

**BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON SUSTANCIAS  
ORGÁNICAS EMERGENTES: UN ENFOQUE PARA INTEGRAR LA  
EDUCACIÓN AMBIENTAL.**

Presentado por

KAREN JULIETH CARDENAS MORENO

PAULA ANDREA GARCÍA SIERRA

DIRECTOR: Dr. RODRIGO RODRÍGUEZ CEPEDA

**BIOREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON SUSTANCIAS  
ORGÁNICAS EMERGENTES: UN ENFOQUE PARA INTEGRAR LA  
EDUCACIÓN AMBIENTAL.**

Presentado por

**KAREN JULIETH CARDENAS MORENO**

Cód. 2018215019

cc. 1010135257

**PAULA ANDREA GARCÍA SIERRA**

Cód. 2018215030

cc. 1007788615

TRABAJO DE GRADO PARA OTORGAR EL TÍTULO DE LICENCIADAS EN  
QUÍMICA

DIRECTOR: Dr. RODRIGO RODRÍGUEZ CEPEDA

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN  
DIDÁCTICA Y SUS CIENCIAS  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
ALIMENTOMICA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
BOGOTÁ DC  
2025**

## TABLA CONTENIDO

1.	Introducción .....	- 1 -
2.	Problema de Investigación.....	- 3 -
3.	Justificación .....	- 5 -
3.1	Pregunta Problema .....	- 6 -
4.	Objetivos .....	- 7 -
4.1	Objetivo General.....	- 7 -
4.2	Objetivos Específicos .....	- 7 -
5.	Antecedentes .....	- 8 -
6.	Marco Teórico.....	- 12 -
6.1	Referentes Didácticos.....	- 12 -
6.1.1	Proyecto Educativo Institucional.....	- 12 -
6.1.2	Enfoque ambiental.....	- 13 -
6.1.3	Plan curricular .....	- 14 -
6.1.4	Proyectos transversales.....	- 15 -
6.2	Referentes Disciplinarios .....	- 15 -
6.2.1	Contaminantes Orgánicos Emergentes .....	- 15 -
6.2.2	Amoxicilina.....	- 16 -
6.2.3	Vías de contaminación .....	- 17 -
6.2.4	Aguas Residuales en Colombia .....	- 18 -
6.2.5	Biorremediación .....	- 19 -
6.2.6	Aguacate Hass “Persea americana Hass” .....	- 20 -
6.2.7	Anatomía de la cáscara.....	- 20 -
6.2.8	Bioadsorción .....	- 22 -
6.2.9	Cromatografía líquida de Alta Resolución .....	- 22 -
6.2.10	Espectroscopia Infrarroja.....	- 22 -
7.	Metodología .....	- 24 -
7.1	Tipo de investigación .....	- 24 -
7.2	Población .....	- 24 -
7.3	Instrumentos .....	- 25 -
7.3.1	Validación del instrumento .....	- 26 -
7.3.2	Cuestionario de entrada y salida .....	- 26 -

7.4	Fases y etapas .....	- 28 -
7.4.1	Fase de Iniciación.....	- 30 -
7.4.2	Fase de desarrollo .....	- 31 -
7.4.3	Fase de Finalización .....	- 39 -
7.4.4	Fase analítica .....	- 39 -
8.	Resultados y Análisis.....	- 40 -
8.1	Implementación.....	- 40 -
8.2	Fase 1. Fase de iniciación.....	- 41 -
8.2.1	Cuestionario inicial .....	- 41 -
8.3	Fase 2. Fase de desarrollo.....	- 42 -
8.3.1	Estudio de caso .....	- 42 -
8.3.2	Lluvia de ideas.....	- 45 -
8.4	Obtención de materia prima .....	- 46 -
8.4.1	Recolección de la muestra y Equilibrio de humedad.....	- 46 -
8.5	Extracción de la celulosa.....	- 49 -
8.5.1	Extracción de lípidos .....	- 49 -
8.5.2	Extracción de carbohidratos .....	- 50 -
8.5.3	Extracción del principio activo.....	- 56 -
8.5.4	Ensayo de jarras.....	- 60 -
8.6	Método de lectura.....	- 61 -
8.6.1	Lectura HPLC .....	- 61 -
8.7	Fase 3. Fase de finalización.....	- 65 -
8.7.1	Entrega de informes “práctica de laboratorio”.....	- 65 -
8.7.2	Práctica de laboratorio .....	- 66 -
8.7.3	Cuestionario final.....	- 69 -
9.	Análisis de resultados.....	- 71 -
9.1	Fase 1. Iniciación .....	- 71 -
9.2	Fase 2. Fase de desarrollo .....	- 72 -
9.2.1	Estudio de caso .....	- 72 -
9.2.2	Lluvia de ideas.....	- 72 -
9.2.3	práctica de laboratorio.....	- 73 -
9.3	Fase 3. Fase de finalización.....	- 74 -

9.3.1 Informe de laboratorio.....	- 74 -
9.4 Cuestionario final.....	- 74 -
10 Conclusiones.....	- 76 -
11 Recomendaciones.....	- 77 -
12 Referencias.....	- 79 -
13 Anexos.....	- 83 -

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición cáscara y semilla de aguacate.....	- 21 -
Tabla 2. Caracterización de la población.....	- 25 -
Tabla 3. Obtención de materia prima.....	- 46 -
Tabla 4. Porcentajes de Humedad.....	- 47 -
Tabla 5. Porcentajes de grasa.....	- 49 -
Tabla 6. Señales IR de Referencia.....	- 53 -
Tabla 7. Señales IR.....	- 56 -
Tabla 8. Datos preparación curva de calibración.....	- 59 -
Tabla 10. Datos muestras HPLC.....	- 61 -
Tabla 11. Porcentaje de Remoción.....	- 65 -
Tabla 12. Cuestionario inicial.....	- 41 -
Tabla 13. Consolidados estudios de caso.....	- 43 -
Tabla 14. Resultados Soxhelt grupo 1.....	- 67 -
Tabla 15. Resultados Soxhelt grupo 2.....	- 67 -
Tabla 16. Cuestionario de seguimiento.....	- 69 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la amoxicilina.....	- 17 -
Figura 2. Vías de contaminación.....	- 18 -
Figura 3. Sección transversal del exocarpio del aguacate.....	- 21 -
Figura 4. Fases metodológicas de la investigación.....	- 28 -
Figura 5. IR Carboxymethy cellulose sodium salt.....	- 53 -
Figura 6. IR celulosa ácida.....	- 54 -
Figura 7. IR Celulosa neutra.....	- 54 -

Figura 8. Muestra Blanco HPLC .....	- 62 -
Figura 9. Muestra Ácida HPLC.....	- 63 -
Figura 10. Muestra Básica HPLC.....	- 63 -
Figura 11. Muestra neutra HPLC.....	- 64 -

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Zonificación de las muestras .....	- 38 -
Ilustración 2. Recolección de la cáscara .....	- 46 -
Ilustración 3. Secado al ambiente .....	- 46 -
Ilustración 4. Secado en estufa .....	- 46 -
Ilustración 5. Humedad de equilibrio .....	- 46 -
Ilustración 6. Montaje Soxhlet .....	- 49 -
Ilustración 7. Montaje de Hidrólisis .....	- 51 -
Ilustración 8. Filtrado de la muestra .....	- 52 -
Ilustración 9. Precipitado de amoxicilina .....	- 56 -
Ilustración 10. Extracción de amoxicilina .....	- 57 -
Ilustración 11. Ensayo de jarras.....	- 60 -

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Caracterización por semestre .....	- 25 -
Gráfico 2. Caracterización por semestre .....	- 25 -
Gráfico 3. Equilibrio de humedad .....	- 48 -
Gráfico 4. Curva de calibración .....	- 59 -
Gráfico 5. Cuestionario inicial .....	- 41 -
Gráfico 6. Cuestionario Inicial.....	- 42 -
Gráfico 7. Resultados de “estudio de caso” .....	- 44 -
Gráfico 8. Resultados de “lluvia de ideas” .....	- 45 -
Gráfico 9. Resultados de “informe de laboratorio” .....	- 66 -
Gráfico 10. Cuestionario de Seguimiento .....	- 70 -
Gráfico 11. Consolidade del cuestionario de seguimiento .....	- 70 -

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Extracción de lípidos.....	- 34 -
Diagrama 2. Extracción de carbohidratos.....	- 35 -
Diagrama 3. Extracción del principio activo.....	- 36 -
Diagrama 4. Ensayo de jarras .....	- 37 -

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de humedad.....	- 33 -
Ecuación 2. Muestra seca .....	- 33 -
Ecuación 3. Porcentaje de lípidos.....	- 33 -
Ecuación 4. Concentración inicial.....	- 36 -
Ecuación 5. Concentración final .....	- 36 -
Ecuación 6. Cálculo de dilución .....	- 37 -
Ecuación 7. Ecuación de la recta.....	- 38 -
Ecuación 8. Porcentaje de remoción .....	- 39 -

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario de entrada y de salida .....	- 83 -
Anexo 2. Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje.....	- 90 -
Anexo 3. Rúbrica de evaluación estudio de caso .....	- 91 -
Anexo 4. Rubrica de evaluación lluvia de ideas .....	- 91 -
Anexo 5. Rúbrica de evaluación Informe de laboratorio .....	- 92 -
Anexo 6. Guía de laboratorio .....	- 93 -

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente al profesor **Rodrigo Rodríguez Cepeda** y al semillero de investigación Χημεία (Chimeía) por su acompañamiento, conocimiento y aportes al presente trabajo de investigación. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales en el desarrollo de la investigación.

A **Mercy Viasus** y **Andrés Madrid** por su colaboración, disposición constante y por facilitar el acceso a los equipos e insumos requeridos para el desarrollo experimental. Su apoyo técnico y humano fue indispensable para el avance del proyecto en el laboratorio.

Expresamos gratitud a los profesores **Dora Luz** y **Jaime Casas** por su orientación y conocimientos compartidos a lo largo del proceso.

Finalmente, agradecemos a la **Universidad Pedagógica Nacional** por brindarnos el espacio académico y los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación.

*Karen Cárdenas y Andrea García*

En primer lugar, agradezco a **Dios** por haberme dado la vida, la salud y la fortaleza necesaria para llegar a este punto.

A mis padres **María Sierra** y **Gilberto García** les agradezco profundamente por su amor, sacrificio y apoyo incondicional. Gracias por ser mi ejemplo de perseverancia, con su entrega diaria. A mis hermanos **Leidy García** y **William García** por estar presentes y ser parte fundamental en mi vida.

A **Juan Camilo**, gracias por haberme acompañado en cada etapa de este proceso, por tu apoyo inquebrantable, tu paciencia y tu cariño. Tu presencia a significado más de lo que las palabras pueden expresar.

A **Johann Bain**, gracias por convertirte en un gran amigo y por hacer mi paso por la universidad más especial. Tu alegría, tu compañía y las risas compartidas, hicieron de esta etapa una experiencia mucho más valiosa.

A todos ustedes gracias por estar, por creer en mí y por ser parte de este logro.

*Andrea García*

Quiero exponer en este espacio todo el esfuerzo reflejado para poder estar aquí. Desde el momento de admisión, el proceso de materias, la pandemia, el retorno y la culminación del trabajo de grado expuesto en estas páginas. Ver la vida como un camino sin fin que pasa ante tus ojos mostrando todo lo logrado, genera un gran sentimiento de agradecimiento.

Agradezco a la vida por permitirme estar en este momento y en este lugar para ver cumplir mis sueños y los de mi familia, que siempre han estado junto a mí para brindarme las fuerzas y la valentía que requiere este camino. **Elda María Varela** y **Carlos Cardenas**, son la familia más completa y maravillosa en la cual puedo ser parte. Mis hermanos, **Michael Cárdenas** y **Sofía Cárdenas**, mi acompañante en el camino del Amor, **Luis Parra**, son personas esenciales para rectificar de lo que soy capaz y lo que el esfuerzo y la perseverancia pueden lograr.

Mi compañera de cuatro patas, por las compañías infaltables en el desarrollo de cada pendiente que ha dejado este trayecto.

Recordar, que soy todo lo que ven gracias al amor que ustedes me brindan.

*Karen Cárdenas*

## 1. Introducción

La contaminación del agua es un problema ambiental que, con los años, ha experimentado un notable incremento, ya que a medida que crece la población y se desarrolla la industria se producen más desechos tóxicos, los cuales generan una crisis ambiental, que se agrava debido a que la mayoría de la población no dimensiona que los recursos son finitos. Además, se ha perdido el sentido de pertenencia frente al de ahorro del agua, reciclaje y separación correcta de los residuos, lo que genera consecuencias negativas en el medio ambiente y en los ecosistemas.

En este sentido se debe priorizar la salud, pero, el sector farmacéutico es esencial para mantener y salvaguardar la salud de las personas y los animales, pero su alto consumo hace que pequeñas concentraciones de medicamentos puedan ser encontradas en las aguas residuales ya sean industriales, domésticas u hospitalarias (ya que solo un porcentaje del medicamento es absorbido por el organismo y el otro es desechado mediante metabolitos). La dificultad para eliminar por completo estos Contaminantes Orgánicos Emergentes (COEs) conlleva a problemas ambientales, puesto que no todos los medicamentos son removidos de los efluentes y generan problemas para los ecosistemas, considerando que son sustancias antropogénicas y por la inexistente regulación en Colombia para los compuestos farmacéuticos estas concentraciones son persistentes en el ambiente, evidenciado problemáticas en los organismos vivos. (Caviedes, Ricardo, & Olaya, 2017)

Ante esta situación, resulta necesario no solo abordar el problema desde una perspectiva científica y tecnológica, sino también desde una mirada educativa que permita una postura crítica en la ciudadanía. El entendimiento de las causas y consecuencias de estos contaminantes debe formar parte de una educación ambiental integral, que forme a los estudiantes para actuar como agentes de cambio en sus comunidades. Por esta razón, es necesario que, desde los diferentes niveles educativos, se integre la educación ambiental en los currículos mediante la incorporación de estrategias didácticas innovadoras. De esta manera, el presente proyecto de investigación plantea la biorremediación desde un enfoque educativo que articula la educación ambiental en el entorno de alternativas que propicien el cuidado, abordado desde una posible estrategia para enfrentar la problemática ambiental. En el contexto anterior, la Universidad Pedagógica Nacional (2020) plantea en su proyecto educativo institucional (PEI) una directriz respecto a la formación ambiental en los programas por medio de la transversalidad, la cual menciona que *“la universidad asume la sustentabilidad ambiental como referente central en la formación de educadores, maestros y profesionales de la educación en los contextos en los que tenga incidencia”* Desde esta perspectiva, la presente propuesta de investigación pretende reforzar y ampliar el enfoque ambiental, mediante la incorporación de estrategias pedagógicas que avalen la conciencia y gestión medioambientales.

En este marco, el presente trabajo sigue los lineamientos y directrices del semillero de investigación Χημεία (Chimeía) y del grupo de investigación “La Didáctica y sus Ciencias”, enfocados en la enseñanza-aprendizaje contextualizada de química y la bioquímica, bajo la línea de investigación denominada Alimentómica y enseñanza de las ciencias. Por esta razón, y en consonancia con los principios de dicha línea y del semillero Χημεία, se plantea el uso de un residuo agroindustrial como materia prima en procesos de biorremediación, promoviendo así una práctica ambiental responsable y contextualizada en el ámbito educativo.

Por consiguiente, se da lugar a la incorporación de un enfoque ambiental para orientar los procesos educativos mediante la formación de individuos con sentido de pertenencia y conciencia crítica y colectiva frente a las problemáticas ambientales y los factores relacionados con la salud. En concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también busca desarrollar un perfil de egresado que enfatice la conciencia ambiental y avale la transversalidad del plan curricular para incorporar estrategias de enseñanza que propicien el pensamiento crítico y la conciencia ambiental para salvaguardar el planeta tierra y la existencia del ser humano.

## 2. Problema de Investigación

Debido al agotamiento de los recursos y a los efectos nocivos tanto para los seres humanos como para los animales y las plantas, la contaminación ambiental es uno de los problemas más profundos que impactan nuestro planeta y realidad. Estos efectos, en su mayoría, son transportados por uno de los recursos más importantes y necesarios: el agua, este recurso contiene elevadas y mínimas concentraciones de origen antropogénico, las fuentes de contaminación provienen de industrias, comercio, ambientes domésticos y agrícolas. (Hernandez, 2020)

Desde la década de 1940, cuando se introdujeron por primera vez los medicamentos sintéticos han sido cruciales en el mantenimiento de la salud humana debido a su uso generalizado en el tratamiento de enfermedades y el alivio de dolor. Los primeros informes sobre la presencia de drogas sintéticas en los medios terrestres y acuáticos se remontan a 1970. Los informes sobre la prevalencia de estas drogas en el agua potable comenzaron a aparecer en 1990. Son diferentes las vías por las que estos medicamentos llegan al medio ambiente: los desechos humanos y animales, los residuos y subproductos industriales y los medicamentos caducados que se desechan con la basura doméstica. (Moreno, y otros, 2013)

Los antibióticos son medicamentos ampliamente usados en todo el mundo, tanto en personas como animales. El uso generalizado de antibióticos explica que las aguas superficiales, subterráneas y los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden generar problemas significativos. La presencia constante de bajas concentraciones de antibióticos fomenta y favorece la mutación de microorganismos, presentando un desafío importante en términos de la salud pública y medioambiental. (Moreno, y otros, 2013)

Aparte de la mutación de microorganismos, existe otro motivo de preocupación y es la prolongada resistencia de estos antibióticos en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos marinos, lodos y lagunas. Además, se ha demostrado que cientos antibióticos, como la amoxicilina, se excretan inalterados, lo que los hace extremadamente reactivos mucho tiempo después de haber sido digeridos y eliminados del organismo. (Moreno, y otros, 2013)

Por este motivo, con el fin de proporcionar posibles soluciones a los ecosistemas afectados, se hace necesario aplicar un método sistemático para reducir considerablemente las concentraciones de COEs en las aguas residuales. Además, es importante promover la problemática en el campo de la formación y sensibilización por medio de estrategias didácticas que permitan reflexionar los estudiantes, resaltando y reforzando el principio de sustentabilidad ambiental propuesto desde el PEI de la institución. La Universidad Pedagógica Nacional (UPN) se destaca a nivel nacional como una institución líder en la formación de educadores a nivel profesional y en su línea de acción enfatiza la corresponsabilidad en la sostenibilidad y sustentabilidad.

La sustentabilidad ambiental se asume como un principio esencial en el desarrollo de líneas de acción orientadas a la formación de sujetos comprometidos con la protección del planeta, considerando sus diversos entornos sociales, políticos y culturales. En este marco, se propone articular los procedimientos de biorremediación con procesos de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la educación ambiental, mediante una adaptación curricular que promueva una postura crítica y contextualizada frente a las problemáticas ambientales globales.

La UPN expresa que, a partir de los referentes teóricos, políticos y epistemológicos adoptados desde 1997 y modificados en 2010, se da lugar a la formación de sujetos en su faceta personal y profesional dentro del sistema educativo, que construyan y difundan conocimiento con base en las políticas educativas. La UPN define sus campos de trabajo en función de ocho líneas que direccionan su labor:

1. Construcción de comunidades de saber pedagógico en articulación con otros saberes.
2. Fortalecimiento académico.
3. Afianzamiento del carácter, intercultural e internacional de la Universidad.
4. Cultura del bienestar universitario.
5. Gestión y administración al servicio de la academia.
6. Corresponsabilidad en el reconocimiento de la sostenibilidad y sustentabilidad de la UPN.
7. Defensa de lo público como patrimonio de todos.
8. Diálogo permanente con los problemas sociales y ambientales de la nación.

En este orden de ideas la proyección del trabajo de investigación es validar la viabilidad de integrar procesos de biorremediación de contaminantes emergentes como estrategia para la enseñanza de la educación ambiental, por medio de la contextualización y sensibilización sobre el manejo y consumo de medicamentos en el marco del principio de la sustentabilidad ambiental planteada en el PEI de la Universidad Pedagógica Nacional para estudiantes de la facultad de ciencia y tecnología. Con el objetivo de intervenir en un espacio académico propio de la facultad de ciencia y tecnología que se apropie del enfoque ambiental y propicie la conciencia ambiental y el pensamiento crítico para futuros egresados de la UPN.

### 3. Justificación

La Universidad Pedagógica Nacional (UPN) reconoce la sustentabilidad ambiental como uno de los principios fundamentales en la misión educativa haciendo hincapié en lograr un equilibrio entre la preservación del medio ambiente y el crecimiento social y económico. Se pretende satisfacer necesidades presentes sin comprometer el desarrollo de generaciones futuras incorporados desde la labor académica, reconociendo que data de la formación fundamentada en la comprensión y promoción de la gestión responsable de los recursos naturales. De esta manera, se consideran las realidades planetarias y la interconexión que existe entre el bienestar humano y la calidad del medio ambiente que incluye distintas dimensiones, como la disminución de la huella de carbono, proteger la biodiversidad, y utilizar métodos de producción y consumo responsables. (UPN, Proyecto Educativo Institucional PEI, 2020)

Es una realidad que, aunque sus lineamientos se enfaticen en la educación medioambiental como pionera en el campo de la educación, se considera que puede ser más significativo e interpretativo desde la incorporación de competencias cognitivas en función al cuidado y prevención del medio ambiente. De esta manera se busca mediante la estrategia pedagógica el manejo de términos como biorremediación con el propósito de abarcar un campo del cuidado y preservación de fuentes hídricas. Cabe resaltar, la sostenibilidad ambiental como la capacidad de preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, cuyo objetivo es lograr un equilibrio entre la preservación de los ecosistemas y el uso de los recursos naturales para cuidar la tierra y sustentar la vida. Enfatizar en el cuidado y la búsqueda de estrategias que permitan que el perfil egresado docente de la facultad de ciencia y tecnología que reconozca la incidencia humana en el planeta tierra y en los ecosistemas para mitigar el daño ambiental que disminuye el rendimiento óptimo de los recursos naturales.

En este sentido, el enfoque de biorremediación en un procedimiento que utiliza seres vivos, incluidos muchos tipos de plantas, animales y vegetales que tienen la capacidad de absorber o transformar los contaminantes presentes en el ambiente, en especial en recursos hídricos. En el desarrollo de esta investigación, se empleará celulosa obtenida a partir de residuos agroindustriales, específicamente la cáscara de aguacate Hass, como bioadsorbente de amoxicilina. Este enfoque se integrará al currículo de la electiva “Química verde” del programa de la Licenciatura en Química, atendiendo el PEI de la UPN.

De esta manera se pretende destacar el papel de la cáscara de aguacate y lo que representa como subproducto industrial de alta disponibilidad en países como Colombia y México, donde el aguacate Hass se cultiva y exporta en grandes volúmenes. En Colombia, por ejemplo, se estima que más de 476.000 toneladas de aguacate fueron producidas en 2021, de las cuales aproximadamente el 15–20 % corresponde a residuos como cáscaras y semillas (Ministerio de Agricultura, 2021).

Este tipo de residuo orgánico, cuando no es aprovechado adecuadamente, puede convertirse en un contaminante por su alto contenido de materia orgánica susceptible a degradación anaerobia, lo que genera emisiones de gases y lixiviados en vertederos. Por lo tanto, su valorización mediante procesos de biorremediación no solo contribuye al tratamiento de aguas contaminadas, sino que también reduce el impacto ambiental de los residuos sólidos agroindustriales (Gómez, 2021)

Debido a esto, se pretende incorporar procesos de biorremediación por medio del uso de la celulosa obtenida en residuos de cascara de aguacate Hass que permitan una adsorción del COE por medio de un ensayo de jarras que coagule el contaminante con nuestro biofactor. De igual manera, se propicia mediante un enfoque de educación ambiental que permita la transversalidad del micro currículo por medio de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje que integre la educación ambiental para que así mismo se asocie al contexto del uso de medicamentos y el mal manejo de residuos.

### **3.1 Pregunta Problema**

¿Qué tan viable es integrar procesos de biorremediación de contaminantes emergentes como estrategia para la enseñanza de la educación ambiental, por medio de la contextualización y sensibilización sobre el manejo y consumo de medicamentos en el marco del principio de la sustentabilidad ambiental planteada en el PEI de la Universidad Pedagógica Nacional para estudiantes de la electiva “Química verde”?

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Evaluar la viabilidad de integrar procesos de biorremediación de contaminantes emergentes como estrategia para la enseñanza de la educación ambiental, por medio de la contextualización y sensibilización sobre el manejo y consumo de medicamentos, en el marco del principio de la sustentabilidad ambiental planteada en el PEI de la Universidad Pedagógica Nacional, a través de una Secuencia de enseñanza-aprendizaje desarrollada en estudiantes de la electiva Química verde.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Construir una Secuencia enseñanza-aprendizaje en el contexto de la biorremediación de aguas con contaminantes emergentes, que permita integrar la educación ambiental en el micro currículo de la electiva Química verde.
- Aplicar la Secuencia enseñanza-aprendizaje a un grupo focal (focus group), con el fin de obtener información preliminar sobre la relación química y problemas ambientales de los COEs en el recurso hídrico.
- Evaluar la pertinencia de la estrategia didáctica en la integración de la educación ambiental en el micro currículo de la electiva química verde, siguiendo los lineamientos del PEI de la Universidad

## 5. Antecedentes

En el marco de la búsqueda de documentos que soporten la investigación y que, además sirvan de guía para el desarrollo y la innovación, se realiza una recopilación de documentos desde la revisión de los antecedentes que abren las posibilidades de la investigación y que ayuden a evidenciar su interacción con el ámbito educativo dando lugar a la validación del proyecto de investigación plasmado, de esta manera, se procede a la consulta de diversos autores en el campo didáctico y en el disciplinar para solventar las técnicas empleadas bajo diversas metodologías planteadas. Así mismo, el campo pedagógico y didáctico como ruta para la adquisición del impacto en la educación, se procede a establecer las variables que atribuyen a las bases teóricas necesarias en este camino en investigación y publicaciones de los últimos 10 años acorde a la publicación de este trabajo.

En la búsqueda realizada para los antecedentes se pretende relacionar las prácticas que indagan sobre el rendimiento de la cáscara de aguacate en la adsorción de amoxicilina, visto desde un enfoque que posibilite integrar la educación ambiental en consonancia con el PEI, y con el propósito de mejorar eficazmente la enseñanza y el aprendizaje con un enfoque medioambiental, es fundamental adoptar una metodología de investigación que permita comprender la incidencia de los distintos métodos y técnicas.

Es importante Realizar un acercamiento a investigaciones previas que permitan entender el nivel de incidencia de las diferentes estrategias y metodologías en el desarrollo efectivo de una enseñanza-aprendizaje con enfoque ambiental. El componente conceptual del presente trabajo de investigación es biorremediación, por lo que resulta relevante hacer una aproximación a estudios ya realizados que permitan analizar las variables y métodos implicados en el desarrollo de esta investigación.

Durante el proceso investigativo, se recopilaron documentos que ayudan a construir un contexto e identifican el estado actual de la temática garantizando que la investigación sea significativa y la obtención de resultados permita solidificar y construir una metodología viable para el campo del docente investigador.

Desde el PEI se plantea la necesidad de incorporar el enfoque ambiental como eje articulador de los procesos educativos institucionales. Ortiz (2020) considera el PEI como herramienta fundamental en los procesos educativos institucionales mediante la incorporación de un currículo flexible que vincula la comunidad con la sostenibilidad ambiental. Así mismo, el currículo es visto como una herramienta que ayuda a organizar los procesos de aprendizaje, a la vez que integra escenarios del mundo natural, incluyendo parques, árboles y la vida silvestre que estos sustentan. A la luz de la perspectiva del PEI como mecanismo y medidor de los procesos sociales que permiten la planificación y gestión de todos los miembros de la comunidad educativa, es crucial que exista un currículo flexible que responda a los intereses tanto dentro como fuera del trabajo formativo interdisciplinario.

El enfoque ambiental que orienta los procesos educativos hacia la formación de estudiantes con conciencia crítica frente a la problemática ambiental a través de adecuaciones curriculares en ambientes reflexivos y creativos desde un enfoque integral que incorpora a todos los miembros de la comunidad educativa, otro aspecto de los enfoques pedagógicos del siglo XXI es que se enfatiza en toda la organización educativa con herramientas de gestión que orientan la labor educativa desde el PEI como base para la implementación de un modelo de gestión escolar con necesidades en cuanto a la atención escolar de acuerdo con las necesidades institucionales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y los organismos multilaterales interesados en el mejoramiento de la calidad de la educación pretenden asumir la acción de las instituciones educativas en la atención de los niños, niñas, jóvenes y adolescentes. El Estado colombiano, analizado por Micke A. (2021), evidencia la necesidad de dar lugar a estrategias bajo este marco incorporando un auge educativo y la construcción de documentos que avalen el proyecto ambiental. Por lo tanto, es fundamental que la investigación educativa se concentre en iniciativas que apoyen el desarrollo de procedimientos académicos para cumplir con los estándares de calidad del Proyecto Educativo Institucional (PEI) y avanzar en el mejoramiento de las condiciones de vida, las oportunidades educativas y los entornos en beneficio del medio ambiente desde una perspectiva ambiental.

Las variables a nivel pedagógico asumidas implicaron un proceso de investigación orientado a la reconfiguración del modelo pedagógico previo y el Proyecto Educativo Institucional (PEI) en general, para dar respuesta también a las variables del contexto desde una perspectiva ambiental. La legislación desde la ley 115 de 1994, la cual exige que la construcción del PEI obedezca a un proceso profundamente participativo, recogiendo los diferentes puntos de vista de los autores y priorizando los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas para cumplir las exigencias basadas en el cuidado del medio ambiente. (William, 2021)

Con énfasis en la educación ambiental, el PEI es reconocido, como lo menciona González (2020), como una estrategia de búsqueda de la academia, concebida como complemento y no en jerarquías, transversalizada y articulada con el hecho educativo y la responsabilidad social ambiental. Es un componente indiscutible en el proceso educativo, proporcionando las herramientas y métodos necesarios para el cumplimiento de los fines y objetivos que se concretan en una tarea pedagógico-formativa. Esta tarea debe satisfacer las necesidades y ambiciones de los participantes, así como de la comunidad educativa en general. En su diseño hay que tener en cuenta muchos factores y utilizar numerosas líneas de razonamiento, incluyendo la implicación de la comunidad, la visión de la región y del entorno, el reconocimiento del territorio (cartografía social y mapeo colectivo) y sus habitantes.

Interrogarse frente a la importancia de construir una sociedad educada sobre las bases ambientales da lugar a el manejo adecuado de los recursos ambientales, fomentando la reflexión que realizan profesores y estudiantes desde un enfoque CTSA que recalque la educación ambiental en campos distintos como el científico, el político, el económico, el

filosófico y el escolar. Asumir la sustentabilidad como parte del discurso ambiental con visiones desarrollistas respalda la globalización económica que permite dar valores de equidad y justicia social como principio para relacionar la educación y el ambiente construyendo un discurso sobre las problemáticas ambientales vinculado a los retos y oportunidades de la educación ambiental en el siglo XXI. (López Y. A., 2014)

Para fomentar la conciencia ambiental, el PEI debe considerar el potencial y los problemas relacionados con el medio ambiente en relación con su entorno social. (Ore, 2014) Esto significa que se debe tener en cuenta un proceso multifacético a la hora de incorporar el enfoque ambiental, ya que permite formular la identidad institucional (visión, misión y valores), así como las propuestas pedagógicas y de gestión resultantes de la incorporación del cuidado. Proliferando la nueva revolución al sistema educativo y construyendo ambientes de aprendizaje que conlleven un aprendizaje significativo para nuestro entorno, ambiente y bienestar.

El enfoque de educación ambiental visto desde la transversalidad del PEI impulsa la búsqueda y construcción de estrategias concretas que permitan cumplir los objetivos planteados, así, de esta manera se propone la incorporación de la biorremediación como alternativa pedagógica, tomando de referente el estudio realizado por Inza (2017), cuyo objetivo fue evaluar la eficacia de adsorción con cáscara de naranja “citrus Sinesis” como biadsorbente para remover anilina de efluentes industriales. A través del uso de jarras el estudio demostró una eficacia del 62,6% en la reducción de color, con un tiempo de contacto de 120 min y un pH cercano a 7,7. Este trabajo es relevante para la presente investigación porque demuestra la viabilidad del uso de residuos agroindustriales como biadsorbentes en procesos de descontaminación de aguas, lo que sustenta el empleo de cáscara como alternativa. Además, al usar un diseño experimental accesible (ensayo de jarras), ofrece una base metodológica que puede ser adaptada al contexto educativo, promoviendo el aprendizaje entorno a problemáticas ambientales reales.

Siguiendo la línea de biorremediación con la cáscara de naranja, el estudio realizado por Monroy (2020), en la Universidad Pedagógica Nacional, demuestra que entre las variedades de naranja Tangelo, Sweet navel y Valencia, la que mejor viabilidad y rendimiento tiene como bioadsorbente de Cr (VI) en el proceso curtiembre es la cáscara de naranja Valencia con un porcentaje de remoción del 100%.

El procedimiento empleado para la adsorción de Cr (VI) fue como primer instancia asegurar la variedad de la naranja, para esto fueron encargadas por medio de “Furbana” con el fin de tener el certificado de la variedad de la naranja, como paso siguiente fue tomada la cáscara, cortada en trozos pequeños y puesta a secar en un promedio de 30 días para molerla y aumentar la superficie de contacto, una vez completado el proceso de molienda, se preparan la solución madre (500mL) a 1000ppm en el laboratorio con Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) para luego formar diluciones de 0,2 ppm, 0,5 ppm, 1ppm, 1,5 ppm, 2ppm y el blanco para hacer la curva de calibración. Posteriormente se optimiza el pH con Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 1N para alcanzar un punto de pH 1 en la solución.

Estos resultados pueden explicarse considerando que la adsorción sea efectiva es importante tener en cuenta que las paredes celulares de los materiales adsorbentes poseen polisacáridos, proteínas y lípidos que ayudan a enlazar metales pesados gracias a los numerosos grupos funcionales presentes en la cáscara, como los grupos amino, carboxílico, hidroxilo, fosfato y tiol, en este caso siendo los más favorecedores a la retención de Cr (VI) los grupos hidroxilo y carboxilo.

Este antecedente aporta de manera significativa a la presente investigación, ya que integra el enfoque de biorremediación con un componente pedagógico orientado a la enseñanza de buenas prácticas de laboratorio dentro de un marco CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente). Su aplicación con estudiantes de educación superior refuerza la pertinencia de usar estrategias experimentales con residuos orgánicos para alfabetizar científicamente a los estudiantes, línea que se retoma y adapta en esta propuesta mediante el uso de cáscara de aguacate como bioadsorbente de amoxicilina.

## **6. Marco Teórico**

### **6.1 Referentes Didácticos**

#### **6.1.1 Proyecto Educativo Institucional**

El Plan Estratégico Institucional (PEI) abarca una construcción colectiva establecida en base al Plan Nacional de Desarrollo “Colombia, potencia mundial de vida” Donde su misión plantea liderar la formulación, implementación y evaluación de las políticas públicas educativas que garanticen la disminución de brechas y se brinde educación de calidad donde las trayectorias educativas impulsen el desarrollo integral de los individuos y la sociedad. El propósito fundamental de incorporar el PEI en los sistemas educativos se fundamenta en educar para transformar y dignificar la vida bajo principios éticos donde se garantice la educación inclusiva asumiendo como un derecho fundamental. Así mismo, se da lugar a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como conjuntos de acuerdos a nivel mundial para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar la vida de manera sostenible dentro de los cuales se abarca el campo educativo como uno de los principales pioneros para garantizar el desarrollo sostenible donde se pretende asegurar que todos los niños y niñas completen su educación primaria y secundaria gratuita para el 2030. (Minambiente, 2018)

De igual manera, la Escuela Padre Carlos (2024), consolida que el Proyecto Educativo Institucional es el instrumento que explica determinadamente las definiciones fundamentales de la organización escolar que sirven para la orientación y como principio articulador de la gestión institucional, para dar paso al buen mecanismo de toma de decisiones que se deben tomar articuladas a generaciones futuras en prospecto educativo funcional. Así mismo, el PEI se consolida con principios filosóficos, políticos y técnicos que tienen como finalidad el mejoramiento progresivo de los procesos de enseñanza-aprendizaje que prevalecen con el desarrollo integral de los estudiantes. Así mismo, la institución adquiere habilidades cognitivas, afectivas y físicas sustentadas en el valor humano de toda la comunidad desde la construcción de una calidad de vida adecuada para cada factor y contexto de la institución que se rige en el marco del proyecto.

En vista de otras instituciones que se construyen bajo un estándar de calidad el Instituto San Lorenzo (2022), considera este instrumento como aquel que reúne un marco filosófico, curricular, normativo y organizativo que se dispone a la comunidad escolar para que identifiquen el valor a sus estudiantes, así mismo, se caracteriza por ser una institución

educativa eficaz y dispuesta a la mejora por su esfuerzo para brindar educación de calidad que reconoce la importancia de la inteligencia emocional, el apoyo de la familia, el poder del dialogo y avala sus estrategias en el dialogo. En su formación ciudadana su sello permanente se fortalece por la formación integral, en competencias que promueven el crecimiento personal donde se reconoce la capacidad de autosuperación y como el estudiante es apto para aportar a la sociedad en trabajo, producción y oferta laboral asociado al nivel profesional. No obstante, plantea un diseño y desarrollo de proyectos innovadores que marcan la diferencia desde la atención a la diversidad en aspectos intelectuales, físicos, emocionales y espirituales.

La propuesta del proyecto transversal en un enfoque de educación ambiental asociado al PEI de la UPN aplicado al espacio académico “Química Verde” es apoyado por Escobedo & Cordero (2023), por la propuesta del proyecto transversal e interdisciplinario en el abordaje de la temática “Calentamiento Global”, las autoras exponen el diseño de proyectos que permitan el aprendizaje significativo como un proceso alineado con lograr la metacognición. La transversalidad permite un eje en común entre varias disciplinas a partir de una temática en común al cual converge, también se involucra cuando se percibe una concepción de la realidad y los problemas a través del conocimiento aplicado al contexto.

### **6.1.2 Enfoque ambiental**

Según El Ministerio de Educación Nacional (2019) cada proyecto educativo ambiental integrado (PEAI), posibilitan estrategias para aplicar el enfoque ambiental. su objetivo es involucrar a la comunidad académica para crear instituciones sostenibles y saludables. Su fundamento es la enseñanza activa, que contextualiza su aprendizaje y fomenta los proyectos grupales, la investigación constante y la creatividad. El PEAI es una respuesta a la mentalidad GLOBAL que propone “pienso global, actúo local”, abogando por aprender de y para la vida misma. De este modo, los estudiantes son los propios responsables de sus aprendizajes y de las mejoras en la recuperación y el cuidado del medio ambiente que se derivan de ella.

González (1996) establece que, para abordar las cuestiones medioambientales, es preciso implicar a la sociedad. Para ello, es vital combinar la capacidad y voluntad colectivas a fin de crear un ambiente propicio para el discurso transdisciplinario. De forma similar, la educación ambiental considera a los seres humanos como componentes esenciales de los ecosistemas, vistos desde un punto de vista ecológico. En esta línea, se sostiene la idea de que el medio ambiente debe ser el eje central en torno al cual se estructura e integra de forma significativa el aprendizaje.

El enfoque ambiental se indaga por la preocupación que genera en países desarrollados por las crisis económicas que datan en pobreza extrema, así mismo, se evidencia en un país como Colombia, Jara (2022) rectifica que los países en desarrollo hacen parte de reuniones a nivel

mundial con el propósito de tomar acuerdos para disminuir los efectos negativos que trae consigo las actividades humanas en el medio ambiente, el trabajo de investigación realizado se aplicó a una institución educativa que determina el enfoque ambiental con la conciencia ambiental. Lo que define que la relación con la conciencia ambiental es directamente proporcional con la calidad de educación que se brinda en este enfoque, así mismo, solventa la estrategia de las 5 erres que se enfocan en reducir, reutilizar, reciclar, reparar y recuperar avala el logro de la dimensión cognitiva a una educación de calidad enfocada a la preservación ambiental.

La sensibilización ambiental vista como una apuesta pedagógica planteada por Ruiz & otros (2024), expuesta desde la degradación ambiental para fomentar la conciencia ecológica desde edades tempranas en un programa que sensibilice la conciencia ambiental por medio de una investigación cuantitativa incorporado a una metodología hipotético-deductiva donde investiga las dimensiones cognitiva, afectiva, conactiva y activa que conlleva a la determinación de que el 80,6% de los estudiantes alcanzan niveles destacados de conciencia enfocada al medio ambiente. Se concluye que la estrategia mejora significativamente en todas las dimensiones y se recomienda mejorar los programas que apoyen el campo.

### **6.1.3 Plan curricular**

Según López (2001) el currículo en el siglo XXI debe concebirse como un proceso investigativo centrado en el aprendizaje y con una visión integrada, holística e interdisciplinaria entre el macroentorno, las necesidades, el objeto de formación y los propósitos de formación. Esto se puede obtener a través de la jerarquización y conexión de los contenidos de aprendizaje en núcleos temáticos, bloques problemáticos, líneas y proyectos de investigación. (Iafrancesco, 2004) afirma que el proceso de desarrollo de un currículo comienza con un diagnóstico situacional, seguido por un examen del propósito, visión y valores de la institución y el desarrollo de metas a largo plazo conocidas como objetivos educativos. Estos últimos pueden utilizarse para desarrollar métodos, elegir u organizar oportunidades de aprendizaje y evaluar los resultados del currículo.

Proyectar la investigación a una planificación curricular que se acople al campo universitario tal como lo expone Huaman, Loaiza & otros (2021), plantea la importancia de que aporte a un impacto social donde el egresado evidencie su formación integral del futuro profesional en educación, para que sea apto para apropiarse a los cambios del contexto en los avances del mundo y propicie el planteamiento de nuevas tendencias y estrategias didácticas. En este orden de ideas, los autores acuden a la influencia del plan curricular en la enseñanza universitaria por su desempeño profesional en el campo de la educación, debido a que este

engloba los propósitos, procesos y objetivos compartidos por una sociedad que trasciende en conocimientos y en la planificación curricular que adquiere un eje transversal en la resolución de problemas desde el actuar educativo y ejecución con eficiencia.

#### **6.1.4 Proyectos transversales**

Castañeda (2004) reconoce la transversalidad curricular como el conjunto de rasgos que identifican un modelo curricular cuyos contenidos y objetivos de aprendizaje trascienden los espacios disciplinares y temáticos convencionales. Este modelo crea nuevos espacios que, en ocasiones, atraviesan el currículo en distintas direcciones, en otros casos, actúan como ejes en torno a los cuales giran otros aprendizajes, o bien, de forma sutil y más allá de los límites disciplinares, impregnan el currículo de valores y actitudes que abarcan el núcleo de la formación personal social e individual.

La educación en pleno siglo XXI avala el desarrollo de personas integras, críticas y activas en la sociedad, García Gómez & otros (2022) evidencian la necesidad del cambio y la fortaleza que proporcionan las estrategias pedagógicas en la enseñanza-aprendizaje que propician los conocimientos desde el desarrollo de habilidades transversales, aplicados a un modelo para la educación 4.0 en concordancia a las habilidades y actitudes de cada persona para aprovechar y utilizar las oportunidades que se presenten, lo cual favorece la adaptación al cambio. Así mismo, considera el rol del docente para el desarrollo apropiado de los proyectos transversales, donde este es el encargado de trascender y brindar las herramientas pertinentes para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

### **6.2 Referentes Disciplinarios**

#### **6.2.1 Contaminantes Orgánicos Emergentes**

Los Contaminantes Orgánicos Emergentes (COEs) Se definen como grupos de sustancias de origen natural o sintético que forman parte de nuevos compuestos que aún no han sido regulados y por ende no necesitan de un monitoreo o informes sanitarios que resalten su presencia en las aguas residuales o potables, causando que se encuentren en bajas concentraciones en el medio ambiente (Nascimento, Trindade, & Lisandro, 2015). Entre estos contaminantes se incluyen fármacos, productos de cuidado personal, hormonas, pesticidas, retardantes de llama, entre otros.

El elevado consumo de diversos fármacos asociado a la incompleta absorción por el cuerpo humano evidencia persistencia en el medio ambiente debido a que prevalecen una clase de micro contaminantes, especialmente en los recursos hídricos. La acción producida por la

acción de los fármacos administrados en humanos y animales está dividida en; primera fase (farmacéutico), desintegración de la forma farmacéutica seguida de la disolución del principio activo, la segunda fase (farmacocinética) cubre los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción dada en la asimilación y el tiempo en el que las moléculas del fármaco pertenecen en su sitio de acción. Finalmente, la tercera fase (farmacodinámica) en la que la interacción del fármaco con su receptor produce el efecto terapéutico. Sin embargo, la contaminación al medio ambiente por estos productos farmacéuticos son los metabolitos que proviene de las fuentes antropogénicas cuyos principales receptores son el suelo y aguas superficiales o subterráneas. (Bisognin, 2017)

A esto se suma el creciente hallazgo de efectos ecotoxicológicos a niveles traza, los cuales pueden afectar procesos biológicos esenciales en organismos acuáticos, como la reproducción, el crecimiento y el comportamiento Kümmerer et al., (2018). Algunos antibióticos, incluso en concentraciones subletales, promueven la resistencia bacteriana, lo que representa una amenaza directa para la salud pública. Además, hormonas sintéticas como el etinilestradiol han demostrado causar feminización de peces en cuerpos de agua contaminados.

En consecuencia, el uso masivo de medicamentos desde diversos sectores ha desencadenado una crisis ambiental, agravada por la baja capacidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para eliminar por completo estos compuestos. A pesar de ello, en años recientes ha aumentado el conocimiento sobre los efectos ecotoxicológicos de los COEs en el ambiente y en la salud humana.

### 6.2.2 Amoxicilina

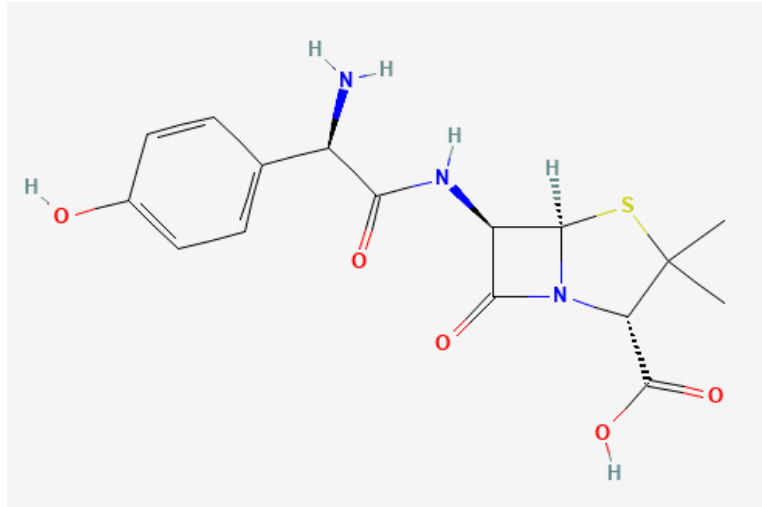
Entre los contaminantes farmacéuticos que actualmente generan preocupación ambiental se encuentra la amoxicilina. Esta es un antibiótico perteneciente al grupo de las penicilinas, cuyo sustituyente ubicado en la posición 6 del anillo penamínico es un grupo 2-amino-2-(4-hidroxifenil)acetamido (ver figura 2), confiriéndole su acción terapéutica. Fue aprobada en 1974 por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para el tratamiento de diversas infecciones bacterianas, como neumonía, infecciones de oído, nariz y garganta, entre otras (PubChem 2005).

Con una fórmula molecular de  $C_{16}H_{19}N_3O_5S$  y un punto de fusión de  $194^{\circ}C$ , presenta una solubilidad de  $10,7 \mu g/mL$  a un pH 7,4 lo que facilita su disolución en medios acuosos y su presencia en aguas residuales tras su excreción por el organismo.

Desde el punto de vista farmacológico, los antibióticos betalactámicos como la amoxicilina actúan uniéndose a las proteínas de unión a penicilina, inhibiendo el proceso de transpenetración, esencial para el entrecruzamiento de los peptidoglicanos durante la síntesis de la pared celular bacteriana. Esta inhibición activa enzimas autolíticas que degradan la pare

celular, conduciendo a la lisis y muerte de la célula bacteriana. (Akhavan, kanna, & vijhani, 2020)

*Figura 1. Estructura de la amoxicilina*



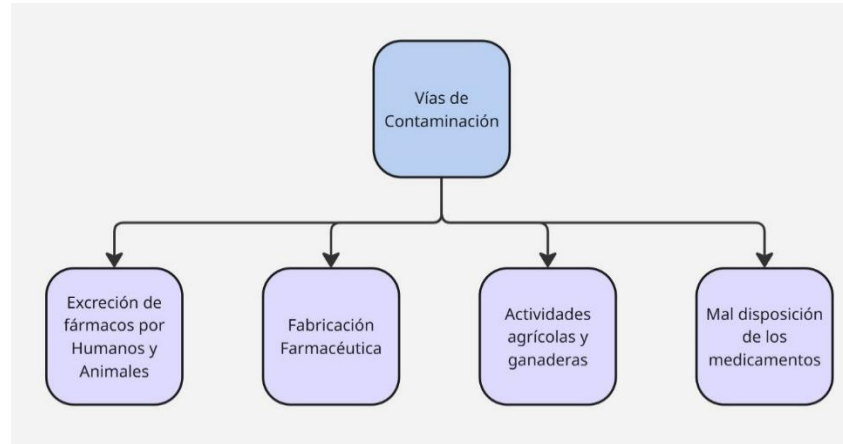
*Fuente: tomado de la base de datos PubChem (2005)*

### **6.2.3 Vías de contaminación**

Los productos farmacéuticos ingresan al medio ambiente a través de diversas vías (ver figura 3). Una de las principales es la excreción de fármacos y sus metabolitos por humanos y animales, llegando a las aguas residuales. Otra vía importante es la eliminación inadecuada de medicamentos ya sea vencidos o no utilizados, los cuales son desechados en la basura doméstica o son vertidos por el desagüe, conduciendo su presencia en los cuerpos de agua y en los suelos. Además, las descargas de agua residual provenientes de instalaciones de

fabricación farmacéutica, hospitales y actividades agrícolas también contribuyen a esta contaminación. (Vicentin, Ferreirós, & Magnatti, 2021)

Figura 2. Vías de contaminación



Fuente: Elaboración propia

El uso del medicamento se da por los excipientes agregados para que el principio activo del fármaco haga efecto Martínez, Soto & Lahora (2020) exponen de manera concreta como los antibióticos son contaminantes emergentes y presentan un riesgo ecotoxicológico por lo que se sugiere un control en aguas residuales, debido a que se encuentran en el recurso en diferentes concentraciones y se pretende obtener mayor conocimiento sobre la cantidad de agentes microbianos y las posibles consecuencias asociadas. Los estudios realizados evidencian prevalencia en la concentración de diferentes antibióticos presentes en peces, Daphnias y en las algas con efecto de los efluentes, así mismo, el riesgo es moderado para los organismos mencionados y se recomienda mayor esfuerzo para atajar esta contaminación.

#### 6.2.4 Aguas Residuales en Colombia

En relación con la gestión del recurso hídrico, un estudio realizado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2001) define el consumo básico como el nivel de consumo que es imprescindible para que una familia satisfaga sus necesidades esenciales, el nivel de consumo básico debe ser entonces uno tal que se mantenga sin importar que tanto fluctúen los precios. En Colombia, el uso doméstico establecido por cada vivienda al mes varía en función de las condiciones ambientales, con un promedio de 10,60 m<sup>3</sup> (climas fríos) y un aproximado de 15,44 m<sup>3</sup> (climas cálidos) por mes. (Santana, Bonilla, & Sotomayor, 2015)

De igual forma, es importante resaltar que el consumo de agua en las industrias agrícolas, de energía, minería, ganadería, industria y construcción es alrededor de 2,730.000.000.000 m<sup>3</sup> (2,73x10<sup>10</sup>), generando contaminación de las fuentes hídricas por las descargas tanto domésticas como industriales y hospitalarias ya que dependiendo del origen las aguas residuales pueden contener cualquier tipo de contaminantes, como los contaminantes orgánicos que incrementan la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) provocando la disminución de oxígeno en el agua (Cisneros, Cardenas, Bulero, & Aleman, 2016)

Cabe destacar que las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) en Colombia, como la del Salitre en Bogotá y la de Cañaveralejo en Cali, emplean sustancias químicas como cloruro férrico y polielectrolito aniónico en los sedimentadores, para facilitar la coagulación/floculación de los sólidos, obteniendo la depuración de carga orgánica en promedio del 51% de DBO. (Acueducto, 2018)

### **6.2.5 Biorremediación**

Frente a este panorama, la biorremediación surge como una alternativa prometedora. Esta técnica fundamentada en la implementación de organismos vivos destinados a la mineralización de contaminantes, logrando la disminución o atenuación del contaminante a un producto menos abrasivo o contaminante. La biorremediación puede ser realizada por bacterias, hongos o plantas. (Martins, y otros, 2014)

En efecto, la biorremediación se basa en el proceso y la capacidad metabólica de los microorganismos, hongos o plantas para transformar o mineralizar los contaminantes en sustancias menos nocivas que luego se integran en ciclos biogeoquímicos (compuestos químicos de origen biológico). Este proceso es aplicado tanto en el tratamiento de suelos como en aguas contaminadas, por lo que, en la actualidad, se postula como uno de los procesos más importantes en la eliminación de contaminantes del medio ambiente. (Rodríguez, 2017)

Además del uso de organismos vivos, se han desarrollado técnicas como la adsorción con sustratos arcillosos (bentonita, montmorillonita, caolinita y zeolitas), que actúan como matrices cristalinas capaces de retener contaminantes en sus estructuras. Estas arcillas, por su alta superficie y capacidad de intercambio catiónico, son eficaces en la remoción de metales pesados, colorantes y antibióticos. Al modificarse con compuestos orgánicos, pueden integrarse a sistemas de bioadsorción, mejorando su eficiencia. Un estudio de la Universidad Distrital por Carbonel (2018) evidenció que la forma modificada de estos materiales mejora significativamente su capacidad adsorbente, siendo factores clave el pH, la concentración inicial del contaminante y el tiempo de contacto. En conjunto con la biorremediación, representan una estrategia efectiva para el tratamiento de aguas contaminadas.

### 6.2.6 Aguacate Hass “Persea americana Hass”

En línea con el enfoque de aprovechamiento de residuos naturales, se destaca el aguacate “Persea americana” es originario del centro y oriente de México y se exporta al Perú, Colombia, Venezuela y Ecuador. La primera evidencia conocida de su existencia se descubrió en una cueva de Coxcatlán, Puebla, y data de 10.000 años a.C. Los españoles llevaron aguacates a Europa y otras colonias americanas durante su época colonial. Los cultivadores empezaron a plantar aguacates Hass en las décadas de 1950, 1960 y 1970. Los primeros viveros comerciales de la variedad Hass abrieron sus puertas en 1963, produciendo un alto rendimiento de dieciocho a veinte mil plantas al año utilizando hierbas certificadas de Santa Paula, California, EE. UU. (Colín, Pedro, & Alejandro, 2001)

Con 1.148.517 toneladas de aguacates recolectadas en 124.823 hectáreas en 1997, México es el mayor productor y consumidor de aguacates del mundo. (Colín, Pedro, & Alejandro, 2001)

Con el 13% de la superficie cultivada del mundo, Colombia sólo es superada por México. Por su clima, tierras y recursos hídricos, los departamentos de Antioquia, Tolima y Caldas son donde más cultivos se realizan en Colombia. Gómez (2021) relaciona la producción en el oriente antioqueño las circunstancias son favorables para la cosecha casi todos los meses del año, la producción de aguacate Hass es la principal actividad agrícola de la región

*características botánicas del fruto:*

Nombre científico: Persea americana

Nombre común: Aguacate Hass, Palta Hass.

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Dialipétala

Género: Persea

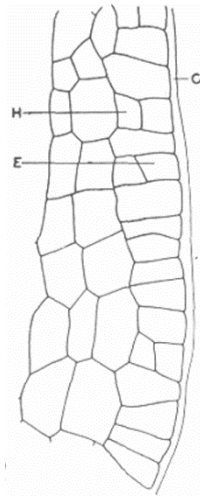
Especie: americana

### 6.2.7 Anatomía de la cáscara

El fruto es una baya de un carpelo, lo que quiere decir que es un fruto carnoso que contiene una sola semilla. El pericarpio consta de tres partes: el exocarpio, que se entiende como la piel o corteza; el mesocarpio, que es la parte carnuda y comestible del fruto y por último el endocarpio que rodea la semilla y es la parte interna del pericarpio.

Los tejidos de los que se compone el exocarpio son epidérmicos, parénquima y esclerénquima, que se eliminan al pelar la fruta. Debajo de una cutícula delgada sobre la superficie del fruto se encuentra un epitelio de una capa y una hipodermis de una a tres capas de células en forma de ladrillo. Contiene células como cloroplasto, almidón, aceite y tanino.

*Figura 3. Sección trasversal del exocarpio del aguacate*



*Fuente: tomado de Cummings & Schroeder (1942)*

Borja y Goetschel (2022) realizaron una comparación de las variedades de aguacate Hass y fuerte, donde se estudió la semilla y la cáscara mostrando el contenido de fibra, metabolitos secundarios, flavonoides y fenoles. Demostrando que tanto la cáscara como la semilla pueden ser utilizados como fuente de fibra y compuestos bioactivos como se observa en la tabla número 1.

Además, la cáscara contiene metabolitos secundarios como polifenoles, flavonoides, taninos y aceites esenciales, los cuales le confieren propiedades antioxidantes.

*Tabla 1. Composición cáscara y semilla de aguacate.*

Parte	Variedad	Humedad	Cenizas	Proteína	Fibra	Grasa	Carbohidratos
semilla	Hass	12,24	3,65	4,43	8,5	2,21	68,97
	Fuerte	11,97	3,25	3,34	9,08	1,85	70,51
cáscara	Hass	9,46	7,34	8,19	51,45	15,01	60,00
	fuerte	9,1	8,38	7,14	43,18	22,45	52,93

*tomado de Borja y Goetschel (2022)*

### **6.2.8 Bioadsorción**

En este sentido, la técnica de bioadsorción representa una alternativa eficiente para la eliminación de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, solubles o insolubles. Es una técnica utilizada para adsorber o eliminar contaminantes del agua residuales, usando como sorbente diversos materiales de origen biológico (vivo o muerto), entre ellos se encuentran las algas, hongos, bacterias, cáscaras de frutas, productos agrícolas y algunos biopolímeros.

En el proceso de bioadsorción intervienen una fase sólida, la biomasa, y una fase líquida, el agua, que transporta la sustancia que se desea adsorber (en este ejemplo, el contaminante orgánico en desarrollo). Dado que la contaminación debe ser atraída y retenida por el sólido, es necesario que exista una afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante para que este proceso tenga éxito. (Tejada & Ortiz, 2015)

### **6.2.9 Cromatografía líquida de Alta Resolución**

En sincronía con los anteriores referentes teóricos disciplinares, donde se abordaron los conceptos claves en el proceso de biorremediación del contaminante, resulta indispensable utilizar una técnica de cuantificación. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica utilizada para la separación, cuantificación e identificación de los componentes de una mezcla líquida, incluso a muy bajas concentraciones. El método se basa en la interacción de las moléculas del analito con una fase estacionaria y una fase móvil que circula a alta presión (inmiscibles entre sí). Permitiendo que los componentes de la muestra se separen debido a sus diferentes velocidades de desplazamiento a través de la columna. (Sneyder, Kirkland, & Dolan, 2010)

Según Ospina (2018) la separación de los componentes de una mezcla en técnicas HPLC se debe a las distintas interacciones tanto químicas como físicas que se generan entre el analito y las fases involucradas. Los compuestos que tienen mayor afinidad avanzan más rápido, esta diferencia en las velocidades de desplazamiento permite lograr una separación eficiente de los componentes presentes en el analito.

### **6.2.10 Espectroscopia Infrarroja**

La espectroscopía infrarroja (IR) es una técnica analítica ampliamente utilizada para la identificación cualitativa de compuestos orgánicos e inorgánicos mediante la interacción de la radiación infrarroja con la materia. Esta técnica se basa en la absorción de radiación infrarroja por los enlaces moleculares, lo que genera vibraciones características que permiten inferir la presencia de grupos funcionales específicos en una muestra (Serrano, 2018).

Cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, ocurre una excitación vibracional que depende de la masa de los átomos involucrados y de la rigidez del enlace. Cada tipo de enlace presenta una frecuencia de vibración particular, lo que hace posible la creación de un “espectro” que funciona como una huella dactilar molecular. Por esta razón, la espectroscopía IR es especialmente útil para confirmar la estructura química de compuestos conocidos y para identificar compuestos desconocidos (Serrano, 2018).

En la región del infrarrojo medio (aproximadamente de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ ), se observan las bandas más informativas. Por ejemplo, las bandas entre 3200 y 3600  $\text{cm}^{-1}$  suelen estar asociadas a vibraciones de elongación de grupos hidroxilo ( $-\text{OH}$ ), mientras que las bandas cercanas a 1700  $\text{cm}^{-1}$  corresponden generalmente a carbonilos ( $\text{C}=\text{O}$ ) Smith (2011). Esta característica ha permitido su aplicación en la caracterización de materiales como polímeros, celulosas, adsorbentes, y compuestos farmacéuticos.

## **7. Metodología**

Para el presente proyecto de investigación se plantean los diferentes procedimientos y estrategias didácticas con los que se desarrolla la investigación, con el fin de lograr el alcance y cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, se utiliza un tipo de estudio donde se mezcla o relaciona técnicas de investigación, con métodos y lenguajes cualitativos descriptivos. Fundamentándose en un paradigma interpretativo centrado en la acción y los resultados concretos en búsqueda del conocimiento para la resolución de problemáticas ambientales que se fundamenta en enfatizar un proceso de comprensión según lo consolidados de la investigación. Este tipo de metodología es aquella alternativa que permite la construcción del conocimiento sobre conceptos que avalan la simplificación de la complejidad por la relación que se construye en una coherencia interna de la investigación.

### **7.1 Tipo de investigación**

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la presente investigación se opta por un enfoque cualitativo descriptivo, por el cual será posible una recolección de datos tanto cualitativos como cuantitativos por medio de técnicas empleadas del análisis de laboratorios utilizando técnicas volumétricas, gravimétricas, analíticas, obtiene resultados y permite hacer comparaciones. permitiendo un mayor análisis y profundización de los resultados obtenidos.

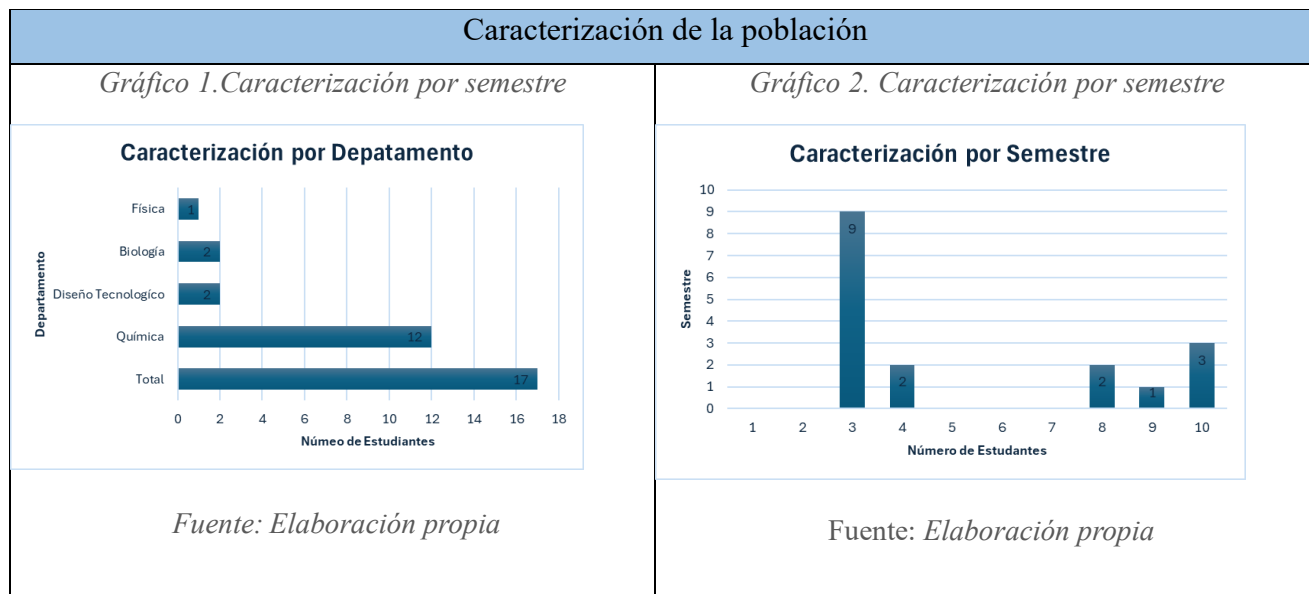
Además de ser impulsada por la curiosidad y la necesidad, la investigación en educación también tiene como objetivo enriquecer nuestra comprensión de los fenómenos educativos, ampliar nuestro conocimiento y alterar nuestro mundo mediante la búsqueda constante del desarrollo y la comprensión humana (Pereira, 2011)

### **7.2 Población**

La población de la presente investigación corresponde a estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia que están habilitados para inscribir o registrar el espacio académico “Química verde”, electiva ofertada desde el departamento de Química.

La muestra poblacional corresponde a los 17 estudiantes registrados en el espacio académico “Química verde” durante el primer semestre del año 2025, quienes están inscritos a diferentes licenciaturas de la Facultad de Ciencia y Tecnología (Biología, Diseño Tecnológico, física y Química). Además, cursan distintos semestres, (de segundo a décimo) como se muestra en la caracterización plasmada en la tabla 2 perteneciente a un área integrada denominada Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Tabla 2. Caracterización de la población



*Fuente: Elaboración propia*

### 7.3 Instrumentos

Los cuestionarios y rúbricas de evaluación se seleccionan como instrumentos y herramientas para describir y evaluar la incidencia de la integración de la educación ambiental en el marco de la biorremediación teniendo en cuenta del principio de la sustentabilidad ambiental planteo desde el PEI de la Universidad. Los cuestionarios están diseñados con preguntas cerradas con única respuesta, escalas de Likert y preguntas dicotómicas que permiten avalar la correlación entre el termino COE, biorremediación y educación ambiental.

La aplicación de los cuestionarios en un primer momento (entrada) da un panorama sobre los conceptos previos manejados por la población y así mismo, permite que los estudiantes construyan una idea sobre lo que será abordado en la implementación. El segundo momento, al finalizar la aplicación de la estrategia (salida), tiene como finalidad comparar los resultados antes y después para reconocer la incidencia del proyecto de investigación como estímulo para integrar la educación ambiental en el marco del PEI de la Universidad Pedagógica Nacional.

### **7.3.1 Validación del instrumento**

En la construcción y validación del instrumento se realizaron 20 preguntas cerradas combinando los diferentes tipos de formulación de preguntas, lo cual da lugar a evaluar la viabilidad de integrar los procesos de biorremediación de contaminantes emergentes como estrategia didáctica para la enseñanza de la educación ambiental. La rúbrica desarrollada para la validación de los instrumentos por parte de dos profesionales que se emplean como licenciados en química en diferentes ubicaciones de la ciudad, categoriza cinco criterios donde se valora con uno, en caso de no ser factible y 4 en consideración a una alta viabilidad. Así mismo, se da lugar a las observaciones de manera descriptiva con el objetivo de que se cumpla con el fundamento de la investigación, a continuación, se mencionan los criterios empleados:

- Claridad de las preguntas.
- Relevancia de los contenidos.
- Coherencia con los objetivos.
- Adecuación al nivel educativo.
- Variedad de tipos de pregunta.
- Pertinencia para evaluar aprendizajes.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas por los licenciados en la validación del instrumento, se realiza sugerencias frente a la escritura correcta de términos o el manejo de siglas cuando se realiza pertinentemente la descripción. Aunque las correcciones fueron de escritura se hacen las modificaciones y ajustes pertinentes, cabe resaltar, que los docentes que validan el instrumento están sujetos a una valoración cuantitativa donde se considera el cuestionario 95% viable antes de los ajustes planteados.

### **7.3.2 Cuestionario de entrada y salida**

El instrumento construido y sujeto a una validación expuesta con anterioridad es conformado por 20 preguntas cerradas que tienen la finalidad de abarcar el término COE desde el uso incorrecto de fármacos centrado en los antibióticos, una alternativa como la biorremediación con el uso de la celulosa y el enfoque ambiental abarcado desde el PEI de la UPN. A continuación, el instrumento construido se plantea tanto para el inicio de la intervención, como para la finalización debido a que en los resultados se plasma el comparativo. Es importante resaltar que los estudiantes firmaron el consentimiento informado por el cual dan la autorización de publicar las actividades realizadas mediante el trabajo de investigación. A

continuación, se da lugar a una pregunta según el eje temático mencionado que tiene como finalidad reconocer el instrumento.

- Pregunta 3. ¿Qué sucede si los antibióticos no se eliminan correctamente en el medio ambiente?
  - a. Se convierten en nutrientes para las plantas
  - b. No causan ningún daño.
  - c. Pueden contaminar el agua y afectar organismos vivos.
  - d. Aumenta la vulnerabilidad de patógenos.
- Pregunta 9. ¿Qué papel juega la cáscara de aguacate en la biorremediación?
  - a. Sirve como fertilizante en el suelo.
  - b. Actúa como adsorbente natural para eliminar contaminantes.
  - c. Se usa como combustible alternativo.
  - d. No tiene un papel directo en la biorremediación.
- Pregunta 11. ¿Cómo puede la biorremediación contribuir a la recuperación y limpieza de cuerpos de agua contaminados por sustancias nocivas?
  - a. A través de la adición de químicos sintéticos que neutralizan los contaminantes.
  - b. Mediante la filtración mecánica del agua para eliminar partículas contaminantes.
  - c. Utilizando organismos vivos que degradan y transforman los contaminantes en sustancias menos dañinas.
  - d. Por la evaporación controlada del agua contaminada dejando los contaminantes atrás.
- Pregunta 15. ¿Conoce el Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN)?  
SI  
NO
- Pregunta 16. ¿Cuál es el objetivo principal de incluir un proyecto ambiental dentro del PEI de la UPN?
  - a. Promover la formación de ciudadanos conscientes y responsables con el medio ambiente, integrando la dimensión ambiental en el currículo y la gestión escolar.
  - b. Obtener recursos económicos adicionales a través de proyectos externos.
  - c. Cumplir con una normativa legal sin generar cambios significativos en la práctica educativa.
  - d. Mejorar la imagen de la institución educativa ante la comunidad local.

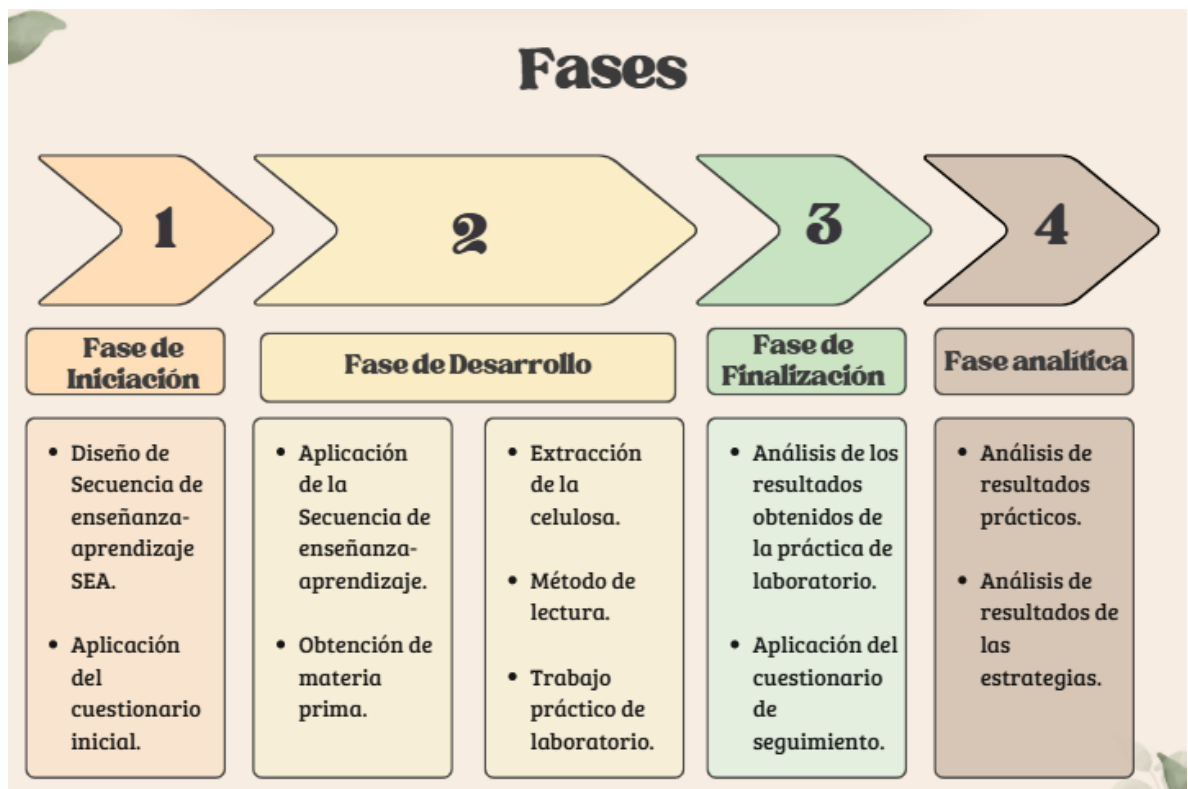
No obstante, el instrumento aplicado de entrada y de salida (anexo 1) para un reconocimiento mayor de las preguntas cerradas planteadas e identificar los ítems correlacionados en cada

pregunta planteada, así mismo, se reiteran las correcciones realizadas para el instrumento e incrementar su índice de viabilidad. 2

### 7.4 Fases y etapas

La investigación se estructura en una serie de fases y etapas que permiten desarrollar el estudio de manera lógica, ordenada y rigurosa en un proceso continuo de decisiones (ver figura 4). Cada fase representa un conjunto de actividades relacionadas que abarcan desde la formulación inicial, hasta la obtención y análisis de los resultados. Comprender estas etapas es esencial para asegurar que la investigación se realice con coherencia metodológica, respondiendo adecuadamente a los objetivos planteados y garantizando la validez y confiabilidad de los resultados.

Figura 4. Fases metodológicas de la investigación.



Fuente: Elaboración propia

❖ **Fase 1.** Fase de iniciación. Asociada a la población donde se realiza la intervención, la cual se ve desarrollada desde la aplicación del instrumento de entrada y la elaboración de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) abarcando actividades de constructo teórico como linealidad a trabajo desarrollado que integren la educación ambiental desde el principio de sustentabilidad propuesto en el PEI. En este sentido, se plantean las siguientes etapas del desarrollo de la secuencia.

- Etapa 1. Instrumento de entrada (anexo 1)
- Etapa 2. Caso clínico.
- Etapa 3. Lluvia de ideas.
- Etapa 4. Práctica de laboratorio.

❖ **Fase 2.** Fase de desarrollo. Da lugar a la aplicación del SEA, que pretende en un principio establecer un panorama de la investigación, para así mismo, explicar el abordaje de la biorremediación desde la cascara de aguacate Hass, lo que permite la construcción y realización de la práctica de laboratorio abordada por los estudiantes del espacio académico Química verde. En un segundo momento, la apropiación de la información planteada para el desarrollo de la obtención de la celulosa, lo que da lugar a relacionar el capo teórico con el práctico.

- Etapa 5. Desarrollo del caso clínico.
- Etapa 6. Construcción de la lluvia de ideas.

Así mismo, antes de aplicar la etapa correspondiente a la práctica de laboratorio se construye el informe por medio de la obtención previa de la celulosa que será el adsorbente clave de esta investigación. Se comprende la etapa inicial de la práctica que describe la obtención de la materia prima con la cual es abordada la investigación realizada, la cual se acopla a las etapas establecidas a continuación que tiene como finalidad la extracción de la celulosa:

- Etapa 7. Recolección y equilibrio de humedad.
- Etapa 8. Extracción de lípidos.
- Etapa 9. Extracción de carbohidratos.
- Etapa 10. Extracción del principio activo (amoxicilina).
- Etapa 11. Ensayo de jarras.
- Etapa 12. Métodos de cuantificación (HPLC).

- ❖ **Fase 3.** Fase de finalización. Se desarrolla en dos etapas, iniciando con la discusión y el análisis de los resultados obtenidos en la práctica de laboratorio y finaliza con la aplicación del instrumento de salida, el cual va a correlacionar la intención del trabajo práctico sujeto al campo teórico y a su vez, que la información recolectada avale mayores competencias cognitivas para la resolución del instrumento de salida.
  - Etapa 13. Entrega del informe de laboratorio.
  - Etapa 14. Instrumento de salida (anexo 1).
  
- ❖ **Fase 4.** Fase analítica. Después de realizar la implementación, se espera significar el proceso de análisis de la información recolectada, por medio de un grado de sistematización que se da desde la reducción de datos, disposición y transformación de datos y obtención de resultados pertinentes adquiridos en la intervención realizada. En este orden de ideas, las etapas a culminar se establecen de la siguiente manera.
  - Etapa 15. Análisis de resultados prácticos.
  - Etapa 16. Análisis de resultados de las estrategias.

#### **7.4.1 Fase de Iniciación**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se optó por estructurar el proceso mediante una secuencia de enseñanza-aprendizaje, (SEA) abarcando así, la fase inicial que se compone de dos etapas, en la primera se establece la construcción de la secuencia de enseñanza-aprendizaje, (Ver anexo 2) con un enfoque colaborativo que promueva el trabajo en equipo, invitando a los estudiantes a construir juntos, lo que implica juntar esfuerzos, talentos y competencias mediante una serie de planeaciones que les permita lograr las metas establecidas. (Maldonado, 2007)

Una secuencia de enseñanza aprendizaje debe organizar las actividades de manera lógica y progresiva, partiendo de los conocimientos previos del alumno y promoviendo su participación en la construcción del nuevo conocimiento. “el aprendizaje escolar requiere ser organizado y conducido de manera intencionada para lograr su optimización, es decir, para hacerlo más rápido, efectivo y significativo” (Barriga & Hernández)

Además, el uso del SEA permite integrar la teoría y práctica de manera coherente, asegurando que cada etapa del aprendizaje (desde la contextualización del problema hasta la aplicación experimental) se construya sobre bases sólidas, respondiendo así a los principios de aprendizaje significativo y al enfoque por competencias.

De esta manera, la secuencia de enseñanza-aprendizaje contribuye no solo a la comprensión de los contenidos involucrados, sino también a al análisis y solución de problemas ambientales como lo plantea el principio de sustentabilidad de la Universidad Pedagógica Nacional.

En esta línea, dentro de la aplicación de SEA y teniendo en cuenta la segunda etapa de la fase, se incorpora la aplicación del primer instrumento, es decir, la prueba de entrada (ver anexo 1) el cual se desarrolla con el fin de conocer las ideas y los conceptos de los estudiantes antes de la aplicación de la secuencia para así obtener un comparativo y poder evaluar la efectividad de la integración de la educación ambiental en el marco de la biorremediación de amoxicilina con aguacate Hass.

#### **7.4.2 Fase de desarrollo**

La etapa de desarrollo, al igual que la fase de iniciación, se divide en dos momentos. El primero consiste en la aplicación de la estrategia (SEA), que tiene como objetivo introducir el concepto de medicamento, fármaco, antibiótico, amoxicilina, los COEs y el proceso de biorremediación, preparando así a los estudiantes para el segundo momento: el diseño experimental. En esta etapa se realizan las prácticas de laboratorio para la extracción de la celulosa de la cáscara y la remoción de amoxicilina a partir de la cáscara del aguacate Hass.

En concordancia con lo anterior, se describen los tiempos y momentos que se tuvieron en cuenta para la implementación del SEA, ya que se desarrolló en un total de 4 sesiones de 2 horas cada una, es decir, 8 horas, abarcando la introducción a los conceptos, el desarrollo de la fase experimental y la socialización de los resultados obtenidos.

- ❖ **Introducción a los medicamentos (estudio de caso):** La sesión en la que se desarrolló la fase inicial del SEA fue asincrónica. A través de la plataforma Teams, se llevó a cabo la primera sesión, en la que se emplearon una serie de preguntas orientadoras para indagar los conocimientos previos sobre los medicamentos, su consumo, las problemáticas ambientales causadas por los fármacos y el proceso de biorremediación. Posteriormente se proyectaron diapositivas e ilustraciones acerca de los medicamentos y los fármacos con un enfoque en sus diferencias y en la comprensión de las familias, haciendo énfasis en los antibióticos y, en particular, en la amoxicilina. Finalmente, se retoman las preguntas iniciales, ahora con un enfoque hacia el análisis de un estudio de caso, en el que los estudiantes debían analizar bajo qué condiciones se consume el medicamento, cual es el tratamiento adecuado y cuál es la forma correcta de desechar el antibiótico, esto con el fin de consolidar la

temática y reflexionar sobre el uso inadecuado que en la cotidianidad se le dan a estos medicamentos.

- ❖ **Introducción al principio de Biorremediación (lluvia de ideas):** Para la segunda sesión el encuentro se realizó presencial, se retomó el término de medicamento, fármaco y las principales características de la amoxicilina, para dar paso al término COEs, por medio de una ponencia y ejemplificaciones de la cotidianidad, se brinda la información relacionada con el término. Se lleva a cabo una actividad denominada “lluvia de ideas”, donde cada estudiante plasma las ideas y las relaciona con la temática de los medicamentos y la amoxicilina, reconociendo la problemática ambiental existente frente a uso inadecuado de los medicamentos. Posteriormente se relaciona el término COEs con la Biorremediación como recurso para mitigar dichas problemáticas, se presenta las características principales de la cascara del aguacate Hass y por medio de ilustraciones se explica el proceso para la obtención de la celulosa partiendo de la cáscara del aguacate Hass, dicho procedimiento será elaborado por los estudiantes en 5 grupos de laboratorio.

Para evaluar se tuvieron en cuenta los cuestionarios aplicados al inicio y al final de la implementación, además de esto, las actividades previamente mencionadas fueron evaluadas mediante rúbricas de evaluación (ver anexos 3 y 4) elaboradas por las investigadoras con la finalidad de evidenciar los procesos críticos y reflexivos que se dan por medio de la implementación de la secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Una vez recolectada la cáscara de aguacate Hass, la cual se obtuvo de un restaurante que utiliza el aguacate Hass para la preparación de guacamole y las cascara terminan siendo un residuo no aprovechable para el restaurante. La obtención de la celulosa se desarrolló en tres etapas: la primera etapa se caracterizó por la extracción de la celulosa, proceso que abarca la eliminación de lípidos y carbohidratos; la segunda etapa consistió en la extracción del fármaco y la aplicación del ensayo de jarras, para finalizar con la tercera y última etapa del diseño experimental, que correspondió a la lectura de los resultados obtenidos.

A continuación, se describen a detalle los procedimientos y fórmulas utilizadas en cada una de las etapas para la obtención de la celulosa.

### ❖ **Etapas 7. Humedad**

En el tratamiento de la cáscara de aguacate Hass para la obtención de la celulosa, una vez recolectada, (de un restaurante de la zona de Bogotá) el primer proceso consistió en la

limpieza y secado de la cáscara al ambiente, para posteriormente culminar la humedad de equilibrio en una estufa.

Para calcular el porcentaje de humedad se hace uso de la ecuación 1:

*Ecuación 1. Porcentaje de humedad*

$$\%humedad = \frac{\text{Muestra húmeda} - \text{Muestra seca}}{\text{Muestra}} \times 100$$

Para determinar la muestra seca se hace uso de la ecuación 2:

*Ecuación 2. Muestra seca*

$$\text{Muestra seca} = (\text{masa de la capsula} + \text{muestra despues del secado}) - (\text{masa de la capsula tarada})$$

### ❖ **Etapa 8. Extracción de Lípidos**

Para el proceso de la extracción de los lípidos se tomaron los 10g de muestra que inicialmente se llevaron a un equilibrio de humedad, para luego realizar el montaje de soxhelt y extraer los lípidos presentes en la cáscara de aguacate (ver diagrama1), para su cuantificación se tiene en cuenta la siguiente ecuación

*Ecuación 3. Porcentaje de lípidos*

$$\%Lípidos = \frac{\text{Masa}_2 - \text{Masa}_1}{\text{Masa}} \times 100$$

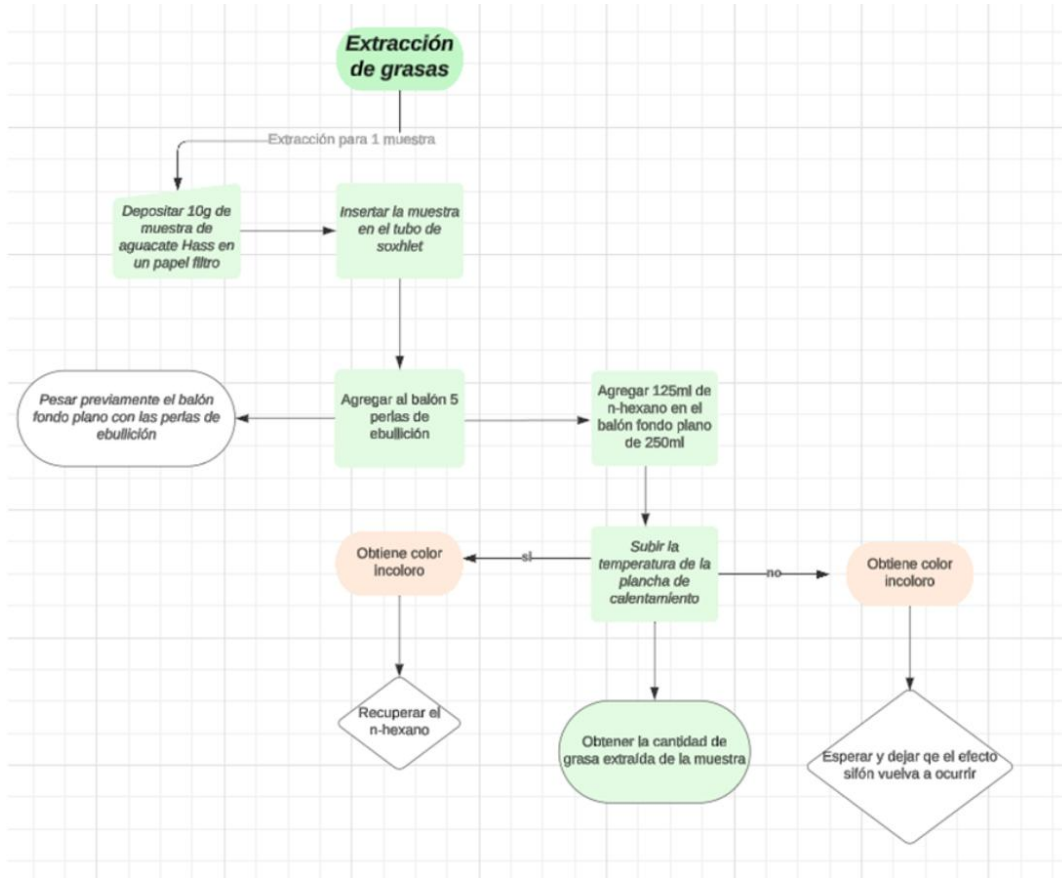
Donde:

Masa<sub>1</sub>: Masa en gramos del balón fondo plano vacío (con las perlas de ebullición)

Masa<sub>2</sub>: Masa en gramos del balón fondo plano con muestra (con las perlas de ebullición)

Masa: Masa de la muestra

Diagrama 1. Extracción de lípidos

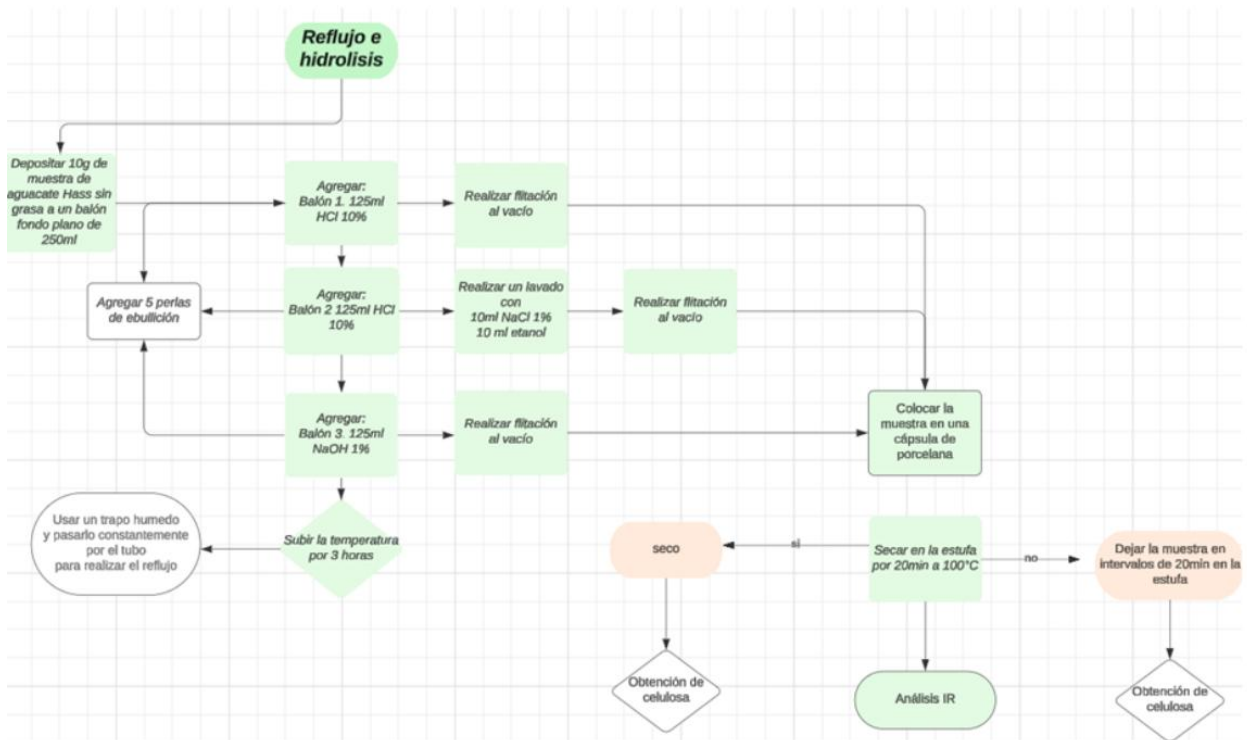


Fuente: Tomado y adaptado de ICONTEC (2017)

### ❖ Etapa 9. Extracción de carbohidratos e hidrolisis

Para la extracción de carbohidratos, se tomó la muestra resultante del montaje Soxhlet y a continuación, se realizó reflujo por 3 horas. Dadas las características del contaminante a adsorber, (Amoxicilina) se realizan dos reflujo en medio ácido y uno en medio básico, una de las muestras tratadas en reflujo ácido es lavada, con el fin de obtener celulosa ácida, básica y neutra. (véase diagrama 2)

Diagrama 2. Extracción de carbohidratos



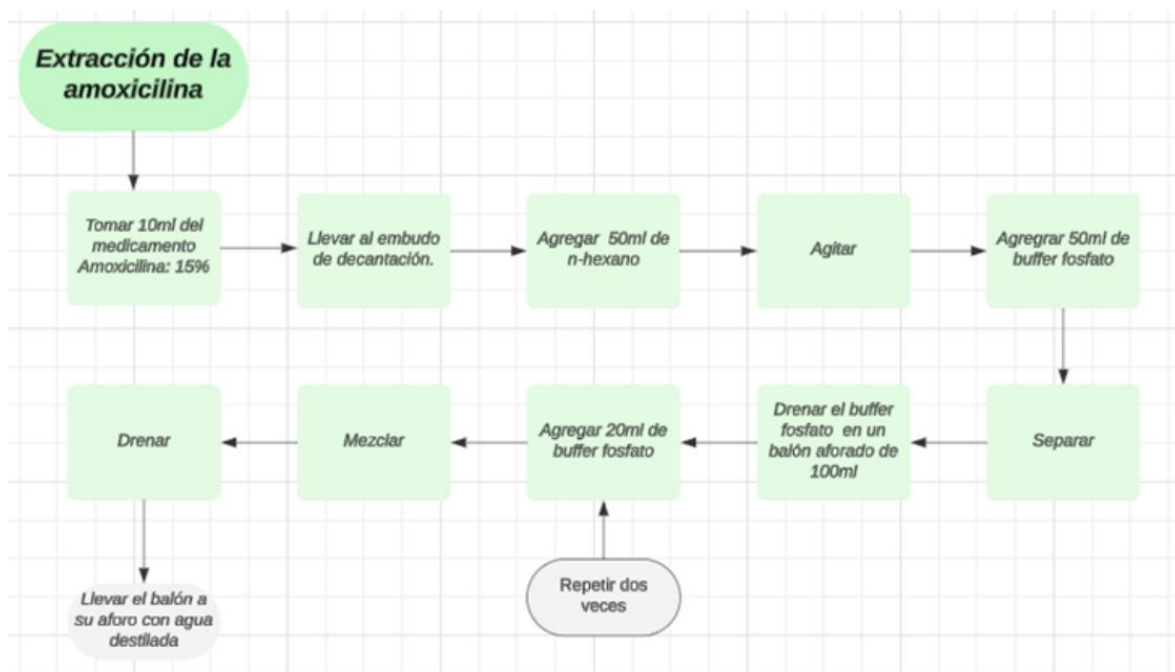
Fuente: Tomado y adaptado NORMEX (2020)

### ❖ Etapa 10. Extracción del principio activo (amoxicilina)

La amoxicilina con la que se trabajó fue Amoxisol® 50 mL de uso veterinario, (suspensión inyectable) cuya composición describe que cada mL de la suspensión contiene 150 mg de Amoxicilina trihidrato y 1 mL de excipientes.

El antibiótico es suspensión inyectable no es soluble en agua, por esta razón, la extracción del medicamento se llevó a cabo por medio de un balón de decantación al que se le añadió 10 mL del medicamento Amoxisol®, 50 ml de Hexano y 50 mL de solución Buffer fosfato, agitando y drenando la fase líquida en un balón aforado de 100mL. (ver diagrama 3)

Diagrama 3. Extracción del principio activo



Fuente: Tomado y adaptado USAID (2020)

Para conocer la concentración de la amoxicilina (AMX) luego de la extracción y para la correcta realización de la curva de calibración se tienen en cuenta las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4. Concentración inicial

$$[ ]_{Inicial} AMX \frac{mg}{mL} \times \text{Alícuota tomada}$$

Ecuación 5. Concentración final

$$[ ]_{Final} = \frac{mg \text{ de AMX}}{Volumen Final}$$

### ❖ Etapa 11. Ensayo de jarras

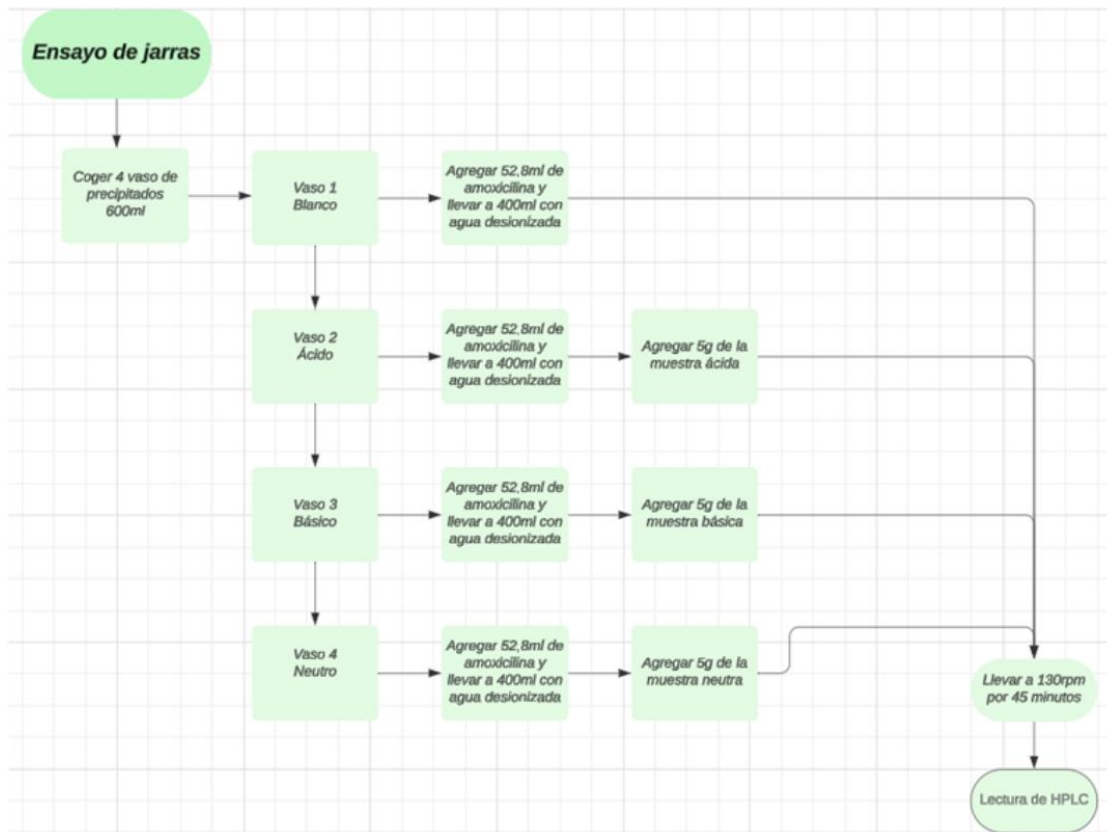
El ensayo de jarras fue utilizado para evaluar la capacidad adsorbente de la celulosa previamente tratada en medios ácido, básico y neutro frente a la solución contaminante. Durante el ensayo, se agitaron las muestras y el blanco bajo condiciones controladas de tiempo y velocidad (ver diagrama 4), permitiendo comparar la eficiencia de adsorción de cada tipo de celulosa en función del tratamiento químico recibido.

La contaminación de las jarras se llevó a cabo por medio de la muestra extraída de amoxicilina cuya concentración es conocida, para llegar a la concentración esperada de las jarras se realizó el cálculo con la siguiente ecuación:

*Ecuación 6. Cálculo de dilución*

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

*Diagrama 4. Ensayo de jarras*



*Fuente: tomado y adaptado de Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz (2015)*

## ❖ Etapa 12. Lectura HPLC

Una vez preparadas las jarras y puestas a flocular bajo las condiciones estipuladas, se procede a realizar una zonificación, es decir, mediante un equipo que genera ondas sonoras de alta frecuencia conocidas como ultrasonido. Un estudio realizado por Tangsopha, Thongsri & Busayaporn (2017) describe que el ultrasonido genera zonas de diferente intensidad en la muestra, eliminando contaminantes en la formación y colapso de microburbujas que desprenden las impurezas adheridas a las muestras, ayudando a preparar la muestra para el análisis en cromatografía, el método se realiza por 3 horas con el fin de limpiar las muestras (véase ilustración1), posteriormente, se hace un filtrado de las muestras para hacer la lectura con la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), este método es el indicado para la cuantificación de las muestras dado que es un equipo de alta sensibilidad, permitiendo detectar y cuantificar concentraciones muy bajas de amoxicilina. Además, permite obtener resultados cuantitativos altamente reproducibles, lo que ayuda en la comparación de las concentraciones antes y después del proceso de extracción, permitiendo así, evaluar la eficiencia del tratamiento.

*Ilustración 1. Zonificación de las*



*Fuente: Elaboración propia*

Para hallar las concentraciones de las lecturas obtenidas del HPLC se hace uso de la ecuación 7.

*Ecuación 7. Ecuación de la recta*

$$y = mx + b$$

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Con el fin de conocer el porcentaje de remoción logrado en la investigación se hizo uso de la ecuación 8.

*Ecuación 8. Porcentaje de remoción*

$$\%Remoción = \frac{(concentración\ entrada - Concentración\ salida)}{concentración\ entrada} \times 100$$

### **7.4.3 Fase de Finalización**

En la fase de finalización se vincula con la práctica de laboratorio desarrollada, la cual, después de ser realizada se llevó a una socialización previa a la construcción del informe de los resultados obtenidos. La finalidad de esta estrategia es correlacionar lo teórico con lo práctico para la integración de la educación ambiental desde el principio de sustentabilidad ambiental propuesto desde el PEI al marco de la biorremediación. Debido a esto, se pretende relacionar la perspectiva interdisciplinar con el enfoque pedagógico que permite mayor relación e integración del conocimiento a partir del aprendizaje en contexto, con este último apartado se da cumplimiento al desarrollo, objetivos y pregunta problema planteada, a modo de cierre se realiza la aplicación del instrumento de salida (ver anexo 1) que culmina el proceso de investigación.

### **7.4.4 Fase analítica**

En la fase analítica se procede a realizar la recolección de datos de las fases expuestas anteriormente, como un momento determinante para examinar, interpretar y organizar los datos obtenidos. Se lleva a cabo un proceso de organización y preparación de los datos, con el fin de estructurarlos de manera sistemática y facilitar su análisis. Así mismo, se seleccionan los fragmentos más relevantes de las respuestas a las preguntas planteadas, los cuales se codifican de forma selectiva para su valoración, de acuerdo con la rúbrica establecida para cada estrategia. La interpretación de los resultados se realiza mediante un proceso de triangulación, que permite contrastar diversas fuentes para validar los hallazgos obtenidos. Cabe resaltar que el análisis cualitativo se estructura por etapas claramente definidas, lo que garantiza la rigurosidad del proceso investigativo.

## **8. Resultados y Análisis**

En el siguiente apartado se abordan los resultados obtenidos en el desarrollo e implementación de la metodología con el fin de evaluar el impacto de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) que plantea la investigación con un objetivo de intervención en el aula que aborda teorías generales como el proceso de biorremediación de aguas contaminadas, COE, uso de la celulosa, extracción del agente biorremediador a partir de la cáscara de aguacate Hass y la incidencia de la educación ambiental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de licenciados. Así mismo, se aborda la orientación de la investigación en la aplicación de un instrumento de entrada-salida enfatizado en comprender y mejorar las intervenciones realizadas a lo largo del desarrollo de la estrategia.

De este modo, se avala bajo el planteamiento de 4 intervenciones realizadas a nuestro grupo focal, el cual, da lugar al análisis de la integración de la educación ambiental por medio del proceso de biorremediación en aguas contaminadas con el uso de la celulosa como agente biorremediador. Se plantea lograr conocimiento, comprensión y una postura crítica frente a el papel como estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia y la responsabilidad frente al contexto, la sociedad y el ambiente, teniendo presente el principio de sustentabilidad ambiental planteado desde el PEI de la institución, por lo tanto, para evaluar este impacto, se analizaron los resultados obtenidos en el instrumento de entrada, el estudio de caso, lluvia de ideas e informe realizado de acuerdo a la práctica de laboratorio empleada. Cabe resaltar que en un primer momento fue necesario realizar la fase 1 para la obtención de la celulosa por parte de las tesoreras en apoyo al director del trabajo de grado, para emplear el proceso de implementación y desarrollo de estrategias con el grupo focal.

### **8.1 Implementación**

El grupo seleccionado para la implementación realizó la intervención desde cinco momentos clave; prueba de entrada, estudio de caso, lluvia de ideas, practica de laboratorio y prueba de salida. El material recolectado como foco del proyecto de investigación propuesto, a su vez, la prueba de entrada y salida es realizada de manera individual que tiene como objetivo identificar el impacto de la estrategia aplicada, sin embargo, durante el desarrollo de las sesiones los trabajos fueron realizados de manera grupal, lo que permitía potencializar el trabajo en equipo para la construcción del conocimiento. Así mismo, en el marco del diseño metodológico la SEA es abarcada desde el panorama de obtención de resultados que fueron evaluados con anterioridad bajo las rúbricas establecidas en anexos.

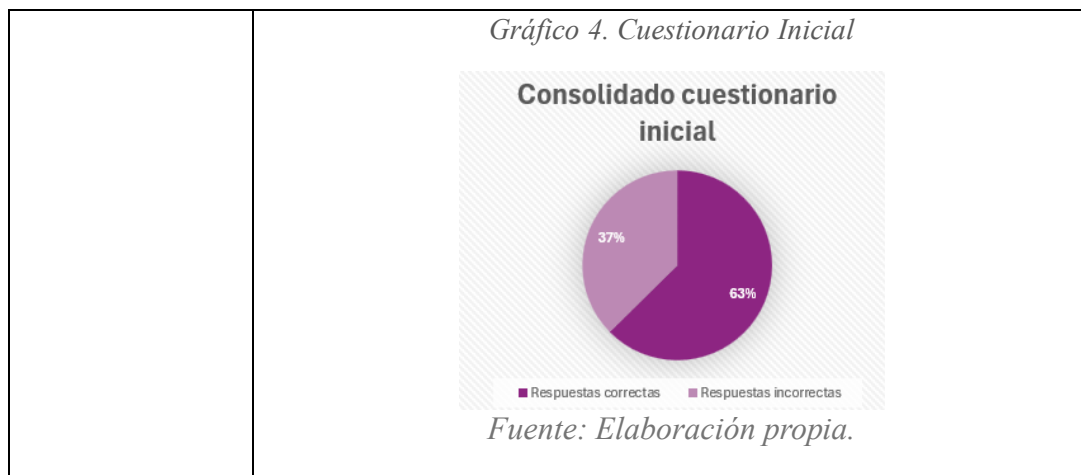
## 8.2 Fase 1. Fase de iniciación

### 8.2.1 Cuestionario inicial

El cuestionario inicial está conformado por 20 preguntas cerradas, las cuales fueron resueltas por lo estudiantes pertenecientes al espacio académico con la finalidad de identificar el manejo de concepciones clave que se fundamentan en el desarrollo de la investigación, en una primera instancia se plasman las respuestas correctas e incorrectas para cada pregunta, y en segundo lugar, el consolidado de la resolución de la prueba, a continuación se exponen los gráficos pertenecientes a los resultados obtenidos en la aplicación del instrumento.

Tabla 3. Cuestionario inicial

Cuestionario inicial																																																																
Desarrollo del cuestionario	<p style="text-align: center;"><i>Gráfico 3. Cuestionario inicial</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Cuestionario inicial</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Gráfico 3. Cuestionario inicial</caption> <thead> <tr> <th>nº de pregunta</th> <th>Respuestas correctas</th> <th>Respuestas incorrectas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>17</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>16</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>11</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>4</td><td>13</td></tr> <tr><td>8</td><td>3</td><td>14</td></tr> <tr><td>9</td><td>7</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>11</td><td>6</td></tr> <tr><td>11</td><td>6</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>16</td><td>1</td></tr> <tr><td>13</td><td>13</td><td>4</td></tr> <tr><td>14</td><td>3</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>4</td><td>13</td></tr> <tr><td>16</td><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>17</td><td>17</td><td>0</td></tr> <tr><td>18</td><td>13</td><td>4</td></tr> <tr><td>19</td><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>20</td><td>10</td><td>7</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">■ Respuestas correctas    ■ Respuestas incorrectas</p> <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Elaboración propia.</i></p>	nº de pregunta	Respuestas correctas	Respuestas incorrectas	1	15	2	2	17	0	3	9	8	4	16	1	5	8	9	6	11	6	7	4	13	8	3	14	9	7	10	10	11	6	11	6	11	12	16	1	13	13	4	14	3	14	15	4	13	16	15	2	17	17	0	18	13	4	19	15	2	20	10	7
nº de pregunta	Respuestas correctas	Respuestas incorrectas																																																														
1	15	2																																																														
2	17	0																																																														
3	9	8																																																														
4	16	1																																																														
5	8	9																																																														
6	11	6																																																														
7	4	13																																																														
8	3	14																																																														
9	7	10																																																														
10	11	6																																																														
11	6	11																																																														
12	16	1																																																														
13	13	4																																																														
14	3	14																																																														
15	4	13																																																														
16	15	2																																																														
17	17	0																																																														
18	13	4																																																														
19	15	2																																																														
20	10	7																																																														
Consolidado del cuestionario																																																																



*Fuente: Elaboración propia.*

### **8.3 Fase 2. Fase de desarrollo**

#### **8.3.1 Estudio de caso**

A partir de la consolidación de la actividad introductoria desarrollada y la rúbrica establecida para el desarrollo del caso clínico, se dio lugar al planteamiento de un “estudio de caso clínico” con información clave que los estudiantes del grupo de implementación abordaban desde sus conocimientos previos y la información abordada en la introducción. El caso propuesto abordaba un paciente masculino con una edad aproximada de 35 años, en su vida cotidiana se dedica a ser mesero y asiste a una consulta por síntomas de; tos persistente, fiebre moderada y dolor de garganta desde hace 5 días. Los síntomas actuales reportados son; fiebre de 38,5°C, producción de esputo amarillento (mucosidad espesa que expulsa al toser), congestión nasal leve y sensación de debilidad general. Debido a los síntomas presentados y su contexto, se presentan los siguientes antecedentes; es un paciente que no fuma, no presenta alergias conocidas y su historia médica no da lugar a enfermedades relevantes en su trayecto de vida.

En función a la información brindada en el estudio de caso clínico y la socialización de la incidencia ambiental, los estudiantes del espacio académico Química Verde proceden a plantear un tratamiento respondiendo a las preguntas orientadoras expuestas a continuación:

1. ¿Es adecuado el uso de la amoxicilina?
2. ¿Qué sucede si el paciente no termina su tratamiento con el antibiótico?

3. ¿Qué sucede si se excede en la dosis?
4. ¿Cuál es el debido proceso para el manejo de residuos?

En el espacio académico se establecieron 5 grupos con los integrantes de la asignatura, lo que permitió que la socialización se realizara en un aprendizaje colaborativo que dé lugar al planteamiento del tratamiento, el uso de antibióticos y la conciencia ambiental. Abordando las temáticas empleadas para este primer momento, como instrumento de validación se solicita el desarrollo del “estudio de caso”, evaluado por medio de la rúbrica (anexo 3). Para la valorización de los instrumentos se obtienen los siguientes resultados, evidenciado el estudio de caso con mayor grado de resolución y la socialización, donde se da a lugar a mayor carencia de abordaje en el eje temático.

Considerando lo anterior, la información es abarcada por medio de una tabla comparativa que permite identificar los datos más relevantes de cada intervención, y así mismo, el gráfico correspondiente al desempeño estipulado desde el Sistema Evaluación.

*Tabla 4. Consolidados estudios de caso*

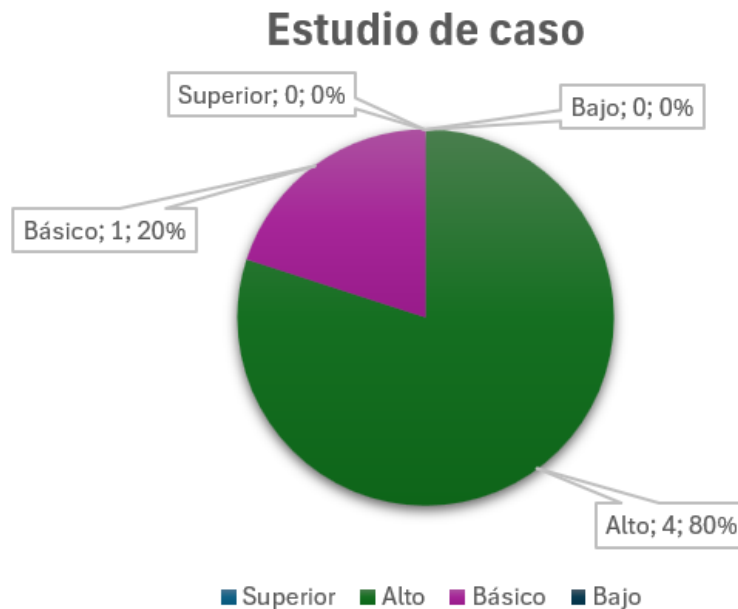
<b>Parámetros</b>	<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
El uso de la amoxicilina como antibiótico.	Los grupos se fundamentan en la importancia de reconocer las diferencias entre bacteria y virus, lo que no fundamenta el uso de un antibiótico por falta de síntomas relacionados con una infección.	Los estudiantes omiten información relevante frente a los síntomas presentados del paciente, como lo es el esputo amarillento que indica signos de infección.
Tratamiento del antibiótico.	El grupo a nivel general identifica las consecuencias de no completar cualquier tratamiento al consumo de fármacos, estableciendo puntos clave como; complicaciones de salud, metabolismo o rutas metabólicas de los pacientes, alteraciones en el sistema inmunológico y resistencia bacteriana.	Los grupos que optan por el NO suministro de antibióticos para tratar el paciente omiten la pregunta estableciendo que no es necesario un tratamiento de esta índole.
Exceso en la dosis.	Se menciona mecanismo de inmunidad que desarrolla el paciente, daño en los riñones por ser los órganos	La población establece las consecuencias en función al exceso en la dosis.

	encargados de eliminar los desechos y mantener el equilibrio de agua y sales, efectos secundarios, resistencia bacteriana y alteraciones en el sistema inmunológico.	
Manejo de residuos.	La relación de conciencia ambiental se evidencia por el reconocimiento de las estrategias prácticas para el desecho de residuos farmacéuticos.	El grupo se apropia del conocimiento aplicado al contexto como estrategia de calidad de vida.

*Fuente: Elaboración propia*

En este orden de ideas, el estudio de caso presentado por cada grupo es evaluado mediante una rubrica que establece los lineamientos del trabajo teórico, lo que permite identificar el reconocimiento de los fármacos como agentes contaminantes para la salud pública y el bienestar ambiental.

*Gráfico 5. Resultados de “estudio de caso”*



*Fuente: Elaboración propia.*

El desempeño de los grupos relacionado al estudio de caso planteado avala que el 100% del grupo dio lugar a concepciones teóricas que permiten la implementación y el propósito de la

investigación, la cual, fue desarrollada desde una situación real que debía ser manejada desde la prevención y el cuidado. Estipulando valores reales el 80% correspondiente a cuatro grupos evidencian un buen manejo en el planteamiento del tratamiento del caso clínico, se evidenció un índice superior por el buen manejo de las temáticas empleadas, estableciendo el 20% correspondiente a un grupo por falta de dominio y propuestas alternativas para los síntomas del paciente expuestos.

### 8.3.2 Lluvia de ideas

La siguiente estrategia de implementación da lugar a la construcción de una lluvia de ideas donde se sintetiza de manera clara las consecuencias del mal desecho de medicamentos, el termino COE, incidencia ambiental del contaminante, biorremediación como estrategia ambiental y el rol del aguacate Hass en la investigación. El aporte se entrega de manera individual y se parametriza mediante una rubrica elaborada para identificar su participación, relevancia y precisión, pensamiento crítico y argumentación, creatividad e innovación. Lo cual, consolida categorías de superior a bajo según la escala de valoración vigente que describe cuatro desempeños, de este modo se reportan los resultados bajo el siguiente esquema.

Gráfico 6. Resultados de "lluvia de ideas"



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica titulada "Lluvia de ideas" muestra la distribución de niveles de desempeño alcanzados en una actividad evaluada bajo el enfoque COE con enfoque de educación ambiental, se observa que el 35% de los participantes alcanzó un nivel superior, mientras que otro 35% se ubicó en el nivel básico, y el 30% en el nivel alto. Es importante destacar que ningún participante se situó en el nivel bajo (0%), lo cual indica que todos los estudiantes





lograron un desempeño aceptable o superior. Esta distribución sugiere que, en general, los participantes tienen una buena capacidad para expresar y organizar sus ideas, aunque aún hay oportunidad de fortalecer habilidades para que más estudiantes avancen hacia niveles superiores de desempeño.

## 8.4 Obtención de materia prima

En este apartado se expone la obtención del principio activo para la investigación propuesta, donde fue necesario que se realizara por las tesis a cargo para luego incorporar el informe a la SEA de manera eficiente, en este orden de ideas, se obtiene la materia prima para luego llevar la información al aula.

### 8.4.1 Recolección de la muestra y Equilibrio de humedad

Tabla 5. Obtención de materia prima

Obtención de materia prima			
Recolección	Secado natural	Secado en estufa	Equilibrio de humedad
<p><i>Ilustración 2. Recolección de la cáscara</i></p>  <p><i>Fuente: elaboración propia</i></p>	<p><i>Ilustración 3. Secado al ambiente</i></p>  <p><i>Fuente: elaboración propia</i></p>	<p><i>Ilustración 4. Secado en estufa</i></p>  <p><i>Fuente: elaboración propia</i></p>	<p><i>Ilustración 5. Humedad de equilibrio</i></p>  <p><i>Fuente: elaboración propia</i></p>

*Fuente: elaboración propia*

Una vez recolectada la cáscara fue limpiada para eliminar el residuo de la pulpa (ver ilustración 2) que se adhiere al exocarpio (capa externa). El proceso se realizó de forma manual para asegurar que la la materia prima estuviera en óptimas condiciones y así mismo, prevenir la descomposición. Una vez limpia, fue dispuesta para su secado (ilustración 2), durante 4 días, las cáscaras se colocaron directamente a los rayos del sol permitiendo una reducción natural del contenido de humedad. Para lograr un porcentaje mayor de la reducción de la humedad y teniendo en cuenta el procedimiento realizado por Moreno y lamprea (2022) fueron llevadas a una estufa por 3 horas a una temperatura de 60°C.

En consonancia con el procedimiento de Moreno y Lamprea (2022) y una vez pasadas las 3 horas de secado, la cáscara fue molida hasta obtener un tamaño de partícula homogéneo. De la muestra obtenida, se pesaron 10 gramos (ilustración 4) los cuales fueron llevados a una estufa a una temperatura de 100°C por lapsos de 15 minutos, hasta obtener un peso constante, esto con el fin de eliminar las trazas de humedad que aun persistían, garantizando la reproducibilidad de los siguientes procedimientos. A continuación, se exponen los resultados obtenidos de la Humedad de equilibrio, (ver tabla 4) donde por medio de la ecuación 1 (Eq1), se determina el porcentaje de humedad.

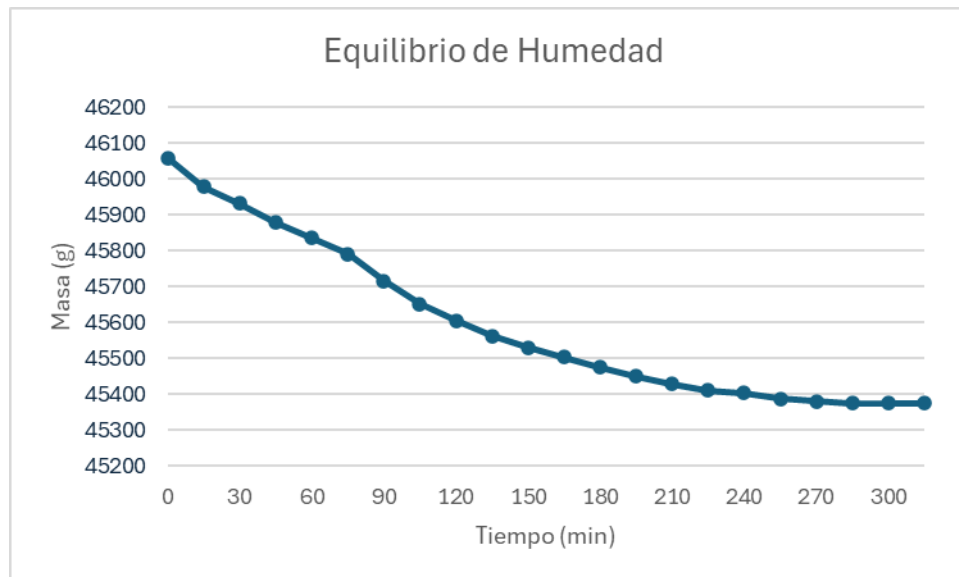
$$\% \text{humedad} = \frac{10,001 - 8,963}{10,001} \times 100 = 10,37\%$$

*Tabla 6. Porcentajes de Humedad*

<b>Muestra</b>	<b>Masa de la muestra inicial (g)</b>	<b>Masa cápsula (g)</b>	<b>Muestra seca (g)</b>	<b>% Humedad</b>
1	10,001	33,342	8,963	10,37%
2	10,013	30,502	8,954	10,57%
3	10,010	26,058	8,959	10,49%
			Promedio	10,47%

*Fuente: Elaboración propia*

Gráfico 7. Equilibrio de humedad



10 Fuente: Elaboración propia

El porcentaje promedio de humedad de equilibrio obtenido fue de 10,47%, resultado que se logró mediante un proceso de secado en tres etapas: secado al ambiente, secado en estufa a 60°C y secado final a 100°C hasta alcanzar el peso constante. Este valor es coherente con la cinética típica de deshidratación de materiales vegetales, donde la pérdida de humedad sigue una tendencia exponencial decreciente conforme avanza el tiempo, hasta estabilizarse, representando el contenido de humedad de equilibrio. Tal comportamiento fue evidenciado en el presente estudio, donde la masa de la muestra disminuyó progresivamente desde 46,100 g hasta alcanzar valores constantes (45,376g) entre los 270 y 300 minutos de secado (ver gráfico 3).

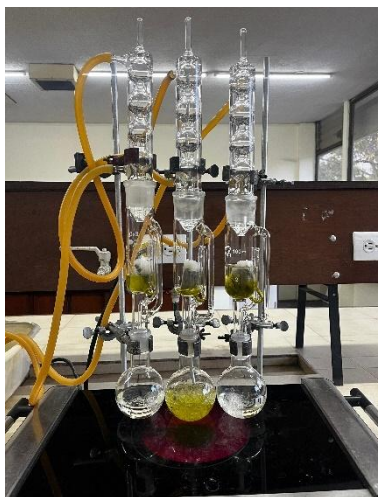
Además, estudios relacionados han reportado una correlación directa entre el contenido de materia seca y el contenido de aceite en el fruto, lo cual implica que a medida que se incrementa la madurez del aguacate, también lo hace su materia seca y disminuye su humedad. En este sentido Cerda, Montero y Somarribas (2014) encontraron un aumento significativo en el contenido de materia seca del aguacate Hass a partir de la semana 39 de desarrollo, con una correlación del 92% respecto al contenido de aceite, lo que respalda que los valores de humedad como el obtenido (10,47%) se encuentran dentro del rango esperado para materiales vegetales con bajo contenido de humedad.

## 8.5 Extracción de la celulosa

### 8.5.1 Extracción de lípidos

Para la extracción de grasas se empleó un sistema Soxhlet (ilustración 6) utilizando n-Hexano como solvente, junto con una bomba que recirculaba el agua de refrigeración, con el objetivo de minimizar su desperdicio. En cada dedal de extracción se colocaron las muestras previamente estabilizadas a su humedad de equilibrio. Esta etapa es fundamental, ya que las grasas, aceites y otras sustancias lipofílicas presentes en la materia vegetal no forman parte de la celulosa. Si no se eliminan adecuadamente, pueden contaminar la muestra y así, dificultar las etapas posteriores, como la hidrólisis.

*Ilustración 6. Montaje Soxhlet*



*Fuente: Elaboración propia*

Para hallar el porcentaje de lípidos presente en la muestra 1, se hizo uso de la ecuación 2:

$$\% \text{lípidos Muestra} = \frac{95,131 - 93,772}{8,963} \times 100 = 15,162\%$$

*Tabla 7. Porcentajes de grasa*

Muestra	Masa del balón vacío con las perlas	Masa de la muestra	Masa del balón con grasa	% lípidos
1	93,772	8,963	95,131	15,162%
2	143,305	8,954	144,718	15,780%
3	118,467	8,959	119,805	14,957%
			<i>Promedio</i>	<i>15,299 %</i>

*Fuente: Elaboración propia*

El promedio del porcentaje de grasa hallado fue del 15,299% (ver tabla 5), valor que se encuentra muy cercano al reportado por Borja y Goetschel (2022), que fue del 15,01%. Esta similitud sugiere una buena correlación entre el dato experimental y el valor de referencia, lo que indica que el resultado se encuentra dentro del rango esperado. Cabe resaltar que las ligeras diferencias observadas pueden deberse al método de extracción utilizado, así como a factores asociados a la materia prima, como el estado de madurez del fruto y las condiciones de cultivo. En este sentido, Guzmán et al. (2019) encontró que el contenido de aceite en el aguacate Hass varía significativamente según la localidad de cultivo y el estado de madurez del fruto. Por ejemplo, los frutos maduros presentaron un mayor contenido de aceite (hasta 17,8%) en comparación con los frutos más verdes (12,3 - 15,5%), lo que evidencia la influencia del clima, la latitud, el suelo y otros factores agroclimáticos en la composición del fruto. A partir de esto, se puede inferir que la cáscara utilizada en el presente trabajo de investigación corresponde a frutos en estado de madurez verde, dado que un estado más avanzado de maduración habría resultado en un mayor contenido de aceite. Por otro lado, y considerando que la obtención de las muestras se realizó sin trazabilidad de origen, no se conocen las condiciones específicas de cultivo, lo que también podría explicar variaciones en la cantidad de lípidos presentes.

### **8.5.2 Extracción de carbohidratos**

En cuanto a la extracción de los carbohidratos, el proceso preliminar para la obtención de la celulosa a partir de la cáscara de aguacate, se realizaron dos tratamientos con hidrólisis ácida (ácido clorhídrico) y uno con hidrólisis básica (Hidróxido de sodio). Esta estrategia tuvo como objetivo obtener tres tipos de celulosa: una con un pH ácido, otra con pH básico y una con un pH neutro (ver ilustración 7), con el fin de evaluar cuál de ellas presentaba mejor desempeño en el proceso de biorremediación. Esta decisión experimental se fundamentó en las características químicas del contaminante objetivo, que contiene un grupo ácido (-COOH), un grupo básico (-NH<sub>2</sub>) y un grupo neutro (anillo β-lactámico), lo cual sugiere que la eficiencia de adsorción puede estar influenciada por el pH superficial de la celulosa.

Este proceso resulta fundamental, ya que durante el tratamiento por reflujo con ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH), se solubilizan compuestos como hemicelulosas, pectinas y azúcares simples principalmente carbohidratos; se rompen enlaces entre carbohidratos y la lignina, facilitando su eliminación y dejando una matriz más purificada en celulosa, que es lo que se espera de este proceso, preparando la celulosa para la adsorción del contaminante (López, Pereda, & Escobar, 2018)

*Ilustración 7. Montaje de Hidrólisis*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de mantener el reflujo por 3 horas, se procedió a realizar un filtrado, Una de las muestras ácidas fue sometida a un lavado con etanol, Hidróxido de sodio (NaOH), Cloruro de sodio (NaCl) y agua destilada, con el fin de alcanzar un carácter neutro. Con los lavados se espera que el etanol ayude a remover residuos de grasas, el NaOH neutralice los restos de ácido clorhídrico (HCl), el lavado con Cloruro de sodio (NaCl) permita desplazar iones no deseados, mejorando la eficiencia del enjuague. Para que finalmente el agua destilada ayude a alcanzar un pH neutro.

*Ilustración 8. Filtrado de la muestra*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego del filtrado y el lavado, la muestra fue sometida nuevamente a un proceso de secado, con el fin de realizar posteriormente una lectura mediante espectroscopia de infrarrojo (IR), cuyo objetivo es verificar si se extrajo correctamente la celulosa.

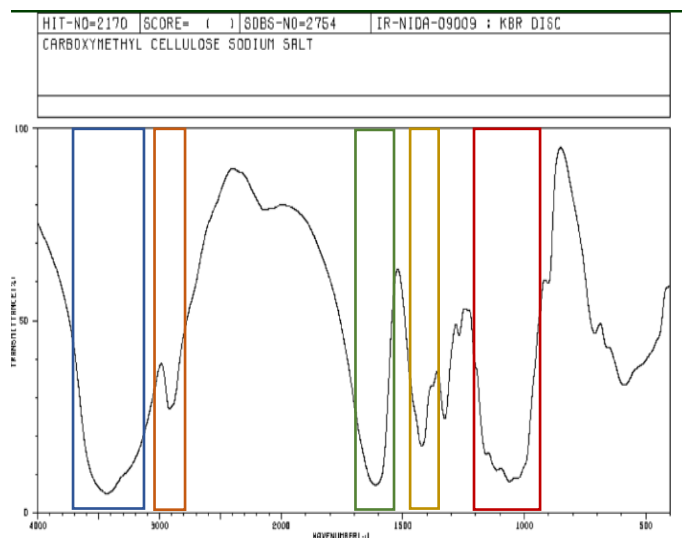
La lectura del espectro se llevó a cabo en un equipo IRAffinity—11s con transformada de Fourier marca Shimadzu. Esta medición tiene como propósito identificar los grupos funcionales presentes en la muestra de celulosa extraída y compararlos con los datos teóricos reportados en la literatura.

A continuación, se presentan los espectros IR de la celulosa extraída y tratada en condiciones ácidas, neutras y básicas, comparándolos con la señal de referencia. (figura 5, Carboxymethyl cellulose sodium salt) Las bandas se interpretan en función de las vibraciones moleculares asociadas a los grupos funcionales típicos de la celulosa (tabla 6).

- **Infrarrojo de referencia Carboxymethyl cellulose sodium salt**

Tabla 8. Señales IR de Referencia

Figura 5. IR Carboxymethyl cellulose sodium salt



Señal $\text{cm}^{-1}$	Descripción
3331	Vibración de estiramiento de los grupos hidroxilo (-OH), indicando la presencia de enlaces de hidrógeno en la estructura
2916	Vibración de estiramiento de los enlaces C-H típicos de los anillos glucosídicos.
1615	Flexión de O-H, indica la presencia de agua ligada a la celulosa
1420	Vibración de flexión del grupo $\text{CH}_2$ , relacionada con la estructura cristalina de la celulosa
1166	Estiramiento C-O-C, característicos del esqueleto glucopiranosico

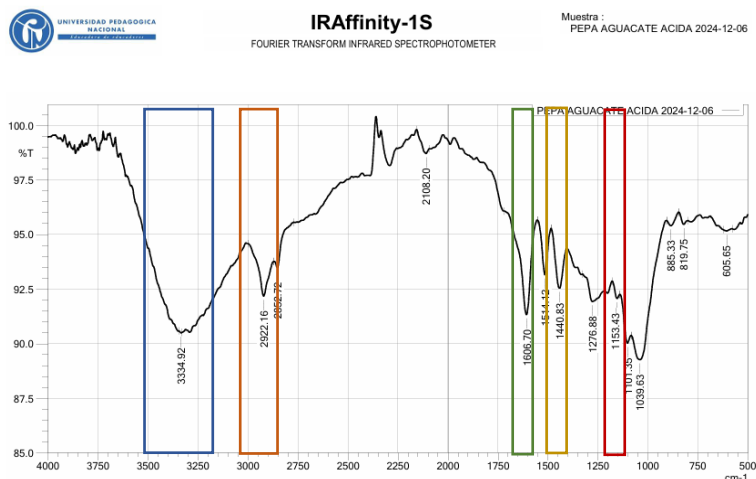
Fuente: Base de datos SDBS

- **Celulosa tratada en medio ácido**

Las señales obtenidas para la celulosa ácida (ver figura 6) muestran una vibración O-H en  $3334,92 \text{ cm}^{-1}$ , muy cercana al valor de referencia ( $3331 \text{ cm}^{-1}$ ), lo que indica que los grupos hidroxilo permanecen intactos y que los enlaces de hidrógeno no se ven significativamente afectados. La señal C-H del anillo glucopiranosico aparece  $2922,16 \text{ cm}^{-1}$ , evidenciando la conservación de la estructura del anillo. La banda asociada al agua estructural ( $1606,70 \text{ cm}^{-1}$ ) muestra un leve desplazamiento a menor número de onda, lo que sugiere una mayor presencia de agua ligada. En cuanto a la banda de  $\text{CH}_2$  ( $1440,83 \text{ cm}^{-1}$ ), el desplazamiento hacia mayor número de onda podría indicar una ligera modificación en la cristalinidad de la celulosa.

En conjunto, la celulosa tratada en medio ácido conserva su estructura general, con mínimas alteraciones, manteniendo tanto los grupos funcionales clave como cierta organización estructural.

Figura 6. IR celulosa ácida



Fuente: Elaboración propia

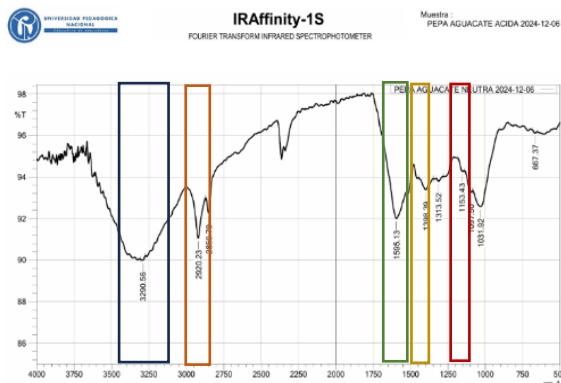
- **Celulosa tratada en medio neutro**

En el caso de la celulosa neutra (véase figura 7), se observa una señal O-H a 3290,56 cm<sup>-1</sup>, que representa un desplazamiento hacia menor número de onda comparado con la de referencia. Esto podría indicar un incremento en los enlaces de hidrógeno, posiblemente debido a una estructura más amorfa. La señal C-H a 2920,23 cm<sup>-1</sup> también se conserva, lo que sugiere la integridad estructural del anillo. La señal correspondiente al agua estructural (1595,13 cm<sup>-1</sup>) se desplaza aún más que en la muestra ácida, indicando una mayor cantidad de agua ligada o una red de enlaces de hidrógeno más compleja. La banda de CH<sub>2</sub> se desplaza significativamente a 1398,39 cm<sup>-1</sup>, lo que sugiere una pérdida notable de orden cristalino. El esqueleto C-O-C se mantiene, mostrando que el anillo sigue presente, aunque con cierta flexibilidad.

Esto sugiere que el tratamiento neutro induce una mayor amortización de la celulosa, pero no destruye su estructura fundamental, conservando los grupos funcionales.

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. IR Celulosa neutra



- **Celulosa tratada en medio básico**

La celulosa tratada en medio básico muestra una vibración O-H desplazada a  $3342,64\text{ cm}^{-1}$ , indicando una menor participación en enlaces de hidrogeno, lo que sugiere una estructura más deshidratada. La señal correspondiente C-H del anillo no se detecta, lo que puede deberse a una alteración significativa de la estructura del anillo o a una pérdida de intensidad de esta señal. La banda de flexión O-H se presenta a  $1643,35\text{ cm}^{-1}$ , mostrando un notable desplazamiento hacia mayor número de onda, lo que refuerza la idea de pérdida de agua estructural. En cuanto a la señal  $\text{CH}_2$ , esta se presenta en  $1415,74\text{ cm}^{-1}$ , muy cercana al valor de referencia, indicando que, aunque puede haber reorganización, la estructura cristalina no se ha perdido completamente. Finalmente, la banda C-O-C aparece  $1175,29\text{ cm}^{-1}$ , con un desplazamiento hacia mayor número de onda, lo que puede interpretarse como un refuerzo de los enlaces del esqueleto glucopiranosico o una mayor rigidez estructural.

En general, el tratamiento básico provoca los mayores cambios estructurales, afectando la hidratación, la presencia de enlaces C-H y reorganizando parcialmente la celulosa hacia una forma posiblemente más rígida o menos hidratada.

Siguiendo la línea, diversos estudios respaldan que los tratamientos ácidos en materiales lignocelulosas mejoran la exposición de grupos funcionales clave. Por ejemplo, Tejada, Herrera y Villanova (2020) el uso de tusa de maíz modificada con ácido cítrico demostró una mayor eficiencia en la remoción de cromo (VI), gracias a la mejora en la disponibilidad de grupos carboxilo e hidroxilo activos en la superficie del adsorbente. A su vez, en procesos de microrremediación, Jiménez et al. (2024) demostraron que en el tratamiento con Hongos *Pleurotus ostreatus* es más eficiente la degradación de celulosa cuando esta mantiene su estructura básica, favoreciendo la acción enzimática. Por el contrario, aunque el tratamiento con hidróxido de sodio puede incrementar la adsorción de metales en algunos residuos ligocelulósicos, también puede llevar a la destrucción parcial de la estructura, disminuyendo su aplicabilidad frente a contaminantes más complejos o persistentes (Cabascano, Arteaga, Sánchez, Navarro, & Jácome, 2021)

En conclusión, considerando tanto los datos espectroscópicos como los teóricos, se determina que la celulosa tratada en medio ácido es más adecuada para aplicaciones de biorremediación. Este tratamiento conserva la estructura molecular esencial ya que fue la muestra que menos desplazamientos tuvo con respecto a las señales de referencia (ver tabla 7).

Tabla 9. Señales IR

Señal de referencia Carboxymethy cellulose sodium salt cm <sup>-1</sup>	Señal obtenida celulosa ácida cm <sup>-1</sup>	Señal obtenida celulosa neutra cm <sup>-1</sup>	Señal obtenida celulosa básica cm <sup>-1</sup>
3331	3334,92	3290,56	3342,64
2916	2922,16	2920,23	
1615	1606,70	1595,13	1643,35
1420	1440,83	1398,39	1415,74
1166	1153,43	1153,52	1175,29

Fuente: Tomado y modificado de base de datos SDBS y elaboración propia

### 8.5.3 Extracción del principio activo

Durante el procedimiento de extracción de amoxicilina se observó que la disolución directa del medicamento inyectable en agua destilada no fue efectiva, dado que no se logró disolver completamente. Esta situación puede atribuirse a la presencia de excipientes en la formulación comercial del fármaco. A diferencia del principio activo puro, la amoxicilina inyectable contiene sustancias añadidas (estabilizantes, conservantes, ajustadores de pH o agentes de viscosidad) que pueden alterar el comportamiento de la solubilidad en agua, generando precipitados (ver ilustración 9)

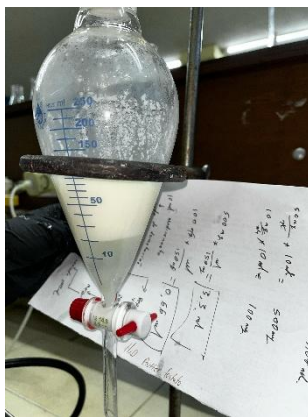
Ilustración 9. Precipitado de amoxicilina



Fuente: Elaboración propia

Por esta razón, se llevó a cabo la extracción del principio activo, como ya se mencionó en la metodología, se hizo uso de solución Buffer fosfato y etanol. (ver ilustración 10) Estas condiciones se tomaron del trabajo realizado por Barbosa y Cano (2021) quienes extrajeron el principio activo disolviendo 500mg de Amoxicilina en 7mL de solución Buffer fosfato. Debido a la diferencia de presentación del medicamento, (dado que los 500mg del medicamento fueron tomados de cápsulas) se realizó una modificación a la metodología, partiendo de la Guía de trabajo sobre amoxicilina para facilitar las pruebas de laboratorio de la agencia de EE. UU para el desarrollo internacional (2020). Quienes, en su documento demuestran formas de cuantificar la Amoxicilina a diferentes presentaciones: suspensión oral, tableta, capsula e inyectable. Dando como resultado la extracción realizada en esta investigación.

*Ilustración 10. Extracción de amoxicilina*



*Fuente: Elaboración propia*

La amoxicilina es un antibiótico polar, con varios grupos funcionales, lo que significa que la adición del buffer fosfato mantiene un pH neutro brindándole estabilidad a la molécula en su forma iónica, evitando su degradación por un pH diferente. Por otro lado, el etanol ayuda a modificar la polaridad del medio total, esto sin impedir la solubilidad de la amoxicilina en la fase acuosa, ya que no extrae la amoxicilina como lo haría un disolvente no polar. La separación se da por las diferencias de solubilidad, dado que la amoxicilina se diluye con el buffer fosfato (fase acuosa) y las impurezas orgánicas apolares quedan en la fase etanoica, permitiendo la extracción selectiva y logrando el objetivo. (Kamalpersas, luna, Sunderland, & Czarniak, 2024)

Para Determinar la concentración y asumiendo que en la fase líquida se solubilizó el fármaco, se ejecutan las ecuaciones 4 y 5, teniendo en cuenta que el medicamento contiene 150mg/mL

$$[ ]_{Inicial} = 150 \frac{mg}{mL} \times 10mL = 1500mg$$

$$[ ]_{Final} = \frac{1500mg}{100mL} = 15 \frac{mg}{mL} = 15,000 ppm$$

A partir de este dato obtenido se tomaron las alícuotas para realizar la curva de calibración (ver tabla8), se tomaron 5 puntos y a partir de la lectura HPLC se obtiene la ecuación de la recta, de esta se despejó la concentración.

Para calcular los puntos de la curva de calibración se tuvo en cuenta la cantidad extraída por Barbosa y Cano (2021), teniendo así un máximo de 500mg y un mínimo de 100mg, de esta forma se tomaron valores entre el rango estipulado para obtener los 5 puntos de la curva de calibración.

$$500 \times \frac{mL}{150mg} = 3,3mL$$

$$100 \times \frac{mL}{150mg} = 0,66mL$$

Para conocer la concentración de cada punto, se tiene en cuenta, el volumen de la alícuota a tomar y la concentración a la que la solución stock se encuentra. Teniendo en cuenta el volumen al que se prepara.

$$[ ]_{Inicial} = 15 \frac{mg}{mL} \times 0,66mL = 9,9mg$$

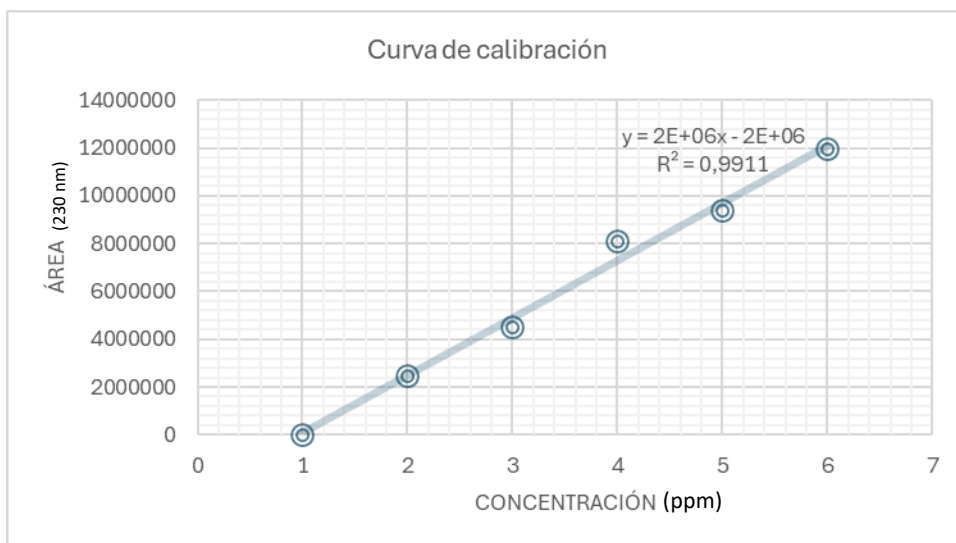
$$[ ]_{Final} = \frac{9,9mg}{25mL} = 0,396 \frac{mg}{mL} = 396 ppm$$

Tabla 10. Datos preparación curva de calibración

Punto	Volumen alícuota mL	Concentración ppm
1	0,66	396
2	1,5	900
3	2	1,200
4	2,6	1,560
5	3,3	1,980

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8. Curva de calibración



Fuente: Elaboración propia

La curva de calibración obtenida es confiable y adecuada para cuantificar amoxicilina en muestras desconocidas, ya que presenta una linealidad fuerte en el rango de concentración utilizado. Esto permite usar la ecuación para estimar con precisión la concentración a partir de las señales medidas en el ensayo de jarras.

### 8.5.4 Ensayo de jarras

Este método permitió evaluar la eficiencia de los agentes coagulantes, (celulosa ácida, básica y neutra) para ello, se prepararon muestras de agua contaminadas con la concentración conocida de amoxicilina, partiendo de los datos obtenidos para la curva de calibración, (ver tabla 8) se toma como referencia la concentración más elevada para contaminar las muestras, esto con el objetivo de que, al hacer la lectura en el equipo de HPLC, los resultados estuvieran presentes en el rango de la curva realizada. Para ello, se halla el volumen de la alícuota a tomar:

$$15 \frac{mg}{mL} \times V_1 = 1,98 \frac{mg}{mL} \times 400mL$$

$$V_1 = \frac{1,98 \frac{mg}{mL} \times 400mL}{15 \frac{mg}{mL}} = 52,8 mL$$

Una vez teniendo la alícuota para la contaminación de las muestras, se miden los 400 mL en 4 jarras, para posteriormente adicionar 52,8 mL de amoxicilina, la cuarta jarra es el blanco, por ende, lo único que tendrá es agua destilada. Como paso siguiente se añade los 5g de cada tratamiento del coagulante (celulosa ácida, neutra y básica extraída de la cascara de aguacate) y se comienza el proceso de floculación (ver ilustración 11)

*Ilustración 11. Ensayo de*



*Fuente: Elaboración propia*

## 8.6 Método de lectura

### 8.6.1 Lectura HPLC

A partir de la curva de calibración previamente establecida con un coeficiente de correlación de  $R^2=0,9941$ , se determina la concentración residual de la amoxicilina en cada muestra tratada. Este análisis permite cuantificar la cantidad de antibiótico removido del medio acuoso tras el ensayo de jarras, proporcionando así evidencia cuantitativa del desempeño adsorbente de casa tipo de celulosa modificada. Los resultados obtenidos a partir de este procedimiento ofrecen una base sólida para comparar la efectividad de los tratamientos ácido, neutro y básico en procesos de biorremediación de contaminantes emergentes.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las lecturas (ver tabla 10), con ayuda de la ecuación 8 se hallan las concentraciones obtenidas de la lectura en HPLC.

$$5424156 = x(6176,7) + (29637)$$

$$X = \frac{5424156 - 29637}{6176,7} = 873,365$$

Tabla 11. Datos muestras HPLC

Muestra	Área 230 nm	Concentración	Tiempo
Blanco	5424156	873,365	1,125
Básico	4931629	793,626	1,100
Neutro	15250898	2464,30	1,117
Ácido	3649209	586,004	1,092

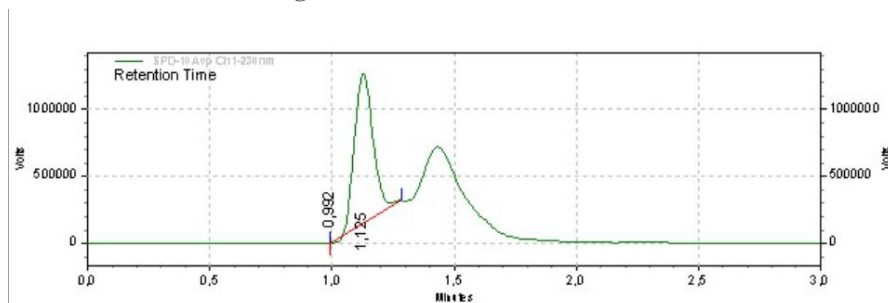
Fuente: Elaboración propia

- **Muestra blanco**

El blanco es la muestra que no contiene celulosa, cuya concentración es de 873,365 ppm, (ver figura 9) concentración esperada ya que no hubo material adsorbente que actuara sobre el contaminante. Es la referencia de la concentración inicial.

En estos resultados se representa el blanco como un punto de partida del sistema, sin presencia de celulosa, se espera que el valor registrado corresponda a la concentración de amoxicilina sin ninguna interferencia del adsorbente, este dato sirve como referencia para evaluar la eficiencia del agente remediador.

Figura 8. Muestra Blanco HPLC



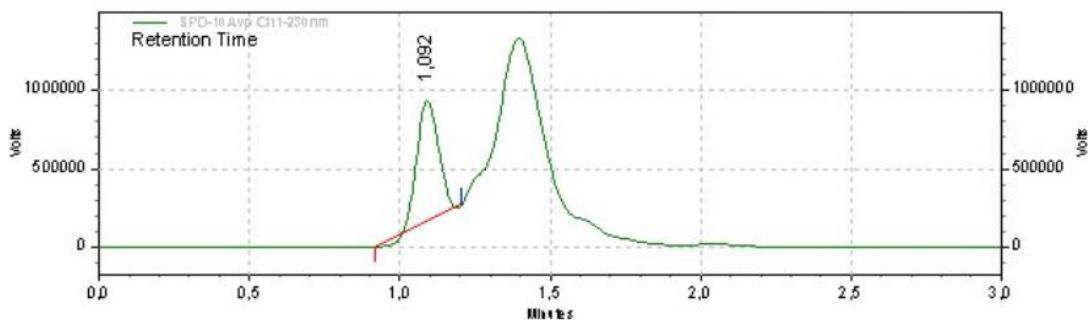
Fuente: Elaboración propia

La muestra sin celulosa, es decir, el blanco, tiene un pico principal a ~1,1 minutos, esto es fundamental ya que la amoxicilina presenta tiempos de retención cortos. Por ejemplo el estudio de Barbosa y Cano (2021) reporta un tiempo de retención de 1,7 minutos para la amoxicilina utilizando una columna C18 y una Fase móvil de agua y acetonitrilo (90:10 v/v) con detección a 230 nm, de igual forma, es importante resaltar que el ensanchamiento que se evidencia (ver figura 9) puede indicar la presencia de compuestos relacionados a la degradación de la amoxicilina, ya que se ha observado que la amoxicilina bajo condiciones de estrés, generando productos que eluyen cerca del pico principal. (Raju, Sharma, Rao, & Rao, 2009)

- **Muestra ácida**

La muestra con celulosa ácida con una concentración de 586,01ppm (ver figura 11 demuestra la concentración más baja de amoxicilina a comparación de los demás ensayos, lo que sugiere una mayor capacidad de adsorción de la celulosa modificada en un pH ácido. Este tratamiento incrementó la cantidad de grupos funcionales como los carboxilos, que pueden favorecer a las interacciones electrostáticas o por puentes de hidrógeno con la amoxicilina, facilitando así su adsorción.

Figura 9. Muestra Ácida HPLC

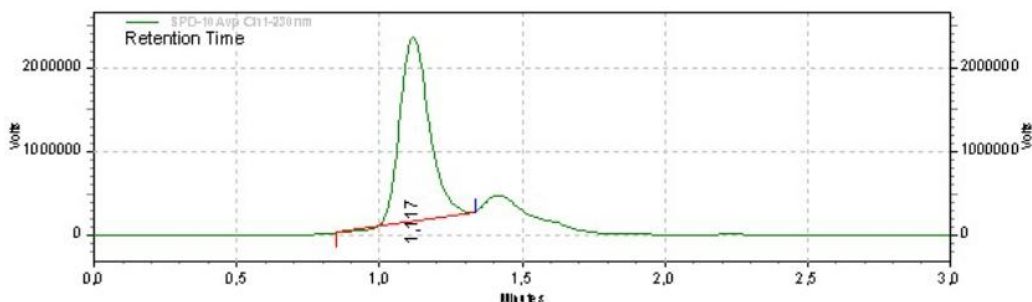


Fuente: Elaboración propia

- **Muestra básica**

La muestra con celulosa básica, con una concentración de 793,63 ppm (ver figura 10) aunque en menor proporción que la celulosa ácida, también logró reducir la concentración respecto al blanco. En el tratamiento básico, algunos grupos hidroxilo (-OH) en la celulosa pueden desprotonarse, generando oxianiones (-O<sup>-</sup>). Esto le brinda a la superficie una carga negativa que puede interactuar electrostáticamente con regiones cargadas positivamente de la molécula de amoxicilina, sin embargo, la falta de grupos funcionales más afines, (como los carboxilos generados en condiciones ácidas) produce una menor adsorción del contaminante.

Figura 10. Muestra Básica HPLC



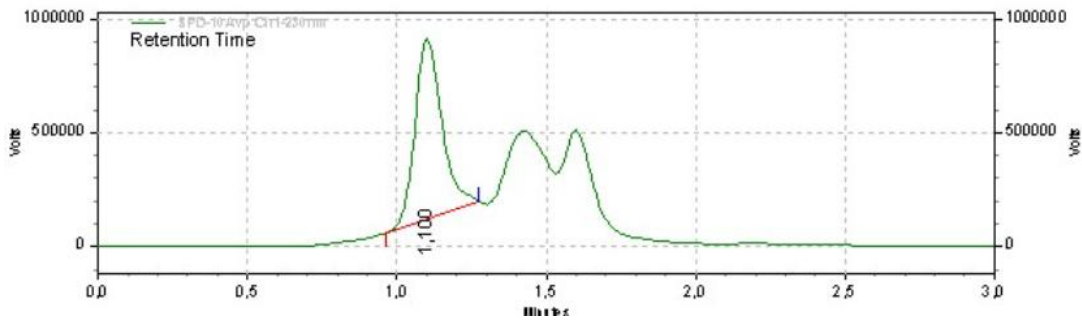
Fuente: Elaboración propia

- **Muestra neutra**

Para finalizar, la muestra con celulosa neutra cuya concentración es 2464,31 ppm (ver figura 11) destaca ya que presentó incremento en la concentración de la amoxicilina comparada con el blanco, lo que sugiere que, dadas las condiciones del tratamiento, tiene interacciones débiles que ayuden a la adsorción, no hay enlaces iónicos que estabilicen la

retención. Sin embargo, es de gran importancia resaltar que otra posibilidad es que la celulosa neutra haya generado una interferencia óptica, es decir, que en la longitud de onda (230nm) se haya generado un pico en el mismo tiempo de retención que la amoxicilina. Cabe resaltar que las muestras fueron inyectadas de forma manual, lo cual generó ligeras variaciones en el tiempo de retención. Este fenómeno es común cuando la inyección no se realiza por medio de un inyector automático, dado a que se pueden presentar variaciones en el volumen de inyección, la precisión de entrada o el tiempo entre la carga y el inicio del análisis.

Figura 11. Muestra neutra HPLC



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el tratamiento ácido de la celulosa fue el más efectivo en remover amoxicilina del agua, seguido por el tratamiento básico, mientras que el tratamiento neutro resultó ineficiente. Estos resultados son coherentes con los mecanismos de adsorción conocidos, donde la activación química de la superficie puede aumentar significativamente la afinidad por contaminantes farmacéuticos en soluciones acuosas.

En este sentido, y una vez comprendidos los resultados y las condiciones bajo las cuales se realizaron las lecturas, conociendo la concentración de las muestras y llegando a las conclusiones anteriores, es posible hallar el porcentaje de rendimiento en cada caso:

$$\%Remoción\ celulosa\ ácida = \frac{(873,365 - 586,004)}{873,365} \times 100 = 32,90\%$$

Tabla 12. Porcentaje de Remoción

Muestra	% Remoción
Ácida	32,90%
Básica	9,13%
Neutra	-182,16%

Fuente: Elaboración propia

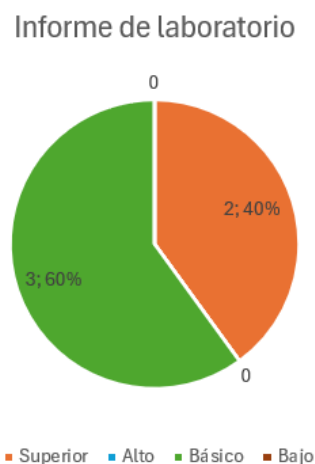
Los resultados indican que la eficiencia de remoción de amoxicilina está fuertemente influenciada por el pH del medio. En condiciones ácidas, se obtuvo la mayor remoción (32,90%), lo que sugiere que la interacción entre el adsorbente y el contaminante es más favorable en medios ácidos, posiblemente por una mayor protonación de los grupos funcionales del adsorbente o del antibiótico, lo que favorece la adsorción. En cambio, en condiciones básicas, la remoción fue significativamente menor (9,13%), lo cual podría deberse a una mayor solubilidad de la amoxicilina o a una menor afinidad por el adsorbente en ese entorno. Sorprendentemente, en condiciones neutras se observó un valor negativo de remoción (-182,16%), lo que podría indicar una posible interferencia analítica o error experimental que debe ser revisado cuidadosamente.

## 8.7 Fase 3. Fase de finalización

### 8.7.1 Entrega de informes “práctica de laboratorio”

Al desarrollar la práctica de laboratorio y llevar a cabo la socialización de los resultados obtenidos en cada estrategia propuesta, los estudiantes proceden a desarrollar un informe de laboratorio de manera grupal para concretar lo efectuado en la implementación desde un abordaje teórico/conceptual que da fundamento a lo realizado. En este orden de ideas, se evalúan los informes bajo una rúbrica (anexo 5) que permitiera correlacionar aspectos teóricos, estructurales y de argumentación para el proceso de enseñanza-aprendizaje del término COE y un factor biorremediador. A continuación, se realiza el análisis cuantitativo que avala el valor adquirido en cada parámetro, el total y una valoración en base a un SIE de 50 puntos.

Gráfico 9. Resultados de “informe de laboratorio”



Fuente: Elaboración propia.

Al desarrollar la práctica de laboratorio estipulada para la implementación de estudiantes de química verde, se da lugar a que 3 grupos adquieren un desempeño básico y 2 grupos un desempeño superior, lo que avala el buen desarrollo de la práctica. No obstante, al establecer los parámetros de la rúbrica empleada se efectúan indicadores que permitan evidenciar el uso del informe de laboratorio en función a los ítems de un artículo científico, se da lugar a la relevancia y carencia de este aspecto en la entrega del trabajo.

### 8.7.2 Práctica de laboratorio

Teniendo en cuenta la descripción realizada en la metodología de este trabajo de investigación, para la práctica de laboratorio se forman los 5 grupos planteados inicialmente donde 2 de ellos parten con la muestra llevada a equilibrio de humeado para realizar extracción de grasas por medio del montaje soxhelt, los 2 siguientes grupos proceden de la muestra sin grasa para realizar reflujo e hidrolisis con los lavados correspondientes de cada carácter y 1 grupo restante realiza extracción de amoxicilina, curva de calibración y ensayo de jarras dando seguimiento al informe de la práctica realizado por parte de las tesis.

Para cada procedimiento a realizar, a cada estudiante se le hizo entrega de una guía de laboratorio (anexo 4) en la que se detallaba cada proceso paso a paso, además de especificar los materiales y métodos. A cada grupo se le solicitó un pre-informe, en el que debían especificar el montaje a realizar y sus funciones, con el fin de que los estudiantes en el momento de realizar la práctica tuvieran las bases teóricas necesarias para comprender el procedimiento.

- **Extracción de grasas (estudiantes del espacio académico Química Verde)**

El grupo 1 y 2 realiza la práctica correspondiente para determinación del %grasa presente en 10g de muestra (aguacate Hass en equilibrio de humedad), arrojando los siguientes resultados estructurados en la siguiente tabla.

*Tabla 13. Resultados Soxhelt grupo 1*

<b>Grupo 1</b>	<b>Masa del balón vacío con las perlas (g)</b>	<b>Masa de la muestra (g)</b>	<b>Masa del balón con grasa (g)</b>	<b>% Grasa</b>
Balón 1	48,221	3,42	48,638	12,20%
Balón 2	65,324	10,1	66,549	12,20%

*Tabla 14. Resultados Soxhelt grupo 2*

<b>Grupo 2</b>	<b>Masa del balón vacío con las perlas (g)</b>	<b>Masa de la muestra (g)</b>	<b>Masa del balón con grasa (g)</b>	<b>% Grasa</b>
Balón 1	166,10	10,004	168,169	20,69%
Balón 2	92,871	10,006	94,871	20,37%

En el proceso de extracción realizado por los estudiantes, específicamente el grupo 1 y 2, a cada grupo le correspondió hacer 2 montajes para extraer los lípidos de la muestra, los montajes fueron conectados en circuito y por medio de una bomba se circulaba el agua para la refrigeración del montaje.

Cada grupo se encargó de tomar los datos estipulados en las tablas anteriores, para posteriormente, con ayuda de la ecuación 2 obtener el porcentaje de grasa obtenido de las muestras correspondientes. Por ultimo los estudiantes entregaron un informe en el que detallaron los resultados obtenidos junto con las conclusiones a las que llegaron.

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>
“El porcentaje de grasa obtenido refleja una extracción exitosa a pesar de haber pesado valores diferentes en los balones. Como conclusión podemos afirmar que el peso de la muestra es inherente para la determinación del porcentaje de grasa debido a la naturaleza de esta”	“Teniendo en cuenta los análisis estándar de los porcentajes que se querían esperar, se extrajo efectivamente la grasa, sin embargo, no de la misma manera, ya que el sifón se tenía que hacer manualmente y por falta de observación se dejó más tiempo sin realizar este procedimiento”

En estas afirmaciones y en el proceso en sí, se evidencia un correcto manejo de los instrumentos laboratorio y exitoso desarrollo de la práctica, logrando extraer efectivamente los lípidos de la cáscara. al hacer una comparación de los resultados los estudiantes hacen un análisis sobre que variables o condiciones son las responsables de las diferencias de porcentaje. Llegando a la conclusión de que un sistema logro extraer más lípidos que el otro dado al tiempo que estuvo en funcionamiento el montaje, dado que un montaje estuvo más tiempo realizando el sifón.

También es importante resaltar la conclusión a la que se aproxima el grupo 1, debido que, al momento de realizar la práctica de laboratorio, las masas de la muestra fueron diferentes, por ende, esperaban un rendimiento menor en la muestra más pequeña. Al obtener los resultados, llegan a la afirmación de que, sin importar los gramos de la muestra, se extrae un porcentaje similar ya que la naturaleza de la muestra es la misma, por ende, su composición.

- **Extracción de carbohidratos (estudiantes del espacio académico Química Verde)**

Durante la práctica experimental, los dos grupos encargados de realizar el proceso de hidrolisis participaron activamente en el laboratorio y además en la posterior contextualización del análisis obtenido de la espectroscopia infrarroja. Cabe aclarar que, por cuestiones de tiempo, los espectros analizados por los estudiantes correspondieron a los espectros obtenidos en la investigación, los estudiantes realizaron la interpretación de las bandas características asociadas a los grupos funcionales presentes en la celulosa. Actividad que permitió aplicar conocimientos teóricos en un contexto práctico, fomentando la comprensión de la estructura química de la celulosa.

Grupo 3	Grupo 4
<p>“Se logró determinar que en la muestra neutra los picos fueron más exactos, mientras que en la muestra ácida hay un ligero desfase al ser un ácido fuerte el trabajado, y por otro lado en la muestra básica no hay registro de enlaces (C-H) alifáticos, al ser una base fuerte según las gráficas reflejadas, lo que quiere decir que si se extrajo celulosa”</p>	<p>“En la muestra neutra se pueden presenciar los picos (OH, C-H y Eter glucosídico); en la muestra ácida se pueden presenciar los picos, pero con un desfase no muy notable y en la muestra básica se ven los picos del grupo OH y el Eter glucosídico, pero no hay rastro de las cadenas C-H”</p>

- **Ensayo de jarras (estudiantes del espacio académico Química Verde)**

El ensayo de jarras presentaba un tratamiento previo tanto de la muestra como de la amoxicilina que iba a ser usada, lo que permitió obtener el análisis de cromatografía HPLC para determinar la concentración de la amoxicilina en un porcentaje de remoción, dando lugar a los siguientes resultados.

Grupo 5
“En la práctica se hace uso de componentes orgánicos con propiedades adsorbentes para tratar aguas contaminadas con medicamentos no solubles en agua, ayudando al medio ambiente. De igual manera, si se establece que el elemento más contaminante es la amoxicilina, se le asigna un puntaje de 5 (ni tan verde, ni tan café) asignándole puntuación al trabajo práctico.”

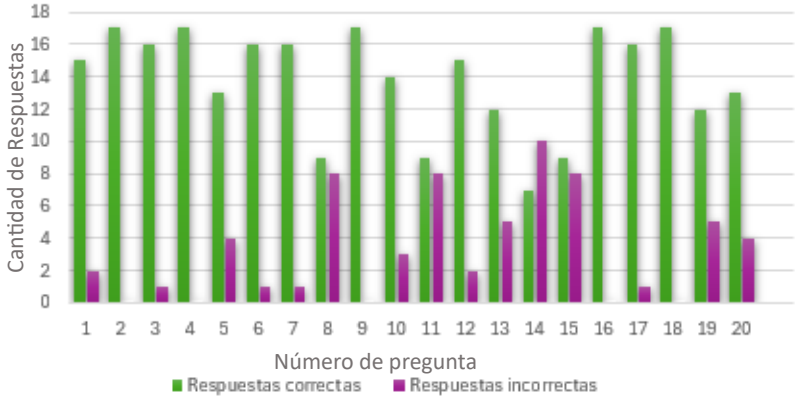

En este punto de la práctica, los estudiantes dejaron el montaje estructurado y realizaron cada paso estipulado en el procedimiento, sin embargo, el trabajo práctico por cuestiones de tiempo no se realizó lectura en HPLC durante la sesión práctica lo que permitió que los estudiantes recibieran los resultados entregados por la analista de la UPN. No obstante, avalaron la importancia del trabajo estableciendo una escala de verde donde no se representa un factor toxico y contribuye a los principios que maneja el espacio académico como la prevención al generar residuos.

### 8.7.3 Cuestionario final

El instrumento de salida aplicado al finalizar las intervenciones se enfoca en las contribuciones del trabajo al objetivo de la investigación, donde se identifica el uso de las herramientas para emplear y obtener una comprensión más profunda de los conceptos manejados con anterioridad, se facilita la recopilación de datos de manera flexible para mayor comprensión de los ejes temáticos. Así mismo, el grupo focal realiza la resolución del cuestionario final para identificar un índice favorable o desfavorable en la investigación, a continuación, se exponen los resultados obtenidos.

*Tabla 15. Cuestionario final*

Cuestionario final	
Desarrollo del cuestionario	

	<p style="text-align: center;"><i>Gráfico 10. Cuestionario final</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Elaboración propia.</i></p>
<p>Consolidado del cuestionario</p>	<p style="text-align: center;"><i>Gráfico 11. Consolidado del cuestionario final</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Elaboración propia.</i></p>

*Fuente: Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta las gráficas expuestas, se identifica mayor incidencia en la resolución del cuestionario final con un factor positivo evaluado en un 81%, donde si se revisa de manera detallada el índice de error es nulo para las preguntas 2, 4, 9, 16 y 18, así mismo, sigue existiendo incertidumbre en la pregunta 14 donde el mayor índice de la población no se familiariza con la respuesta correcta. El panorama es alentador para la investigación, debido a que se dio lugar a una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje que permitió abarcar a nivel los ejes temáticos relacionados con el término COE, biorremediación, función de la celulosa y educación ambiental integrada al Proyecto Educativo Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional.

## **9. Análisis de resultados**

En el siguiente apartado se pretende realizar la triangulación de los resultados el cual tiene la finalidad de dar credibilidad, validez y comprensión a los hallazgos. Okuda & Gómez (2005) definen la triangulación como el uso de varios métodos, de fuentes de datos, de planeamientos de teorías que permiten adquirir otro punto de vista para el investigador en la búsqueda de patrones de convergencia para poder desarrollar o corroborar el objetivo de la investigación. Así mismo, se recurre a fuentes de datos, investigadores y teorías que avalen los resultados obtenidos anteriormente.

### **9.1 Fase 1. Iniciación**

A continuación, se optimizan los resultados del cuestionario inicial, aplicado con el objetivo de construir una Secuencia enseñanza-aprendizaje en el contexto de la biorremediación de aguas con contaminantes emergentes, que permitan integrar la educación ambiental en el currículo de la Licenciatura en Química. En este orden de ideas, la población participe de la investigación cursa el espacio académico de Química Verde perteneciente al departamento de química, como materia electiva nos da la posibilidad de investigar en las licenciaturas que hacen parte de la facultad, como lo es biología, química, física y diseño tecnológico.

En el cuestionario de entrada, a modo de consolidado el 63% del grupo solventó sus resultados de manera asertiva en función a preguntas correctas, como son las preguntas que interrogan sobre los tratamientos de fármacos, manejo de residuos, beneficios de la biorremediación, el objetivo principal de incluir un proyecto ambiental dentro del PEI, las estrategias fundamentales para la educación ambiental. Da lugar a un bagaje de conocimientos previos favorables para la investigación, debido a que Lazo (2009) realiza un análisis de la importancia de la psicología en los procesos de educación y menciona los aportes de Ausubel (1928-2008) donde se establece que la influencia más significativa que tiene el alumno para su proceso de enseñanza-aprendizaje es lo que ya sabe y como este conocimiento es abarcado de manera equivalente para optimizar los aprendizajes.

Así mismo, se identifican preguntas con alto índice de error debido a una concepción teórica no tan establecida como en el caso anterior, las incógnitas con mayor margen son sobre la biorremediación, los factores que dificultan la biorremediación en ecosistemas acuáticos, el rol de esta técnica para contribuir a la limpieza y recuperación de cuerpos de agua contaminados, el uso de microorganismos y plantas que se utilizan en estos procesos y conocimiento del Proyecto Educativo Institucional (PEI) en la Universidad Pedagógica Nacional (UPN).

## **9.2 Fase 2. Fase de desarrollo**

El análisis correspondiente a esta fase se solventa en el desarrollo de la implementación con los estudiantes del espacio académico química verde, cada estrategia de la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) se estableció con la finalidad de que la información brindada trabajara en paralelo con las estrategias, el cuestionario inicial y los objetivos de la investigación.

### **9.2.1 Estudio de caso**

La estrategia implementada al inicio de las intervenciones relaciona la parte introductoria de la investigación con la justificación del proyecto, donde se informaba la diferencia entre fármacos, medicamentos, a qué familias se acogen y qué se hace con ellos en la actualidad, así mismo, se relacionan con la problemática planteada y se define un estudio de caso para que trabaje el grupo. El estudio de caso da lugar a que los estudiantes interpretan y se apropian de manera favorable la información brindada, donde cuatro de los cinco grupos establecen redes semánticas frente a las consecuencias y parámetros para el consumo de antibióticos, el automedicarse en caso de que se presente algún síntoma y la conciencia ambiental que deja el proceso de manejo de residuos identificando variables de la salud pública y proponiendo nuevas estrategias para emplear la prevención y el cuidado.

El estudio de caso como estrategia metodológica plantea el análisis de un problema, determinación de un método, agilidad para establecer alternativas y la toma de decisiones, autores como Ramírez, Rivas & Cardona (2019) consideran esta estrategia como una herramienta metodológica que se acopla a cualquier área del conocimiento, cuyos resultados son eficientes para desarrollar conocimiento, proponer recomendaciones e indagar sobre acciones de cambio que estimulen la investigación y se pueda aprehender de la realidad como situación estratégica.

La estrategia acoge las estipulaciones de los autores y aunque sus resultados fueron asertivos con lo que se realizaba en la intervención, se puede reestructurar en un futuro las dificultades evidenciadas, aunque, a nivel general, fue gratificante el resultado obtenido por parte de los grupos que se involucraron con esta implementación.

### **9.2.2 Lluvia de ideas**

En este punto de la secuencia se abarca conceptos clave como COE, biorremediación, celulosa, recurso hídrico y enfoque de educación ambiental. Delgado (2021) define la lluvia de ideas como aquel pensamiento creativo que es usado en el aula para mayor creatividad y

aprendizaje significativo, donde se brinda la oportunidad de experimentar, toma de decisiones y hallar diversas conexiones de la información brindada. El grupo en un fragmento demuestra gran sentido de apropiación de los términos, sin embargo, otra proporción se encuentra en el desempeño básico donde se requiere mayor apropiación de los términos y mayor relación del conocimiento con la educación ambiental. Aunque la autora avala esta estrategia para mayor aprendizaje significativo y optimización del aprendizaje como único, se da lugar a la importancia de solventar los conceptos al 35% de la población.

### **9.2.3 práctica de laboratorio**

La práctica de laboratorio esta abarcada por el desarrollo de diversos métodos que permitieron la obtención de la celulosa, ya que es considerado como factor biorremediador en el tratamiento de aguas residuales con persistencia en Contaminantes Orgánicos Emergentes (COEs), el proceso se consideró arduo y extenso para un fin en particular, debido a que, se esperaba que el porcentaje de remoción fuera factible para sus alcances en la industria y salud ambiental. Sin embargo, después de la obtención de la celulosa, la extracción del principio activo de la amoxicilina y el ensayo de jarras, la muestra fue llevada a lectura cuantitativa por HPLC lo que permitiría identificar la viabilidad de esta técnica arrebozando la investigación. El porcentaje de remoción oscila entre el 9% y 33% dependiendo de su carácter ácido-base, lo que nos permite plantear para futuras investigaciones mayor profundización de propiedades físicas y químicas de la celulosa obtenida bajo los diferentes métodos usados. A su vez, Alonso, Guadalupe & Palacios (2023), plantean una problemática ambiental similar donde se efectúa la producción acuícola descontrolada que ha generado un impacto negativo al medio ambiente disminuyendo los estándares de calidad en los cuerpos de agua y plantean como alternativa de recuperación la biorremediación como técnica de tratamiento de aguas residuales por medio de hongos, bacterias, plantas o biorreactores para tratar y mantener las condiciones naturales del medio ambiente.

Los autores avalan la innovación de la biorremediación como técnica para solventar el daño ambiental, lo que encamina la ruta de la investigación realizada como optima y eficiente para el cuidado del recurso hídrico enfatizando en una educación ambiental que culmine para los egresados de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, investigar en técnicas aplicables al contexto en el perfil de un licenciado permite que la educación siga viéndose como un auge de esperanza para la sociedad, y que este a su vez, se solventa en estrategias que permitan vincular el contenido curricular a la práctica desde varias áreas del conocimiento. En esta fase de diseño experimental, se centra en cómo la técnica de la biorremediación nos permite dar lugar a una educación ambiental desde el perfil de un licenciado apto a las necesidades de su entorno.

### **9.3 Fase 3. Fase de finalización**

La fase que da lugar a los resultados por los que se encaminó la SEA tiene como propósito recopilar el análisis de resultados de carácter experimental en la práctica de laboratorio y plantear un paralelo con el cuestionario complementario, debido a que, se finaliza la intervención realizada al grupo.

#### **9.3.1 Informe de laboratorio**

La práctica de laboratorio realizada por parte de los estudiantes que cursan el espacio académico Química Verde de las licenciaturas de química, biología, física y diseño tecnológico realizaron los montajes proyectados en cada técnica para la obtención de celulosa que conllevaba al ensayo de jarras en el proceso de biorremediación del COE. El informe de laboratorio da una valoración entre el desempeño superior para dos grupos formados y desempeño básico para los tres grupos restantes, efectuando parámetros en la rúbrica frente al dominio conceptual y enfoque ambiental, desarrollo del experimento y el análisis plasmado en el informe, reflexión educativa para la concientización ambiental, ejecución del práctica en conformidad con los diagramas de flujo entregados, redacción y organización del trabajo escrito y el uso adecuado de fuentes y referencias. Venegas, Ahumada & Sologuren (2021) menciona la importancia de la escritura de los informes de laboratorio debido a que este se fundamenta en una práctica evaluativa que permite a los estudiantes desarrollar habilidades de pensamiento empírico en el mediático de relacionar conceptos con operaciones sistemáticas que deben ser explicadas de manera descriptiva para un proceso de replicación.

La entrega del informe por parte de los grupos avala la importancia de la intervención y la representación de redes semánticas con las explicaciones previas es el resultado de una práctica adecuada bajo todos los parámetros y el informe guía entregado, el grupo en su mayoría dio a la correcta resolución de los montajes avalados por técnicas, debido a que por cuestiones de tiempo se fragmentó el desarrollo como fue descrito en los resultados. El impacto del proyecto de investigación fue apropiado para enriquecer técnicas empleadas en el laboratorio, asociarlas con los objetivos de la investigación y llevar a cabo un mejor fundamento teórico-práctico para el desarrollo del enfoque ambiental plasmado en el PEI de la UPN.

### **9.4 Cuestionario final**

En el cuestionario aplicado a modo de cierre, el índice de respuestas correctas es equivalente a un 81% evidenciando un factor favorable para la implementación. Se logro solventar

respuestas correctas en el manejo de antibióticos, incidencias en el medio ambiente, manejo de residuos, técnica de biorremediación y el enfoque ambiental integrado a la transversalidad del PEI. El cuestionario de cierre brinda la examinación, interpretación y organización para identificar la viabilidad de la SEA en función a verificar la información obtenida, sin embargo, aunque porcentualmente la estrategia es efectiva se fundamenta en posibles retroalimentaciones para solventar la población que incide en errores de concepción.

A su vez, el trabajo realizado da un buen panorama general y se apoya en todos los autores mencionados para la resolución correcta de la estrategia aplicada, así mismo, el grupo de estudiantes estableció aportes gratificantes en las diversas actividades que abren el abismo del conocimiento y de la participación e integración de conocimientos previos que apoyan la obtención de resultados obtenidos en el desarrollo de cada fase. Así mismo, aunque se realiza un comparativo con el cuestionario inicial el porcentaje incrementa positivamente, efectuando el trabajo realizado como una alternativa exitosa para implementar la educación ambiental en el marco del PEI institucional.

## 10 Conclusiones

A lo largo de esta investigación se evaluó la capacidad de diferentes tipos de celulosa modificada (ácida, neutra y básica) para adsorber amoxicilina desde una solución acuosa, sin embargo, el objetivo principal de la investigación se centró en integrar la educación ambiental a través de la aplicación de la estrategia de biorremediación. Fue por medio de la celulosa de la cáscara del aguacate que se demostró cómo un residuo agroindustrial puede convertirse en un material funcional para el tratamiento de aguas contaminadas con sustancias emergentes, en el caso de la investigación, un antibiótico de uso común, lo que permitió contextualizar y sensibilizar a los estudiantes sobre el consumo irresponsable, el uso adecuado y desecho correcto no solo de los antibióticos, si no de los medicamentos en general, resaltando las problemáticas ambientales causadas por la presencia y persistencia de estos contaminantes emergentes en los ecosistemas. Esto generó un impacto positivo en la participación de los estudiantes en el desarrollo de la estrategia didáctica, con una actitud crítica y reflexiva ante las problemáticas socioambientales, conociendo y adaptando la postura que se plantea desde PEI de la universidad sobre el principio de sustentabilidad ambiental.

En este sentido, se logró articular y conectar contenidos de la química verde con problemáticas ambientales reales, mediante la aplicación del SEA, logrando visibilizar el consumo inadecuado de medicamentos. La aplicación de la estrategia a través de un grupo focal reveló una apropiación significativa del concepto biorremediación, permitiendo evidenciar la relación de los procesos químicos con soluciones ambientales, demostrando que la integración de las prácticas de laboratorio con fines didácticos no sólo permite enseñar y comprender procesos químicos, si no que fomenta una postura activa frente a los presentes desafíos ambientales, contribuyendo a la formación integral de licenciados como agentes de cambio en la comunidad.

El trabajo de implementación proporciona las habilidades para el desarrollo docente en pro de la oferta laboral, articulando el proceso con la transversalidad que promueve la educación y en este caso la educación con enfoque ambiental. Mas allá de estigmatizar el trabajo realizado en la práctica de laboratorio con un agente biorremediador que propicie el cuidado y mitigue la incidencia del contaminante, se prioriza en mayor proporción la integración del concepto para construir un proceso de enseñanza-aprendizaje que forme a conciencia y con responsabilidad ambiental a los futuros egresados de la Universidad Pedagógica Nacional.

## 11 Recomendaciones

Se recomienda, teniendo en cuenta la población objeto de la investigación, diseñar y proporcionar actividades interdisciplinarias que involucren activamente las habilidades de los estudiantes ajenos al departamento de Química, es decir, a los estudiantes pertenecientes a los departamentos de Biología, Física y Diseño Tecnológico. Estas actividades deben estar orientadas a fomentar la conexión de sus respectivas disciplinas con la educación ambiental, esto, dado a que la investigación se orientó más a la disciplina Química, faltando así, una transversalidad de contenidos que promuevan una comprensión integral de los desafíos ecológicos contemporáneos, esto, teniendo como base el principio de sustentabilidad que plantea la universidad desde su PEI.

Asimismo, se sugiere fomentar el trabajo colaborativo mediante proyectos integradores en los que los estudiantes de distintos departamentos puedan interactuar y resolver problemáticas reales relacionadas con el medio ambiente. Este enfoque no solo fortalece la educación ambiental desde una perspectiva multidisciplinaria, sino que también estimula el desarrollo de competencias como el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y a la comunicación efectiva entre áreas del conocimiento. La implementación de estos proyectos podría incluir actividades como el diseño de prototipos sostenibles, investigaciones conjuntas o campañas de sensibilización ambiental, permitiendo que cada disciplina aporte desde su campo para generar soluciones innovadoras y contextualizadas.

De igual manera, en el campo de la educación se pretende fomentar el desarrollo de egresados 4.0 que se adapten al cambio, a la transversalidad y a la formación de ciudadanos críticos y acordes a las necesidades del contexto, debido a que, el trabajo de investigación estableció un panorama amplio frente a las diferentes licenciaturas y su visión frente al enfoque ambiental plasmado desde el Proyecto Educativo Institucional que provee la sostenibilidad visto desde la actualidad, sin embargo, la sustentabilidad ambiental crea una conciencia conciliadora con generaciones futuras predispuestas al cambio y a la mejora de las problemáticas ambientales.

Frente al campo disciplinar y la propuesta de un agente biorremediador apto para el tratamiento de aguas residuales, en fundamento a las bases teóricas usadas se recomienda seguir con el estudio de las variables que pueden degradar la amoxicilina para conseguir un agente más efectivo para la depuración de aguas contaminadas, el análisis realizado por HPLC con el fin de cuantificar las concentraciones de nuestro contaminante antes y después de un proceso de biorremediación garantiza la efectividad del método, sin embargo, el porcentaje de remoción puede ser mayor y garantizar los parámetros del agua tratada.

Por último y no menos importante, a partir de los resultados obtenidos y de la experiencia desarrollada durante la ejecución del proyecto se percibió, que para una futura investigación parte II se recomienda profundizar en la purificación de la celulosa, considerando la posibilidad de reutilizar el bioadsorbente a través de procesos de regeneración química o

térmica, lo que contribuirá a la sostenibilidad del sistema, con el fin de darle cierre a un proceso circular, donde se resuelva el interrogante frente al proceso posterior de la adsorción del contaminante. Además, un estudio frente a diferentes técnicas de biorremediación le daría más profundidad a la investigación.

## 12 Referencias

- Akhavan, kannan, & vijhani. (2020). Amoxicilin. . *StatPearls Publishing*.
- Ana Milena Alonso Fernández, D. P. (2023). Biorremediación en Aguas Residuales Acuícolas: Una Revisión. *Ciencia Latina Internacional*, 31.
- Barbosa, & Cano. (2021). Cuantificación de amoxicilina y cefalexina en aguas residuales del río Bogotá mediante la técnica de HPLC. *Universidad Distrital*, 30-33.
- Barriga, & Hernández. (s.f.). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo . *McGraw-Hill*.
- Bisognin, R. P. (2017). *Revisão sobre fármacos no ambiente*. A Revista DAE está licenciada sob a Licença Atribuição Não Comercial 4.0 Internacional Creative Commons.
- Borja, D., & Goetschel, M. (2022). Subproductos del aguacate (*Persea americana*) Hass y fuerte: estudio fitoquímico y proximal. *scielo*, 23.
- Cabascano, Arteaga, Sánchez, Navarro, & Jácome. (2021). técnicas de extracción de celulosa en residuos agroindustriales. *Revista pertinencia académica* .
- Carbonel. (2018). Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. *Revista de Ingeniería UD*.
- Castañeda, M. M. (2004). Valores transversales en el curriculum. *Revista de Educación y Cultura*, 17.
- Caviedes, D., Ricardo, D., & Olaya, A. (2017). Normatividad ambiental dirigida a regular la presencia de los productos farmacéuticos residuales en ambientes acuáticos. *Revista Jurídica Piélagus*, Vol.16 .
- Cisneros, v., Cardenas, V., Bulero, D. I., & Aleman, M. (2016). Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables . *Revista Ingenierías Universidad de* .
- Colín, S., Pedro, M., & Alejandro, L. L. (2001). Historia del aguacate en México . *cictamex*, 17.
- Colombia, M. d. (2022). *Boletín estadístico del aguacate*. Obtenido de <https://www.agricultura.gov.co>
- Cummings, & Schroeder. (1942). Anatomy of the Avocado Fruit. *University of California, Los Angeles*.
- Delgado, C. (2022). Estrategias didácticas para fortalecer el pensamiento creativo en el aula. Un estudio meta-analítico. *Dialnet*, 51-64.
- EAAB. (s. f). Plegable técnico PTAR el salitre.
- FHIA. (2008). Manual técnico del cultivo del aguacate hass. 53.

- Flórez, M. (2020). análisis de las condiciones de saneamiento ambiental y salud ambiental bajo el enfoque de entornos saludables en las cuencas priorizadas del valle del cauca. *Universidad Autonoma de Occidente*.
- Gómez, R. (2021). Proceso de producción del aguacate Hass en Colombia y sus impactos en la distribución física internacional. *unimilitar*, 3-5.
- González. (1996). Principales tendencias y modelos de la Educación ambiental. *Valencia*, 10.
- Hernandez, R. (2020). Remoción de amoxicilina y triclosán utilizando poblaciones microbianas aisladas de lodos activados de una planta de tratamiento de aguas residuales. "*tesis de ingeniero ambiental*". CIDETEQ, México.
- lafrancesco, G. (2004). Currículo y Plan de Estudios. Estructura y Planeamiento. *Cooperativa Editorial Magisterio*, 15.
- ICONTEC. (2017). Determinación del contenido porcentual de grasa o aceite. Método Soxhlet NTC: 6240.
- Inza, A. A. (2017). Bioadsorción con cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en aguas contaminadas por anilina de la Empresa Curtiembre - Huachipa 2017. *Universidad César Vallejo*, 60.
- Jiménez, MArín, Murillo, Rojas, Vallecillo, & Valverde. (2024). Microrremediación: el caso de *Pleurotus ostreatus* sobre polímeros sintéticos como el acetato de celulosa. *Tecnología en marcha*.
- Kamalpersas, Luna, Sunderland, & Czarniak. (2024). Una evaluación de la estabilidad de la amoxicilina/clavulanato en sistemas acuosos, incluida su idoneidad para la terapia antimicrobiana parenteral ambulatoria (OPAT). *Drug Desing, development and therapy*.
- Kümmerer, Dionysios, & Fatta, O. (2018). Reduced chemicals input must complement wastewater treatment to ensure the safety of water resources. *ScienceAdviser*.
- Lazo, M. S. (2009). David Ausubel y su aporte a la educación. *Dialnet*, 20-23.
- López, N. (2001). La reconstrucción Curricular. *Cooperativa Editorial Magisterio*, 10.
- López, Pereda, & Escobar. (2018). Efecto de la aplicación de métodos de pre-tratamientos en el proceso de digestión anaerobia de la biomasa lignocelulósica. *Redalyc*.
- López, Y. A. (2014). *Retos y Oportunidades de la educación ambiental en el siglo XXI*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional CIUP.
- Maldonado, M. (2007). EL TRABAJO COLABORATIVO EN EL AULA UNIVERSITARIA . *Laurus*.
- Martins, Vasconcelos, Lopes, Ferreira, Limache, Pantaroto, . . . Maia. (2014). Bioremediation potential of microorganisms derived from petroleum reservoirs. *PubMed*.
- Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz. (2015). Efecto de la moringa oleífera e el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia . *Scielo*.

- Minambiente, M. d. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas: gov.co.
- MINEDU. (2019). Enfoque ambiental. (pág. 22). Colombia: minedu. Obtenido de [http://www.minedu.gob.pe/educacion-ambiental/ambiental/enfoque\\_ambiental.php](http://www.minedu.gob.pe/educacion-ambiental/ambiental/enfoque_ambiental.php)
- Ministerio de Agricultura. (2021). *Cadena productiva Aguacate*. Minagricultura.
- Monroy, A. (2020). ENFOQUE CTSA PARA LA ENSEÑANZA DE BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO: REMOCIÓN DE Cr (VI) CON CÁSCARA DE NARANJA . *Universidad Pedagógica Nacional* , 95.
- Moreno, V., Martínez, J., Kravzov, J., Pérez, L. A., Moreno, C., & Altagracia, M. (2013). Los medicamentos de receta de origen sintético y su impacto en el medio ambiente. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas* , 29.
- Nascimento, L., Trindade, R., & L. g. (2015). Contaminantes orgánicos emergentes: impactos y soluciones para la salud humana y el medio ambiente. *scielo*.
- NORMEX. (2020). Alimentos-determinación de grasa (método gravimétrico por hidrólisis ácida)- método mojonier- método de prueba .
- Ore, R. W. (2014). *PROYECTO EDUCATIVO INSTITUCIONAL CON ENFOQUE AMBIENTAL PARA DESARROLLAR CONCINECIA AMBIENTAL EN LOS ESTUDIANTES DE LA I.E. "SAN DANIEL COMBONI"*. HUANCAYO-PERÚ.
- Ortiz, D. A. (2020). Proyecto Educativo Institucional PEI, con enfoque en educación ambiental. *CITECSA*, 11.
- Pavia, Lampman, Kriz, & vyvyan. (2015). Introduction to Spectroscopy. *Cengage Learning*.
- Pereira, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación:Una experiencia concreta. *EDUCARE*.
- PubChem. (2024). *National Center for Biotechnology Information*. Obtenido de Compound Summary for CID 33613, Amoxicillin.: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Amoxicillin>.
- Raju, Sharma, Rao, & Rao. (2009). RP-HPLC Method for Analysis of Related Substances in Amoxicillin Drug Substance . *Akadémiai Kiadó, Budapest* .
- Ramirez Sánchez María, R. T. (2019). El estudio de caso como estrategia metodológica. *ESPACIOS*, 30-37.
- Rodríguez, A. (2017). Bioremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas bio-absorbentes. *Universidad de Granada*.
- Santana, M., Bonilla, J., & Sotomayor, C. (2015). Rango de consumo básico. *Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico (Minvivienda)*.
- Serrano, J. L. (2018). *Espectroscopía infrarroja*.

- Silverstein, W., Kiemle, & Bryce. (2014). Spectrometric Identification of Organic Compounds . *ohn Wiley & Sons*.
- Smith. (2011). Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *CRC Press*.
- Sneyder, Kirkland, & Dolan. (2010). Introduction to modern liquid chromatography. *wiley-interscience*.
- Tangsopha, Thongsri, & Busayaporn. (2017). Simulation of ultrasonic cleaning and ways to improve the efficiency. *ResearchGate*.
- Tejada, H., & Villabona. (2020). Assessment of Chemically Modified Lignocellulose Waste for the Adsorption of Cr (VI). *Revista facultad de ingeniería*.
- Tejada, T., & Ortiz, G. J. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *tecnológicas, 18(34)*.
- UPN. (2020). *PROYECTO EDUCATIVO INSTITUCIONAL*. BOGOTÁ: Universidad Pedagógica Nacional .
- UPN. (2020). *Proyecto Educativo Institucional PEI*. Bogotá: Grupo Interno de Trabajo Editorial.
- USAID. (2020). amoxicilin job aid to assist with laboratory testing .
- Vicentin, Ferreirós, & Magnatti. (2021). Farmacontaminación: el lado B de los medicamentos. *Revista Argentina de salud pública* .
- William, G. (2021). La resignificación participativa de la fundamentación pedagógica como escenario vital para la construcción del Proyecto Educativo Institucional. *Scielo*.

## 13 Anexos

### *Anexo 1. Cuestionario de entrada y de salida*

En el siguiente formulario se pretende dar lugar a la prueba de entrada del trabajo de grado denominado "**BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON SUSTANCIAS ORGÁNICAS EMERGENTES: UN ENFOQUE PARA**

**INTEGRAR LA EDUCACIÓN AMBIENTAL**" donde se encuentran 20 preguntas cerradas con el propósito de indagar en función a las temáticas que serán abordadas en el trabajo.

**¡BIENVENIDOS!**

Aguas residuales domésticas – PureWater Colombia | Tecnología en Tratamiento de Aguas |

\* Indica que la pregunta es obligatoria

**Imagen 1. Aguas residuales domésticas – PureWater Colombia | Tecnología en Tratamiento de Aguas |**



1. 1. ¿Qué es un antibiótico? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Un tipo de analgésico.  
 b) Una sustancia que elimina o inhibe el crecimiento de bacterias.  
 c) Un suplemento nutricional.  
 d) Un medicamento para potencializar los virus y bacterias.

2. 2. ¿Es importante completar todo el tratamiento de antibióticos? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Verdadero  
 b) Falso

3. 3. ¿Qué sucede si los antibióticos no se eliminan correctamente en el medio ambiente? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Se convierten en nutrientes para las plantas debido a que es un factor importante en el abono.  
 b) No causan ningún daño.  
 c) Pueden contaminar el agua y afectar organismos vivos.  
 d) Aumenta la vulnerabilidad de patógenos.

4. 4. ¿Cuál es la mejor forma de desechar los medicamentos como la amoxicilina? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Tirarlos al drenaje.  
 b) Guardarlos en casa por si se necesitan nuevamente.  
 c) Llevarlos a un centro de recolección especializado.  
 d) Arrojarlos al suelo.

5. 5. De uno a cinco indique el daño ambiental que puede generar el mal desecho de los antibióticos. \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

1. Ningún daño.  
 2. Poco daño.  
 3. No persisten en el medio ambiente.  
 4. Algún daño.  
 5. Graves daños.

6. 6. ¿La presencia de COEs tiene consecuencias en el medio ambiente (factores bióticos y abióticos)? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Inhibe el crecimiento de las plantas.
- b) Pérdida de la biodiversidad en los ecosistemas.
- c) Malformaciones y disminución de la fertilidad en mamíferos y reptiles.
- d) Todas las anteriores.

7. 7. ¿Sabe qué es biorremediación? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- Sí
- No

8. 8. ¿Cuál de los siguientes factores dificulta la implementación de la biorremediación en ecosistemas acuáticos? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Complejidad del ecosistema.
- b) Falta de recursos e implementos.
- c) Cambio climático.
- d) Tecnología insuficiente.

9. 9. ¿Qué papel juega la cáscara de aguacate en la biorremediación? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Sirve como fertilizante en el suelo.
- b) Actúa como adsorbente natural para eliminar contaminantes.
- c) Se usa como combustible alternativo.
- d) No tiene un papel directo en la biorremediación.

10. 10. El proceso de adsorción se basa en: \*

2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) La filtración mecánica de partículas grandes.
- b) La reacción química entre el contaminante y el adsorbente.
- c) La atracción de moléculas del contaminante a la superficie del adsorbente.
- d) La evaporación del contaminante del agua.

11. 11. ¿Cómo puede la biorremediación contribuir a la recuperación y limpieza de cuerpos de agua contaminados por sustancias nocivas?

\* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) A través de la adición de químicos sintéticos que neutralizan los contaminantes.
- b) Mediante la filtración mecánica del agua para eliminar partículas contaminantes.
- c) Utilizando organismos vivos que degradan y transforman los contaminantes en sustancias menos dañinas.
- d) Por la evaporación controlada del agua contaminada, dejando los contaminantes atrás.

12. 12. ¿Cuáles son los beneficios ambientales y económicos de utilizar la biorremediación como técnica para mejorar la calidad del agua en ríos, lagos y acuíferos?

\* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Reduce la biodiversidad y aumenta los costos de tratamiento a largo plazo.
- b) Minimiza el uso de químicos tóxicos, disminuye los costos de tratamiento y promueve la sostenibilidad.
- c) Incrementa la emisión de gases de efecto invernadero y depende de grandes infraestructuras.
- d) Genera residuos peligrosos y requiere inversiones iniciales muy elevadas.

13. 13. ¿Cómo se puede promover la implementación de tecnologías de biorremediación en la gestión sostenible y la preservación de recursos hídricos a nivel local y global?

\* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Aumentando la regulación y el uso de químicos sintéticos en el tratamiento de agua.
- b) Fomentando la educación, la investigación, la colaboración y la inversión en proyectos de biorremediación.
- c) Centralizando la gestión de recursos hídricos en grandes corporaciones multinacionales.
- d) Limitando la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas de biorremediación.

14. 14. ¿Qué papel juegan los microorganismos y plantas utilizados en procesos de biorremediación para degradar contaminantes presentes en el agua? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Metabolizan los contaminantes, transformándolos en compuestos menos tóxicos o inocuos.
- b) Liberan sustancias que encapsulan los contaminantes, impidiendo su dispersión.
- c) Actúan como filtros inertes que retienen los contaminantes sin modificarlos.
- d) Absorben los contaminantes y los almacenan sin transformarlos.

15. 15. ¿Conoce el PEI de la universidad Pedagógica Nacional (UPN)? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- Si
- No

16. 16. ¿Cuál es el objetivo principal de incluir un proyecto ambiental dentro del PEI de la UPN? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Promover la formación de ciudadanos conscientes y responsables con el medio ambiente, integrando la dimensión ambiental en el currículo y la gestión escolar.
- b) Obtener recursos económicos adicionales a través de proyectos externos.
- c) Cumplir con una normativa legal sin generar cambios significativos en la práctica educativa.
- d) Mejorar la imagen de la institución educativa ante la comunidad local.

17. 17. ¿Qué estrategias son fundamentales para asegurar la transversalidad de la educación ambiental en el PEI? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Realizar actividades esporádicas de limpieza y reciclaje.
- b) Crear un comité ambiental aislado del resto de la comunidad educativa.
- c) Integrar la educación ambiental en todas las áreas del conocimiento y en la gestión cotidiana de la institución.
- d) Enfocar la educación ambiental exclusivamente en la asignatura de ciencias naturales.

18. 18. ¿Cuál es el papel de la comunidad educativa en la construcción y ejecución del proyecto ambiental del PEI? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Ser receptores pasivos de las decisiones tomadas por la dirección de la institución.
- b) Participar activamente en la identificación de problemas, la formulación de soluciones y la implementación de acciones.
- c) Ignorar las actividades ambientales, priorizando el rendimiento académico.
- d) Limitarse a apoyar económicamente las iniciativas propuestas por la institución.

19. 19. ¿Cómo evaluar el impacto del proyecto ambiental en el PEI? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- a) Comparando los resultados con los de otras instituciones educativas.
- b) Contabilizando la cantidad de residuos reciclados.
- c) Realizando encuestas de satisfacción a los estudiantes.
- d) Monitoreando los cambios en las prácticas y actitudes de la comunidad educativa, así como el mejoramiento del entorno escolar.

20. 20. ¿Evidencia la incorporación del PEI en el plan curricular de la licenciatura? \* 2 puntos

*Marca solo un óvalo.*

- Si
- No

*Anexo 2. Secuencia de enseñanza-aprendizaje*

<b>Sesión</b>	<b>Actividad</b>	<b>Propósito</b>
1	<p>Duración: 2 horas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prueba de entrada</li> <li>• Presentación del objetivo del trabajo de investigación.</li> <li>• Preguntar: ¿Qué conocimientos tiene frente a los fármacos y medicamentos?</li> <li>• Introducción y presentación de los antibióticos, su importancia y contaminación en fuentes hídricas.</li> <li>• Estudio de caso.</li> <li>• Socialización</li> </ul>	Activar conocimientos previos e interés
2	<p>Duración: 2 horas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Socialización del concepto COE, desde la postura de autores que avalan las consecuencias medioambientales y de salud por este factor contaminante silencioso.</li> <li>• Construcción de un mapa conceptual con el termino COE y asocian a la familia del fármaco “antibióticos”, se realiza de manera individual para fomentar la estructuración de lo intangible a lo concreto.</li> <li>• Socialización de la construcción del mapa (concepto, consecuencias, métodos de cuantificación, fuentes de contaminación).</li> <li>• Dudas y preguntas</li> </ul>	Construir nuevos conocimientos de manera activa
3	<p>Duración 3 Horas.</p> <p>La propuesta se fundamenta en la construcción de cuatro grupos de laboratorio donde se dividirá los distintos procesos realizados para el uso de la celulosa como adsorbente de COEs (amoxicilina)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo 1. Extracción de grasas.</li> <li>• Grupo 2. Extracción de grasas</li> <li>• Grupo 3. Reflujo (hidrolisis de la celulosa)</li> </ul>	Aplicar el conocimiento en una situación práctica

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo 4. Ensayo de jarras</li> </ul>	
4	<p>Duración 3 horas.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación del método analítico para determinar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de lípidos.</li> <li>• IR de la celulosa (básica, ácida y neutra)</li> <li>• Efectividad de la remoción del contaminante orgánico emergente.</li> </ul> </li> <li>2. Socialización de resultados</li> <li>3. Prueba de salida</li> </ol>	Consolidar el aprendizaje y conectarlo con una situación real

Anexo 3. Rúbrica de evaluación estudio de caso

<b>Criterio</b>	<b>4-Superior 10 pts.</b>	<b>3-Alto 6 pts.</b>	<b>2-Básico 4 pts.</b>	<b>1-Bajo 0 pts.</b>
<b>Análisis del caso clínico 10 puntos</b>	Identifica correctamente los problemas relacionados con el uso, consumo y disposición del medicamento.	Identifica la mayoría de los problemas relevantes, aunque con algunas imprecisiones.	Identifica algunos problemas, pero sin un análisis profundo.	No identifica adecuadamente los problemas o su análisis es superficial.
<b>Propuesta de disposición adecuada del medicamento 10 puntos</b>	Presenta una estrategia bien fundamentada para el desecho seguro del medicamento, con las normativas y prácticas recomendadas.	Propone una estrategia adecuada, pero con algunos vacíos o falta de referencias normativas.	La propuesta es vaga, con poca relación con prácticas correctas de disposición.	No presenta una estrategia clara o sugiere prácticas inadecuadas.
<b>Análisis de consumo y dosis 10 puntos</b>	Evalúa correctamente la dosis y consumo del medicamento en el paciente, identificando posibles riesgos y ajustes razonables.	Analiza las dosis y consumo, pero con algunas imprecisiones o sin considerar todos los factores.	Muestra una comprensión limitada sobre la dosis o incidentes en la automedicación.	No analiza la problemática causada por la mala dosificación o presenta errores en su interpretación.
<b>Claridad y organización de presentación 10 puntos</b>	La presentación es clara y bien estructurada.	La presentación es comprensible, pero algunas ideas están desordenadas.	La exposición es confusa en algunos momentos y no mantiene coherencia.	La exposición es desorganizada y con dificultades para transmitir la idea.
<b>Trabajo en equipo y participación 10 puntos</b>	Todos los integrantes participan y demuestran dominio del tema.	La mayoría del grupo participa, aunque algunos con menor involucramiento.	Solo algunos integrantes participan.	Participación desigual o falta de trabajo colaborativo.

Fuente: Elaboración propia.

Categorías

Excelente: 50 a 45 puntos

bueno: 44 a 36

aceptable: 35 a 30

deficiente: 29 a 0

Anexo 4. Rubrica de evaluación lluvia de ideas

<b>Criterio</b>	<b>4-Superior 10</b>	<b>3-Alto 6</b>	<b>2-Básico 4</b>	<b>1-Bajo 0</b>
<b>Participación</b>	Participa con múltiples aportes, escucha a los demás y construye sobre sus ideas	Participa con aportes relevantes, aunque limitados.	Participa de forma pasiva o con menor frecuencia.	No participa o sus comentarios son irrelevantes.
<b>Relevancia y precisión</b>	Sus ideas muestran alto nivel de comprensión y relación con el término, lo ejemplifica y utilizando términos adecuados.	Sus ideas son relevantes, aunque inconclusas frente a detalles y precisión.	Algunas ideas son poco claras o presentan algunas confusiones.	Sus ideas son irrelevantes y presentan falta de comprensión.
<b>Pensamiento crítico y argumentación</b>	Explica sus ideas con argumentos sólidos, conexiones lógicas y lo relaciona con conocimientos previos.	Presenta argumentos, con ejemplos limitados o desarrollo incompleto.	Sus argumentos son débiles o poco desarrollados.	No presenta argumentos o sus ideas carecen de sustento lógico.
<b>Creatividad e innovación</b>	Propone ideas novedosas o enfoques originales sobre el término.	Propone ideas interesantes, pero falta la innovación.	Sus ideas son repetitivas o poco innovadoras.	No aporta ideas, no existe reflexión

*Fuente: Elaboración propia*

Categorías  
Superior: 50 a 45 puntos  
Alto: 44 a 36

Básico: 35 a 30  
Bajo: 29 a 0

Anexo 5. Rúbrica de evaluación Informe de laboratorio

# criterio	Criterio	Descripción del nivel excelente	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
1	<b>Dominio conceptual y enfoque ambiental</b>	Demuestra comprensión clara del concepto de biorremediación, los contaminantes emergentes y su conexión con la educación ambiental. Articula conceptos químicos y ambientales con sentido crítico.	20 pts	
2	<b>Desarrollo del experimento y análisis</b>	Describe el procedimiento experimental de forma precisa, interpreta adecuadamente los resultados y argumenta el comportamiento de las muestras.	20 pts	
3	<b>Reflexión educativa y contextualización</b>	Integra reflexiones sobre la enseñanza de la química y la concienciación ambiental como herramienta pedagógica.	20 pts	
4	<b>Ejecución del trabajo práctico de laboratorio</b>	El equipo demuestra dominio técnico durante la práctica: manipulación de sustancias, precisión en la preparación de soluciones, uso adecuado del material de laboratorio y seguimiento del protocolo experimental.	15 pts	
5	<b>Redacción, organización y presentación</b>	Informe bien estructurado, con redacción clara, sin errores importantes, y presentación visual coherente (tablas, títulos, lógica).	15 pts	
6	<b>Uso de fuentes y referencias</b>	Incluye bibliografía pertinente, bien citada. Evidencia respaldo conceptual.	10 pts	

*Fuente: Elaboración propia*

Categorías:

90-100: Superior. Alto dominio conceptual, reflexión pedagógica y rigurosidad científica.

80-89: Alto. Cumple con lo esperado, con detalles menores por mejorar.

70-79: Básico. Algunos aspectos relevantes están poco desarrollados.

60-69: Bajo. Falta profundidad, estructura o evidencia conceptual.

< 60: Insuficiente. No cumple con los criterios fundamentales.

## **EXTRACCIÓN DE CELULOSA DE CÁSCARA DE AGUACATE HASS Y ENSAYO DE JARRAS PARA ADSORCIÓN DE AMOXICILINA.**

### **Objetivo**

1. Obtener celulosa a partir de la cáscara de aguacate Hass mediante un proceso de extracción de grasas, carbohidratos y posteriormente su hidrólisis.
2. Evaluar la capacidad de adsorción de amoxicilina de la cáscara de aguacate Hass mediante un ensayo de jarras.
3. Determinar la eficiencia de remoción de amoxicilina mediante el uso de la celulosa extraída del aguacate Hass.

### **Introducción**

En los últimos años, la presencia de contaminantes farmacéuticos en cuerpos de agua ha generado preocupación debido a sus efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana. La amoxicilina, un antibiótico ampliamente utilizado en la medicina humana y veterinaria, es uno de estos contaminantes orgánicos emergentes y su eliminación de aguas residuales presenta un desafío, dado que su presencia en los ecosistemas acuáticos puede generar resistencia bacteriana y la afectación de los organismos.

En este sentido, la adsorción es una de las técnicas más utilizadas para la eliminación de contaminantes en el agua, destacándose por su eficiencia y simplicidad. Entre los materiales adsorbentes, la celulosa ha ganado atención debido a su estructura porosa, abundancia y biodegradabilidad.

La cáscara de aguacate, un subproducto agrícola generalmente desechado, contiene una cantidad significativa de celulosa que puede ser extraída y utilizada como material adsorbente.

Este laboratorio tiene como propósito la extracción de celulosa a partir de la cáscara de aguacate y la evaluación de su capacidad para adsorber amoxicilina en un ensayo de jarras cuyo resultado permitirá analizar la eficiencia de este material como adsorbente y contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con fármacos.

## Materiales y reactivos

- 10g de cáscara de aguacate seca y triturada
- 10 ml amoxicilina 15%
- 125 ml n- Hexano
- 125 ml NaOH 1%
- 250 ml HCl 10%
- 10 ml Etanol
- 10 ml NaCl 1%
- Agua destilada
- 3 Balón fondo plano 250 mL
- 3 Extractor soxhlet 100mL
- 3 Tubo refrigerante
- 1 Plancha de calentamiento
- Balanza analítica
- 15 Perlas de ebullición
- 3 Tubo refrigerante (Hidrolisis)
- Equipo de jarras
- Estufa
- 2 Probeta 100 mL
- 3 Papel filtro
- Embudo Buchner
- Quitasato
- Bomba vacío
- 3 Capsula de porcelana
- Espectrofotómetro
- Equipo HPLC
- Espátula
- Escobilla
- Trape para limpiar.

## I. EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS. GRUPO 1 Y 2

El método Soxhlet es una técnica de separación sólido-líquido que se usa para determinar el contenido graso en muestras. La eliminación de grasas es un paso fundamental en la purificación de la celulosa, debido a que los lípidos pueden interferir en la eficiencia del proceso de hidrólisis. En este paso del trabajo práctico se realizará la extracción para 30g de la muestra, donde se requiere por montaje incorporar 10g y desarrollar el diagrama de flujo expuesto a continuación.

Imagen 1: Montaje extracción de grasas.

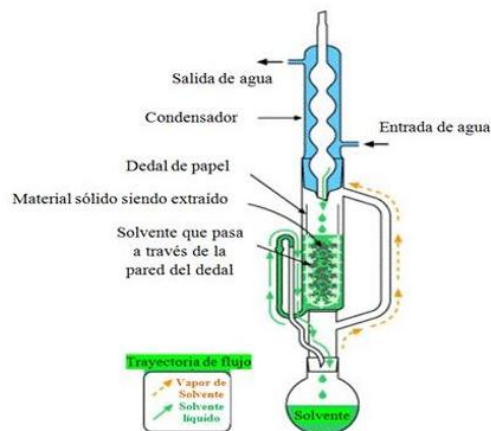
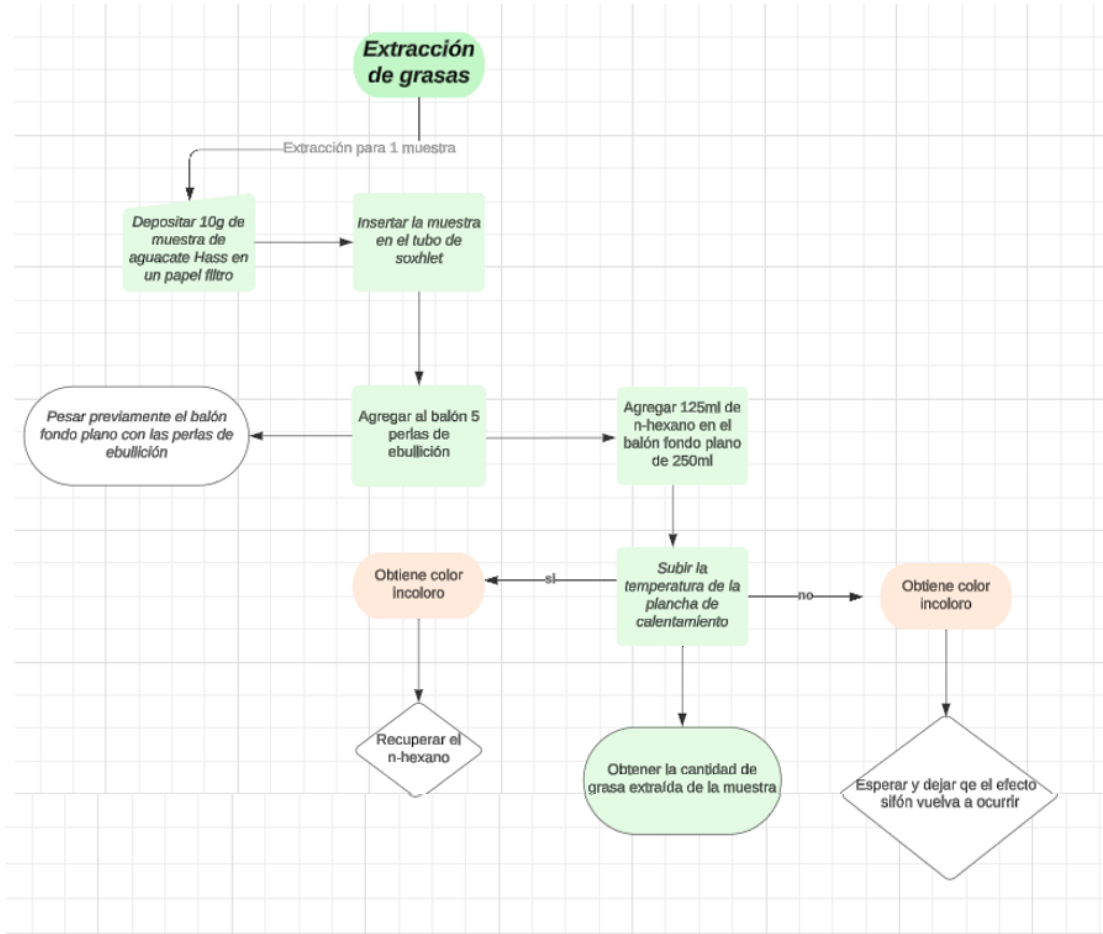


Diagrama de flujo 1. Extracción de grasas método Soxhlet.



Fuente propia

### Registros

<i>Peso de la muestra (g)</i>	
-------------------------------	--

<i>Peso balón antes de la extracción (g)</i>	<i>Peso balón después de la extracción (g)</i>	<i>%Grasa</i>

### Cálculos

$$\%G = \frac{m_1 - m_2}{M} \times 100$$

Donde:

%G: porcentaje de grasa

m<sub>1</sub>: masa en gramos del balón fondo plano vacío (con las perlas de ebullición)

m<sub>2</sub>: masa en gramos del balón fondo plano con grasa (con las perlas de ebullición)

M: peso de la muestra

## II. CARBOHIDRATOS E HIDROLISIS. GRUPO 3 Y 4

Los carbohidratos son los principales constituyentes de los cereales y granos andinos y el principal carbohidrato es el almidón. El almidón está formado por dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa y amilopectina son las responsables de las propiedades físicas de los diferentes almidones (IICA, 2015).

Lamprea & Moreno (2022) fundamentan el proceso por medio del cual, se realiza una degradación de polímeros en monómeros aromáticos, la despolimerización de la celulosa tiene distintos procesos, que dependen del método de extracción que se esté utilizando; por el método Kraft esta se realiza al romper los enlaces  $\alpha$  y  $\beta$ -aril éter (C-O), primero en las partes fenólicas, para posteriormente hacerlo en las no fenólicas, generando de esta manera fragmentos solubles en medios básicos, ácidos y neutros, sin embargo, lo más común es realizar una despolimerización por hidrólisis.

En este paso del trabajo práctico se realizará la eliminación de carbohidratos y un proceso de hidrólisis ácido, básico y neutra de las muestras previamente tratadas en soxhlet, donde

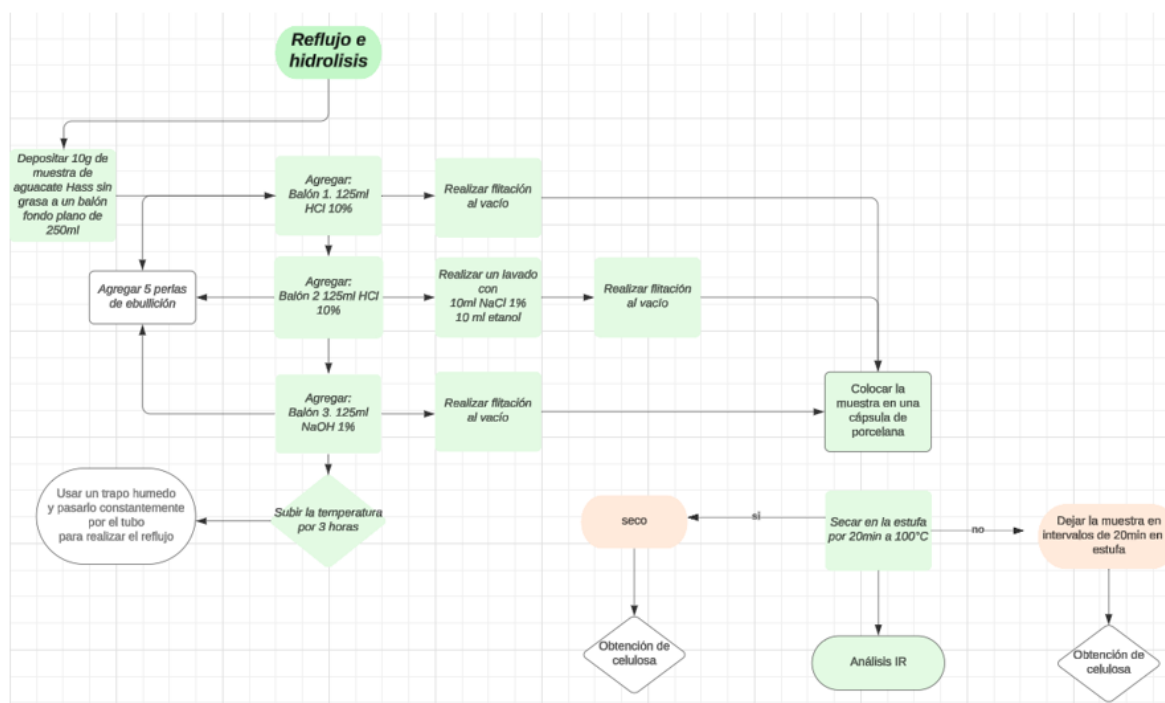
se requiere por montaje incorporar 10g de la muestra y desarrollar el diagrama de flujo expuesto a continuación.

Imagen 2: Montaje reflujo e hidrolisis.



Fuente propia

Diagrama de flujo 2. Reflujo e hidrolisis.



Fuente propia

## Registros

<i>Peso del balón vacío y seco</i>	
<i>Peso del balón con la muestra</i>	
<i>Peso de la cápsula de porcelana</i>	
<i>Peso de la cápsula + muestra hidrolizada básico</i>	
<i>Peso de la cápsula + muestra hidrolizada ácido</i>	
<i>Peso de la cápsula + muestra hidrolizada neutro</i>	

IR Celulosa ácida	
IR Celulosa básica	
IR Celulosa neutra	
IR Celulosa teórica	

## ENSAYO DE JARRAS. GRUPO 2 Y 3

Para el tratamiento de aguas residuales se incorpora un tratamiento convencional que Fúquene & Yate (2017) exponen el tratamiento convencional que incluye:

Pretratamiento: Hace referencia al transporte del agua residual a la planta de tratamiento e incluye procesos como desbaste, tamizado, desarenado, homogenizado y desengrase. En esta etapa se mide y controla el caudal de ingreso del agua a la planta y se remueven los sólidos flotantes de mayor tamaño. Tratamiento primario: Incluye los procesos de decantación, flotación, clarificación, filtración simple y neutralización. En esta etapa se incluye la floculación y coagulación, y su principal objetivo es eliminar los sólidos en suspensión. Tratamiento biológico o secundario: Se caracteriza por el uso de microorganismos (bacterias y protozoos) para remover los contaminantes del agua ya sea de manera aerobia o anaerobia, su objetivo principal es eliminar la materia orgánica mediante un proceso biológico de oxidación efectuado por los microorganismos presentes en el agua residual. Tratamiento terciario: Su principal objetivo es eliminar la carga orgánica y los nutrientes; dentro de los procesos se encuentran el intercambio iónico, la adsorción, la micro y ultrafiltración, la osmosis inversa, la desinfección, la oxidación avanzada y las membranas. Por ejemplo, en la desinfección se usa cloro para la eliminación de microorganismos. También suprime algunos contaminantes específicos como los fosfatos.

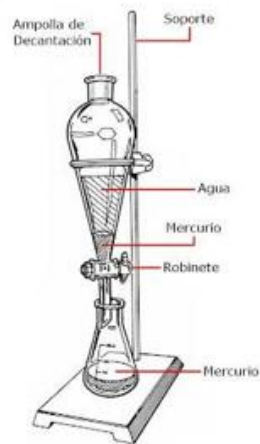
Las pruebas de jarras son ampliamente usadas, para el estudio en laboratorio se empleará una adaptación del protocolo de prácticas del curso Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

En este paso del trabajo práctico se realizará el ensayo de jarras para evaluar y determinar la celulosa extraída del aguacate como biorremediador para una jarra contaminada con amoxicilina, esto permitirá reconocer la eficiencia del adsorbente.

Paso 1. Extracción de la amoxicilina.

Se requiere realizar este paso en nuestra práctica para obtener la amoxicilina libre de excipientes que puedan alterar la lectura.

*Imagen 3. Montaje embudo de decantación.*



*Tomado de: Picasso 3.0*

*Imagen 4. Ensayo de jarras*



*Tomado de: Centro de ingeniería sanitaria.*

<i>Curva de calibración</i>					
<i>Volumen</i>	<i>0.66ml</i>	<i>1.5ml</i>	<i>2.0ml</i>	<i>2.6ml</i>	<i>3.3ml</i>
<i>abs</i>					

<i>HPLC</i>	
<i>Curva del blanco</i>	
<i>Curva medio ácido</i>	
<i>Curva medio básico</i>	
<i>Curva medio neutro</i>	

## REFERENCIAS

- Cabrera-Carrión, J. L., Jaramillo-Jaramillo, C., Dután-Torres, F., Cun-Carrión, J.,
- García, P. A., & Rojas de Astudillo, L. (2017). Variación del contenido de alcaloides, fenoles, flavonoides y taninos en *Moringa oleifera* Lam. en función de su edad y altura. *Bioagro*, 29(1), 53-60.
- Duarte-Trujillo, A. S., Jiménez-Forero, J. A., Pineda-Insuasti, J., González-Trujillo, C. A., & García-Juárez, M. (2020). Extracción de sustancias bioactivas de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) por maceración dinámica. *Acta biológica colombiana*, 25(1), 61-74.
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*, 2(1).
- Lamprea García, A. Y., & Moreno Chavarro, K. M. (2022). Extracción de lignina en pulpa de café para la remoción de manganeso en aguas residuales como contexto para el desarrollo de competencias investigativas a partir de la identificación de carbohidratos