



ESTUDIO DE REMOCIÓN DE CLORHIDRATO DE CIPROFLOXACINO EMPLEANDO EL ENDOCARPIO DE AGUACATE COMO BIOSORBENTE

DAVID ALYAMIR TRIANA GARCÍA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL, QUIMICA Y CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA
2022**



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ESTUDIO DE REMOCIÓN DE CLORHIDRATO DE CIPROFLOXACINO EMPLEANDO EL ENDOCARPIO DE AGUACATE COMO BIOSORBENTE

DAVID ALYAMIR TRIANA GARCÍA

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico

Directores:

Jacqueline Corredor Acuña, Ph. D
José Hernando Quintana Mendoza, Msc.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL, QUIMICA Y CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA
2022



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



para:

Doña Benilda Palencia Mora
por absolutamente todo

mis padres
Luz Amira García Moreno y Álvaro Triana Palencia
Por acompañarme incondicionalmente en el camino.

Macknelly Augusto Monsalve Palacio
por ser mi felicidad.

Y para

Luis Eduardo Triana Peñaranda

*Profe: aprendí que lo más importante no era atrapar al conejo sino, no perder la
cabeza en el intento*



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerles a mis directores: El profesor José Hernando Quintana Mendoza, por haberme brindado su confianza, sabiduría y ayuda, para sacar adelante este proyecto. E igualmente a la profesora Jacqueline Corredor Acuña, por permitirme ingresar a su semillero, en donde nació esta investigación. Sin ustedes, el proceso hubiese sido mucho más largo y complejo.

Gracias a los docentes de los programas Química e ingeniería química, con los que he tenido el honor de cursar materias, quiero agradecerles, por haber aportado en mi formación no solo académica, sino personal.

Quiero mencionar a mis amigos: Alejandra Parra, Samanta Echeverría, Marian Rueda, Faiber Montañez, y Neyder Villa, quienes han estado durante el proceso, escuchándome en cada tropiezo, brindándome su consejo y apoyándome para continuar, les deseo mucho éxito y felicidad.

Finalmente, quiero agradecer a mi abuela Benilda Palencia mora y a mi madre Luz Amira García, quienes me han visto crecer, me han heredado el gusto por el estudio, me han querido de forma incommensurable y han estado para mí, cuando nadie más estuvo, las amo.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Contenido

INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
2. HIPÓTESIS	11
3. MARCO TEORICO	12
3.1 AGUACATE	12
3.2 RESIDUOS DE AGUACATE	13
3.3 CONTAMINANTES EMERGENTES.....	13
3.4 ANTIBIOTICOS.....	14
3.5 CLORHIDRATO DE CIPROFLOXACINO.....	14
3.6 RESISTENCIA BACTERIANA.....	15
4. METODOLOGÍA.....	16
4.1 Reactivos	16
4.2 Materiales y equipos.	16
4.3 Procedimiento	16
4.3.1 Etapa 1. preparación de la curva y el biosorbente	18
4.3.2 Etapa 2. evaluación del efecto de la temperatura sobre la cinética de remoción.	18
4.3.3 Etapa 3. evaluación del biosorbente en términos de la concentración del sorbato 19	
4.3.4 Etapa 4. caracterización.....	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
5.1 Etapa 1. preparación de la curva de calibración y el biosorbente	20
5.1.1 Curva de calibración.....	20
5.1.2 Biosorbente	21
5.2 Etapa 2. evaluación del efecto de la temperatura sobre la cinética de remoción. 22	



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



5.3	Etapa 3. evaluación del biosorbente en términos de la concentración del sorbato.	23
5.4	Etapa 4. Caracterización	26
5.4.1	Caracterización morfológica	26
6.	CONCLUSIÓN	32
7.	BIBLIOGRAFÍA	33
8.	ANEXOS	36
8.1	CALCULOS.....	36
8.2	ANEXO A. Datos obtenidos para la curva de calibración.....	36
8.3	ANEXO B. Datos obtenidos de la cinética a temperatura ambiente (19°C).....	37
8.4	ANEXO C. Datos obtenidos de la cinética a una temperatura de 35°C	37
8.5	ANEXO D. Datos obtenidos de la cinética a una temperatura de 40°C	38
8.6	ANEXO E. Datos obtenidos y calculados para las gráficas 6 y 7 de eficiencia y potencial en función de los miligramos de antibiótico (CF) diluidos en el volumen de control.....	38



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama global de la metodología.	17
Figura 2. Espectros UV-VIS normalizados, del Ciprofloxacino y los compuestos hidrosolubles.	20
Figura 3. Prueba de liberación de compuestos hidrosolubles.	21
Figura 5. Isotermas de las cinéticas de sorción de ciprofloxacino.....	22
Figura 6. Isotherma de sorción	25
Figura 7. Eficiencia de remoción en función de la masa del sorbato inicial.....	25
Figura 8. Microfotografías de microscopía electrónica de barrido (SEM).....	26
Figura 9. Espectros Infrarrojos del absorbente. La parte superior muestra los espectros correspondientes al sorbente impregnado de antibiótico CF, un zoom de las bandas de los metilenos y carbonilo uno de los puntos en la cinética y su primera derivada en color verde.	27
Figura 10. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC), endocarpio deshidratado, macerado y tamizado	29
Figura 11. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC), endocarpio post tratamiento hidrotérmico en medio ácido.	30
Figura 12. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC azul), del endocarpio post remoción de Ciprofloxacino.....	31



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de remoción, partiendo de un volumen de 10 mL a una concentración de ciprofloxacino (CF) de 0,70 mg/ml, sobre $0,1000 \pm 0,0001$ gramos de biosorbente.....23

Tabla 2. Resultados de remoción, partiendo de un volumen de 15 mL a una concentración de ciprofloxacino (CF) de 3,5 mg/ml, sobre $0,3 \pm 0,0007$ gramos de biosorbente.....24



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



RESUMEN

El endocarpio, en el aguacate (*Persea americana* Mill), es un componente del fruto que está ubicado sobre la semilla, marca el límite entre el pericarpio y el embrión, por lo que, está cargado de compuestos similares a los del resto del fruto. Sin embargo, es considerado un residuo entre residuos y sus aplicaciones por ahora son escasas. Por ende, en este estudio se evaluó el endocarpio del aguacate chucurreño como biosorbente alternativo, para la remoción de clorhidrato de ciprofloxacino disuelto en agua potable. En el proceso, se llevó seguimiento a la cantidad de antibiótico en solución por espectrofotometría UV-VIS. Simultáneamente, se adecuó el residuo sólido, para evaluar: la relación sorbato/sorbente, el efecto de la temperatura en la cinética de sorción, y se caracterizó el material sorbente por TGA/DSC, ATR FTIR, UV-Vis, Conductividad y pH. Con ello, se cuantificó el potencial de remoción de ciprofloxacino del endocarpio de aguacate, que en el equilibrio y a temperatura ambiente fue de 94,7 mg/g. Se observó que el aumento en la temperatura apresura levemente el alcance del equilibrio sin impactar en el potencial, mientras la saturación de partida implica un aumento en la relación evaluada, llegando a sobrepasar los 101,9 mg/g.

Palabras clave: Biosorbente, Endocarpio, Cinética de remoción, clorhidrato de ciprofloxacino.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los residuos es un desafío de la humanidad, para lo cual, promover sistemas donde los desechos se les someta a estudios que permitan establecer sus posibles aplicaciones, se convierte en una línea de partida para llegar a su reutilización. Para tal fin los autores en la presente investigación, empleamos el endocarpio del aguacate como medio de retención de un contaminante típico de las aguas de desecho hospitalarias y urbanas, como lo es la ciprofloxacina clorhidrato monohidratada (CF). Para tal fin, el trabajo demostró que el material contiene un colorante que representa alrededor del 25% del endocarpio, que al ser deshidratado tiene una morfología esférica, la cual cambia en tamaño al ser retirado el colorante y la forma geométrica al retener el antibiótico.

El ensayo de remoción desde una solución acuosa de CF, demostró que el endocarpio decolorado presenta una capacidad de absorción de alrededor de 95mg/g, la cual se alcanza después de 20 minutos de la mezcla. Adicionalmente, se demuestra que la temperatura a la que se haga el proceso de remoción no cambia la capacidad de retención, solo afecta la velocidad con la que se alcanza el equilibrio.

La interacción química entre el endocarpio y la CF, se demostró desde dos aspectos, el primero asociado a la conductividad eléctrica en la solución, que indicó que no se presenta intercambio iónico, sino una adsorción del CF en la estructura. El segundo, que los espectros de ATR FTIR presentan cambio en las vibraciones típicas de grupos funcionales asociados a la CF y por último que los análisis térmicos indican que el CF en el endocarpio genera mayor porcentaje de agua y compuestos en su estructura.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficacia del endocarpio de aguacate como alternativa de remoción de clorhidrato de ciprofloxacino disuelto en agua potable.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el comportamiento del porcentaje adsorción en función de la temperatura.
- Cuantificar la capacidad de adsorción de clorhidrato de ciprofloxacino del endocarpio de aguacate.
- Caracterizar el biosorbente a base de endocarpio de aguacate mediante técnicas de análisis instrumental, como: espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier acoplada con Reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), Termogravimétrica (TGA), Calorimetría diferencial (DSC) y microscopia electrónica de barrido (SEM).

2. HIPÓTESIS

- ¿Es posible remover clorhidrato de ciprofloxacino disuelto en agua potable empleando el endocarpio de aguacate como biosorbente?



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



3. MARCO TEORICO

3.1 AGUACATE

El aguacate (*Persea americana Mill*) o aguacatillo, cura, palta, pagua e incluso manzana de mantequilla; es una fruta tropical, que crece en un árbol vascular y vigoroso de hasta 30 metros, denominado con frecuencia igual que su fruto. Según la taxonomía, clasifica en la división de las magnoliophytas por producir flores y en la clase de las magnoliopsidas pues la semilla es dicotiledónea. Por lo que, pertenece al orden de los laurales, a la familia Lauraceae y al clado perseae (Robayo Medina, 2017).

Como dicta su historia, el género *Persea americana*, por azares del destino, sobrevivió la extinción de sus más grandes fertilizadores, así como a glaciaciones, y se concentró principalmente en Mesoamérica y Suramérica. Donde México, el país con mayor participación en su desarrollo, logró domesticarlo hace alrededor de 10000 años y le otorgó su nombre a partir del azteca “ahuacaquahuitl”. Afortunadamente, allí y en las zonas aledañas se generaron razas o subespecies como la: mexicana, guatemalteca, antillana y costarricense, que, Con el tiempo, se cruzaron por polinización abierta, ocasionando cultivares (Galindo Tovar et al., 2007), como el: Hass, Fuerte, Colín V-33, Whitsell y Esther, entre otras 500 variedades de aguacate (Barrientos-Priego, 2017).

Este fruto es considerado una baya comestible, constituida de un pericarpio y una semilla. El primero, el pericarpio, comprende el: exocarpio, mesocarpio, y endocarpio. Donde el exocarpio o cáscara se compone de: cera, cutina, estomas o lenticelas, tejido parenquimatoso (epidermis), tejido esclerenquimatoso (hipodermis), células pétreas (subepidermis) y taninos. El mesocarpio o pulpa, es formado por haces vasculares y células de parénquima con: granos de almidón, oxalato de calcio y aceites. El endocarpio o recubrimiento de la semilla, contiene los mismos componentes del mesocarpio exceptuando los haces vasculares, e incluye taninos, xilema, floema y esclerénquima. La segunda, la semilla, consta de: 2 cotiledones, eje embrionario, plúmula, hipocótilo y radícula, formados principalmente de esclerénquima, parénquima, paredes celulares lignificadas, suberina, taninos, y plasmodesmos con almidón (Barrientos Priego et al., 1996).

En general, el contenido químico del aguacate, involucra: compuestos fenólicos, acetogeninas, fitoesteroles, carotenoides y alcaloides. Cada parte del fruto contiene diferentes sustancias, pero coinciden en la presencia de: ácidos fenólicos, flavonoides y procianidinas, en cantidades dependientes de la variedad del fruto (Salazar-López et al., 2020). Mientras, el contenido nutraceútico, o al menos el de la variedad Hass, resalta: calcio, hierro, zinc, magnesio, sodio, potasio, vitaminas (A, D, E, K, B1, B2, B6, C y Niacina), Retinol, Ácido fólico, fibras, carbohidratos y proteínas (Vega, 2012).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



En el mercado, este fruto es altamente valorado por sus propiedades organolépticas, contenido nutracéutico y fitoquímico. Según el observatorio de precios y mercados (OPC, n.d.), en el periodo 2020/21, se produjeron cerca de 8 millones de toneladas de aguacate a nivel mundial, exportándose 2,8 millones se generó un flujo cercano a los 6700 millones de dólares, comercializándose en promedio a 2,75 euros/kg. Así mismo, el observatorio de complejidad económica (OCE), reporta a Mexico como líder en exportaciones, generando el 42% del flujo monetario global. Mientras Estados Unidos es líder en importaciones y responsable del 35% del flujo monetario en compras (Simoes & Hidalgo, n.d.). Colombia es el séptimo mayor exportador de aguacate del año, vendiendo un total de 77 millones de toneladas por cerca de 158 millones de dólares, por debajo de: Perú, Países Bajos, España, Chile, y Kenia. No obstante, el OPC expone que según las perspectivas agrícolas del periodo 2021-2030 de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), y la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), la fruta tropical se podría convertir en la más comercializada para el año 2030.

3.2 RESIDUOS DE AGUACATE

Se entiende como residuo, todo aquello que resulta del consumible, es aquella materia que no se pudo emplear o que sobró de un proceso. En el caso del aguacate, los residuos suelen ser el exocarpio y la semilla, aunque dependiendo de las condiciones del mesocarpio, también puede incluirse. De hecho, algunos investigadores reportan un rango porcentual, en base húmeda, debido a la semilla del 10% al 13% del fruto entero (Elizalde González et al., 2007), otros del 15% al 16% (Ahmad & Danish, 2022), y otros reportan que un 25,7% del fruto es semilla y otro 22,5% es exocarpio (Contreras Briceño & Barajas Cardenas, 2021). Generando residuos totales entre el 32% y 50% del aguacate dependiendo de la variedad del mismo, equivalente a un rango de 2,54 a 4 millones de toneladas de residuos.

Estas cantidades son considerablemente altas, por lo que se busca un uso que mitigue la pérdida generada. Entre las aplicaciones más comunes se encuentra su aprovechamiento como combustible (Panigua et al., 2021), materia prima para refinería en extracción de: compuestos oligosacáridos (Del Castillo-Llamosas, A. Rodríguez-Martínez et al., 2021), conservantes alimenticios (Permal et al., 2020), pigmentos naturales (Hatzakis et al., 2019), y como biosorbentes para la extracción de contaminantes del agua (Ahmad & Danish, 2022).

3.3 CONTAMINANTES EMERGENTES

Los contaminantes emergentes son componentes de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia no se considera significativa en términos de concentración, por lo que



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



pasan desapercibidos, aunque con el potencial de generar un impacto adverso en el ecosistema y en la salud, mientras permanezcan en el medio durante un tiempo prolongado, alteran las características del agua como: pH, olor y color, e imposibilitan la penetración de la luz hasta sus profundidades. Suelen insertarse en el ecosistema acuático, gracias a aguas residuales mal tratadas de diversas fuentes, debido a que las plantas PTAR's no están preparadas para su remoción total. Entre ellos, se destacan los colorantes, metales pesados y antibióticos como: azul de metileno, violeta cristal, Naphthol Blue Black, Reactive Black 5, Basic Blue 41 (Palma et al., 2016), cadmio, cromo, cobre, níquel, y zinc entre otros metales en diversos estados de transición (Dhaouadi et al., 2021), azitromicina, ciprofloxacina y penicilina (Gil et al., 2012), entre muchos otros ejemplos.

3.4 ANTIBIOTICOS

Los antibióticos son compuestos activos que atacan el metabolismo de bacterias, hongos y protozoos para inhibir o eliminar su reproducción que enferma a humanos y animales. Estos suelen ser prácticamente omnipresentes en aguas residuales: domésticas, hospitalarias, industriales, agrícolas e incluso se han detectado en agua potable, es decir en recursos hídricos en general, pues se liberan a estas por metabolización incompleta e ineficiente tratamiento en PTAR's (Langbehn et al., 2021).

A pesar de encontrarse en bajas concentraciones, suelen ser emergentes porque: producen resistencia bacteriana, existen diversas familias y su el porcentaje de metabolización varía con el medicamento por lo que su consumo-descarga es difícil de controlar. Dentro de las familias más conocidas de antibióticos se encuentran los/as: betalactámicos, penicilinas, cefalosporinas, monobactámicos, carbapenemes, glicopéptidos, aminoglucósidos, macrólidos y quinolonas, cada una de ellos actuando de diferentes maneras para inhabilitar una bacteria u hongo intruso (Seija & Vignoli, 2006).

3.5 CLORHIDRATO DE CIPROFLOXACINO

El clorhidrato de ciprofloxacino monohidratado (CF) es un antibiótico, de fórmula química $C_{17}H_{18}FN_3O_3 \cdot HCl \cdot H_2O$, de masa molar aproximada a 385,82 gramos por mol, pertenece a la familia de las quinolonas de segunda generación, su estructura es descrita como un biciclo heteroaromático con un nitrógeno en la posición 1, el cual se encuentra enlazado a un ciclopropil que aporta propiedades estéricas, espaciales y de interacción electrónica, tiene un grupo carboxi en el carbono 3 y un grupo carbonilo en la posición 4. Se destaca por un factor de biodisponibilidad en adultos del 50 al 85% y un factor de metabolización superior al 70%, pues se generan 4 metabolitos menos activos al pasar por el hígado y ser distribuido al organismo. Es un medicamento que combate bacterias gramnegativas y grampositivas como: *Staphylococcus aureus*, *enterococcus*, *Escherichia coli*, *neisseria*



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



gonorrhoeae y *salmonella* entre otras. Bioquímicamente, está diseñada para que penetre la bacteria por medio de las porinas y una vez en el interior actúa como inhibidor de la enzima esencial para el enrollamiento del ADN, y en dosis muy altas bloquea la topoisomerasa II. Sin embargo, ciertas bacterias han desarrollado mutaciones de resistencia al principio activo, el cual es tan fuerte que puede dar paso a la resistencia de otros antibióticos (Martínez Terán, 2010).

3.6 RESISTENCIA BACTERIANA

La resistencia bacteriana, es un fenómeno destacado por la oposición absoluta o parcial de los microorganismos al impacto de un antibiótico, surge del mal uso del mismo, de forma natural, adquirida, o independiente de un proceso evolutivo, que afecta directamente la flora y fauna. Es un tema de carácter público y de salud urgente, pues las bacterias multirresistentes son más mortales, costosas de tratar, demandan más tiempo y ocasionan secuelas en la salud (Sussmann et al., 2002). Desfavorablemente, estos antibióticos, se ven reflejados en aguas residuales colombianas de Bogotá, Medellín, Tumaco y florencia (Botero-Coy et al., 2018). Por lo que se hace necesario investigar mecanismos para su remoción y/o degradación con el objeto de impedir que se retengan metabólicamente por los seres acuáticos y suelos regados con las fuentes hídricas contaminadas.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



4. METODOLOGÍA

Los siguientes, son los principales equipos y materiales que se emplearon, para llevar a cabo el procedimiento, que dirigió al cumplimiento de los objetivos de la investigación.

4.1 Reactivos

- Agua destilada.
- Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2), con pureza del 30%, marca comercial, Adquirido distribuido y preparado en Vittaly, Pamplona.
- Ciprofloxacino 500 mg; ciprofloxacino clorhidrato monohidrato Lote B012830, procedente del laboratorio Genfar.

4.2 Materiales y equipos.

- Balanza analítica 250/0,0001 G PW254, ADAM.
- Espectrofotómetro UV-Visible, modelo UV-2401/2501 PC de SHIMADZU CORPORATION, empleado en el rango de 190 nm a 900 nm.
- Espectrofotómetro de Infrarrojo por Transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), marca Shimadzu Prestige-21, en el rango de 4000 - 400 cm^{-1} .
- Horno marca EQUIFAR
- Horno mufla marca Ney VULCAN D-550.
- Analizador termogravimétrico (TGA), marca SDT-Q-600, T.A. Instruments, bajo atmósfera de nitrógeno con flujo másico 50,0 mL/min, equilibrado a 25 ° C, en una rampa de 10 °C/min hasta 600 ° C.
- Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), marca FEI QUANTA 200, 260.000 optical gain.
- Semillas de aguacate (*Persea americana Mill*) del cultivar chucurreño, criollo, procedente en Santander.

4.3 Procedimiento

Se diseñó el experimentó estratégicamente, con la idea de cumplir los objetivos propuestos previamente. Dicho diseño se dividió por etapas para facilitar su alcance y se plasma en la figura 1. después, se explica detalladamente el diagrama de la metodología.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

Etapa 1.



Etapa 2.



Etapa 3.



Etapa 4. CARACTERIZACIÓN

Figura 1. Diagrama global de la metodología.



4.3.1 Etapa 1. preparación de la curva y el biosorbente

Para la cuantificación del sorbato, se adquirió el clorhidrato de ciprofloxacino monohidratado del laboratorio Genfar, se molturaron un par de las pastillas recubiertas y se llevaron a agua destilada, de esta manera se logró una solución saturada del antibiótico, que se filtró y se rotuló como madre saturada. De dicha solución se tomaron alícuotas que se aforaron a 50 mL, se rotularon como soluciones madre, y se emplearon para preparar diluciones con el fin de crear la curva de calibración por medio del uso del espectrofotómetro UV-VIS descrito en los materiales. En dicho instrumento, primero se hizo un barrido, entre los 190 nm y los 900 nm, tomando como referencia una pequeña alícuota de una de las soluciones del antibiótico, lo suficientemente diluida para observar la banda característica, por debajo de la unidad en la ordenada. En ella, se midieron las absorbancias de las disoluciones y se construyó la curva de calibración.

Simultáneamente, para la preparación del biosorbente se recolectaron semillas de aguacate (*Persea americana* Mill), del tipo criollo, nativo de san Vicente de chucuri (Santander), en la plaza de mercado “la sexta” en Cúcuta, y se transportaron a pamplona en un contenedor de icopor con hielo. Estando en el laboratorio, se lavaron las semillas con agua potable evitando pérdidas de material e inmediatamente, se ubicaron en un horno, donde se deshidrataron por dos semanas la primera de 50 a 90°C aumentando la temperatura a una rata de 10°C/día y 3 días en 90°C, la segunda semana a 110°C. Cuando, se liberó gran parte de su contenido de agua libre, el volumen de la semilla redujo considerablemente, facilitando la separación del endocarpio sin contaminantes biológicos. Este, se maceró y se tamizó, garantizando que no superase un tamaño de partícula de 300 micrómetros. Se tomó una muestra del endocarpio tamizado, que se dispersó en agua con agitación mecánica, y empleando el espectrofotómetro ultravioleta visible se detectó el desprendimiento de sustancias coloridas con longitud de onda de absorción cercanas a los 250nm. Por consiguiente, se trató el material en polvo hidrotermicamente con peróxido de hidrogeno al 3,3% en peso, agitando a conveniencia a 110°C durante 3 horas. Se filtró al vacío y se depuró con agua a 60°C hasta sustraer el colorante natural, Se filtró, se dejó secar en el horno a aproximadamente 30°C, se homogeneizó y se rotuló como biosorbente limpio.

4.3.2 Etapa 2. evaluación del efecto de la temperatura sobre la cinética de remoción.

Para establecer la capacidad de retención inicial del endocarpio tratado, se diseñó un experimento screening, colocando 0,1000g del material con 15,0mL de una solución a 0,70mg/mL de CF agitando por 15min, el anterior procedimiento se repitió para 30, 45 y 60min. De lo anterior, se estableció que se realizaría un estudio de la capacidad de



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



remoción cada 3min hasta los 45 min, todo a temperatura ambiente. Por último, se repitió todo lo anterior a 35 y 40°C. Cada filtrado obtenido se diluyó y se analizó por UV-Vis.

4.3.3 Etapa 3. evaluación del biosorbente en términos de la concentración del sorbato

NOTA: se realizaron ambas pruebas por triplicado.

Se tomaron 0,1000 g del biosorbente limpio, se dispersaron en 10,0 mL de solución a 0,70 mg/ml de CF con el objeto de reducir la cantidad de CF por gramo de endocarpio, luego se sometió a agitación por 15 minutos y se filtró la mezcla, al término de este tiempo se realizó seguimiento por UV-Vis.

Posteriormente se tomaron 0,3 gramos del biosorbente limpio, se dispersaron en 15 mL de solución a 3,5 mg/ml de CF bajo agitación por 30 minutos, al finalizar el filtrado se diluyó y analizó por UV-Vis.

4.3.4 Etapa 4. caracterización

Para la caracterización del biosorbente se empleó Espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier acoplada con Reflectancia total atenuada (ATR-FTIR), sobre: los absorbentes cargados de antibiótico resultados de los ensayos a temperatura ambiente, el endocarpio molido y el biosorbente ya limpio. Así mismo, se aplicó microscopía electrónica de barrido (SEM) a las muestras de absorbente limpio, contaminado de antibiótico y al endocarpio molido. Y en adición, se aplicó un análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) al absorbente limpio.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Etapa 1. preparación de la curva de calibración y el biosorbente

5.1.1 Curva de calibración

El espectro resultado de evaluar el clorhidrato de ciprofloxacino diluido en agua destilada, en el espectrofotómetro UV-VIS, permitió identificar 3 bandas que se observan en la figura 2. De ellas se eligió la banda más intensa y sin solapamiento que se observa a 272 nm, semejante a los 273nm reportados por Navarro et al., 2014.

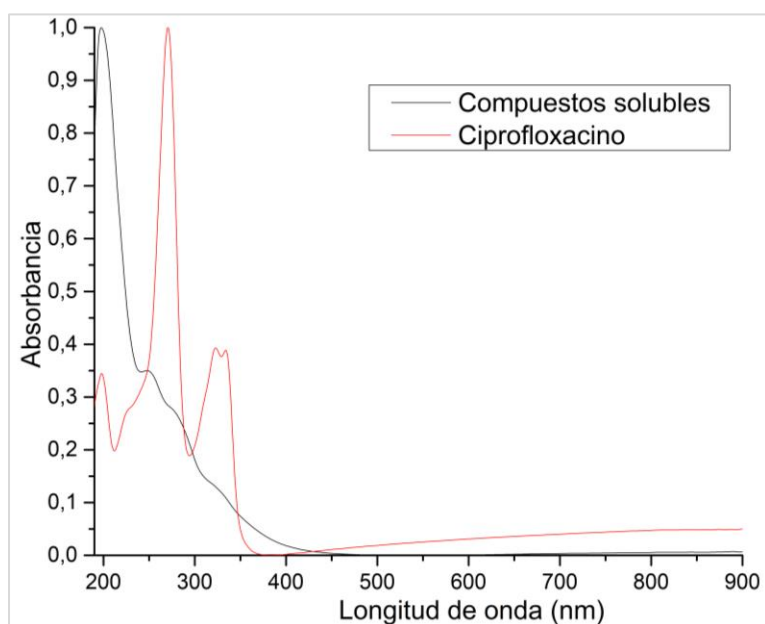


Figura 2. Espectros UV-VIS normalizados, del Ciprofloxacino y los compuestos hidrosolubles.

A partir de la longitud de onda determinada, se elaboró la curva de calibración descrita en la Figura 3. Empleando las concentraciones mostradas en la tabla del Anexo A. La curva es válida para un método de calibración lineal, ya que presenta en R^2 de 0,9912 aceptable para la medición, por lo que la absorptividad del ciprofloxacino en solución acuosa de $65,2699 \text{ mLcm}^{-1}\text{mg}^{-1}$ con una desviación para la concentración de $0,0002\text{mg/mL}$.

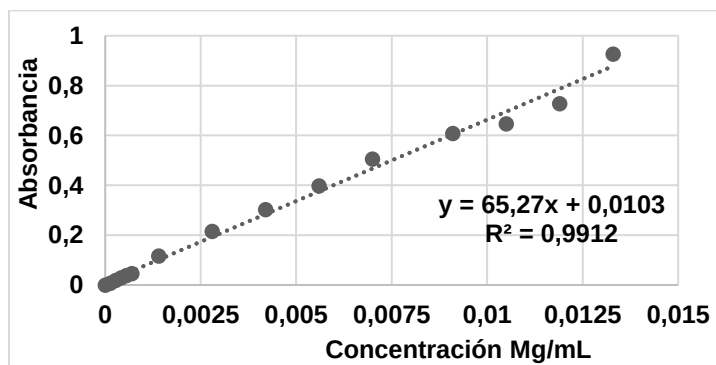


Figura 3. Curva de calibración de clorhidrato de ciprofloxacina.

5.1.2 Biosorbente

De la prueba de compuestos liberados por agitación, se obtuvo un resultado positivo como se observa en la figura 3.

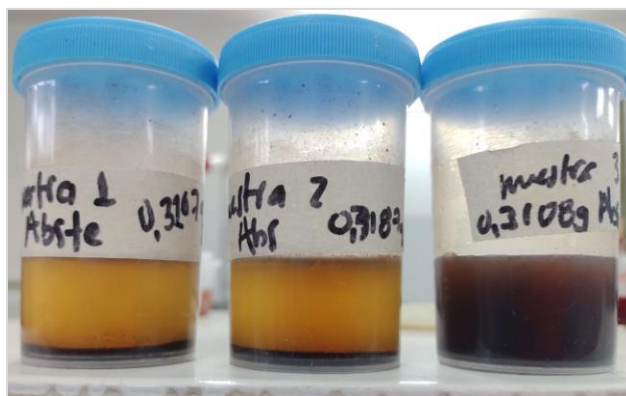


Figura 3. Prueba de liberación de compuestos hidrosolubles.

Este ensayo permitió ver cualitativamente la liberación de pigmentos naturales, ya que la mezcla agua-endocarpio se tornó de un color marrón característico del material; presuntamente debido a la solvatación de taninos y carotenos, entre otros compuestos no visibles dentro del contenido biológico del endocarpio, que fue descrito por Barrientos Priego et al., 1996.

Como se puede ver en la figura 2. Los compuestos mencionados absorben luz ultravioleta a la longitud de onda de 272 nm, con lo que se concretó la necesidad de lavar el endocarpio en polvo, evitando que las soluciones post remoción marcasen mayor absorbancia de la debida. Para ello, se empleó peróxido de hidrogeno; un ácido débil, amigable con el ambiente, capaz de formar radicales libres oxidantes, expresa González et al., 2015.



Este proceso fue exitoso, encontrando que por cada 9,0334 gramos de endocarpio tratados con peróxido de hidrogeno se recuperasen 6,7086 gramos de biosorbente; retirando un porcentaje en peso del 25,7378%. Un tanto por ciento con potencial de aplicarse en biorrefinería, como por ejemplo en la extracción de colorante en polvo, ingresándose en el proceso que suele ejercerse sobre la semilla y el exocarpio descrito por Devia Pineda & Saldarriaga, 2005, para aplicar en tintura de fibras e incluso como colorante alimenticio.

5.2 Etapa 2. evaluación del efecto de la temperatura sobre la cinética de remoción.

En los anexos B, C y D, pueden visualizarse las absorbancias medidas y los resultados de cálculos realizados, para lograr las relaciones sorbato/sorbente de cada uno de los 15 puntos tomados, para la construcción de las isotermas de las cinéticas de sorción, visualizadas en la figura 5.

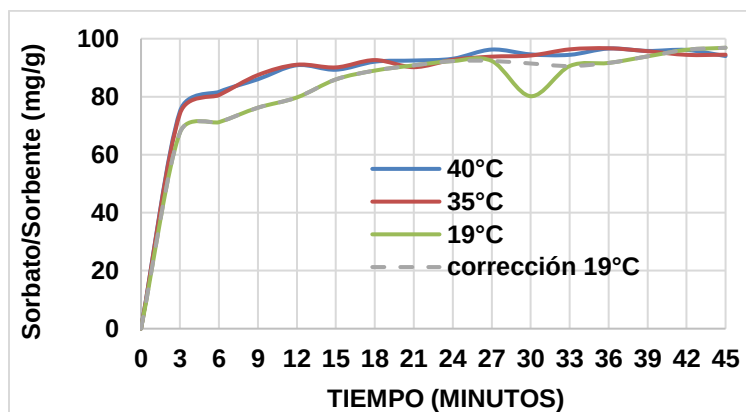


Figura 5. Isotermas de las cinéticas de sorción de ciprofloxacino

Se observa como la remoción se activa rápidamente alcanzando una relación sorbato/sorbente superior a los 60 mg/g antes de los 3 minutos de contacto, en los tres casos de temperatura. La mayor diferencia entre ellas, se ubica en el tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio, pues a temperatura ambiente demora cerca de 5 minutos más con respecto a las otras que en el rango de los 12 a los 15 minutos ya son estables. Este es un dato a tener en cuenta al escalar el proceso, por si se quisiera un aumento en el aspecto beneficio/costo al aplicar energía en el sistema.

Es evidente, que el efecto de la temperatura no afecta considerablemente la relación en cuestión, pues estando en el equilibrio las cinéticas se comportan muy similares. Tanto así, que tomando los valores de sorción más altos encontrados por encima de los 36 minutos de tratamiento, en promedio, se genera un potencial de sorción de: $94,7 \pm 2,4$



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



mg/g a temperatura ambiente, $95,3 \pm 1,1$ mg/g a 35°C y $95,6 \pm 1,1$ mg/g a 40°C , lo que implica que el efecto de la temperatura es más observable en la velocidad de alcance del equilibrio que del mismo potencial de remoción.

En adición, se midieron los potenciales de hidrogeno de las soluciones post remoción de la cinética medida a temperatura ambiente, que osciló entre los 5,6 y 6.1 ($5,88 \pm 0,17$), siendo más cerca del pH neutro, que el medido en las soluciones madres saturadas del medicamento a 35 mg/mL, donde fue de $4,62 \pm 0,06$ un poco más acida. Se encontró también que la conductividad llevó un comportamiento opuesto, siendo en las soluciones de madre saturada de $5,26 \pm 0,09$ ms/cm, mucho más alta que en las soluciones post remoción que fue de $0,737 \pm 0,056$, indicando que las interacciones de retención no se generan por intercambio iónico, sino por retención de los iones que representa la CF.

5.3 Etapa 3. evaluación del biosorbente en términos de la concentración del sorbato.

El primer ensayo de remoción arrojó los resultados enlistados en la segunda columna de la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de remoción, partiendo de un volumen de 10 mL a una concentración de ciprofloxacino (CF) de 0,70 mg/ml, sobre $0,1000 \pm 0,0001$ gramos de biosorbente.

Ensayo	Absorbancia Medida	Concentración Calculada alícuota (mg/mL)	Concentración madre post remoción (mg/mL)	Masa CF post remoción (mg)	Masa CF removido (mg)	Relación sorbato/sorbente (mg/g)
1	0,1480	0,0023	0,0283	0,2834	6,7166	67,1656
2	0,0350	0,0005	0,0067	0,0670	6,9330	69,3297
3	0,1550	0,0024	0,0297	0,2968	6,7032	67,0316
4	0,3380	0,0052	0,0647	0,6473	6,3527	63,5269
PROM.	0,1690	0,0026	0,0324	0,3237	6,6763	66,7634
DS.	0,1254	0,0019	0,0240	0,2401	0,2401	2,4010

A partir de las absorbancias medidas, se realizaron los cálculos pertinentes, que permitieron llegar a la relación sorbato/sorbente promedio de $66,7634 \pm 2,4010$ mg/g, una desviación aceptable.

Igualmente, el segundo ensayo de remoción arrojó los resultados de absorbancias enlistados en la segunda columna de en la tabla 2.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Tabla 2. Resultados de remoción, partiendo de un volumen de 15 mL a una concentración de ciprofloxacino (CF) de 3,5 mg/ml, sobre $0,3 \pm 0,0007$ gramos de biosorbente.

Ensayo	Absorbancia Medida	Concentración Calculada alícuota (mg/mL)	Concentración madre (mg/mL)	Masa CF post remoción (mg)	Masa CF removida (mg)	Relación sorbato/sorbente (mg/g)
1	0,9230	0,0141	1,4141	21,2119	31,2881	104,0163
2	0,9230	0,0141	1,4141	21,2119	31,2881	103,8781
3	0,9990	0,0153	1,5306	22,9585	29,5415	97,7548
PROM.	0,9483	0,0145	1,4529	21,7941	30,7059	101,8831
DS.	0,0439	0,0007	0,0672	1,0084	1,0084	3,5759

Como se puede ver en la tabla 2. se calculó la relación sorbato/sorbente promedio de $101,8831 \pm 3,5759$ mg/g. Con lo que es evidentemente, que la relación aumentó cerca de 38 mg/g, en comparación con el primer ensayo. Sin embargo, esto es explicable por la diferencia de miligramos de ciprofloxacino que hay en la solución de partida, de cada uno; además, de la influencia del tiempo de remoción. Por ende, fue necesario igualar las condiciones previo al análisis, el cual, al parecer indica que al aumentase dicha concentración inicial de antibiótico se aumenta el potencial de remoción debido al alcance que puede llegar a tener el biosorbente sobre el contaminante.

Por lo mismo, se recalculó el potencial de este último ensayo, empleando la cinética a temperatura ambiente como punto de apoyo, acoplándola a una ecuación polinómica de grado variante según los datos agrupados. Con esto se obtuvo un ajuste a 95,76 mg/g, en 15 minutos de remoción. Haciendo posible compararlo con otros 2 puntos: el primero de esta etapa, y el que se midió en el mismo tiempo en la cinética a temperatura ambiente. Con lo que se obtuvo la gráfica observada en la figura 6, que expresa el comportamiento del potencial de remoción del endocarpio en función de la concentración del antibiótico post remoción, y la gráfica 7 que expresa el comportamiento de la eficiencia en función de los miligramos de ciprofloxacino iniciales, empleando los datos del anexo E.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

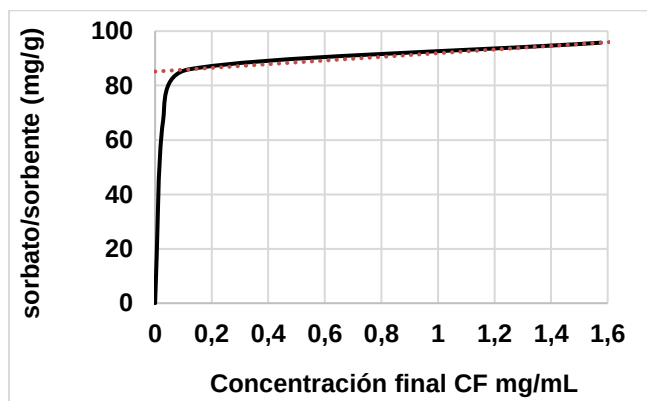


Figura 6. Isotherma de sorción: potencial del endocarpio en función de la concentración de ciprofloxacino remanente.

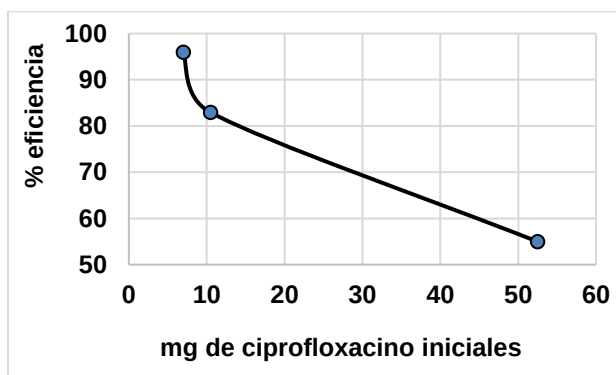


Figura 7. Eficiencia de remoción en función de la masa del sorbato inicial

Con las gráficas 6 y 7, se corrobora que la relación de remoción ciprofloxacino/endocarpio si es influida por la concentración inicial del contaminante. En esencia, a medida que aumentan los miligramos de ciprofloxacino disueltos en el volumen de control, el potencial crece mientras la eficiencia disminuye, lo que concuerda con la necesidad de respetar la relación de remoción en el equilibrio de aproximadamente 95 mg/g evitando la saturación competa del material.

En relación, cuando se consideran las concentraciones de medicamentos en aguas residuales de hospitales colombianos, que son máximo de 50 a 80 mg/mL según Botero-Coy et al., 2018 y Hartmann et al., 1998, lo cual demuestra que los resultados obtenidos son positivos para aplicar el endocarpio tratado como un medio de purificación de aguas hospitalarias.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



5.4 Etapa 4. Caracterización

5.4.1 Caracterización morfológica

SEM

El estudio realizado por microscopía electrónica de barrido (SEM), que se observa en la figura 8. Revela los tres estados del endocarpio durante el proceso estudiado. En ella, el material deshidratado, macerado y tamizado es esférico, homogéneo y poroso, con diámetros alrededor de los 10 μm . Al aplicar el tratamiento con peróxido se observa una disminución del diámetro de las esferas, formado agregados con pequeños aductos. Finalmente, al retener la CF la morfología del material disminuye de tamaño hasta alrededor de 0,7 μm .

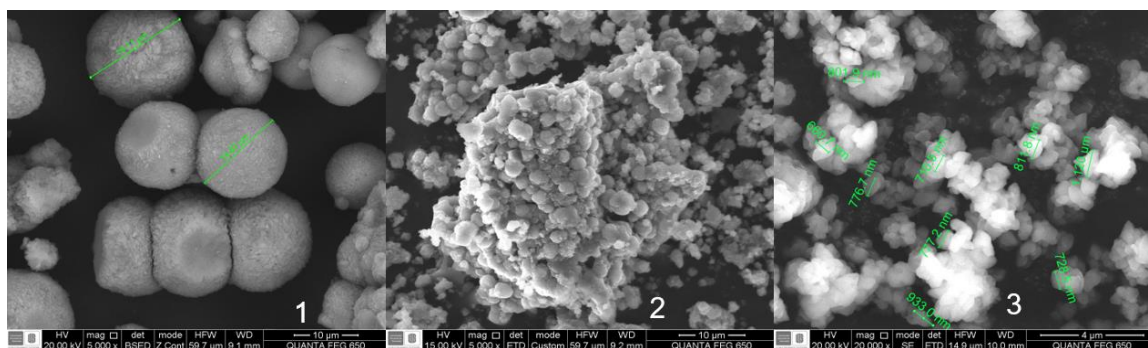


Figura 8. Microfotografías de microscopía electrónica de barrido (SEM), resultados del proceso de evaluación del endocarpio de aguacate como sorbente de ciprofloxacino.

Se observa el endocarpio: tamizado (1), post tratamiento hidrotérmico (2), y post remoción (3).

ATR-FTIR

Por espectrofotometría infrarrojo, en la figura 9, se toma registro de la medida del espectro del absorbente tras 45 minutos de remoción, resultante de la cinética a temperatura ambiente. Se obtuvo la derivada de primer orden del espectro sin ningún tratamiento, e igualmente se hizo con todos los puntos de dicha cinética, el absorbente tamizado y el biosorbente ya limpio. Tomando registro de 2 banda características de la molécula del ciprofloxacino.

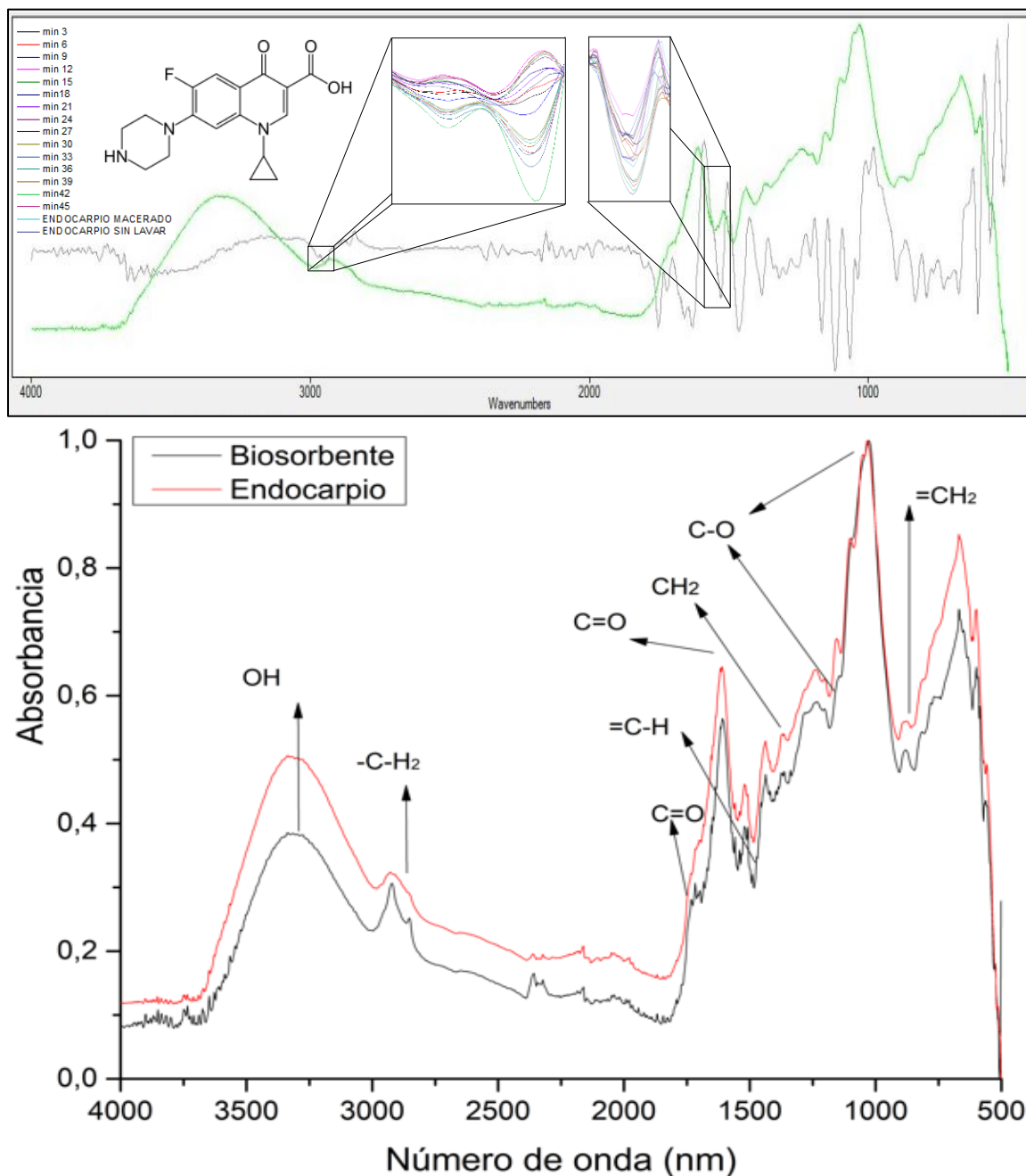


Figura 9. Espectros Infrarrojos del adsorbente. La parte superior muestra los espectros correspondientes al sorbente impregnado de antibiótico CF, un zoom de las bandas de los metilenos y carbonilo uno de los puntos en la cinética y su primera



derivada en color verde. Mientras en la parte inferior se muestran las bandas características del endocarpio

Con el tratamiento, para la figura 9, se observó el aumento de los enlaces metilénicos en el rango de los 2875 cm^{-1} y los 3050 cm^{-1} de cada uno de los espectros. Un resultado esperado, debido a la presencia de enlaces -C-H_2 , atribuidos al ciclopropil, al heterociclo tipo piperidinico en la molécula del antibiótico, que aumenta en la superficie de absorbente a medida que pasa el tiempo se sorción.

Así mismo, se realizó la medición de la banda en el rango de los 1740 cm^{-1} y los 1779 cm^{-1} , característica del grupo carboxílico en el medicamento, el cual no tuvo un comportamiento marcado. Dichas intensidades no concordaron, con el aumento o disminución de la banda, lo que se pudo deber a la resonancia del enlace, además de poderse presentar grupos ácidos en el absorbente que contrarrestan la señal

TGA-DSC

Los análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC), se observan en las figuras 10, 11 y 12. En ellas, se evalúan dos variables en función de la temperatura: el de la derecha, que describe el porcentaje en peso de endocarpio (TGA), en el estado respetivo de la figura, y el de la izquierda que muestra el calor normalizado en watts por gramos sobre el mismo material (DSC).

Como se puede extraer de la figura 10. El TGA revela que, al aplicársele temperatura a la muestra de endocarpio, se genera una perdida en peso en caída progresiva hasta aproximadamente los 56°C debido a la evaporación del agua, equivalente al 4,47% de la muestra (0,1865 mg), a partir de esta temperatura y hasta aproximadamente los 250°C el material es levente estable, no se pierde materia de forma agresiva. Sin embargo, a partir de ella, la materia comienza a degradarse, consumiéndose sobre los 400°C cerca del 53% de la masa evaluada. Esto indicando que la deshidratación a la que se llevó el endocarpio en estado base (a máximo 110°C), eliminó la mayor parte de su agua libre sin transformar considerablemente su estructura.

Paralelamente en la misma figura, el DSC describe dos endotermas en el rango de temperatura ambiente hasta los 250°C , que expresan el proceso de deshidratación, seguido de una reorganización de la estructura del material, requiriendo energía para acomodar sus enlaces. Terminando, se observa una exoterma, resultante de la perdida de materia en forma de volátiles carbonosos, como monóxido y dióxido de carbono, entre otros compuestos durante la degradación del material.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

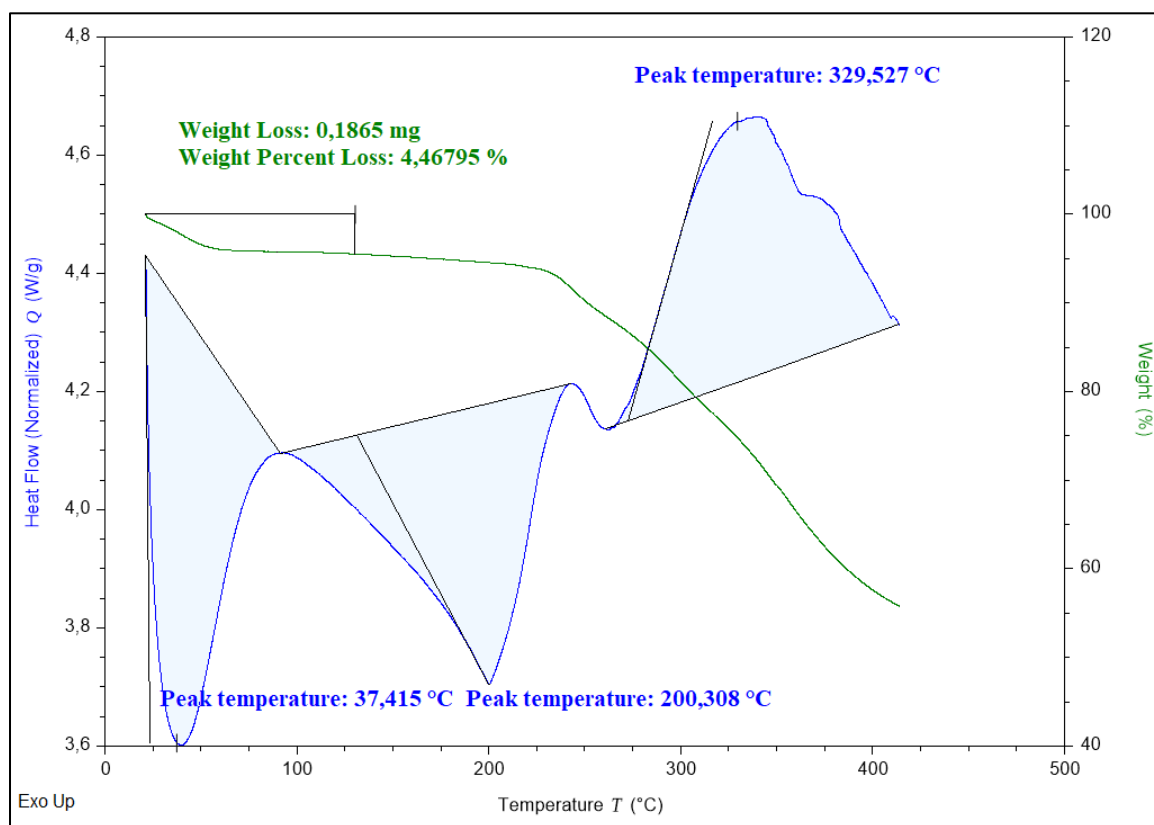


Figura 10. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC), endocarpio deshidratado, macerado y tamizado

Por otro lado, la figura 11 se observa que absorbente post tratamiento hidrotérmico se comporta de forma similar al endocarpio macerado y tamizado. Hasta cerca de los 100°C esta muestra pierde el 4,78% de su masa, lo cual indica que el proceso de limpieza del colorante genera una rehidratación del material, aumentando el agua fisisórbida lo que refleja que es mayor la pérdida de masa comparado con el endocarpio inicial. Por otro lado, a partir de 230°C, el biosorbente comienza degradarse, llegando a perder cerca del 53% de la masa al finalizar el análisis.

En cuanto a su DSC, que es proporcional a lo previamente dicho, se siguen produciendo 2 endotermas antes de la degradación, por el requerimiento de energía en el ajuste de los enlaces al liberar volátiles. Y una exoterma después de los 230°C, característica de una degradación del material.

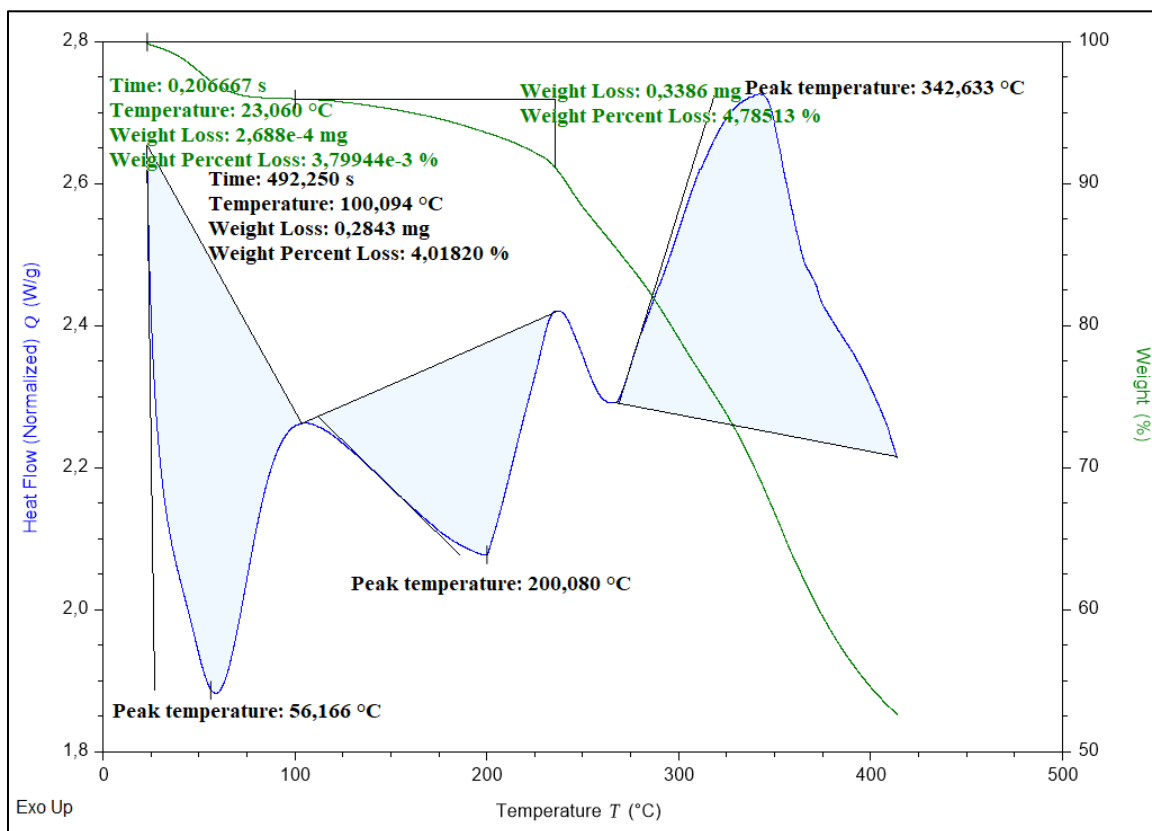


Figura 11. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC), endocarpio post tratamiento hidrotérmico en medio ácido.

Finalmente, en la figura 12, se observa un cambio en el comportamiento de los diagramas térmicos para TGA y DSC, en comparación con los anteriores. Se entiende que el ciprofloxacino disperso en agua penetra los poros del biosorbente con moléculas de agua en su esfera hidracina, lo cual lleva al aumento de la masa que es removible a temperaturas cercanas al punto de ebullición. Lo anterior se ve reflejado en la pérdida del 13,2% que muestra el TGA. Seguidamente hay otro descenso en la masa a 124°C, debido a la pérdida de volátiles por el endocarpio, que, adherido a un reajuste en la estructura de ambos materiales, se pierde otro 14,3% del peso. Mientras a 230 °C empieza a degradarse el ciprofloxacino, y a los 350°C el endocarpio. Lo anterior evidencia que la caracterización térmica de los materiales, muestra que dentro del material poroso se ha incluido el antibiótico.

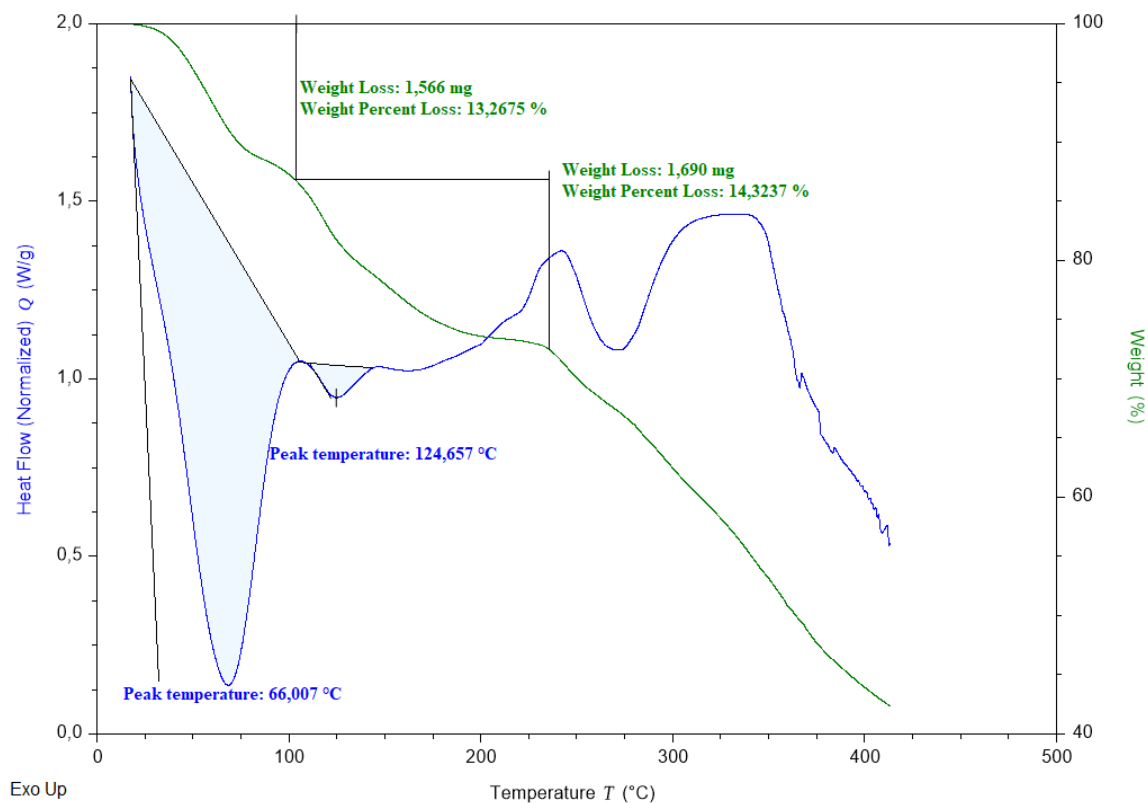


Figura 12. Análisis termogravimétrico y calorimétrico diferencial de barrido (TGA-DSC azul), del endocarpio post remoción de Ciprofloxacino



6. CONCLUSIÓN

El endocarpio del aguacate Chucurreño al ser deshidratado presento una morfología esférica con diámetro alrededor de los 10 μ m y un colorante que representó el 25% de la masa deshidratada.

Al retirar el colorante contenido en el endocarpio, mantiene la forma geométrica de su morfología, pero reduce su tamaño, al realizar el proceso de adsorción de la CF en la estructura la morfología cambio a paralelepípedos.

La capacidad de adsorción del endocarpio es de 95mg de CF por cada gramo del él, está se logró pasados 20 minutos después de ejecutada la mezcla, adicionalmente se demostró que un aumento en la temperatura durante la adsorción de lleva a valores más altos de retención del CF, disminuyen el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio sorbato-sorbente.

Se evidenció que el endocarpio es un material estable hasta alrededor de los 200°C, que presenta significativos en la cantidad de volátiles e hidratación cuando incluye dentro de sus poros el CF.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



7. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, T., & Danish, M. (2022). A review of avocado waste-derived adsorbents: Characterizations, adsorption characteristics, and surface mechanism. *Chemosphere*, 134036.
- Barrientos-Priego, A. F. (2017). PRESENTE Y FUTURO DE LOS PORTAINJERTOS Y VARIEDADES DE AGUACATE EN EL MUNDO Y MÉXICO. In *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate. Asociación de Productores y Exportadores de Jalisco (APEAJAL). Ciudad Guzmán, Jalisco, México*, (pp. 2-15).
- Barrientos Priego, A. F., Villanueva, E. G., & García, E. A. (1996). *Anatomía del fruto de aguacate: ¿Drupa o baya?* (pp. 1–10).
- Botero-Coy, A. M., Martínez-Pachón, D., Boix, C., Rincón, R. J., Castillo, N., Arias-Marín, L. P., ..., & Hernandez, F. (2018). An investigation into the occurrence and removal of pharmaceuticals in Colombian wastewater. *Science of the Total Environment*, 642, 842–853.
- Contreras Briceño, L. K., & Barajas Cardenas, K. J. (2021). *Aprovechamiento de residuos aguacate generados en centro abastos de Bucaramanga para la producción de aceites esenciales*. 1–83.
- Del Castillo-Llamosas, A. Rodríguez-Martínez, B., Pablo, G., Eibes, G., Garrote, G., & Gullón, B. (2021). Hydrothermal treatment of avocado peel waste for the simultaneous recovery of oligosaccharides and antioxidant phenolics. *Bioresource Technology*, 342, 125981.
- Devia Pineda, J. E., & Saldarriaga, D. F. (2005). Proceso para obtener colorante a partir de la semilla del aguacate. *Revista Universidad EAFIT*, 41(137), 36–43.
- Dhaouadi, F., Sellaoui, L., Hernández-Hernández, L. E., Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D. I., Reynel-Ávila, H. E., ..., & Lamine, A. B. (2021). Preparation of an avocado seed hydrochar and its application as heavy metal adsorbent: Properties and advanced statistical physics modeling. *Chemical Engineering Journal*, 419, 129472.
- Elizalde González, M. P., Mattusch, J., Peláez Cid, A. A., & Wennrich, R. (2007). Characterization of adsorbent materials prepared from avocado kernel seeds: Natural, activated and carbonized forms. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78(1), 185–193.
- Galindo Tovar, M. E., Arzate Fernández, A. M., Ogata Aguilar, N., & Landero Torres, I. (2007). The avocado (*Persea americana*, Lauraceae) crop in Mesoamerica: 10,000 years of history. *Harvard Papers in Botany*, 12(2), 325–334.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ Limpia*, 7(2), 52–73.

González, C., Valbuena, A., Celis, B., Perentena, L., & Colina, M. (2015). Degradación oxidativa de quitosano con peróxido de hidrógeno. *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*, 16(1), 43–68.

Hartmann, A., Alder, A. C., Koller, T., & Widmer, R. M. (1998). Identification of fluoroquinolone antibiotics as the main source of umuC genotoxicity in native hospital wastewater. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 17(3), 377-382.

Hatzakis, E., Mazzola, E. P., Shegog, R. M., Ziegler, G. R., & Lambert, J. D. (2019). Perseorangin: A natural pigment from avocado (*Persea americana*) seed. *Food Chemistry*, 293, 15–22.

Langbehn, R. K., Michels, C., & Soares, H. M. (2021). Antibiotics in wastewater: From its occurrence to the biological removal by environmentally conscious technologies. *Environmental Pollution*, 275, 116603.

Martínez Terán, M. E. (2010). *Estudio comparativo de la calidad de tabletas de ciprofloxacino que se comercializan en México*. (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Navarro, M. P., Hernández, Y. R., & Pérez, Y. S. (2014). Validación del método por espectrofotometría ultravioleta para control de calidad de clorhidrato de ciprofloxacina en tabletas Ciprecu. *Revista Cubana de Farmacia*, 48(2), 199–212.

OPC. (n.d.). *Datos básicos del aguacate Sector subtropicales Campaña 2020/21*. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontControl?action=Static&subsector=34&url=subsector.jsp>

Palma, C., Lloret, L., Puen, A., Tobar, M., & Contreras, E. (2016). Production of carbonaceous material from avocado peel for its application as alternative adsorbent for dyes removal. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(4), 521–528.

Panigua, S., Reyes, S., Lima, F., Pillipenko, N., & Calvo, L. F. (2021). Combustion of avocado crop residues: Effect of crop variety and nature of nutrients. *Fuel*, 291, 119660.

Permal, R., Chang, W. L., Seale, B., Hamid, N., & Kam, R. (2020). Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. *Food Chemistry*, 306, 125635.

Robayo Medina, A. T. (2017). *Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de aguacate, Persea americana Mill. (Lauraceae) e implementación de un método de extracción del aceite de aguacate como alternativa de industrialización*.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. A. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138, 109774.
- Seija, V., & Vignoli, R. (2006). Principales grupos de antibióticos. *Temas de Bacteriología y Virología Médica*, 2, 631–633.
- Simoës, A. J. G., & Hidalgo, C. A. (n.d.). *The economic complexity observatory: An analytical tool for understanding the dynamics of economic development*. In Workshops at the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence. <https://oec.world/en/profile/hs/avocados-fresh-or-dried>
- Sussmann, O., Mattos, L., & Restrepo, A. (2002). Resistencia bacteriana. *Univ. Med.*, 43(1), 20–26.
- Vega, J. Y. (2012). El aguacate en Colombia: Estudio de caso de los Montes de María, en el Caribe colombiano. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana*, No. 171.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



8. ANEXOS

8.1 CALCULOS

Para el cálculo de la relación sorbato/sorbente se aplicó la ecuación

$$Potencial = \frac{ma_i - ma_f}{mb}$$

Donde:

ma: es la masa en miligramos antibiótico.

f e i: indican las si la condición es final o inicial respectivamente.

mb: es la masa en gramos de sorbente empleado en la remoción.

Y para la eficiencia se empleó:

$$\%eficiencia = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

Donde:

C: es la concentración en miligramos de antibiótico por mililitro de solución.

f e i: indican las si la condición es final o inicial respectivamente.

8.2 ANEXO A. Datos obtenidos para la curva de calibración

Solución	CONCENTRACIÓN (mg/mL)	ABSORBANCIA
1	0	0
2	0,00014	0,007
3	0,00028	0,019
4	0,00042	0,029
5	0,00056	0,038
6	0,0007	0,046
7	0,0014	0,116
8	0,0028	0,215
9	0,0042	0,303
10	0,0056	0,398
11	0,007	0,506
12	0,0091	0,608
13	0,0105	0,647
14	0,0119	0,728
15	0,0133	0,927



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



8.3 ANEXO B. Datos obtenidos de la cinética a temperatura ambiente (19°C)

Tiempo (min)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN POST REMOCIÓN (mg/mL)	POTENCIAL (mg/g)	CORRECCIÓN DEL PUNTO A 30
0	0	0	0	0
3	0,309	0,2367	67,6666	67,6666
6	0,291	0,2229	71,2059	71,2059
9	0,228	0,1747	76,2100	76,2100
12	0,199	0,1524	79,7412	79,7412
15	0,156	0,1195	85,9570	85,9570
18	0,126	0,0965	89,0085	89,0085
21	0,118	0,0904	90,8053	90,8053
24	0,109	0,0835	92,2905	92,2905
27	0,095	0,0728	92,3295	92,3295
30	0,286	0,1565	80,1633	91,4477
33	0,156	0,0854	90,5658	90,5658
36	0,136	0,0744	91,6382	91,6382
39	0,126	0,0689	93,9071	93,9071
42	0,098	0,0536	96,1870	96,1870
45	0,099	0,0542	96,8744	96,8744

8.4 ANEXO C. Datos obtenidos de la cinética a una temperatura de 35°C

Tiempo (min)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN POST REMOCIÓN (mg/mL)	POTENCIAL (mg/g)
0	0	0	0
3	0,2590	0,1984	74,2002
6	0,2010	0,1540	80,5345
9	0,1510	0,1157	87,4740
12	0,1200	0,0919	91,0291
15	0,1320	0,1011	90,1025
18	0,0980	0,0751	92,6275
21	0,1290	0,0988	90,1769
24	0,1270	0,0695	92,7218
27	0,1100	0,0602	93,8138
30	0,1200	0,0657	94,2087
33	0,1010	0,0553	96,3250
36	0,0940	0,0514	96,7046
39	0,1100	0,0602	95,6845
42	0,1000	0,0547	94,4315
45	0,0960	0,0525	94,4753



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



8.5 ANEXO D. Datos obtenidos de la cinética a una temperatura de 40°C

Tiempo (min)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN POST REMOCIÓN (mg/mL)	POTENCIAL (mg/g)
0	0	0	0
3	0,2590	0,1984	75,0139
6	0,2010	0,1540	81,6586
9	0,1510	0,1157	86,0147
12	0,1200	0,0919	90,8477
15	0,1320	0,1011	89,2964
18	0,0980	0,0751	92,0816
21	0,1290	0,0706	92,4702
24	0,1270	0,0695	93,0869
27	0,1100	0,0602	96,2603
30	0,1200	0,0657	94,5833
33	0,1010	0,0553	94,4436
36	0,0940	0,0514	96,6085
39	0,1100	0,0602	95,7800
42	0,1000	0,0547	96,1195
45	0,0960	0,0525	94,0180

8.6 ANEXO E. Datos obtenidos y calculados para las gráficas 6 y 7 de eficiencia y potencial en función de los miligramos de antibiótico (CF) diluidos en el volumen de control

Solución	CF inicial (mg)	concentración post remoción (mg/mL)	Potencial (mg/mL)	% eficiencia de remoción
1 etapa 3	7	0,0283	67,1656	95,9509
En el equilibrio	10,5	0,1195	85,9570	82,9280
2 etapa 3	52,5	1,5760	95,7591	54,9719



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co