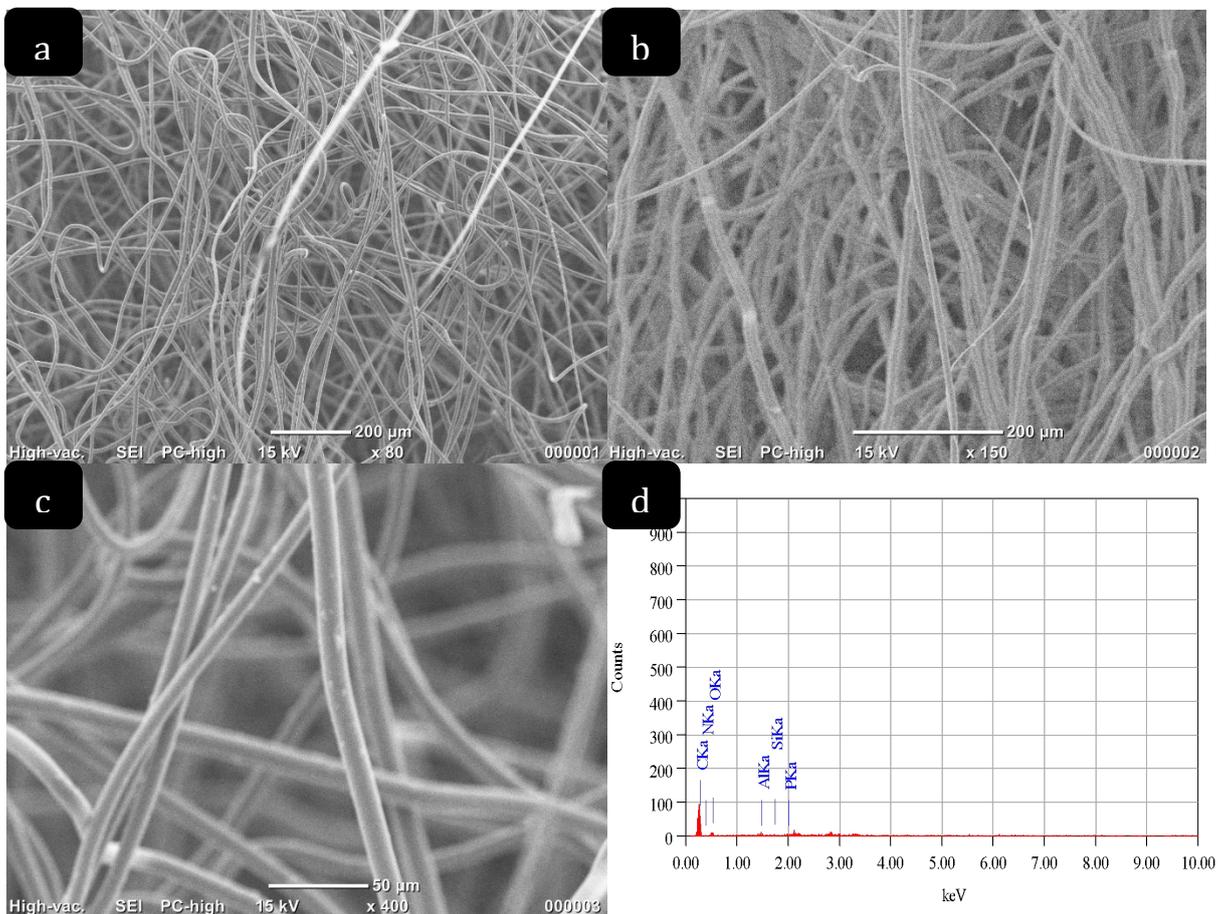


Figura 24. Imágenes de SEM y EDS de la tela no-tejida después de la adsorción de fósforo de la muestra Ny6 C20A con un tratamiento a flujo continuo 200ml/min. a) 80X b) 150X c) 400 X d) EDS.

Las imágenes de SEM de la tela no-tejida de la muestra Ny6 C20A con un tratamiento a bajo flujo se presentan en la Figura 23 donde se puede observar las fibras no-tejidas, con tamaños que van de 20 a 45 μm , con una distribución heterogénea, a 400x se logra observar un aglomerado de partículas los cuales pueden ser cristales de fosfato. El EDS se muestra en la Figura 23 d) los elementos encontrados son C, O, N pertenecientes al Nylon 6, Si y Al correspondientes a la nanoarcilla modifica y se logró detectar el P por lo que se corrobora que se llevó a cabo la adsorción del fosforo en la tela no-tejida.

Cabello y col. estudiaron la tela no-tejida a base de Nylon 6 para la adsorción de toxinas urémicas, observaron imágenes de SEM similares a las encontradas y en el EDS detectaron C, O, N elementos correspondientes al Nylon 6 [48].

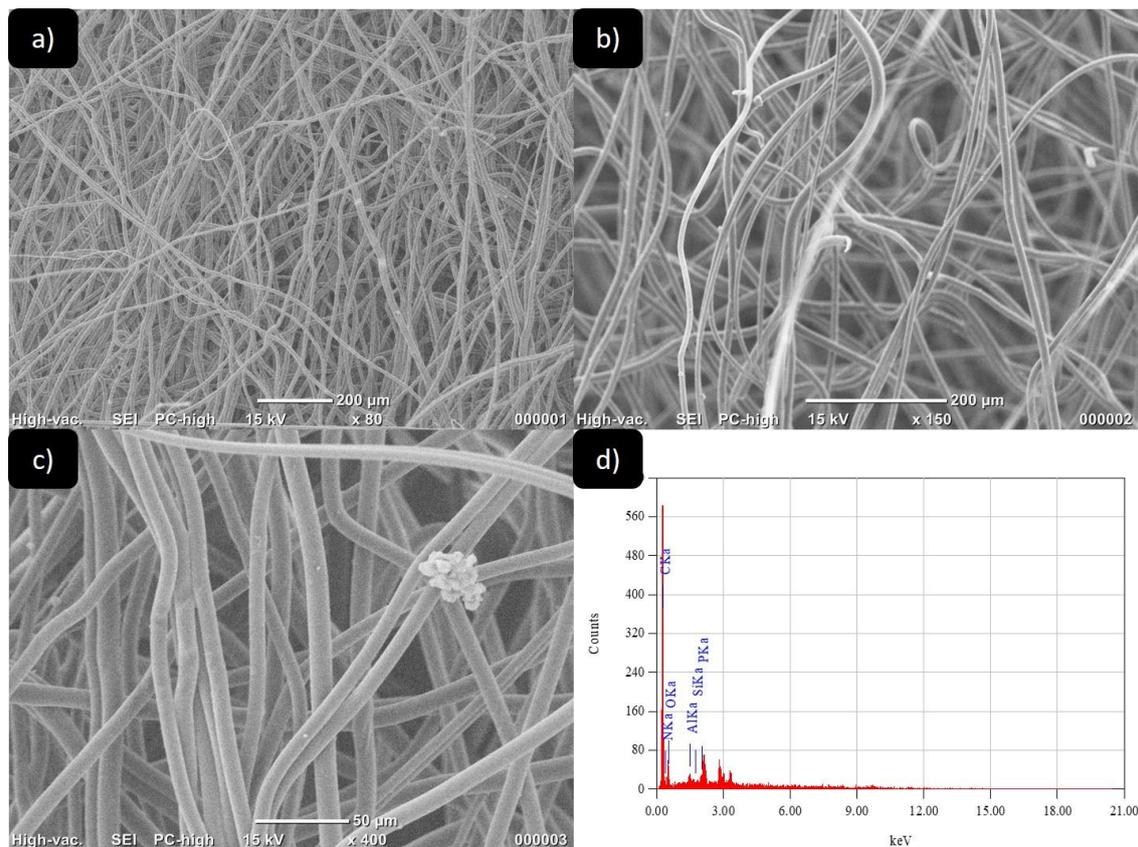


Figura 25. Imágenes de SEM y EDS de la tela no-tejida después de la adsorción de fosforo de la muestra Ny6 C20A con un tratamiento a flujo continuo 50ml/min. a) 80X b) 150X c) 400 X d) EDS.

En la **Figura 24** se presentan las imágenes de SEM de la tela no-tejida de Nylon6 con nanopartículas de carbon black modificado, en todas las imágenes se logra observar los cristales de fosfato impregnados en la superficie de la tela no-tejida, en la Figura 24 c) se muestran las fibras de tamaños de 40 μm , algunas con superficie lisa y otras fibras tienen pequeñas partículas impregnadas de fosfato. En el EDS presentado en la Figura 24 d) se observan los elementos de C, N, O del Nylon 6 y de las nanopartículas de carbono, además de las imágenes con el EDS se corrobora la presencia de fosforo en la superficie de la tela no-tejida.

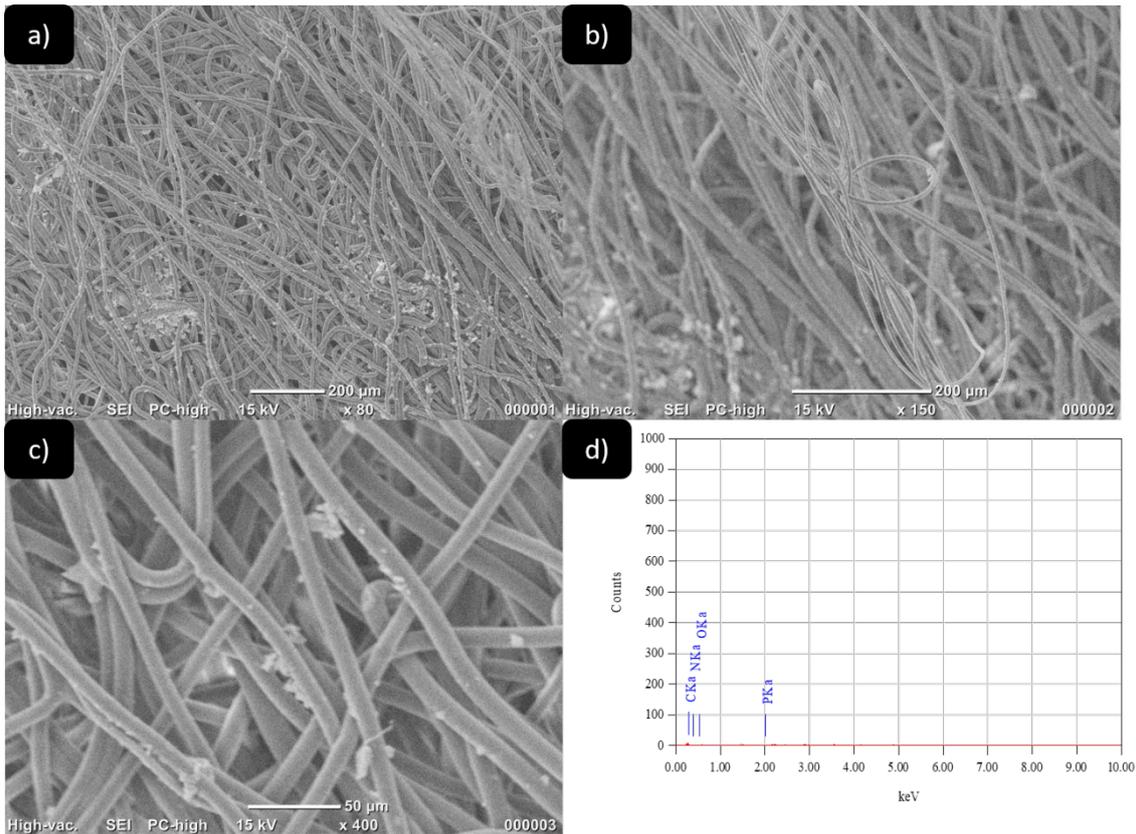


Figura 26. Imágenes de SEM y EDS de la tela no-tejida después de la adsorción de fósforo de la muestra Ny6 CB con un tratamiento a flujo continuo 200ml/min. a) 80X b) 150X c) 400 X d) EDS.

Las imágenes de SEM de Nylon 6 con nanopartículas de carbon black modificado se observan en la Figura 25 a), b) y c) la tela muestra una textura suave y las fibras se encuentran interconectadas, su diámetro de fibra es de 20 a 38 μm , la superficie de las fibras es lisa y en la Figura 25 c) se presentan pequeñas partículas relacionadas con la adsorción de fósforo, en el espectro de EDS se corrobora la presencia de fósforo y la composición elemental del Nylon 6 y las nanopartículas de carbon black. Cui y col. estudiaron telas no-tejidas de nylon 6, y observaron la adsorción de Cromo como presencia de partículas al igual que en este estudio [49].

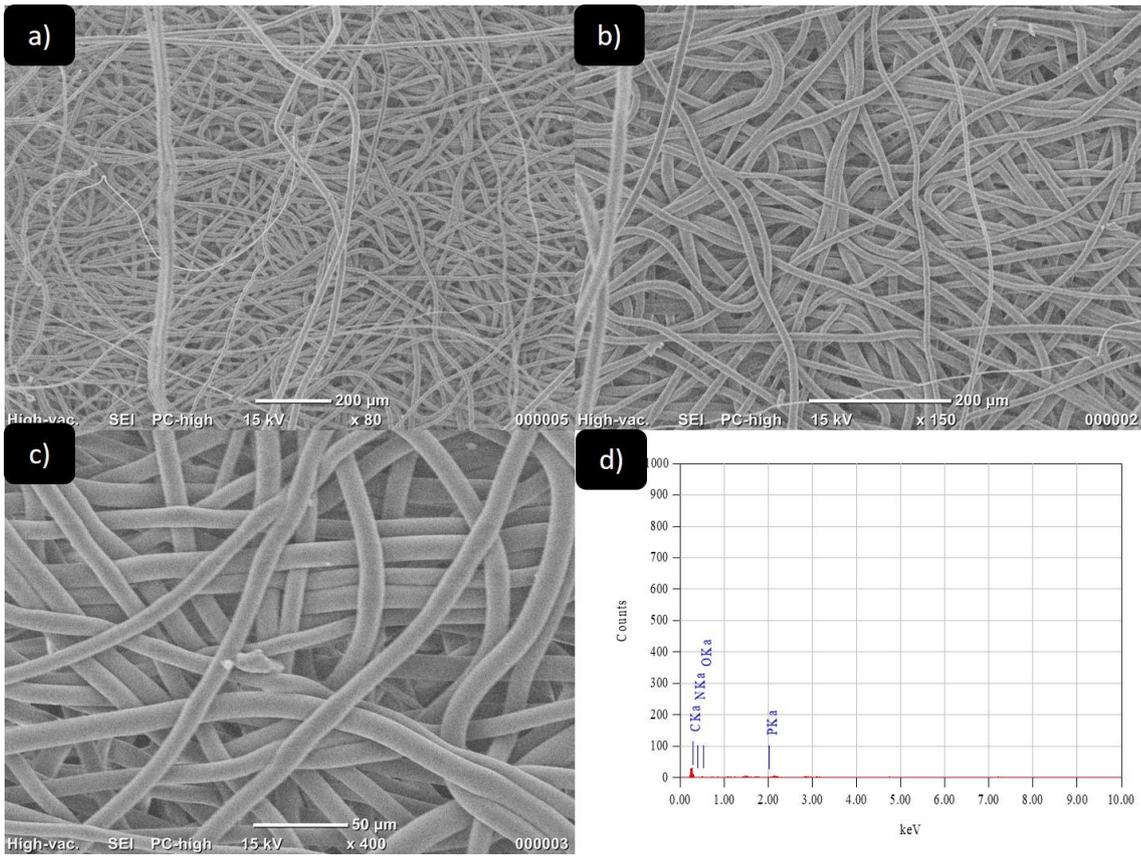


Figura 27. Imágenes de SEM y EDS de la tela no-tejida después de la adsorción de fósforo de la muestra Ny6 CB con un tratamiento a flujo continuo 50ml/min. a) 80X b) 150X c) 400 X d) EDS.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió la evaluación de telas no-tejidas de Nylon 6 y nanopartículas de arcilla closite 20 A modificadas y telas de Nylon 6 con nanopartículas de carbon black modificadas, estos materiales se usaron para la adsorción de fosfatos en agitación (batch) o en flujos continuos. Las telas no-tejidas de Nylon 6 y nanopartículas modificadas para la adsorción de fosfatos se les realizó pruebas de espectroscopia de UV-Vis para determinar la cantidad de fósforo adsorbido, espectroscopia de infrarrojo con transformadas de Fourier para determinar los grupos funcionales presentes, análisis termogravimétrico para corroborar la pérdida de moléculas orgánicas en las telas no-tejidas y microscopía electrónica de barrido para observar los cambios físicos en la tela que absorbió las moléculas de fósforo.

Primeramente, se realizó en agitación continua en lotes, esto con el objetivo de elegir las telas no-tejidas que presentaban mejores propiedades de adsorción y posteriormente probarlas en un prototipo de dializador en un sistema continuo, esto utilizando dos flujos uno alto y uno bajo, el superior a 200 mL/min considerado un flujo alto y el inferior 50 mL/min (flujo bajo).

Las pruebas de adsorción en agitación la muestra Nylon 6 CB 1%, Nylon6CB 0.75%, Nylon 6 CB 0.5% son las que presentaron mayor porcentaje de remoción de fósforo, porcentajes de 40, 31 y 28 % respectivamente. Para las pruebas de adsorción en agitación de las telas no-tejidas que contienen nanoarcilla las muestras con 0.5 y 0.75 de contenido de arcilla presentaron alrededor de 40 % de remoción, y las otras telas con diferentes contenido de nanoarcilla presentan valores remoción menores a 20 %, esto puede deberse a la aglomeración de las nanoarcillas cuando se tiene un contenido mayor al 1 % que no permite una dispersión homogénea de las nanoarcillas en la membrana polimérica.

Las pruebas de adsorción en alto flujo la tela no-tejida de Nylon 6 CB 1 % fue la que presentó mejor porcentaje de remoción del 43 %, las otras telas no-tejidas de Nylon6C20A presentan el 22 %, Las telas no-tejidas con 0.5 % y 0.75 % de nanoarcilla closite 20A presentan porcentajes de remoción de fósforo de 62 % y 50 %, respectivamente.

Después del proceso de adsorción se caracterizaron las telas no-tejidas mediante espectroscopia de infrarrojo FTIR, microscopía electrónica de barrido (SEM).

En FTIR las muestras sometidas a agitación las señales de fósforo se pudieron apreciar solo en algunas muestras de las telas con nanoarcillas. Las señales localizadas entre la región de 1000 a 500 cm^{-1} del fósforo y en otras muestras no fue posible distinguir la presencia de las señales de fósforo después de la adsorción. Para más muestras que se probaron en flujo continuo hubo unas pequeñas señales que pudieran confirmar la presencia de fósforo.

En TGA las muestra de 0.5 % de nanoarcilla closite 20 A modificada, fue la que presentó un mejor comportamiento de estabilidad térmica y se vio una degradación en la región de los fosfatos y en la muestra con 0.25 de carbón black se pudo determinar una pérdida de

peso correspondiente a los fosfatos todo esto en las muestras que se realizaron las pruebas de adsorción por agitación.

En las pruebas de adsorción mediante flujo continuo los resultados en TGA no se vio un cambio en el termograma correspondiente a la descomposición de los fosfatos, esto pudiera ser por que el tiempo de tratamiento a flujo continuo que no fue el suficiente y no se pudo ver la adsorción del fosfato.

En las imágenes de SEM se corroboró la presencia de partículas relacionadas a la adsorción de fósforo en la superficie de las fibras interconectadas, además en el EDS se encontró la composición elemental del Nylon 6 y las nanopartículas modificadas, además de la presencia del P en el espectro de EDS confirmando la presencia de fósforo en la tela tejida.

LITERATURA CITADA

1. ribes., E.A., *Fisiología de la insuficiencia renal cronica*. 2004. **10**: p. 8-76.
2. Mandy K, C.M.M., *Centers for Disease Control and Prevention*. 2023.
3. Flores H, J.C., *Chronic Kindey Disease: epidemiology and risk factores*. 2010. **21(4)**.
4. Ana Rivera-Chavarría, E.M.-C., *Mortality rate and hospital discharges in Chronic Kindey Disease and Chronic kindey disease of non-traditional causes, Costa Rica 2016* (Colegio de Medicos y Cirujanos de Costa Rica).
5. Cassaretto, M. and R. Paredes, *Afrontamiento a la enfermedad crónica: estudio en pacientes con insuficiencia renal crónica terminal*. Revista De Psicología, 2006. **21(1)**: p. 109-140.
6. Julia Carracedo, R.R., *Fisiologia Renal 2020*: p. 1-20.
7. Crowe Jennifer, B.v.W.d.j., Catharina Wesseling *A pilot filed evaluation on heat stress in sugarcane workers in Costa rica: What to do next?* 2009.
8. Renneke H, D.B., *Renal Pathophysiology. The esentials. 5ª*. 2017.
9. Guillermo garcia garcia, S.P., Jonathan Chávez Iñiguez., *Cuide su riñon, Guía completa para pacientes renales*. 2014: p. 285.
10. Angela YChang ScD, r.v.F.S.P., Stefanos Tyrovolas PhD, Nicholas J kassebum, Md Joseph L Dileman PhD, *Incidence and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories*. 2017
11. A, D.H., *La hipertensión arterial. revista cubana de medicina* 2011. **50**: p. 3.
12. Brack, M., *La Hipertension Arterial* 20154.
13. Pérez, S.C., *Hipertension Arterial* 2012: p. 121-129.
14. Hernández-Ávila M, G.J.P., Reynoso-Noverón N *Diabetes Mellitus en Mexico: El estado de la epidemia Salud pública de México* 2013: p. 129-136.
15. Registry, A.A.f.t.s.a.d., *¿Que es Toxicologia?* 2022.
16. Cm, G., *Vascular calcification: in vitro evidence for the role of inorganic phosphate*. J Am soc Nephrol 2003. **4**.
17. London GM, M.S., Guerin AP, Metivier F, Adda H, *Arterial structure and function in end stage renal disease. Nephon Dial transplante* 2002.

18. Foundation, N.K., *Hemodialysis What you need to need to know* 2015
19. Alicia Sanchez Garcia, M.d.c.Z.M., Alejandrina perez perez, *Hemodiálisis: Proceso no exento de complicaciones*. . 2012: p. 135-137.
20. Renales, I.N.d.l.D.y.l.E.D.y., *¿que sucede durante la hemodialisis?* . 2019.
21. Fund, A.K., *El fosforo alto (hiperfosfatemia)*. 2023.
22. Johnson RJ, F.J., Floege Jurgen, *Comprehensive Clinical Nephrology. 5th ed. Chapter 10, Disorders of Calcium, Phosphate, and Magnesium Metabolism*. 2015: p. 132.
23. Penido MG, A.U., *Phosphate homeostasis and its role in bone health*. 2012.
24. Blaine J, C.M., Levi M, *Renal Control of Calcium, Phosphate, and Magnesium Homeostasis*. 2015.
25. *National Kidney Foundation K/DOQI Clinical Practical Guideline and clinical practice recommendatios for diabetes and CKD*. 2007. **49**.
26. Caravaca F, V.J., Garcia de Vinuesa E, Martinez del Viejo C, Martinez Gallardo R, Macias R, Fe-rreira F, Cerezo I, Hernandez-Gallego R, *Relationship between serum phosphorus and the progression of advanced chronic kidney disease*. 2011.
27. Camila Andrea Garcia Ospina, M.C.H., Daniela Cáceres Escobar, César Augusto Valencia Restrepo Valencia, *Importance of hyperphosphatemia in chronic kidney disease, how to avoid it and treat it by nutritional measures*. 2017.
28. Chue CD, E.N., Davis LJ, Steeds RP, Townend JN, Ferro CJ, *Serum phosphate but not pulse wave velocity predicts decline in renal function in patients with early chronic kidney disease*. 2011: p. 8-26.
29. Stratum Resouces, s.n., *Nanomaterials for practical functional uses*. 2007.
30. EUROPEA, C.N., *La nanotecnologia innovaciones para el mundo del mañana*. 2004.
31. Castillo, F.E., *challenges of the present centruy: nanotecnology and health*. . 2013: p. 3-15.
32. J Murphy, J.P.R., *Modififed Single Solution Method For the Determination of Phophate in natural Waters* 1962 p. 31-36.
33. Zhang, H. H., Cao, X. Y., Wang, H., Ma, Z., Li, J., Zhou, L. M., & Yang, G. P. (2019). Effect of black carbon on sorption and desorption of phosphorus onto sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 435-441.
34. Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Cabello-Alvarado, C. J., Pérez-Alvarez, M., Reyes-Rodríguez, P., ... & Quiñones-Jurado, Z. V. (2020). Synthesis of nylon 6/modified carbon black nanocomposites for application in uric acid adsorption. *Materials*, 13(22), 5173.
35. Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cabello-Alvarado, C., Cadenas-Pliego, G., Esparza-González, S. C., Pérez-Alvarez, M., & Quiñones-Jurado, Z. V. (2021). Non-Woven Fabrics Based on Nanocomposite Nylon 6/ZnO Obtained by Ultrasound-Assisted Extrusion for Improved Antimicrobial and Adsorption Methylene Blue Dye Properties. *Polymers*, 13(11), 1888.
36. Alvarez-Ude, F. (1996). Hemodiálisis: Evolución histórica y consideraciones generales. *Nefrología*, 16, 25-36.
37. Akaho, E., & Fukumori, Y. (2001). Studies on adsorption characteristics and mechanism of adsorption of chlorhexidine mainly by carbon black. *Journal of pharmaceutical sciences*, 90(9), 1288-1297.
38. Andrade-Guel, M., Reyes-Rodríguez, P. Y., Cabello-Alvarado, C. J., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. A. (2022). Influence of Modified Carbon Black on Nylon 6 Nonwoven Fabric and Performance as Adsorbent Material. *Nanomaterials*, 12(23), 4247.
39. Vanaamudan, A., & Sudhakar, P. P. (2015). Equilibrium, kinetics and thermodynamic study on adsorption of reactive blue-21 and reactive red-141 by chitosan-organically

modified nanoclay (Cloisite 30B) nano-bio composite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 55, 145-151.

40. Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Romero-Huitzil, R. L., Rodríguez-Fernández, O. S., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., ... & Cepeda-Garza, J. (2021). Nanocomposite PLA/C20A nanoclay by ultrasound-assisted melt extrusion for adsorption of uremic toxins and methylene blue dye. *Nanomaterials*, 11(10), 2477.

41. Rotter, G., & Ishida, H. (1992). FTIR separation of nylon-6 chain conformations: Clarification of the mesomorphous and γ -crystalline phases. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 30(5), 489-495.

42. Cabello-Alvarado, C., Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Gamero-Melo, P., Reyes-Rodríguez, P. Y., Quiñones-Jurado, Z. V., ... & Covarrubias-Gordillo, C. (2022). Composites based on nylon 6/clinoptilolite by ultrasound-assisted extrusion for enhanced flame retardant and mechanical properties. *Polymer Bulletin*, 1-17.

43. Cooper, S. J., Coogan, M., Everall, N., & Priestnall, I. (2001). A polarised μ -FTIR study on a model system for nylon 6 6: implications for the nylon Brill structure. *Polymer*, 42(26), 10119-10132.

44. Razanajatovo, M. R., Gao, W., Song, Y., Zhao, X., Sun, Q., & Zhang, Q. (2021). Selective adsorption of phosphate in water using lanthanum-based nanomaterials: A critical review. *Chinese Chemical Letters*, 32(9), 2637-2647.

45. Al-Rawajfeh, A. A. E., Alrbaihat, M., & AlShamaileh, E. (2020). Effects of milling time and speed on nutrient availability of KH₂PO₄ with kaolinite as physical type slow/controlled release fertilizers. *Jordan Journal of Chemistry (JJC)*, 15(2), 51-59.

46. Jegatheesan, A., Murugan, J., Neelagantaprasad, B., & Rajarajan, G. (2012). FTIR, XRD, SEM, TGA investigations of ammonium dihydrogen phosphate (ADP) single crystal. *International Journal of Computer Applications*, 53(4).

47. Jabur, A. R., Abbas, L. K., & Moosa, S. A. (2016). Fabrication of electrospun chitosan/nylon 6 nanofibrous membrane toward metal ions removal and antibacterial effect. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.

48. Cabello-Alvarado, C., Andrade-Guel, M., Medellín-Banda, D. I., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Sáenz-Galindo, A., ... & Melo-Lopez, L. (2022). Non-woven fabrics based on Nylon 6/carbon black-graphene nanoplatelets obtained by melt-blowing for adsorption of urea, uric acid and creatinine. *Materials Letters*, 320, 132382.

49. Cui, M., Li, J., Gao, Q., Xiang, J., Chen, Y., Yan, J., & Fan, H. (2022). A novel strategy to fabricate nylon 6 based flame retardant microfiber nonwoven fabric with durability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641, 128482.