

**Aprovechamiento de pectina cítrica comercial para uso de tratamiento de aguas
residuales institucionales (Caso de estudio Universidad EAN)**

Daniel Felipe Pinto Leal, Juan Esteban Sánchez Castillo y Vanesa Alexandra Cañon
Zamudio

Facultad de ingeniería, Universidad EAN

Bogotá D.C

Proyecto de Grado

Zapata Restrepo Leidy Natalia

2023

Resumen

Este estudio busca revisar la alternativa de pectina comercial como floculante inorgánico en el tratamiento de aguas residuales institucionales, esto mediante la comparación con el floculante inorgánico sulfato de aluminio. Para un total de ocho muestras, estas fueron tratadas con las sustancias mencionadas anteriormente, esto con el fin de medir y comparar aspectos fisicoquímicos como lo son el pH, la conductividad y la turbiedad. El tratamiento con pectina dio como resultado el cumplimiento de dos de las tres hipótesis planteadas en el desarrollo metodológico. Sin embargo, a la hora de comparar con el procedimiento de ensayo de jarras con sulfato de aluminio, este último generó resultados superiores en términos de conductividad y turbiedad debido a las concentraciones de floculante inorgánico empleadas. El uso de pectina tratamiento de aguas residuales institucionales de la Universidad EAN se estableció como una alternativa con mucho potencial para desarrollar opciones de floculantes sostenibles para procesos de tratamiento en cualquier industria.

Abstract

This study seeks to review the alternative of commercial pectin as an inorganic flocculant in the treatment of institutional residual water, this is made by comparing it with the inorganic flocculant aluminum sulfate. For a total of eight samples, they were treated with the mentioned substances, this is made in order to measure and compare physicochemical aspects such as pH, conductivity, and turbidity. The treatment with pectin resulted in the accomplishment of two out of the three hypotheses proposed in the methodological development. However, when it gets compared with the aluminum sulfate jar test procedure, the latter gave superior results in terms of conductivity and turbidity through the concentrations of inorganic flocculant used. The use of pectin for institutional wastewater treatment at the EAN University is revealed as an alternative with great potential to be

developed and provide sustainable flocculant options for treatment processes in any industry.

1. Introducción.....	4
2. Objetivo general.....	5
2.1 Objetivos específicos.....	6
3. Definición del problema.....	6
3.1 Pregunta de investigación.....	7
4. Justificación.....	7
4.1 Antecedentes.....	11
4.1.1 Párrafo introductorio.....	11
5. Marco teórico.....	14
5.1 Antecedentes.....	14
5.2 Bases Teóricas y Conceptos Clave.....	15
5.3 Propiedades fisicoquímicas.....	16
5.4 Adsorbentes no convencionales para el tratamiento de aguas residuales.....	17
5.5 Uso comercial de producción de mermeladas.....	18
5.6 Usos farmacéuticos y cosméticos.....	18
5.7 Métodos de extracción.....	18
5.8 Métodos de aplicación de la pectina como tratamiento de agua residual.....	20
5.8.1 Análisis integral y optimización de un proceso de floculación-coagulación empleando pectina de nopal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales de la industria de la galvanoplastia.....	20
5.8.2 Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón.....	20
5.8.3 Tratamiento de coagulación de aguas residuales: cinética y evaluación de coagulantes naturales.....	21
5.9 Marco Legal.....	21
5.9.1 Disposiciones generales.....	23
5.10 Parámetros fisicoquímicos en la caracterización de agua residual.....	27
5.11 Teoría de la coagulación.....	29
5.11.1 Contaminación del agua.....	29
5.11.2 Coagulación.....	30
5.11.3 Coagulantes.....	32
5.11.3.1 Sulfato de Aluminio.....	32
5.11.4 Floculación.....	33
5.11.4.1 Factores que afectan la floculación:.....	33

5.11.5 Test jarras.....	34
5.12 Filtración	34
6. Metodología.....	34
6.1 Diseño metodológico	34
6.1.1 Tipo de diseño correlacional	35
6.2 Variables.....	35
6.3 Hipótesis Alterna.....	36
6.4 Hipótesis Nulas.....	37
6.5 Solución de hipótesis	37
6.6 Recolección del agua residual.....	40
6.7 Determinación de los niveles de pH para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial.....	41
6.8 Determinación de los niveles de turbiedad para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial.....	41
6.9 Determinación de los niveles de conductividad: para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial.....	42
6.10 Aplicación del tratamiento- Ensayo de jarras.....	42
6.11 Medición de los parámetros de agua de comparación institucional.....	44
6.12 Preparación del coagulante sintético	44
7. Resultados.....	45
7.1 Resultados de las características fisicoquímicos del agua residual institucional, caso Universidad ean	45
7.2 Resultados experimentales del tratamiento prueba de Jarras.....	48
7.3 Resultados pruebas de coagulación con sulfato de Aluminio	51
8. Análisis de resultados	52
8.1 Valoración de resultados basados en las hipótesis propuestas.....	58
8.2 Cumplimiento de objetivos.....	59
9. Conclusiones	60
10. Referencias.....	64

1. Introducción

El tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas por instituciones como es el caso de la universidad EAN, es de suma importancia a la hora de cuidar y preservar el medio ambiente a la vez que se cumplen con las regulaciones ambientales vigentes en Colombia. En este proyecto de grado, se busca aprovechar la pectina cítrica comercial como una alternativa sostenible para el tratamiento de estas aguas residuales. La pectina cítrica, un

polisacárido que se puede encontrar en una gran variedad de frutas cítricas, ha demostrado propiedades coagulantes y floculantes que pueden facilitar la eliminación de contaminantes en el agua que se desee tratar.

Por lo que se busca observar el gran potencial que puede tener un producto alternativo para resolver una problemática que cada vez es más relevante en el mundo actual, ya que con el paso del tiempo se ha evidenciado la importancia del tratamiento de aguas residuales de forma sostenible con el fin de no impactar en los ecosistemas donde se viertan este tipo de residuos. Lo que da lugar a que se haga uso de un producto que se puede encontrar en el día a día en procesos como lo es en la industria de alimentos, y se le dé un enfoque diferente para usar las propiedades que tiene como coagulante y floculante sostenible, que pueda brindar soluciones más respetuosas con el medio ambiente y que pueda contribuir a la preservación de un recurso tan importante como lo es el recurso hídrico.

El estudio se enfocará en la evaluar la viabilidad técnica del uso de la pectina cítrica comercial a la hora de tratar agua residual institucionales de la Universidad EAN. Además de que se llevara a cabo un análisis exhaustivo que tenga en cuenta diferentes parámetros como lo son la eficiencia de remoción de contaminantes, la dosificación óptima de pectina cítrica usada para el tratamiento de aguas residuales institucionales a la vez que se observan ciertas variables que pueden verse afectadas como lo es el PH, conductividad y turbiedad del agua tratada. Por otro lado, se busca llevar a cabo un caso de estudio específico como lo es la recolección de muestras representativas de aguas residuales generadas por la institución educativa de la Universidad EAN. Los resultados obtenidos en este proyecto proporcionarán información de suma importancia a la hora de entender que tan eficiente y viable puede llegar a ser el uso de la pectina cítrica comercial en el tratamiento de aguas residuales institucionales.

2. Objetivo general

Analizar el proceso de tratamiento de aguas residuales institucionales mediante el uso de pectina cítrica comercial.

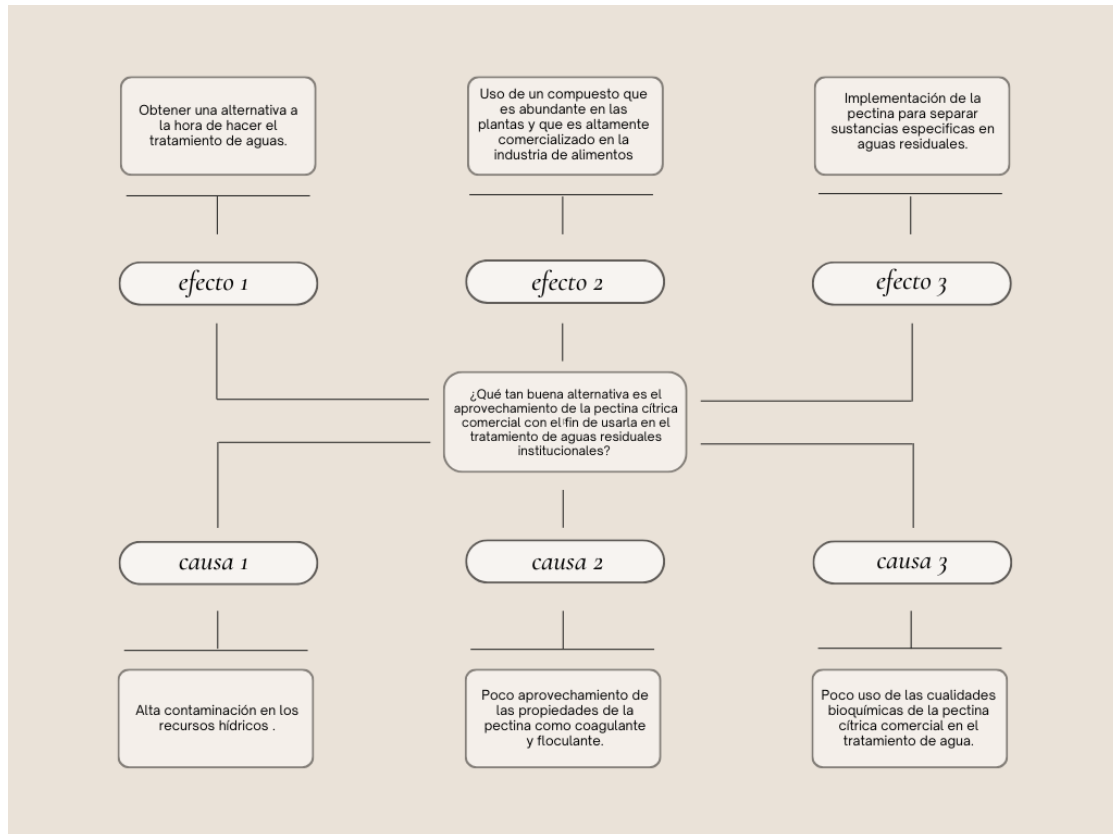
2.1 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros iniciales de las aguas residuales institucionales (Universidad Ean)
- Explorar alternativas de uso de pectina como protocolos de extracción de la materia en residuos orgánicos.
- Identificar el potencial de adsorción como tratamiento de las aguas residuales institucionales, para revisar qué tan practico es el proceso.

3. Definición del problema

Figura 1

Árbol de problema



Nota: Creación propia

La industria del tratamiento de agua se basa en procesos floculación y coagulación químicos, dejando de lado procesos que aprovechen cualidades bioquímicas de plantas y sus componentes extraíbles como lo es el caso de la pectina. Tres de los coagulantes más comúnmente utilizados en el proceso de tratamiento de aguas turbias son sulfato de

aluminio (alum), cloruro de hierro y policloruro de aluminio (PACI) (Jasmin, et. al, 2022). Estos tres floculantes entran en la categoría de compuestos inorgánicos y al final del proceso de tratamiento de agua terminan siendo parte de los residuos generados en la planta. Los residuos de tratamiento de agua potable son subproductos inevitables en las plantas de tratamiento de agua potables. Como residuo general, estos están compuestos de impurezas del agua y agentes químicos usados en el proceso de tratamiento. (Changhui, et. al, 2022).

Una gran cantidad de pectina (producto secundario de la generación de residuos orgánicos) es desechada en vertederos, ya que en muchas ocasiones no se reutilizan los residuos de fruta y vegetales generados en las grandes ciudades, y teniendo en cuenta que la pectina conforma una gran cantidad de la estructura de la planta, se puede encontrar en gran medida en las paredes celulares, lo que convierte a la pectina en uno de los polisacáridos más abundantes e importantes de una planta ya que define la mecánica y las propiedades funcionales de la pared celular (García, s.f., p.6). Esta situación da lugar a que no se aprovechen sus cualidades como lo son el espesamiento y gelificación, propiedades variables dependiendo de las modificaciones en su estructura y métodos de extracción. (Lupi, et. al, 2018)

3.1 Pregunta de investigación

Esto nos lleva a preguntarnos ¿Qué tan buena alternativa es el aprovechamiento de la pectina cítrica comercial (un polisacárido gelificante extraído de las paredes celulares de plantas y con múltiples usos en la industria), con el fin de usarla en el tratamiento de aguas residuales institucionales?

4. Justificación

La degradación ambiental es causada principalmente por la industria, las actividades agroindustriales y el crecimiento de la población, ya que estas producen un gran número de residuos químicos, contaminando el suelo, el aire y el agua, exponiendo a las personas, como también ocasionando daños a los ecosistemas, al interferir con la capacidad de los

organismos de almacenar y metabolizar nutrientes. Es por ello que se hace necesario replantear tanto los procesos de producción, como los materiales y sustancias utilizadas; para enfrentar las diferentes problemáticas ambientales. Una de las preocupaciones ambientales más estudiadas es la contaminación de los recursos hídricos, la cual divide en dos: los factores naturales, que involucran sustancias orgánicas e inorgánicas procedentes de diversas fuentes y los factores antropogénicos, que generan desechos que no son tratados adecuadamente, lo que conlleva a la implementación de tratamientos que mejoren la calidad del agua. (Bravo, 2017)

En la actualidad, se utilizan una gran variedad de coagulantes y floculantes químicos, para la desestabilización de las partículas en el agua a tratar, disminuyendo la turbidez, el color, el contenido de materia orgánica y organismos, además de su rendimiento, disponibilidad y costos bajos (Bravo, 2017). No obstante, estos presentan efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente, debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, formando aglomerados residuos de lodos, los cuales tienen elevados niveles de toxicidad, generando enfermedades como Alzheimer, así como el hecho de que afectan considerablemente el pH del agua tratada. (Lizcano, 2020)

Esto hace necesario encontrar una alternativa efectiva para estos procesos, la cual consiste en el uso de sustancias naturales que logran tener el mismo rendimiento; es así, que la extracción y utilización de la pectina, (que se encuentran de forma natural en la pared de las células vegetales) hace frente al actual desaprovechamiento de los recursos naturales y sus residuos. Adicionalmente, son amigables con el medio ambiente debido a su proceso de obtención, extracción y precipitación, lo cual no representa riesgo para el ser humano ni el ecosistema. Además, éstas son consideradas rentables, biodegradables y no causan alteraciones en las características del agua tratada. (Lizcano, 2020)

Su componente principal es el ácido galacturónico, el cual tiene los grupos funcionales carboxilo, carbonilo e hidroxilo; éstos permiten la formación de complejos con los metales pesados mediante mecanismos como intercambio iónico y adsorción. Además, su viscosidad y capacidad gelificante le permite a la pectina atrapar microorganismos,

envolviéndolos en su red polimérica. Por esta razón, el objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de una pectina para el tratamiento de agua residual de la Universidad ean.

(Lizcano, 2020)

Durante el ciclo de vida de los alimentos agrícolas, desde que son cosechados, transportados, comprados por un cliente, consumidos y desechados ocurren pérdidas de estos productos orgánicos que muchas veces van a parar a vertederos junto con una gran cantidad de otros desechos, lo que genera un impacto medio ambiental enorme y la generación de bacterias y demás microorganismos que pueden afectar negativamente la salud del ser humano. Un tercio de los alimentos en el mundo nunca llegan a cumplir su fin de ser consumidos, de entre los cuales las frutas tienen un porcentaje alto debido a su volumen de producción anual (Gustavsson, et. al, 2011).

En la actualidad la generación de desechos es una problemática que viene en ascenso, la cual tuvo un incremento significativo durante la pandemia en los hogares debido al covid-19. Los desechos orgánicos que se generan en los hogares presentan cifras significativas, donde destacan los restos de frutas y verduras los cuales pueden ser aprovechados con distintos fines para así darles una segunda vida. Las frutas y verduras contienen una sustancia muy importante con beneficios para la salud y el medio ambiente llamada pectina. Además del alto desperdicio de frutas que no llegan a ser consumidas, se debe de tener en cuenta que las frutas que si son consumidas también generan una gran cantidad de residuos aprovechables como lo son las cáscaras de fruta, lo que ha generado una gran pérdida económica, nutricional y generando un impacto ambiental. Estos residuos generados a partir de la fruta pueden ascender entre 25% a 30% de la producción total, entre estos residuos principalmente se encuentran cáscaras, cortezas y semillas que son muy ricos en compuestos bioactivos como lo son carotenoides, enzimas, polifenoles, aceites y vitaminas que son desperdiciados ya que muchas veces estos residuos son depositados en vertederos comunitarios sin que se le de ningún tipo de tratamiento. (Kumar, et. al, 2020)

Esto produce una serie de problemas sociales en comunidades aledañas a vertederos, económicos por el mal aprovechamiento de los alimentos, y una amplia variedad de problemas ambientales de entre los cuales están las emisiones de gases o contaminación por lixiviados. Estos problemas derivan de la naturaleza misma de los productos agroindustriales ya que a medida que la masa orgánica en los vertederos se descompone, se libera gas metano que es capaz de absorber hasta 84 veces más calor proveniente del sol que el dióxido de carbono que impacta en gran medida al calentamiento global, también se genera dióxido de carbono y vapor de agua, y trazas de oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y compuestos orgánicos distintos del metano que empeoran el problema ambiental debido a la contaminación del aire (Vasarhelyi, et. al, 2021). También se genera un impacto a la población aledaña, ya que el olor, el ruido y los animales carroñeros afectan de forma negativa la vida y la salud de las personas que viven cerca a los vertederos, incrementando el número de enfermedades como lo son los defectos de nacimiento, cáncer y enfermedades respiratorias (Newton, et. al, 2018). Los lixiviados, líquidos con cantidades altas de componentes extraídos por la percolación de un sólido, se forman del paso de líquidos a través de la membrana de los alimentos arrastrando toda clase de componentes dañinos para el suelo y el agua, mientras que los propios desechos orgánicos se van degradando generando gases de efecto invernadero como lo es el metano. (Ministerio del medio ambiente, s.f.)

Es por esto que mediante este estudio se evalúa la posibilidad de extraer esta sustancia de los residuos generados para así determinar el beneficio que se obtendría con respecto a la reducción de los desechos o el impacto que este tendría debido a este proceso al cual serían sometidos. Con esto, se busca realizar un estudio de las operaciones necesarias para adsorber componentes contaminantes en el agua y si estas son viables ambiental y económicamente.

4.1 Antecedentes

4.1.1 Párrafo introductorio

La revisión bibliográfica realizada ha revelado que la pectina, obtenida a partir de residuos orgánicos, ha demostrado ser una alternativa prometedora para la remoción de turbidez. No solo posee propiedades coagulantes, sino que también presenta ventajas ambientales al aprovechar los desechos orgánicos, reduciendo así la carga en los vertederos y la contaminación asociada. Sin embargo, a pesar de los avances en esta área, aún persisten desafíos relacionados con la eficiencia y la optimización de los procesos de tratamiento de agua, así como la gestión adecuada de los residuos orgánicos. Por tanto, esta sección de antecedentes pretende analizar y comprender la literatura existente sobre los diferentes coagulantes y floculantes orgánicos utilizados, la remoción de turbidez, la eficiencia de la pectina comercial, y abordar la problemática asociada a los vertederos y los desechos orgánicos, con el fin de identificar posibles soluciones y contribuir al desarrollo de estrategias sostenibles en el tratamiento del agua.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica realizada, en la Tabla 1 se muestran las diferentes investigaciones y que sirvió como base para determinar el diseño experimental de esta investigación.

Tabla 1

Tema	Título	Idea central	Autor y año	Fuente APA
------	--------	--------------	-------------	------------

<p>Residuos de tratamiento de agua Inmovilización - Contaminación por sedimentos y reciclaje.</p>	<p>Residuos de tratamiento de agua potable reciclados para controlar sincrónicamente la contaminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y fósforo en sedimentos de ecosistemas acuáticos.</p>	<p>Reciclado de residuos de tratamiento de agua potable (DWTR) para controlar de forma sincrónica la contaminación de sedimentos por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y fósforo basándose en un ensayo de incubación de 350 días.</p>	<p>Changhui Wang, Zheng Hao, Chenghao Huang, Qianhong Wang, Zaisheng Yan, Leilei Bai, Helong Jiang, Dongdong Li (2022).</p>	<p>Changhui W., Zheng H., Chenghao H., Qianhong W., Zaisheng Y., Leilei B., Helong J. y Dongdong L. (2022). Drinking water treatment residue recycled to synchronously control the pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and phosphorus in sediment from aquatic ecosystems. Journal of Hazardous Materials. https://www.sciencedirect.com/bdiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S0304389422003211</p>
<p>Determinación de la eficiencia de los tres coagulantes más utilizados en el tratamiento de agua turbia.</p>	<p>A comparative study of different coagulants used in treatment of turbid water.</p>	<p>Se examinan tres de los coagulantes más utilizados en el proceso de tratamiento de agua turbia para determinar su eficacia en la reducción de la turbidez. Los tres tipos de coagulantes diferentes que se han empleado son sulfato de aluminio (alumbre), cloruro férrico y cloruro de polialuminio (PACI).</p>	<p>Jasim, A., Azeez, M. y Shamkhi S. (2022).</p>	<p>Jasim, A., Azeez, M. y Shamkhi S. (2022). A comparative study of different coagulants used in treatment of turbid water. Open Engineering. https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2022-0366/html</p>
<p>Uso desmedido de los vertederos, generando problemáticas debido al poco o nulo tratamiento de los</p>	<p>The Hidden Damage of Landfills</p>	<p>Los vertederos son necesarios para la eliminación adecuada de los desechos sólidos. Reducen la cantidad de desechos que lo convierten en el medio ambiente,</p>	<p>Vasarhelyi, K. (2021, 15 abril)</p>	<p>Vasarhelyi, K. (2021, 15 abril). The Hidden Damage of Landfills. Environmental Center. https://www.colorado.edu/center/2021/04/15/hidden-damage-landfills</p>

residuos orgánicos.		ayudan a prevenir la transmisión de enfermedades y mantienen las comunidades limpias. Sin embargo, los vertederos aún tienen un impacto ambiental y social significativo. Si bien los vertederos son una necesidad social, existen prácticas que pueden reducir la dependencia de los vertederos y disminuir sus efectos en la biosfera.		
Uso de la pectina comercial para observar la capacidad que tiene a la hora de remover los metales pesados y bacterias coliformes en el agua recreativa.	Remoción de metales pesados y bacterias coliformes, mediante pectina en aguas recreativas de un lago de Morelos, Mexico.	Evaluar la capacidad de una pectina en la remoción de metales pesados y bacterias coliformes presentes en muestras de agua recreativa. Se trabajó con una pectina comercial con alto contenido de ácido galacturónico, también se colectaron muestras de agua del Lago de Tequesquitengo, éstas se analizaron mediante espectroscopía de absorción atómica y recuento en placa para identificar y cuantificar metales pesados, y bacterias coliformes,	Yehudy Lizcano, (2020)	Lizcano, Y. (2020). Remoción de metales pesados y bacterias coliformes mediante pectina en aguas recreativas de un lago de Morelos, México. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS BIÓTICOS. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/29455/TesisP%20Yehudy%20Y.%20LAzcano%20Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y

		respectivamente.		
Recopilación del uso de coagulantes y floculantes orgánicos de origen natural y la capacidad de remover impurezas de cuerpos hídricos.	Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.	Recopilar información de tipo científico publicada en diferentes fuentes bibliográficas (Scopus, Science Direct, Springer y Pubmed), en torno al estudio de coagulantes y floculantes orgánicos de origen natural.	Mónica Bravo	Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf;jsessionid=2B1A0B919C2F4E3002C2A9D611A61B4E?sequence=1

Nota: Creación propia

5.Marco teórico

5.1 Antecedentes

La producción de pectina se originó en la década de 1900 en Alemania cuando un fabricante de jugo de manzana intentó cocinar orujo de manzana seco, el subproducto del procesamiento del jugo de manzana (Ciriminna, et. al ,2015). Posteriormente se comercializó como agente gelificante, ya que es un hidrocoloide capaz de formar redes para atrapar agua y formar geles a bajas concentraciones. El prolongado éxito comercial de la pectina ha demostrado la importancia de utilizar subproductos de las frutas como materia prima para producir productos de valor agregado, ya que siguen surgiendo nuevas oportunidades de aplicación y la pectina es ya no es solo un agente gelificante, sino que también se utiliza como estabilizador y espesante en tiempos más actuales además de los diferentes usos que se están investigando actualmente como lo es en la biotecnología ya que la pectina tiene funciones específicas dependiendo de su ubicación y estructura molecular, por lo que puede funcionar como un gel que ayuda a la adhesión celular y el

ablandamiento de las paredes celulares para la célula, este polisacárido brinda fuerza y apoyo a diferentes tipos de plantas manteniendo la consistencia celular y la resistencia mecánica. Además, “la pectina también activa las defensas de las plantas estimulando la acumulación de fitoalexinas que tienen un amplio espectro de actividad antimicrobiana” (Benedetti et al., 2015).

Teniendo en cuenta esto, la pectina es un compuesto de gran utilidad debido a su versatilidad y características a la vez que es de fácil producción si se tiene suficientes desechos vegetales. Por lo que, si se hace un correcto aprovechamiento de los desechos orgánicos de los hogares, se puede reducir la cantidad de residuos orgánicos que generan los hogares ya que este componente se encuentra en la gran mayoría de residuos orgánicos vegetales por el papel que juega en el propio crecimiento y desarrollo de la planta, como lo afirma Ferrari “la pectina en los tejidos vegetales está asociada a otros componentes de la pared celular, como celulosas o hemicelulosas; jugando importantes roles en el crecimiento y desarrollo de las plantas” (Ferrari et al., 2013). Por lo que son muy fáciles de obtener a partir de las partes vegetales que no se usan en una gran cantidad, dando lugar a que se encuentre un uso a residuos que comúnmente irían a parar a los grandes vertederos de basura, teniendo como resultado la disminución de la cantidad de basuras que van a parar a los grandes basureros, ya que se hace uso de un remanente para producir un producto que cada vez es más demandado en la industria y que cuenta con posibles usos extras en el futuro. Por ende, si cuenta con una gran cantidad de beneficios para la industria, investigación y otras zonas de aplicación.

5.2 Bases Teóricas y Conceptos Clave

La base y componente principal del proyecto es la pectina, y debido a su importancia dentro del desarrollo de la problemática estudiada es necesario explicar su composición, funcionamiento y las propiedades que la hacen tan relevante en el objeto de estudio. “las paredes celulares están constituidas en gran parte por pectina, siendo el polisacárido más abundante. La pectina define la mecánica y propiedades funcionales de la pared celular”.

(García, s.f., p.6) Esta definición brindada por el autor García resulta ser bastante descriptiva en su manera de reflejar la composición de la pectina y su principal fuente de obtención. Según la cita vista anteriormente, la pectina se encuentra principalmente en las paredes celulares de las células vegetales, y es precisamente por esa razón que esta se puede extraer de los residuos de alimentos orgánicos.

La pectina es un polisacárido que consiste principalmente en una cadena de ácido galacturónico interrumpido por unidades de ramnosa, los grupos carboxilos distribuidos a través de la cadena son esterificados con metanol y el grado de esterificación divide la pectina en metoxilo pectinas altas y bajas. La pectina por sus cualidades es altamente usada en espesamiento y gelificación, estas propiedades son variables dependiendo de las modificaciones en su estructura y métodos de extracción (Lupi, et. al, 2014)

5.3 Propiedades fisicoquímicas

Solubilidad

El agua es el solvente más efectivo para la pectina, y además se puede disolver en formamida caliente, dimetilformamida y glicerina. A diferencia de los solventes orgánicos y soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes, la pectina no es soluble en ellos. Estos agentes se utilizan para hacer que la pectina se precipite de las soluciones después de la hidrólisis por tratamiento de la materia prima (Hena et al., 2012).

Acidez

En su estado natural, las pectinas son neutras, pero en solución su carácter se vuelve ácido, y esto depende del medio y del grado de esterificación. El pH de las soluciones de pectina varía entre 2.8 y 3.4, según el grado de esterificación. En condiciones de 19°C, la pectina tiene una constante de disociación de 0.1 a 10×10^{-4} . (Hena et al., 2012).

Viscosidad

La pectina tiene la capacidad de formar una solución espesa en agua, cuyas propiedades varían según el grado de polimerización de la pectina, el pH, la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. En las pectinas altamente esterificadas, la

viscosidad aumenta debido al aumento de la masa molecular, subgrupos y concentración de pectina en la solución. La presencia de calcio y otros iones multivalentes aumenta la viscosidad de la solución de pectina, y algunas pectinas de bajo contenido de metoxilo pueden gelificarse si la concentración de calcio supera cierto límite. (Henaó et al., 2012).

Poder de gelificación en geles de pectina

En el caso de la pectina con alto contenido de metoxilo, se estima que al menos el 40% de los ésteres metílicos se desesterifican a pH 3.4, lo que dificulta obtener un gel estable en presencia del 65% de azúcar. Una cantidad excesiva de azúcar puede provocar cristalización durante el almacenamiento. Por otro lado, el gel de pectina de bajo contenido de metoxilo es menos rígido y puede interactuar con sólidos menos solubles. Los buenos geles pueden obtenerse en un rango de pH de 2.5 a 6.5, pero es necesario agregar calcio en una concentración adecuada, que varía entre 0.01% y 0.1%. Sin embargo, niveles de calcio más altos pueden dar lugar a una síntesis excesiva. Se puede considerar un gel de pectina como un sistema en el que el polímero se disuelve completamente o se precipita. Los segmentos de la cadena molecular están unidos por cristalización limitada, formando una red tridimensional en la que se atrapan el agua, el azúcar y otros solutos. (Henaó et al., 2012).

Como consecuencia, la pectina suele implementarse en múltiples productos y en múltiples industrias. Esto la hace una materia prima bastante dinámica y en cierto sentido sostenible, debido a su ciclo de vida tan productivo. Algunos usos que podemos destacar son:

5.4 Adsorbentes no convencionales para el tratamiento de aguas residuales

“Los adsorbentes no-convencionales (verdes o bio adsorbentes) surgen del aprovechamiento de los materiales de desecho que provienen de la industria alimentaria y agrícola; estos son desechos de fruta, residuos vegetales y plantas.” (Valladares, et. al, 2016).

5.5 Uso comercial de producción de mermeladas

En las frutas con poca e incluso en algunas con gran cantidad de pectina en su composición, se suele usar pectina comercial o extractos de pectina de restos de la cascara como estabilizador de la textura viscosa que poseen las mermeladas. (Mosissa, et. al, 2022)

5.6 Usos farmacéuticos y cosméticos

La pectina ha sido ampliamente estudiada en la industria alimenticia, pero la proposición del estudio de este componente en unas la industria de la cosmética y los fármacos fue propuesta hace no tanto tiempo y su literatura teórica sobre estos temas no es tan amplia. Aun así, sus funciones en emulsiones las hacen un compuesto interesante de estudiar, esto debido a su potencial hidrofílico y sus agentes gelificantes dándole características aprovechables en todo tipo de productos. Específicamente se estudia en la separación de geles de emulsiones en fármacos y cosméticos, dando un caso parecido a la separación de fases aceitosas en agua, estas separaciones demuestran las capacidades gelificantes y de separación de muestras que posee la pectina. (Lupi, et. al, 2014)

Estos son algunos de los campos de estudio más representativos de la pectina en la actualidad, pueden servir como precedente para generar y darle un uso a la pectina rescatada de los hogares con el fin de disminuir, y aprovechar los residuos orgánicos en las casas como bien propone este proyecto. Y habiendo conocido varios de los usos y revisado las características principales de la pectina es necesario ver los métodos de extracción y de caracterización de este compuesto.

5.7 Métodos de extracción

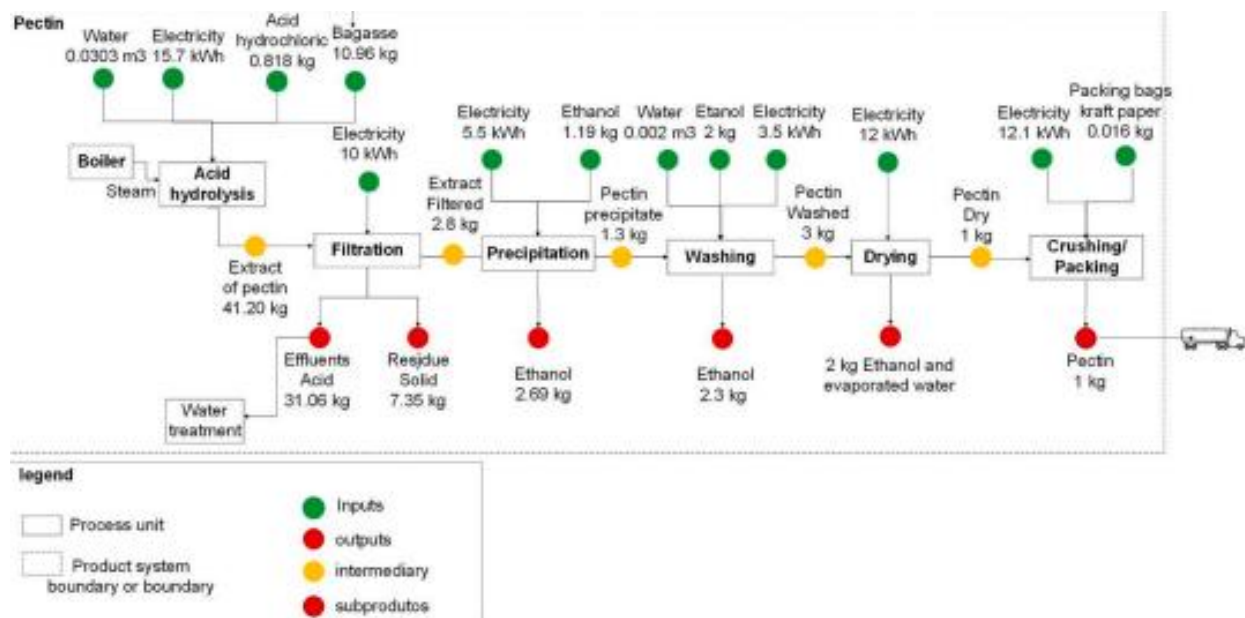
Hace relativamente poco tiempo se ha desarrollado un método de extracción de pectina mediante una simple complejión hidrocoloidal de agua inducida de licopeno y pectina. Este método ha sido útil en la extracción de pectina y carotenoides de guayaba, y tomate. Este extracto forma un sistema donde los 2 dos compuestos mencionados anteriormente pueden ser separados, y factores como el pH, la carga de sólidos, temperatura y demás variables pueden afectar tanto el producto final de la pectina que sus usos y aplicaciones serán

distintos. Según la fuente registrada este proceso se podría realizar en otros desechos naturalmente ricos en pectina y carotenoides. (Jayesree, et. al, 2021)

Otro medio de extracción y uno de los más comunes es el uso de reacciones de hidrólisis ácida. En este caso se usa un reactor batch (por lotes) con un solvente en medio ácido y controles de temperatura y pH. Después de la hidrólisis se realiza una filtración para separar la parte sólida de la parte líquida mediante un filtro de prensa y placas, excelentes para la separación de sustancias con viscosidades altas. El líquido clarificado va a precipitación con alcohol y se realiza un lavado para separar la pectina en una disolución, a continuación, se seca y empaqueta (Costa, et. al, 2022). Para ejemplificar el proceso de mejor manera está la figura 1 que presenta un esquema donde se pueden observar las distintas fases del proceso de producción.

Figura 2

Esquema de funcionamiento del proceso de extracción de pectina mediante hidrólisis ácida



Nota: Tomado de <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.008>

Aún con esto, la extracción de pectina requiere una atención técnica y ambiental en el manejo de la alta demanda de energía, alto uso de recursos hídricos y el demorado tiempo de retención para su extracción. (Costa, et. al, 2022)

5.8 Métodos de aplicación de la pectina como tratamiento de agua residual

5.8.1 Análisis integral y optimización de un proceso de floculación-coagulación empleando pectina de nopal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales de la industria de la galvanoplastia

Este estudio investigó la viabilidad de utilizar biopolímeros en el proceso de coagulación-floculación para la eliminación de metales pesados en lugar de polímeros sintéticos. Los biopolímeros examinados incluyeron quitosano, goma de mezquite y pectina de nopal, y se caracterizaron mediante diversas técnicas analíticas. La pectina de nopal se identificó como una excelente opción para su uso como coagulante-floculante debido a su carga aniónica. Se llevaron a cabo experimentos con soluciones sintéticas de sulfato de metales a concentraciones superiores a 500 ppm para evaluar la remoción de iones metálicos utilizando pectina de nopal. Se encontró que a una dosis de 0.019 mg/mL de pectina, un pH de 5.5 y una velocidad de agitación de 320 rpm, se logró una eliminación de hasta el 90% en algunos casos, como con Ca^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} , aunque para Cd^{2+} y Pb^{2+} se lograron eliminaciones inferiores al 50%. Además, se observó una variación en el potencial Zeta hasta la formación de precipitados, lo que sugiere la ocurrencia del proceso de coagulación-floculación. (IBARRA, D. 2020)

5.8.2 Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón

En la actualidad, se emplean diversos coagulantes y floculantes químicos para el tratamiento de aguas. Esta investigación se centra en el uso de la pectina de cáscara de cacao como floculante natural para reducir la turbidez en aguas del río Chillón, en comparación con el floculante sintético sulfato de aluminio. Para evaluar la eficiencia de reducción de la turbidez, se utilizó el procedimiento del test de jarras con diferentes concentraciones de pectina y sulfato de aluminio, en distintos valores de pH. Los resultados demostraron que tanto el floculante natural (pectina de cáscara de cacao) como el sintético

(Al₂(SO₄)₃) presentaron una eficacia de reducción de la turbidez superior al 90%, con porcentajes del 99,40% y 99,96%, respectivamente. La pectina de cáscara de cacao tuvo una mayor remoción en pH 3, mientras que el sulfato de aluminio lo logró en pH 5. Por lo tanto, el uso de la pectina de cáscara de cacao como floculante natural para reducir la turbidez en aguas residuales fue satisfactorio y podría utilizarse como alternativa a los floculantes convencionales. (Flores Zapata, L. S. 2020)

5.8.3 Tratamiento de coagulación de aguas residuales: cinética y evaluación de coagulantes naturales

En el presente estudio, se examinaron tres coagulantes (ferromagnetita (F), alumbre (A) y cáscaras de huevo (E)) y sus combinaciones (FA, FE y FEA) como posibles opciones de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales industriales. Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) junto con análisis de dispersión de energía de rayos X (EDX) para caracterizar las estructuras y composiciones de los coagulantes. Se investigaron los efectos de la dosis del coagulante (10-60 mg/L) y el tiempo de sedimentación en la eliminación de turbidez, color y sólidos suspendidos totales. Se empleó un equipo de prueba de jarras (JTL6) que operaba a 150 rpm durante 2 minutos (agitación rápida) y a 30 rpm durante 15 minutos (agitación lenta). Los resultados del sobrenadante analizado revelaron una eliminación de aproximadamente el 80% de los contaminantes. Se demostró que la ferromagnetita (F) fue la más efectiva en comparación con las combinaciones binarias (FA> FE) y las combinaciones ternarias de coagulantes (FEA). Con una dosis óptima de 20 mg/L y un tiempo de sedimentación de 30 minutos, se evidenció claramente que el rendimiento de tratamiento de la ferromagnetita (F) es viable para el tratamiento de aguas residuales. (Precious Sibiyi, et al., 2021)

5.9 Marco Legal

Con el fin de asegurar la calidad del agua, es fundamental tener un conocimiento detallado de sus características. Para esto, se establecen parámetros de calidad que abarcan aspectos físicos, químicos y microbiológicos. En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el encargado de establecer las normas y regulaciones para el

vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público. Estas normas establecen los límites máximos permisibles para diferentes parámetros de calidad del agua, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

Tabla 2

Normatividad sobre el recurso hídrico

Normatividad sobre el recurso hídrico	
Decreto 2811 de 1974, libro II parte III	Artículo 99: Establece la obligatoriedad de tramitar el respectivo permiso de explotación de material de arrastre. Art. 77 a 78 Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art. 134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: aguas subterráneas. Art. 155: Administración de aguas y cauces.
Decreto 1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, bosques, fauna terrestre y acuática
Decreto 1541 de 1978	Aguas continentales: Art. 44 a 53 Características de las concesiones, Art. 54 a 66 Procedimientos para otorgar concesiones de agua superficiales y subterráneas, Art. 87 a 97: Explotación de material de arrastre, Art. 104 a 106: Ocupación de cauces y permiso de ocupación de cauces, Art. 211 a 219: Control de vertimientos, Art. 220 a 224: Vertimiento por uso doméstico y municipal, Art. 225: Vertimiento por uso agrícola, Art. 226 a 230: Vertimiento por uso industrial, Art. 231: Reglamentación de vertimientos.
Decreto 1681 de 1978	Sobre recursos hidrobiológicos
Ley 09 de 1979	Código sanitario nacional Art. 51 a 54: Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art. 55 aguas superficiales. Art. 69 a 79: potabilización de agua
Decreto 2857 de 1981	Ordenación y protección de cuencas hidrográficas
Decreto 2858 de 1981	Modifica el Decreto 1541 de 1978
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta parcialmente la Ley 09 de a 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano

Decreto 1594 de 1984	Normas de vertimientos de residuos líquidos Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23 Ordenamiento del recurso agua. Art. 29 Usos del agua. Art. 37 a 50 Criterios de calidad de agua Art. 60 a 71 Vertimiento de residuos líquidos. Art. 72 a 97 Normas de vertimientos. Art. 142 Tasas retributivas. Art. 155 procedimiento para toma y análisis de muestras.
Decreto 2314 de 1986	Concesión de aguas
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
Decreto 1700 de 1989	Crea Comisión de Agua Potable
Ley 99 de 1993	Art. 10,11,24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
Documento CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de las aguas
Decreto 605 de 1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano
Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a cuerpos de agua
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Decreto 3102 de 1998	Instalación de equipos de bajo consumo de agua
Decreto 475 de 1998	Algunas normas técnicas de calidad de agua
Decreto 1311 de 1998	Reglamenta el literal G del artículo 11 de la ley 373 de 1997

Nota: Tomado de

http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm

5.9.1 Disposiciones generales

Artículo 1°. Objeto y Ámbito de Aplicación. La presente Resolución establece los

parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan

vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de

alcantarillado público. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Resolución 631 de 2015)

Artículo 73: Todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas. (Salud Pública, S. 2010)

Artículo 78: El control del pH, temperatura (T), material flotante, sólidos sedimentables, caudal y sustancias solubles en hexano, en el vertimiento, se hará con base en unidades y en concentraciones. El de los sólidos suspendidos y el de la demanda bioquímica de oxígeno con base en la carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con las regulaciones que establezca la EMAR (Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso). (Salud Pública, S. 2010)

Tabla 3

Parámetros para el vertimiento de aguas al alcantarillado

Referencia	Valor
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C
Ácidos, bases	Ausentes
Sólidos sedimentables	10ml/l
Sustancias solubles en hexano	100mg/l

Nota: Elaboración propia

En Bogotá, los límites máximos permisibles para los parámetros de calidad del agua en el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público están establecidos por la Resolución 0631 de 2015, expedida por la Secretaría Distrital de Ambiente. A continuación, se mencionan algunos de los parámetros regulados y sus límites máximos permisibles:

1. DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días): El límite máximo permisible de DBO5 para el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público en Bogotá es de 300 mg/L.
2. DQO (Demanda Química de Oxígeno): El límite máximo permisible de DQO para el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público en Bogotá es de 600 mg/L.

3. SST (Sólidos Suspendidos Totales): El límite máximo permisible de SST para el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público en Bogotá es de 150 mg/L.
4. *Artículo 3°. _ conductividad. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser de hasta 1000/2000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse en función de las medias habituales y del mapa de riesgos de la zona. y el mapa de riesgos de la zona. Un aumento de los valores habituales de conductividad de más del 50% en la conductividad de más del 50% en el agua corriente indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y la cantidad de sólidos disueltos y su origen deben ser investigados inmediatamente por las autoridades sanitarias y del agua. las autoridades sanitarias y medioambientales competentes y el proveedor de agua que suministre o distribuya agua para consumo humano.*
5. *Artículo 4°. _ potencial de hidrógeno. el valor del potencial de hidrógeno de pH del agua de consumo humano deberá estar comprendido entre 5,6 y 9,2.*
6. Aceites y grasas: El límite máximo permisible para la concentración de aceites y grasas en el vertimiento de aguas residuales al alcantarillado público en Bogotá es de 100 mg/L.
7. *Artículo 5°. Del parámetro de temperatura y de la zona de mezcla térmica. Para todas las actividades industriales, comerciales o de servicios que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a un cuerpo de agua superficial o a los sistemas de alcantarillado público, tendrán en el parámetro de temperatura como valor límite máximo permisible el de 40,00 °C. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Resolución 631 de 2015)*

Tabla 4

Parámetros de estudio para el vertimiento de aguas al alcantarillado

	Turbiedad	Conductividad	pH
Promedio	49,9	54,5	7,2

Mínimo	4	0,27	5,6
Máximo	126	161	9,2
Error estándar	8,22	12,1	0,23

Nota: Elaboración propia

<https://www.leyex.info/leyes/Resolucionmads631de2015.pdf>

Artículo 17. De la exclusión de parámetros de la caracterización. El responsable de la actividad podrá solicitar ante la Autoridad Ambiental competente la exclusión de algún(os) parámetro(s), siempre y cuando mediante balances de materia o de masa y con la realización de la respectiva caracterización demuestre que estos no se encuentran presentes en sus aguas residuales. Para ello se debe realizar el análisis estadístico de los resultados de las caracterizaciones y de la información de las hojas técnicas de las materias primas e insumos empleados en el proceso. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Resolución 631 de 2015)

Las impurezas presentes en las fuentes de agua pueden ser clasificadas según su tamaño:

I. Sólidos suspendidos: Son partículas de tamaño mayor a 10⁻⁶m y pueden ser de origen mineral (como arena, arcillas, etc.) u orgánico (producto de la descomposición de plantas y animales). También pueden incluir microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus. Estos sólidos suspendidos contribuyen a la turbidez y el color del agua.

II. Partículas coloidales: Son partículas de tamaño entre 10⁻⁶ y 10⁻⁹m. Al igual que los sólidos suspendidos, pueden tener origen mineral u orgánico, pero su tamaño es más pequeño y su velocidad de sedimentación es muy lenta. Estas partículas también contribuyen a la turbidez y el color del agua. Por lo general, estas partículas tienen una carga negativa en su superficie debido a la presencia de grupos químicos como RCOO⁻ y OH⁻. Esta carga negativa genera repulsión entre las partículas, evitando su aglomeración y la formación de partículas más grandes que se sedimentarían fácilmente.

III. Sustancias disueltas: Son sustancias presentes en el agua con un tamaño menor a 10-9m. Estas sustancias pueden ser inorgánicas, como cationes y aniones, así como sustancias orgánicas, como ácidos, alcoholes y aldehídos. También puede haber gases disueltos en el agua. (Guzmán L., 2013)

Tabla 5

Clasificación del tamaño de partículas presentes en el agua.

Tamaño de partículas (mm)	Clasificación	Ejemplos	Área superficial (m ² /cm ³)	Tiempo de sedimentación
10	Partículas gruesas (visibles al ojo humano)	Grava, arena gruesa, sustancias minerales, partículas precipitadas y floculantes, arcilla y macroplancton	6x10 ⁻⁴	0,1 segundo
1			6x10 ⁻³	1 segundo
10 ⁻¹			6x10 ⁻²	13 segundos
10 ⁻²	Partículas finas (visibles al microscopio)	Sustancias minerales partículas precipitadas y floculadas, arcilla, bacteria, plancton y otros organismos	0,6	11 minutos
10 ⁻³			6	20 horas
10 ⁻⁴			60	80 días
10 ⁻⁵	Coloides	Sustancias minerales, productos de la hidrólisis y precipitados, macromoléculas, biopolímeros, virus	600	2 años
10 ⁻⁶			6000	20 años
< 10 ⁻⁶	Solución	iones, moléculas, polímeros, polielectrolitos.	---	----

Nota: Tomado de

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6368/TESIS_PREGRADO_DA_VIRAN_FIARN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

5.10 Parámetros fisicoquímicos en la caracterización de agua residual

Se resumen algunas de los parámetros para el análisis de aguas residuales con el propósito de brindar algunos métodos sencillos para determinar: pH, conductividad y turbidez

pH: Es una medida del potencial de hidrógeno (H⁺), que indica la acidez o alcalinidad del agua. Esta medida no tiene unidades. El agua contiene protones e iones hidroxilo, y el pH se determina en una escala de 0 a 14. El valor 7 se considera neutro, lo que significa que la

cantidad de iones hidroxilo y protones es la misma. Los valores superiores a 7 se consideran alcalinos, indicando un mayor número de iones hidroxilo que de protones, mientras que los valores inferiores a 7 se consideran ácidos, con una mayor cantidad de protones que de iones hidroxilo. A pesar de no provocar efectos directos sobre la salud, puede influir en los procesos de tratamiento de agua, como la coagulación y desinfección. (Escobar Arango, 2021)

Conductividad: La conductividad en el agua se define como la capacidad del fluido para transportar corriente eléctrica a través de los iones disueltos en él. Esto provoca que, conociendo los valores de conductividad hallados en un estudio de aguas, se pueda predecir qué tan segura para el uso o potable es el agua, por lo que es un parámetro fundamental para la calidad de cuerpos de agua (Asano, 2007). En el sistema internacional de unidades, se mide en Siemens por metro (S/m). Este parámetro se considera un indicador de la calidad del agua, ya que proporciona información indirecta sobre la cantidad de sólidos disueltos, como sales, que pueden conducir corriente eléctrica. Estos sólidos disueltos se conocen como electrolitos. (Escobar Arango, 2021)

Turbidez del agua: La presencia de turbidez en el agua puede ser un indicio de contaminación debido a que esta medida refleja la presencia de sustancias coloidales, minerales u orgánicas. Además, niveles elevados de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias, lo que representa un riesgo microbiológico para el ser humano. La turbiedad, en general, se define como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión. (Martínez, A. D. 2006). A medida que la dispersión de la luz aumenta, también lo hace la turbiedad. Sin embargo, es difícil establecer una correlación directa entre la turbiedad y el peso o la concentración del número de partículas suspendidas debido a que el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión. (IDEAM. 2017).

Existen dos métodos instrumentales para la medición de la turbidez. El primero consiste en medir la intensidad del rayo de luz transmitido y compararla con la intensidad del rayo de luz incidente. El segundo método se basa en medir la intensidad del haz disperso, también conocido como método nefelométrico. (Martínez, A. D. 2006)

El método normalizado para medir la turbiedad se realiza utilizando un turbidímetro. Los turbidímetros con detectores de luz dispersa localizados a 90° del haz incidente se denominan nefelómetros. Debido a su precisión, sensibilidad y aplicabilidad en un rango amplio de turbiedades, el método nefelométrico es preferido a los métodos visuales. La medición se expresa en UNF/NTU, es decir, en Unidades Nefelométricas de Turbidez. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el nivel de turbidez en el agua potable para consumo humano no debe exceder nunca las 5 NTU y lo ideal sería que esté por debajo de 1 NTU. En general, los valores de turbidez son útiles para determinar el grado de tratamiento necesario para una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y la eficacia de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Los sólidos coloidales, como el limo fino, bacterias y partículas causantes de color, no sedimentan fácilmente y su efecto global se refleja en la coloración y turbidez del agua. Los sólidos disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos, no son visibles individualmente y pueden causar problemas de olor, sabor, color y salud si no son removidos adecuadamente mediante procesos físicos y químicos. La reducción de los sólidos disueltos totales se puede lograr mediante procesos de ósmosis inversa, electrodiálisis, destilación e intercambio iónico. También se puede utilizar un proceso de coagulación-floculación-sedimentación-filtración seguido de cualquiera de los métodos anteriores. (Daviran H. 2021)

5.11 Teoría de la coagulación

5.11.1 Contaminación del agua

Se refiere a los cambios físicos, químicos o biológicos que pueden afectar su calidad, generando impactos negativos en la salud de los seres vivos que la consumen o tienen

contacto prolongado con ella (CONAGUA, 2018; Lenntech, 2019). Este es un tema de preocupación debido a que el agua es un recurso esencial para la vida en el planeta Tierra (CONABIO, 2009). Las causas de la contaminación del agua se dividen en dos categorías: factores naturales y factores antropogénicos. Los factores naturales incluyen sustancias orgánicas provenientes de la descomposición de restos de plantas o algas, así como microorganismos que se multiplican en el agua y en los sedimentos. También se consideran sustancias inorgánicas provenientes de rocas y suelos por los cuales el agua se filtra o fluye (OMS, 2018). Por otro lado, los factores antropogénicos se refieren a las actividades humanas, como la disposición inadecuada de productos químicos y residuos domésticos, la descarga de desechos en drenajes, ríos y lagos (aguas residuales, vertimientos industriales, residuos de la minería, plaguicidas, productos agropecuarios), así como el manejo inapropiado de aceites de petróleo y sus derivados, entre otros. Estos contaminantes pueden alcanzar fuentes de agua superficiales y subterráneas debido a las precipitaciones y otros factores (Batllori-Guerrero, 2001; OMS, 2018). (Lizcano, 2020)

5.11.2 Coagulación

La coagulación es el proceso mediante el cual se agrega al agua una sustancia con propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a las partículas que se desean eliminar. Esto conlleva a neutralizar la carga eléctrica de los coloides presentes, facilitando la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.

En general, la coagulación se realiza mediante la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso se lleva a cabo gracias a dos fenómenos: el primero, de naturaleza principalmente química, implica las reacciones entre el coagulante y el agua, resultando en la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. La eficacia de este proceso depende de la concentración del coagulante y del pH final de la mezcla. Por otro lado, el segundo fenómeno, de naturaleza principalmente física, se refiere al transporte de las especies hidrolizadas para que entren en contacto con las impurezas presentes en el agua. Este proceso ocurre de manera rápida, tomando desde fracciones de segundo hasta cerca de

100 segundos, y su duración depende de diversas características del agua, como el pH, la temperatura, la cantidad de partículas, entre otras. La etapa inicial de coagulación se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. A partir de este punto, se requiere una agitación más lenta, la cual se realiza dentro de un floculador. (Aburto Jara, J. F. 2008)

Factores que influyen en la coagulación

- Valencia: A mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante (Daviran Huarcaya, 2021)
- Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra para la estimulación de flocs, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc (Daviran Huarcaya, 2021)
- Temperatura: Es un factor que cambia el tiempo de formación del floc, afectando en la energía cinética de las partículas en suspensión (Daviran Huarcaya, 2021)
- Influencia del pH: Para cada coagulante hay una zona de pH óptima, en la cual el proceso de floculación ocurre en el tiempo más corto. (Daviran Huarcaya, 2021)
- Alcalinidad: La alcalinidad es un parámetro que guarda la relación directa con el pH
- Dosis del Coagulante: La cantidad del coagulante tiene influencia directa en la eficiencia y es inversamente proporcional al tiempo. (Daviran Huarcaya, 2021)
- Velocidad de la mezcla: Es el grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante. (Daviran Huarcaya, 2021)

En la figura 3 se aprecia un esquema que muestra cómo ocurre la coagulación en la clarificación del agua potable.

Figura 3

Proceso de coagulación



Nota: Tomado

5.11.3 Coagulantes

Sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua para generar una reacción química que forme un precipitado absorbente. La elección del coagulante depende de las características del agua y de consideraciones económicas. Se emplean tanto coagulantes tradicionales como nuevos productos en el mercado. (Lastra Bravo, T. E. 2010)

Su uso es bastante generalizado en los países desarrollados; para ser usados, deben ser aprobados, previa evaluación, por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) a partir de datos toxicológicos confidenciales presentados por las industrias productoras. Los polímeros pueden ser aniónicos, catiónicos (de polaridad muy variable) o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Son sustancias de un alto peso molecular, de origen natural o sintético. Requieren ensayos de coagulación y floculación antes de su elección. Los polímeros en polvo se usan bajo la forma de suspensión, que puede contener entre 2 y 10 g/L; la duración de las suspensiones es inferior a una semana. Por lo general, requieren un tiempo de contacto entre 30 y 60 minutos; generalmente se usan dosis pequeñas (0,01 a 1 g/L). (Aburto Jara, J. F. 2008)

5.11.3.1 Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal formada por una base débil (hidróxido de aluminio) y un ácido fuerte (ácido sulfúrico), lo que hace que sus soluciones acuosas sean altamente ácidas, con un pH que oscila entre 2,00 y 3,80 dependiendo de la proporción entre sulfato y alúmina. Debido a esta acidez, es importante considerarla al momento de almacenar, preparar y distribuir el compuesto. El sulfato de aluminio es un coagulante eficaz en un rango de pH de 6,00 a 8,00 y genera flóculos pequeños y esponjosos. (Lastra Bravo, T. E. 2010)

El sulfato de aluminio es ampliamente utilizado como coagulante para eliminar la turbidez del agua tratada. Sin embargo, su uso tiene consecuencias económicas y ambientales significativas. Produce una gran cantidad de lodos residuales que son difíciles de tratar y

generan suelos no aptos para la agricultura. Además, altos niveles de aluminio residual en el agua tratada representan un riesgo para la salud, ya que investigaciones han demostrado que concentraciones superiores a 0,110 mg/L de aluminio están asociadas a un mayor riesgo de desarrollar el síndrome de Alzheimer. Estos estudios han revelado que el riesgo de contraer la enfermedad es 1,5 veces mayor en áreas con niveles de aluminio por encima de dicho umbral. (Choque-Quispe., 2018)

5.11.4 Floculación

Consiste en someter el agua a una agitación, mezcla o movimiento lento que ayuda a la unión de varias moléculas compuestas por las sustancias químicas y las partículas coloidales del agua en otras mayores llamadas flóculos. Cuando la turbiedad del agua cruda es alta, junto con los coagulantes se puede dosificar un polímero, que actúa como coadyuvante de la floculación, cuya finalidad es apurar la formación de floc y darles un tamaño mayor de manera más rápida. (Aburto Jara, J. F. 2008)

5.11.4.1 Factores que afectan la floculación:

Concentración y naturaleza de las partículas: La velocidad de formación de los flóculos está relacionada con la concentración de partículas en el agua y su tamaño inicial. (Cerón Pérez, 2016)

Tiempo de retención o retención hidráulica: Es el tiempo medio que las partículas de agua permanecen en el proceso de tratamiento. La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de retención. Se busca un tiempo de retención óptimo determinado mediante ensayos de jarras, dividiendo la unidad de floculación en cámaras. Se obtiene mayor eficiencia en tiempos cada vez más cortos al aumentar el número de cámaras de floculación en serie. Generalmente, se establece un mínimo de tres unidades de floculación por razones prácticas. (Cerón Pérez, 2016)

Gradiente de velocidad: Es un factor relacionado con la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no debe ser superado para evitar la

ruptura de los flóculos. El gradiente a través de las cámaras debe disminuir gradualmente, evitando cámaras intermedias con gradientes elevados. (Cerón Pérez, 2016)

5.11.5 Test jarras

El método de simulación de los procesos de coagulación y floculación a nivel de laboratorio se utiliza para obtener agua de alta calidad que pueda separarse fácilmente mediante decantación. Mediante la adición de diferentes dosis de coagulante, se forman flóculos con valores de turbiedad variados. El objetivo de este método es determinar las variables físicas y químicas de los 40 procesos de coagulación, floculación y sedimentación, como la selección del coagulante, el pH óptimo, los gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación, y establecer una correlación entre las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción. (Daviran Huarcaya, 2021)

5.12 Filtración

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento (Aburto Jara, J. F. 2008).

6. Metodología

6.1 Diseño metodológico

La investigación se cataloga como experimental cuantitativa, ya que se busca realizar una intervención en laboratorio con el fin de hallar solución a una problemática como lo es en este caso la búsqueda de alternativas bioquímicas de potabilización de agua. La toma de datos se busca que sea longitudinal, es decir en un espacio amplio de tiempo (2 meses). Los datos van a ser tomados en diferentes estancias y días en el laboratorio de la

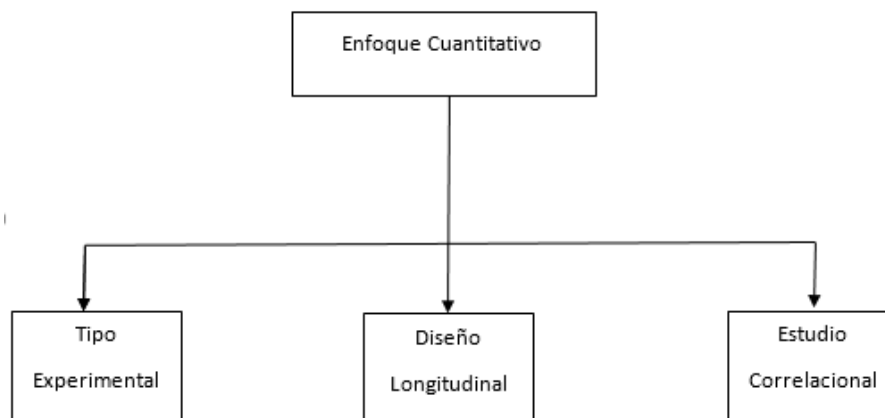
universidad EAN, entre esta toma de datos se encuentra el análisis de especificaciones físico-químicas de las aguas, el avance a través del tiempo de las muestras al ser tratadas con la pectina y los datos de extracción de pectina iniciales en el procedimiento.

6.1.1 Tipo de diseño correlacional

En esta investigación se busca correlacionar el uso de pectina en muestras de aguas residuales institucionales con las características físico-químicas del agua una vez se ha hecho el tratamiento con pectina. Para esto, se usan procedimientos existentes y con literatura científica detrás, por lo que lo más importante es buscar una relación de las variables deseadas. Esta descripción del enfoque, junto con el tipo de diseño y estudio se puede observar en la figura .

Figura 4

Descripción del enfoque



Nota: Elaboración propia

6.2 Variables

Las variables que se van a manejar son la diferencia de pH, diferencia de turbiedad y cantidad de solidos suspendidos del agua residual de la universidad EAN antes y después de agregar la pectina.

Tabla 6

Variables del estudio

VARIABLES	DEFINICIÓN	MICRO VARIABLES	TIPO DE VARIABLES	MAGNITUD
Proceso de tratamiento de aguas residuales institucionales	Capacidad para disminuir la carga de un grupo de concentración, especificaciones, sustancias orgánicas e inorgánicas en el tratamiento de agua	Cantidad de muestras	Cuantitativas	Número de muestras
		pH inicial de muestras	Cuantitativas	Rango de pH
		pH final de muestras	Cuantitativas	Rango de pH
		Parámetros mínimos legales	Cuantitativas	Rango de pH
		Tiempo de adsorción	Cuantitativas	Minutos
		Temperatura del proceso	Cuantitativas	Grados centígrados
		Presión del proceso	Cuantitativas	Kilopascales
		Eficiencia del proceso	Cuantitativas	Cantidad de pH disminuido, cambio de conductividad y turbidez
		Velocidad de agitación	Cuantitativas	RPM
		Cantidad de coagulante	Cuantitativas	mg/l
		Conductividad	Cuantitativas	mS/cm
Turbidez	Cuantitativas	NUT		
Uso de pectina	Complejo bioquímico que, en concentraciones adecuadas disueltas, desestabiliza las cargas coloidales del agua formando flóculos	Tipo de residuos orgánico	Cualitativo	Tipo de fruta/vegetal
		Concentración de pectina usada	Cuantitativas	mg/l

Nota: Elaboración propia

6.3 Hipótesis Alternativa

Las condiciones iniciales de las muestras de aguas residuales institucionales de la

Universidad EAN cambian significativamente al entrar al proceso de adsorción con la pectina extraída de los residuos orgánicos.

6.4 Hipótesis Nulas

Las condiciones iniciales de las muestras de aguas residuales institucionales de la Universidad EAN no cambian significativamente al entrar al proceso de adsorción con la pectina extraída de los residuos orgánicos.

6.5 Solución de hipótesis

La hipótesis nula será cierta si los parámetros finales presente en la media de las tres muestras de agua es igual a los valores iniciales.

Por otro lado, la hipótesis alterna será cierta si los parámetros finales presentes en las tres muestras tratadas del agua es menor o mayor a los valores iniciales.

$$H_0: \mu = X$$

$$H_{01}: \mu < X$$

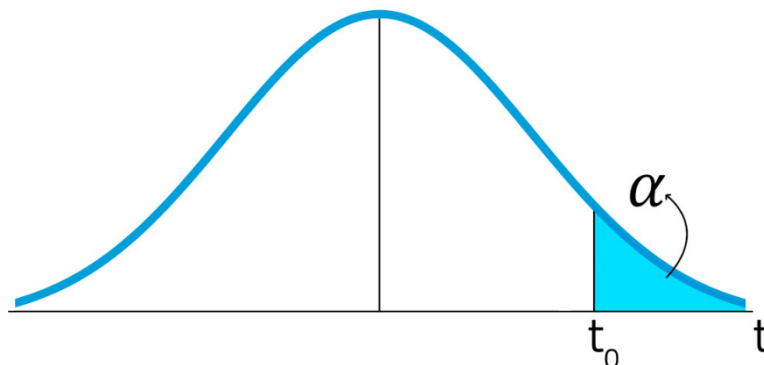
$$H_{02}: \mu > X$$

La significancia del estudio va a ser de un valor máximo de 0.05 o 5%. O sea que $\alpha=0.05$.

Para la determinación del área de aceptación de la hipótesis nula se empleará la distribución estadística de t de Student presente en la figura.

Figura 5

Distribución t de Student



Nota: Tomado de <https://matemovil.com/tabla-t-de-student/>

Para el cálculo de la varianza muestral o función Pivotal se usa la ecuación de la figura.

Figura 6

Ecuación para el cálculo de la función Pivotal de la distribución t de Student.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

Nota: Tomado de Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

Tabla 7

Actividades y descripción metodológica

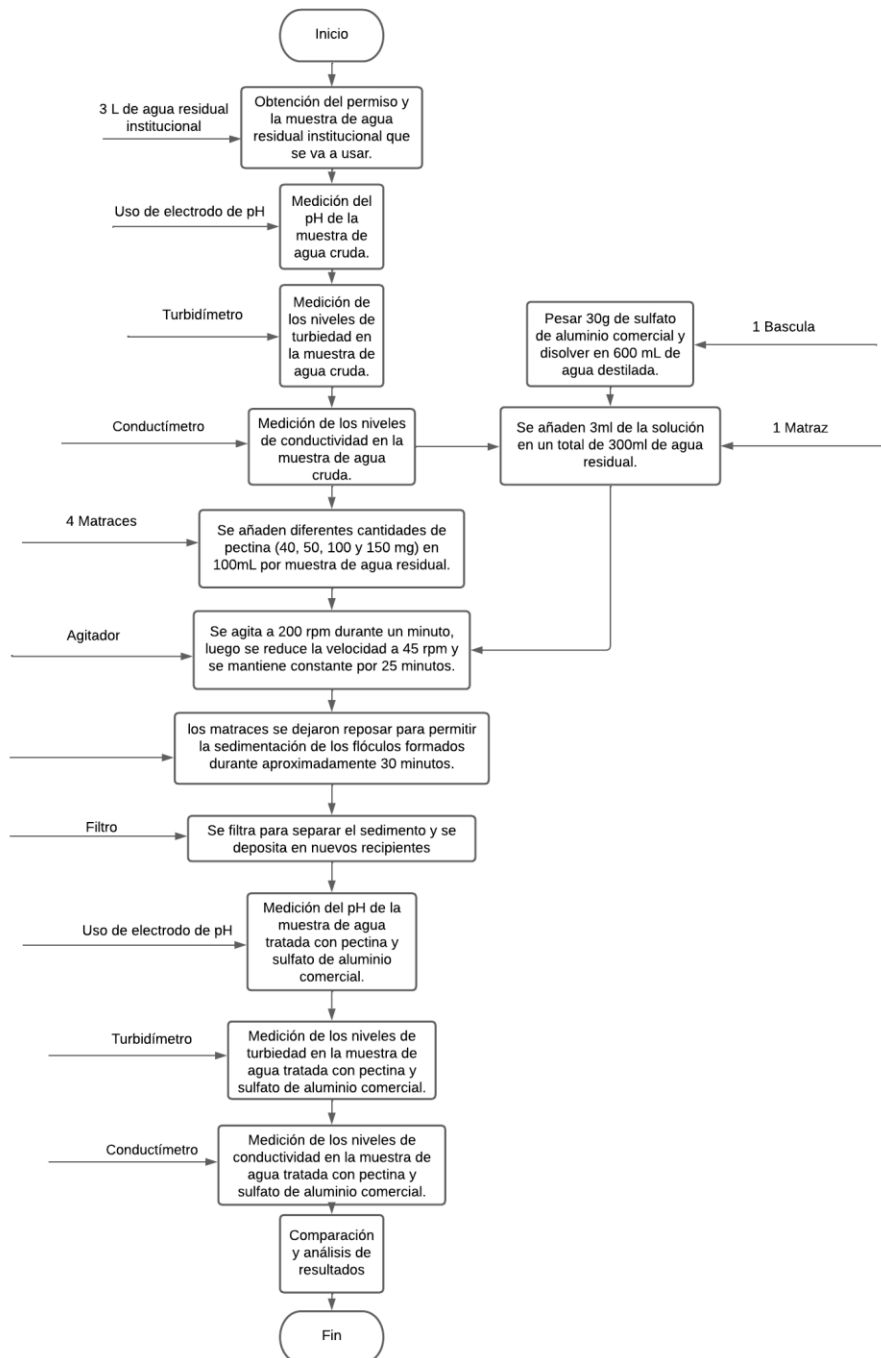
Objetivo	No de tarea	Actividad	Descripción de la metodología
Identificar los parámetros iniciales de las aguas residuales institucionales (Universidad Ean)	1	Recolectar las muestras de agua. (3 muestras)	Se debe pedir el permiso con la universidad para hacer la recolección de muestras. Y con eso se procede a realizar el muestreo
	2	Realizar la medición de los parámetros iniciales.	Se debe de realizar la medición del pH, turbiedad y solidos suspendidos de la muestra.
	3	Comparar con la normativa de referencia.	Con la medición de los parámetros fisicoquímicos de la muestra se procede a comparar con la normativa de referencia
Identificar el potencial de adsorción y eficiencia de obtención de la pectina extraída como tratamiento de las aguas residuales institucionales, para revisar qué tan practico es el proceso.	4	Generar las condiciones necesarias para que la pectina genere el proceso de adsorción de contaminantes	Se añade 10g de pectina a 50mL de agua residual institucional y se agita por 5min a una temperatura de 60°C.
	5	Analizar los cambios en las muestras a través del tiempo en contacto con la pectina.	Se debe medir la concentración de contaminantes en múltiples instancias y periodos de tiempo para tener un amplio número de datos para el análisis de datos
	6	Cuantificar la cantidad de pectina empleada para adsorber materiales contaminantes, para calcular su eficiencia.	Con el análisis terminado, se procede a cuantificar cuanta pectina se gastó por muestra para tener un valor de eficiencia del proceso

Comparar el agua residual tratada con pectina extraída de residuos orgánicos con los parámetros normativos.	7	Analizar las condiciones finales en las muestras y compararlas con sus condiciones iniciales	Teniendo en cuenta los datos obtenidos a partir de los parámetros que se plantearon, se hará una comparación y análisis de la muestra antes y después del tratamiento con la pectina.
	8	Revisar los parámetros mínimos de la normativa y comparar con los análisis de las condiciones finales de las muestras.	Con las concentraciones y el estado final de las muestras una vez terminado el proceso, se procede a realizar la comparación con los parámetros mínimos legales.

Nota: Elaboración propia

Figura 7

Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales con pectina



Nota: Elaboración propia

6.6 Recolección del agua residual

Luego de haber obtenido el permiso por parte de la universidad, se obtiene la muestra del agua residual de la universidad EAN que será tratada.

Figura 8

Materia prima recolectada agua residual universidad ean.



Nota: Elaboración propia

6.7 Determinación de los niveles de pH para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial

Enjuague el electrodo utilizando agua destilada o desionizada. Elimine el exceso de agua y seque el electrodo con un paño libre de pelusas. Introduzca el electrodo en la muestra. En el modo de medición de lectura automática (AUTO-READ), presione para iniciar la lectura.

En la pantalla, la lectura aparecerá intermitente hasta que se estabilice. Una vez que la lectura se estabilice, la pantalla se congelará y el medidor registrará e imprimirá la medición.

Retire el electrodo de la muestra una vez que haya completado todas las mediciones.

Enjuague el electrodo nuevamente con agua destilada o desionizada y séquelo. Coloque el protector en el electrodo, asegurándose de que haya suficiente solución de almacenamiento.

6.8 Determinación de los niveles de turbiedad para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial

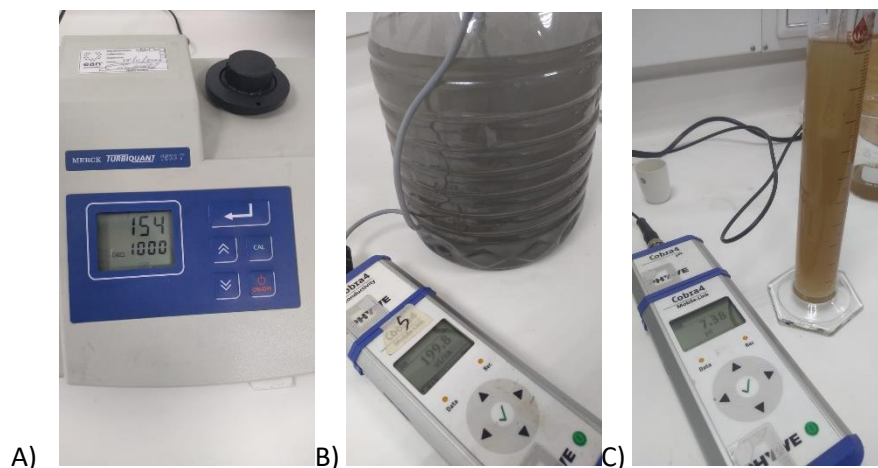
Se limpia la celda donde se va a medir la muestra en el turbidímetro, para luego proceder a agregar 30mL de muestra homogenizada en la celda, luego se hace uso de la tapa negra con el fin de impedir que la luz entre al dispositivo y siendo cuidadosos de que el exterior de la celda no tenga ninguna huella dactilar, no este sucia y debe de estar seca. Se espera a que se estabilice el valor y se toma la lectura.

6.9 Determinación de los niveles de conductividad: para agua cruda y agua tratada con pectina cítrica comercial

Encienda el conductímetro y asegúrese de que esté calibrado correctamente para la medición. Prepare las muestras de agua que se van a medir. Asegúrese de que la muestra esté a temperatura ambiente y que no haya burbujas de aire en ella. Si es necesario, agite suavemente la muestra para eliminar las burbujas. Sumerja el electrodo del conductímetro en la muestra de agua y espere a que se establezca la lectura. La conductividad se muestra en la pantalla del conductímetro. Anotar los resultados para poder analizarlos.

Figura 9

Métodos analíticos realizados por los parámetros de medición en laboratorios de la Universidad ean.



Nota: (a) Medición de la turbidez; (b) Medición de conductividad; (c) medición pH

6.10 Aplicación del tratamiento- Ensayo de jarras

En la metodología utilizada, se añadieron diferentes cantidades de pectina (40, 50, 100 y 150 mg) (Al-Gheethi., et al., 2017) en 100 ml de agua residual en cada matraz de prueba. Estas cantidades se seleccionaron con el objetivo de evaluar el efecto de la pectina en la coagulación- floculación, sedimentación y clarificación del agua residual. Todo el procedimiento se llevó a cabo a temperatura ambiente. Una vez agregada la pectina, los cuatro matraces de prueba se sometieron a una prueba de ensayo de jarras. Inicialmente,

se estableció una velocidad de agitación de 200 rpm durante un minuto. Posteriormente, se redujo la velocidad a 45 rpm y se mantuvo durante un período de 25 minutos. Este proceso de agitación controlada tuvo como finalidad promover la formación de floculación y la posterior sedimentación de los sólidos presentes en el agua residual tratada. Una vez finalizado el tiempo de agitación, los matraces se dejaron reposar para permitir la sedimentación de los flóculos formados durante aproximadamente 30 minutos. Durante este período, los flóculos más grandes se depositaron en el fondo de los matraces, mientras que el agua clarificada quedó en la parte superior. Pasado el tiempo, se filtró para separar el sedimento y la muestra filtrada se depositó en nuevos recipientes para realizar la valoración de concentración de turbidez, conductividad y pH. Sin embargo, este último no presentó un cambio significativo, por lo cual no se tuvo en cuenta la medida de este a la muestra de agua con pectina.

Figura 10

Montaje ensayo de jarras y resultado de la floculación



Nota: (a) Ensayo de Jarras; (b) Formación flóculo

Tabla 8

Medición parámetros iniciales

Parámetro	Unidades	Equipo
pH	-	PH metro
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	Conductímetro

Turbidez	NTU	Turbidímetro
----------	-----	--------------

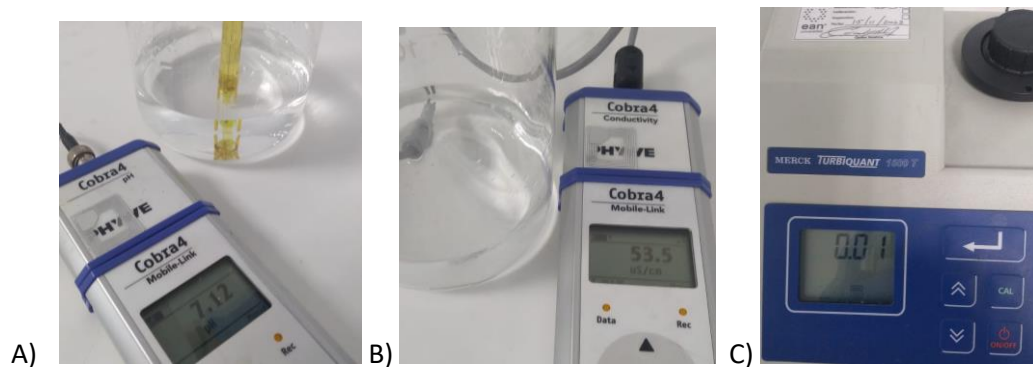
Nota: Elaboración propia

6.11 Medición de los parámetros de agua de comparación institucional

Se comparan los resultados obtenidos y se realiza un análisis con el fin de observar los cambios en los parámetros ya estipulados, generando las respuestas a los objetivos que se habían planteado.

Figura 11

Métodos analíticos realizados por los parámetros de medición, agua de muestra/ comparación en laboratorios de la Universidad ean.



Nota: a) Medida de pH agua de comparación; b) Medida de conductividad agua de comparación; c) Medida de turbidez agua de comparación.

6.12 Preparación del coagulante sintético

Se pesó 30 g de sulfato de aluminio comercial, y se disolvió en 600 mL de agua destilada.

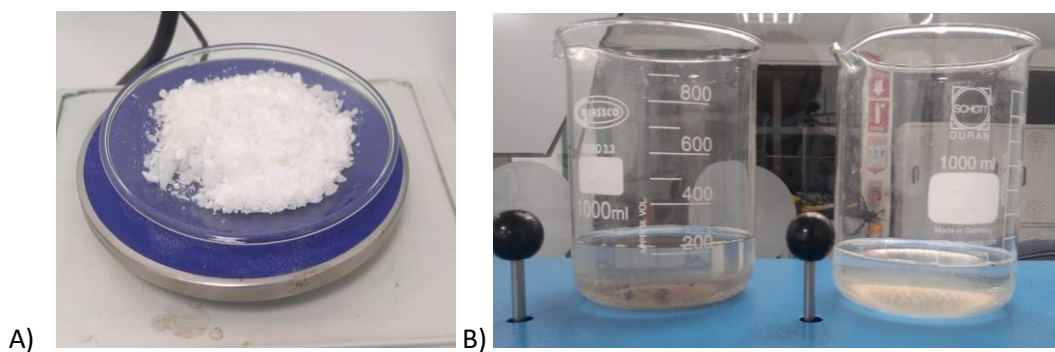
Las dosis de coagulante aplicadas de sulfato de aluminio fueron de 3ml para un total de 300ml de agua residual.

La corrección de pH es un proceso fundamental en la potabilización de aguas crudas, donde se busca establecer un rango óptimo de pH durante la etapa de coagulación. En este caso cada coagulante químico tiene un rango específico de pH en el cual se disuelve de manera óptima. En el caso del sulfato de aluminio comercial, este rango varía entre 5,5 y 8,0. Si el pH del agua no se encuentra dentro de este rango adecuado, se realiza una corrección mediante la adición de soda cáustica, o mediante la adición de un ácido, como el

clorhídrico o el sulfúrico. Estos compuestos permiten ajustar el pH hacia los valores deseados para la coagulación eficiente de las partículas presentes en el agua. En el contexto de la investigación en cuestión, no fue necesario realizar la corrección de pH. (Mercado-Martínez, et al., 2018)

Figura 12

Preparación coagulante de comparación (Sulfato de Aluminio) y resultado del tratamiento de agua con este coagulante sintético.



Nota: a) Sulfato de Aluminio; b) Beaker costado izquierdo tratamiento de agua residual con pectina cítrica comercial y beaker costado derecho tratamiento de agua residual con coagulante sintético, sulfato de Aluminio.

7.Resultados

Este estudio investigó el coagulante natural; pectina cítrica comercial y se comparó con el coagulante convencional (Sulfato de Aluminio).

7.1 Resultados de las características fisicoquímicos del agua residual institucional, caso Universidad ean

La caracterización de las muestras de agua recreativa consistió en conocer las propiedades fisicoquímicas antes y después del tratamiento con pectina.

El agua residual institucional que se trabajó fue recolectada por el área de limpieza de la universidad, quienes muy amablemente reunieron una cantidad de agua considerable a medida que iban realizando los diferentes oficios de limpieza, desde pisos, ventanas e incluso baños, hasta finalmente completar el volumen solicitado para esta investigación,

para ser luego analizada y tratada. En la Tabla 9 se presentan las condiciones iniciales promedio para pH, temperatura, conductividad y turbidez del agua residual (gris) institucional.

Tabla 9

Valor promedio parámetros iniciales

Parámetro	Valor	Unidad
pH	7,8	-
Conductividad	202,85	μS/cm
Turbidez	146	NTU

Nota: Elaboración propia

Las propiedades fisicoquímicas del agua al momento del muestreo se detallan en la Tabla 10 donde se tomaron 4 muestras de dicha agua para su posterior análisis. Los resultados indican que la turbidez de las muestras no cumple con los parámetros de la norma para vertimientos (Resolución 631 de 2015), ya que supera el límite de 120 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Sin embargo, en esta se observa que el pH de todas las muestras se encuentra dentro del rango de referencia de 6.5 a 9 (Resolución 631 de 2015) rango neutro-básico debido a que esta agua contiene grandes cantidades de jabón. En cuanto a la conductividad, las muestras presentaron valores comprendidos entre 183,4 μS/cm y 221 μS/cm, lo que indica que el 100% de ellas se ubicaron dentro de los 1500 μS/cm (microsiemens por centímetro). Este valor constituye el límite establecido por la resolución para quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (Resolución 631 de 2015)

Tabla 10

Características fisicoquímicas de las muestras de agua recreativa.

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez	Temperatura
1	8,02	216,2	133	
2	7,20	190,8	150	19°C
3	7,64	183,4	147	

4	8.57	221	154
---	------	-----	-----

Nota: Elaboración propia

Las características fisicoquímicas del agua residual institucional detalladas en la Tabla 10, se pueden atribuir principalmente al uso de detergentes y jabones donde la limpieza y el blanqueo se logran utilizando hipoclorito de sodio, que es un agente blanqueador y quita manchas. Los productos alcalinos, como el amonio y el hidróxido de sodio, se utilizan para eliminar la acidez, la grasa y las manchas de aceite, ya que la alcalinidad es efectiva en estos casos y los ácidos, como el ácido nítrico, el ácido acético y el ácido clorhídrico, se utilizan para neutralizar o ajustar la alcalinidad de otros ingredientes y para disolver los sedimentos minerales. Estos componentes químicos desempeñan roles específicos en la limpieza y el tratamiento de manchas en función de sus propiedades y características químicas. Además, la alta conductividad del agua se debe a la concentración de iones presentes.

Finalmente, los valores iniciales del pH de agua residual (gris) institucional, se ajustaron para las 4 muestras y se presentan en la Tabla 11, tomando de referencia el estudio de (Flores Zapata, L. S. 2020). El pH de las muestras de agua tuvo una ligera acidificación con Ácido clorhídrico HCL al 98%. Especialmente el tratamiento a pH 3.5 contribuyó a la acidificación del agua tratada, hasta niveles no deseados (pH 2.03 – 2.88), por lo cual se adicionaron gotas de Hidróxido de Sodio (2N) llegando a los valores de pH deseados para comparar entre un rango de pH de 3 a 6.

Tabla 11

Valor pH ajustado

<i>Muestra</i>	pH inicial	pH ajustado
1	8,02	3,17
2	7,20	3.71
3	7,64	6.5
4	8,57	5.31

Nota: Elaboración propia

7.2 Resultados experimentales del tratamiento prueba de Jarras

Se recolectaron muestras representativas de agua cruda superficial con diferentes niveles de turbidez, conductividad y pH ajustado para llevar a cabo los ensayos para evaluar la dosis óptima de coagulante y determinar el pH más favorable. Durante estos ensayos, se establecieron condiciones con gradientes y tiempos específicos para la mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación. Estas condiciones se mantuvieron constantes en todos los experimentos, como se indica en la tabla 12.

Los factores principales considerados en el diseño experimental fueron la dosis de un coagulante comercial a base de pectina cítrica, con dosificaciones de 40, 50, 100 y 150 mg/100ml, y el efecto del pH ajustado de las muestras. La variable de respuesta analizada fue la turbidez residual y también se registró la conductividad residual como una medida adicional.

Los tiempos de agitación rápida y agitación lenta se obtuvieron de estudios realizados por diferentes investigadores [6]. Por lo tanto, para esta investigación, con el fin de lograr condiciones óptimas, se establecieron los siguientes parámetros: velocidad de agitación rápida de (200 rpm) a las muestras de agua durante 1 min, luego una agitación lenta (45 rpm) durante 25 min y tiempo de sedimentación de 30 minutos.

Tabla 12

Condiciones de gradientes y tiempos

	Gradiente (rpm)	Tiempo (min)	Temperatura (°C.)
Mezcla rápida	200	1	
Mezcla lenta	45	25	19,5
Sedimentación	0	30	

Nota: Elaboración propia

La pectina comercial, cuando se disuelve en solución acuosa, tiene la capacidad de formar geles debido a su naturaleza polimérica y su alto contenido de ácido galacturónico (Beach et al., 1986). Durante el proceso de jarras, la pectina desempeña un papel como coagulante-floculante en el agua. A medida que se agita, la pectina captura partículas de

contaminantes suspendidas en el agua, las cuales se adhieren físicamente a los conglomerados de pectina. Posteriormente, cuando las muestras se encuentran en reposo, estos flóculos descienden a través del agua arrastrando consigo los contaminantes. Este mecanismo se conoce como "floculación por arrastre" (Gregory & Duan, 2001; Miller et al., 2008), y permite la eliminación de los contaminantes mediante procesos de separación de fases o decantación. En el caso de la separación de la pectina de las muestras de agua, se observó que se sedimentaba, lo que sugiere que el mecanismo descrito anteriormente podría ser una explicación posible para el proceso de remoción de turbidez. (Lizcano, 2020)

Tabla 13

Medición parámetros finales

Muestra	pH	Conductividad final	Turbidez final	Pectina mg
1	3.17	840.8	115	40
2	3,71	502	111	50
3	6,5	316	119	100
4	5,31	438,2	147	150

Nota: Elaboración propia

Para el caso de la conductividad, Tabla 14, no hubo disminución debido a la adición para ajustar el pH, de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, donde el aumento de esta fue elevado, debido a los iones de estas sustancias, sin embargo, se mantuvo dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Resolución 0631 de 2015 expedida por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, donde el mayor valor registrado es de 840,8 micro siemens / cm, para la muestra número 1.

Tabla 14

Valores conductividad final

Muestra	Mg pectina	pH inicial	pH ajustado	Conductividad	Conductividad final
1	40	8,02	3,17	216	840.8
2	50	7,20	3.71	198,8	602

3	100	7,64	6.5	183,4	316
4	150	8,57	5.31	221	438,2

Nota: Elaboración propia

La tabla 15 presenta los valores de turbiedad para los distintos pHs ensayados a distintas dosis. Se puede apreciar que la muestra número 2 permitió alcanzar los mayores porcentajes de remoción de turbiedad. Por el contrario, la muestra que se mantuvo entre los valores de turbidez inicial fue la muestra 4, al no presentar mayor porcentaje, se puede atribuir este resultado ya sea a la dosis adicionada y/o al pH.

Tabla 15

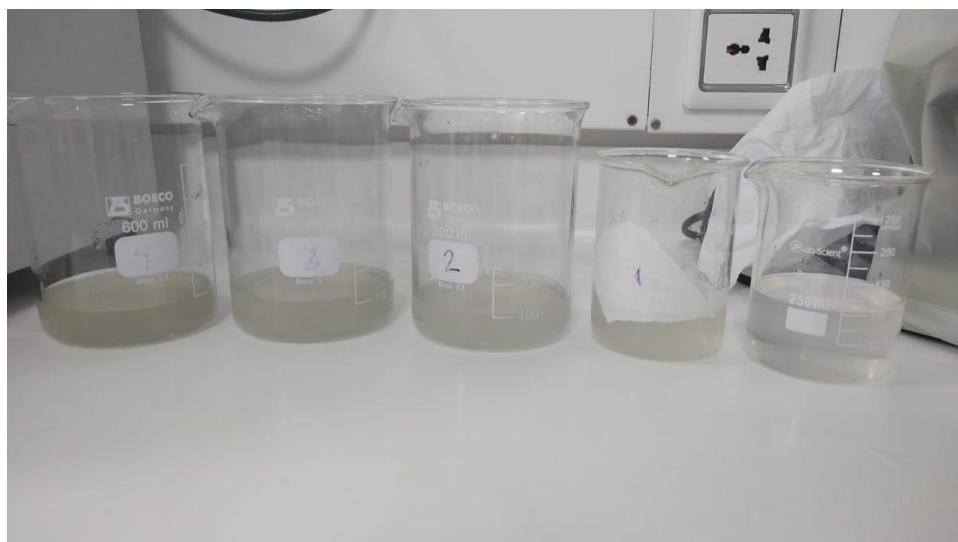
Valores turbidez final

<i>Muestra</i>	<i>mg de pectina</i>	<i>pH inicial</i>	<i>pH ajustado</i>	<i>Turbidez inicial</i>	<i>Turbidez final</i>
1	40	8,02	3,17	133	115
2	50	7,20	3.71	150	111
3	100	7,64	6.5	147	119
4	150	8,57	5.31	154	147

Nota: Elaboración propia

Figura 13

Muestras de agua finalizado el tratamiento con pectina cítrica comercial



Nota: Elaboración propia.

7.3 Resultados pruebas de coagulación con sulfato de Aluminio

Los coagulantes metálicos son altamente sensibles al pH y a la alcalinidad del agua. Si el pH no se encuentra dentro del rango adecuado, la clarificación será deficiente y es posible que se solubilice el aluminio, lo que puede generar problemas para los usuarios del agua. Además, a menor dosis de coagulante, mayor será la sensibilidad del flóculo a los cambios de pH. (Cerón, V. 2016)

Las sales de aluminio presentan la ventaja de poseer una carga alta, lo que les permite actuar simultáneamente como coagulantes y floculantes. Además, tienen la capacidad de formar especies hidratadas complejas cargadas positivamente o especies resultantes de la hidrólisis, las cuales son más efectivas que los iones individuales. Estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y generan hidróxidos insolubles, y forman precipitados (Bravo, 2010). Durante la reacción entre el coagulante y el agua, se forma un ión de aluminio hidratado $[Al(H_2O)_6]^{3+}$, el cual, al interactuar con las moléculas que constituyen la alcalinidad del agua, provoca una disminución en el pH del agua. Esto resultó en un agua con un carácter ácido de 4,01 fuera de los límites establecidos por la norma para el vertimiento (Resolución 631 de 2015). (Cerón, V. 2016)

Tabla 16

Resultados de los parámetros para agua tratada con sulfato de aluminio

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez
		Inicial	
Agua residual institucional	7,46	210	145
		Final	
Agua con coagulante sulfato de Aluminio	4,01	4,76	35,5

Nota: Elaboración propia

En la tabla 16 se presenta el valor de turbiedad final obtenido al utilizar el coagulante sulfato de aluminio. Se observa que el coagulante comercial logró reducir la turbidez comparada con la pectina comercial, lo cual concuerda con otros estudios Sandoval Arreola & Canepa

Laines, 2014) quienes alcanzaron un 96,60% y un 98,32%, al igual que Heber, Marina y Leonardo (De Paula, De Oliveira Ilha, & Andrade, 2014) que han afirmado que el sulfato de aluminio por sí solo cumple con todas las especificaciones para tratar aguas grises con el propósito de reutilización. Esto demuestra la alta eficacia de esta sal inorgánica en el tratamiento de aguas residuales y crudas. (Barreto Pardo, et al., 2020)

Tabla 17

Resultados de los parámetros medidos para el agua de comparación

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez
Agua de la Universidad de uso público	7,12	53,5	0,01

Nota: Elaboración propia

La realización de análisis fisicoquímicos en el agua es de suma importancia debido a que cada uno de estos parámetros está relacionado con otros procesos y su desregulación puede tener consecuencias perjudiciales para los organismos vivos. Por ejemplo, el pH del agua determina su capacidad corrosiva, lo cual puede afectar la solubilización y deterioro de metales en contacto con el agua. Además, la temperatura juega un papel crucial en estas reacciones, ya que regula la velocidad de reacción y puede impactar los procesos biológicos de los peces y otras especies acuáticas, dado que su bienestar depende del nivel de oxígeno presente en el agua, el cual está inversamente relacionado con la temperatura. Por otro lado, la presencia de sólidos suspendidos en el agua propicia la proliferación de microorganismos, especialmente cuando la turbidez es alta. Esto se puede evidenciar a través de la conductividad del agua, ya que guarda una correlación con las características previamente mencionadas.

8. Análisis de resultados

El pH del agua residual institucional se encontró en el rango neutro-básico a la hora de analizarlo con el electrodo de pH. Para poder emplear la pectina cítrica comercial se añadió ácido sulfúrico esto debido a que, al realizar las primeras pruebas de tratamiento con

pectina, incluso en concentraciones bajas del gelificante se generaban coágulos que no se disolvían o atrapaban ninguna clase de impureza en el agua.

Además de los cambios en el pH, también se observaron cambios en otros parámetros después de la aplicación de la pectina, la conductividad de igual manera pasó por un cambio considerable. Con el tratamiento regulador de acidez, la pectina fue capaz de disolverse en las muestras, generar un aclaramiento del agua y un cambio en las características fisicoquímicas. Con este cambio en el pH y debido a la concentración tan elevada del ácido, ocurrieron cambios importantes en las ácidos que tuvieron que ser regulados con hidróxido de sodio. Esto que provocó que se generara una reacción que dio como resultado sulfato de sodio, esta sal iónica es la principal causante de que la conductividad en las muestras fuera tan alta al finalizar el tratamiento a las muestras de agua.

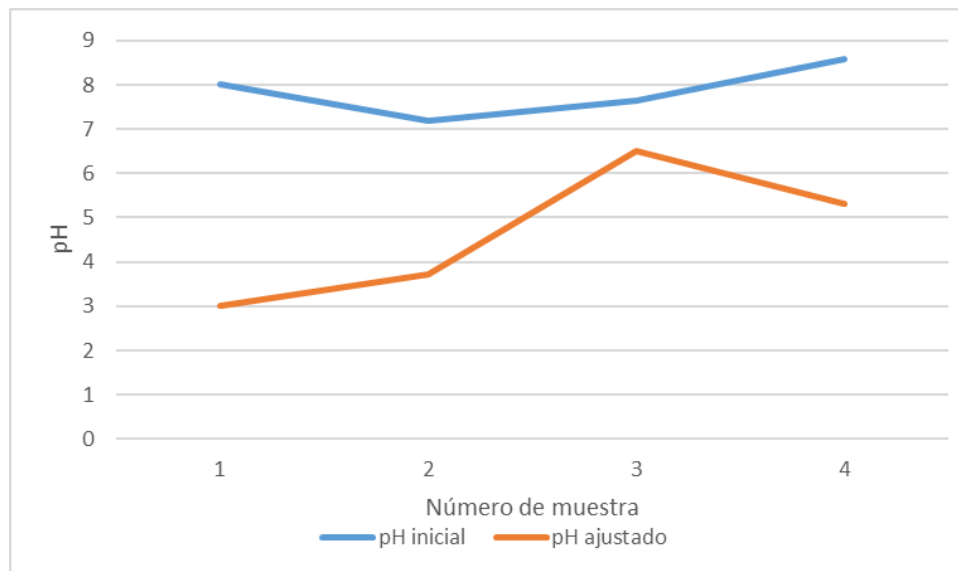
Los tiempos de agitación fueron parámetros importantes en el proceso de tratamiento del agua, ya que estos determinan la homogenización del coagulante en todo el volumen de la muestra de agua. Como se mencionó previamente en la sección de resultados, se utilizaron y acomodaron valores establecidos por diferentes investigadores en estudios previos, esto con el objetivo de alcanzar condiciones óptimas. Se menciona la palabra acomodar, porque la potencia de la maquinaria de análisis de jarras usada en este estudio no tiene la potencia de la empleada en el estudio de Lizcano realizado en 2020, la cual fue programada para trabajar a 230 RPM. Por tanto, se estableció una velocidad de agitación rápida de 200 rpm durante un minuto, seguida de una agitación lenta a 45 rpm durante 25 minutos. Una vez finalizada la agitación, se estableció un tiempo de sedimentación de 30 minutos para que las partículas en suspensión y disueltas tratadas con el coagulante se depositaran en el fondo del recipiente.

Continuando, en el tratamiento prueba de Jarras, se decidió por usar únicamente agitación y se dejó de lado el aumento de temperatura de las muestras para facilitar el proceso de coagulación, por lo que el proceso se realizó a una temperatura ambiente y a una velocidad

de 200 RPM (la velocidad de agitación máxima generada por el equipo de prueba de jarras) y 45 RPM. Se prepararon cuatro muestras de agua ajustadas a diferentes valores de pH, se evaluó la dosis óptima de coagulantes y el pH más favorable. Los factores principales considerados en el desarrollo experimental fueron la dosis de coagulante de pectina cítrica y el efecto del pH ajustado de las muestras. La turbidez residual y la conductividad fueron las variables de respuesta analizadas.

Figura 14

Comparación de pH inicial y final en las 4 muestras con concentraciones diferentes de pectina

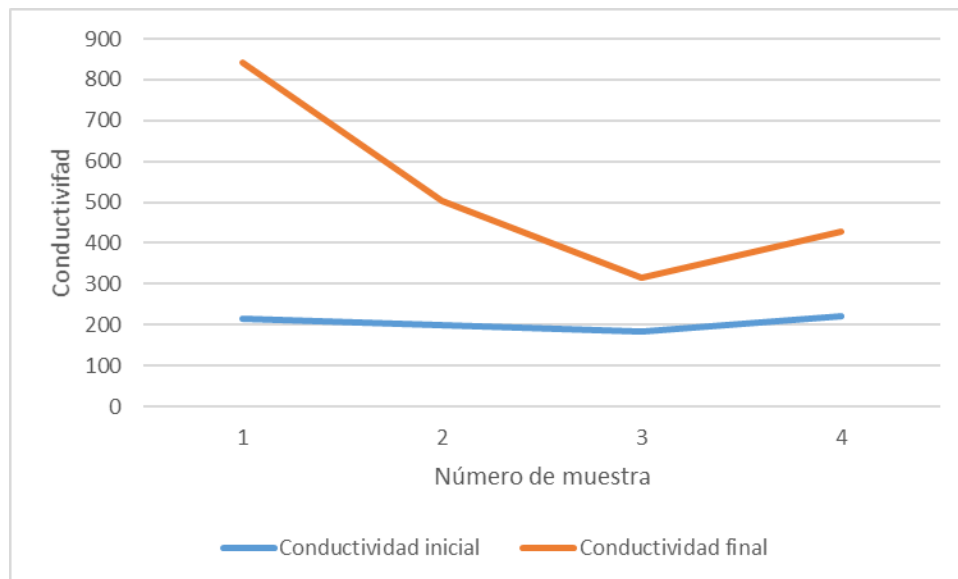


Nota: Creación propia

En el caso de la conductividad como se mencionó anteriormente, no hubo una mejoría de los resultados, sino que, todo lo contrario. La conductividad debió de haber disminuido, pero debido a la presencia del ácido sulfúrico, hidróxido de sodio y posterior formación del sulfato de sodio, se generó una conductividad considerablemente más elevada de la esperada y la de inicio, por lo que la hipótesis alterna negativa en esta ocasión se cumpliría debido a esa desviación.

Figura 15

Comparación de conductividad inicial y final en las 4 muestras con concentraciones diferentes de pectina

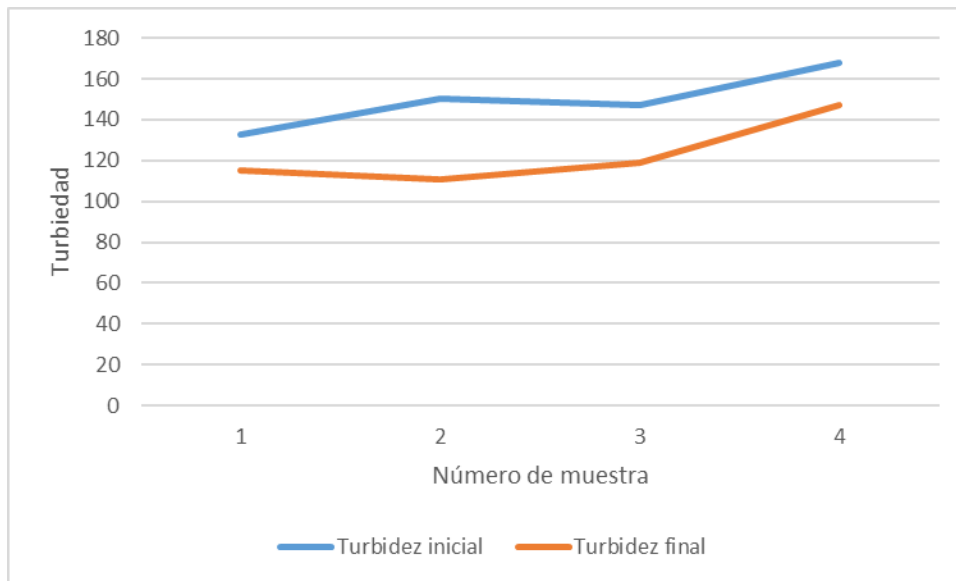


Nota: Creación propia

Para el caso de la turbiedad, los resultados indicaron que la dosis y el pH tienen un efecto significativo en la remoción de partículas suspendidas en el agua. En general, se observó una tendencia a una mayor remoción de turbiedad a pH más ácidos. A pesar de esto, se puede observar que la pectina utilizada en el tratamiento permitió alcanzar porcentajes positivos de remoción de turbiedad en todas las dosis y pH's ensayados, lo que sugiere su eficacia en la eliminación de partículas en suspensión en el agua y la confirmación de la hipótesis alterna positiva respecto a la mejoría de las propiedades fisicoquímicas del agua gris institucional. En general, estos cambios en los parámetros de las muestras indican que la aplicación de la pectina como coagulante en el tratamiento de aguas residuales institucionales tuvo un efecto significativo en la calidad del agua tratada.

Figura 16

Comparación de turbidez inicial y final en las 4 muestras con concentraciones diferentes de pectina.



Nota: Creación propia

Como se mencionó con anterioridad, los coagulantes inorgánicos utilizados en el proceso de clarificación del agua son altamente sensibles al pH y a la cantidad de sólidos disueltos en el agua, que afecta a su vez a la conductividad y la alcalinidad de la misma. Si estas variables se desvían de los niveles óptimos tanto la calidad y eficiencia del proceso se puede llegar a ver comprometido. Por otro lado, se decidió por optar de una concentración alta de sulfato de aluminio en agua, para que el proceso no se viera afectado de gran manera por cambios en el pH. Según lo detallado en la metodología de este estudio, el sulfato de aluminio funciona de una mejor manera en un rango de pH de entre 5,5 a 8, aun así, se decidió por trabajar en un pH medio de 4,01, esto con el fin de poder realizar una comparación en ambientes similares a los de la pectina, cuyo caso tenía un pH medio de 4,63.

Teniendo en cuenta lo anterior, los valores obtenidos para por el tratamiento de agua mediante sulfato de aluminio fueron superiores a los generados por la pectina. Empezando por la turbidez, la media inicial de turbiedad para las muestras con sulfato de aluminio fue de 145, mientras que para el agua con pectina fue de 149,5 siendo este valor un poco más alto, pero en un rango no muy alejado al de las muestras de comparación. El valor final para las muestras tratadas con pectina obtuvo un resultado de 123 de turbidez y de 35,5 para el

proceso con el floculante de sulfato de aluminio. Esta gran diferencia puede deberse a la gran concentración de floculante por litro de agua, siendo que la concentración del sulfato fue de 50 g por litro de agua. Para futuros proyectos se podrían implementar concentraciones similares de pectina y de sulfato de aluminio, esto con el fin de generar comparaciones en dimensiones y ambientes similares. Aunque la comparación terminó beneficiando al tratamiento con sulfato de aluminio, lo verdaderamente relevante es observar las ventajas, desventajas y cambios en el agua generados de la aplicación de un coagulante orgánico como lo es la pectina.

En cuanto a resultados de conductividad final en las muestras, lo obtenido mediante el floculante de sulfato fue un agua con unos valores increíblemente bajos si los comparamos con los conseguidos en la pectina. La última dio una media final de 521,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el pH obtenido por el floculante inorgánico fue de 4,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores se consideran como más bajos a lo visto en estudios de otros autores, pero aun con esto, el valor de conductividad 521,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenido en el tratamiento con pectina se encuentra fuera de los rangos aptos establecidos por la ley, mientras que los resultados obtenidos con el floculante inorgánico llegan casi al límite inferior permitido por las regulaciones legales.

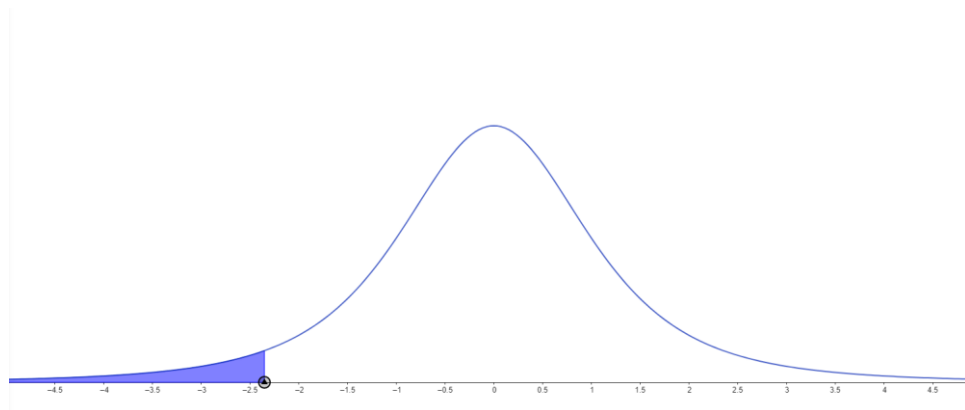
Finalmente, comparando el agua residual tratada con pectina con el agua de uso público para la universidad se obtiene como es de esperarse que el agua de uso público tiene una turbidez increíblemente baja (0,01), un pH cercano al neutro (7,12) y una conductividad dentro del rango expresado por las entidades reguladoras en el marco de la ley (53,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductividad del agua tratada con el floculante orgánico no cumple con estos parámetros legales, esto debido a la ya explicada presencia de sulfato de sodio en el agua por acción del tratamiento de pH previo al uso de la pectina. El pH del agua tratada resulta ser cercano al mínimo solicitado para vertimientos en alcantarillado, pero sigue estando fuera de rango para poder ser vertida con normalidad. Por otro lado, la turbiedad entra dentro de los límites legales para vertimiento de aguas residuales en el alcantarillado, siendo este límite de 126 como máxima turbiedad permitida por la ley.

8.1 Valoración de resultados basados en las hipótesis propuestas.

Según los grados de libertad dados por el número de muestras y la significancia del 95% propuesta en este estudio, la función pivotal teórica o t teórica tiene un valor de $-2,35$. Todo valor que sea inferior a este dará como resultado la confirmación de la hipótesis alterna esperada, por otro lado, todo superior a $-2,35$ presentará como válida a la hipótesis alterna no deseada. Finalmente, un valor igual a la t teórica confirmará la hipótesis nula, demostrando que no hay cambios al aplicar pectina como método de tratamiento de aguas residuales.

Figura 17

Distribución t de Student teórica



Nota: Elaboración propia

En general, dos de tres hipótesis alternas esperadas fueron cumplidas. El pH presentó una función pivotal con valor $-4,09$, lo que significa que los valores de pH cambiaron notablemente con el tratamiento. Esto es debido al tratamiento previo con el ácido para generar un ambiente en el que la pectina pueda desempeñarse mejor. La otra hipótesis acertada fue referente a la turbidez, donde el resultado de la t experimental fue de $-3,25$, esto claramente demuestra el cambio positivo que presentó la turbidez del agua respecto al tratamiento realizado por la pectina.

La variable de análisis que presentó un cambio negativo y por ende presentó un número de t experimental mucho mayor al teórico fue la conductividad. 2,80 fue el valor calculado con la media inicial y final de los datos obtenidos en el laboratorio, valor que es mayor al .2,35 teórico. Esto no significa que haya sido provocado por la acción de la pectina en el agua residual, sino que esto, como se explicó anteriormente está ligado a la generación del sulfato de sodio por acción de la reacción del hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico empleados en el tratamiento de pH.

8.2 Cumplimiento de objetivos

Gracias a los diferentes análisis de aguas realizados, entre los que se encontraba la medición de pH y conductividad mediante los electrodos respectivos, y la medición de la turbidez de las muestras, la cual también refleja la cantidad de solidos suspendidos en el volumen del agua, se lograron identificar los valores específicos de cada uno de los parámetros anteriormente mencionados para las muestras de aguas antes y después de generar el tratamiento.

Los diferentes estudios mencionados en la teoría que sustenta este proyecto demuestran que es posible el extraer la pectina de las paredes celulares de residuos frutas y vegetales con el fin de poder emplearla en el tratamiento de aguas residuales, no solo institucionales sino de cualquier tipo. Hoy en día el tratamiento de aguas es reinado por los componentes inorgánicos, como lo puede ser el mismo sulfato de aluminio. Por lo que explorar alternativas orgánicas y más encima de extracción de residuos, puede resultar en mejores procesos y con un ciclo de vida más sano para el planeta y el medio ambiente.

Con las fotografías presentadas en la sección de resultados, se puede observar cómo las muestras presentan un claro cambio en la cantidad de solidos suspendidos, en la turbiedad y el color del agua, mientras que con los objetos de medición y los datos obtenidos se pueden ver tanto cambios negativos, en el caso de la conductividad y pH, como cambios positivos en las mediciones de turbidez. Aclarando que, los cambios negativos se

presentaron debido a los ajustes realizados para que el proceso de tratamiento de pectina fuera exitoso.

9. Conclusiones

En conclusión, luego de analizar el proceso de tratamiento de aguas residuales institucionales de la universidad EAN mediante el uso de la pectina cítrica comercial, se reveló un pH neutro-básico en la muestra sin tratar y por lo que se requirió la adición de ácido sulfúrico para poder emplear la pectina cítrica comercial como coagulante. La eficacia de la pectina cítrica comercial quedó demostrada cuando se observó la remoción de partículas suspendidas y la clarificación del agua, aunque también se formó sulfato de sodio, lo que ocasionó un cambio negativo en la conductividad del agua residual institucional luego del tratamiento con pectina. Por otra parte, los tiempos de agitación y sedimentación que se usaron en el proceso del tratamiento con pectina cítrica comercial fueron esenciales para lograr la sedimentación y homogeneidad adecuada de las impurezas presentes en la muestra, por lo que se evidenció una remoción efectiva de la turbidez del agua residual institucional de la universidad EAN, aunque la conductividad final está fuera de los límites legales. Por otro lado, en la comparación con el tratamiento de agua residual institucional usando sulfato de aluminio, se pudieron evidenciar mejores resultados en términos de turbidez y conductividad. Por lo que, a pesar de que los resultados obtenidos con el tratamiento de pectina cítrica comercial no cumplieron con los límites legales que se establecieron para la conductividad, es de suma importancia considerar las ventajas que tiene la pectina como alternativa orgánica, reduciendo la dependencia de sustancias inorgánicas como lo es el sulfato de aluminio, además de ser una alternativa que se puede obtener de residuos vegetales y de frutas, generando una reutilización de este tipo de residuos en un proceso que aún se puede seguir investigando y optimizando para poder tratar el agua residual institucional, logrando una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico.

Además, se pudo comprobar la eficacia que presenta la pectina cítrica comercial a la hora de ser usada como alternativa para el tratamiento de aguas residuales institucionales de la universidad EAN. Esta comprobación se llevó a cabo por medio de la identificación de los parámetros iniciales de las aguas residuales institucionales, dando lugar a la medición de ciertos parámetros fisicoquímicos como lo son la conductividad y el pH por medio de electrodos específicos que proporcionaron información sobre la acidez del agua, así como la capacidad que tiene para conducir corriente eléctrica. Obteniendo valores que sirven como indicadores de gran importancia a la hora de medir la calidad del agua y que permiten evaluar si se encuentran dentro de los rangos aceptables para los diversos usos en los que se quiera usar. Por otro lado, se midió la turbidez de la muestra antes y después del tratamiento de pectina, que permite revelar la cantidad de sólidos suspendidos en el volumen del agua, siendo así un indicador de la claridad del agua y si se presenta sedimentación, partículas en suspensión u otros contaminantes. Estos análisis fueron claves para la identificación de los valores específicos de cada uno de los parámetros en la muestra de agua residual antes y después del sometimiento del tratamiento, que permitan controlar la calidad del agua, así como para garantizar un manejo adecuado a la hora de hacer el tratamiento.

Por otro lado, los estudios presentados en el documento respaldan la viabilidad de la extracción de pectina de las paredes celulares de diferentes residuos generados por las frutas y vegetales. Actualmente, a la hora de tratar las aguas residuales se usa principalmente componentes inorgánicos como lo es el sulfato de aluminio. Sin embargo, es de suma importancia la exploración de alternativas orgánicas que permitan aprovechar residuos que puedan ser tratados y utilizados en procesos de tratamiento de agua residual con un menor impacto ambiental, reduciendo la dependencia de sustancias inorgánicas y aprovechando un residuo que es desechado comúnmente, contribuyendo así a un ciclo de vida más amigable con el planeta y el medio ambiente. Por lo que la implementación de esta técnica daría ciertos beneficios como lo son la reducción de la dependencia de

sustancias inorgánicas, reducción de la contaminación en las aguas residuales y la promoción de una alternativa eco-amigable en el tratamiento de aguas residuales.

Como se observó en el documento, se pudo identificar la adsorción que tiene la pectina a la hora de tratar las aguas residuales institucionales de la universidad EAN por medio de las fotografías y los datos obtenidos en el capítulo de resultados, observando cambios significativos en la cantidad de sólidos suspendidos, el color del agua y la turbiedad que la muestra presenta. Además, los objetivos de medición y los datos obtenidos revelan cambios positivos y negativos en los diferentes parámetros planteados, ya que se puede observar una disminución en el pH y la conductividad del agua. Los cambios presentados en el pH y la conductividad se deben a los ajustes que se hicieron durante el proceso de tratamiento con pectina, puesto que fueron necesarios para garantizar un resultado exitoso en el tratamiento de agua residual institucional, pero se afectó de forma negativa los valores del pH y la conductividad del agua luego de realizar el tratamiento con pectina. Por otra parte, se evidenciaron cambios positivos en las mediciones de la turbidez del agua, indicando que el proceso que se realizó con el tratamiento de la pectina logro reducir la turbidez que presenta el agua residual institucional luego de ser analizada, por lo que es un indicativo positivo de la efectividad del tratamiento, y se respalda la eficacia del tratamiento en la mejora de la calidad del agua residual institucional luego de ser tratada con pectina.

A causa del análisis de los grados de libertad y la función pivotal teórica, se dio lugar a una evaluación del impacto del tratamiento de aguas residuales institucionales con pectina comercial cítrica, lo que dio lugar a la confirmación de dos de las tres hipótesis alternativas. Se pudo observar un cambio significativo en el pH, evidenciado por la función pivotal con un valor de $-4,09$, por lo que se observa que la pectina tuvo un efecto importante en los valores del pH del agua residual institucional. Además, también se presentó una mejora en el caso de la turbidez del agua residual luego del tratamiento, ya que tuvo una función pivotal de $-3,25$, lo que demuestra que la pectina es efectiva a la hora de reducir las partículas en suspensión del agua residual institucional. Sin embargo, se observó un cambio negativo en

la variable de conductividad, puesto que se presentó un valor de t experimental de 2,80, siendo superior al valor teórico de $-2,35$. Cabe aclarar que este resultado se debe directamente por la formación de sulfato de sodio que se formó a partir de la reacción entre el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico que se usaron en el tratamiento del pH. Por lo que se destaca la importancia a la hora de considerar los efectos secundarios que puede tener la implementación de otros químicos a la hora de tratar el agua residual institucional, resaltando la necesidad de buscar nuevas formas de complementar el tratamiento de aguas residuales institucionales con pectina cítrica comercial.

Finalmente, en base a la información obtenida a lo largo del documento, se puede concluir que el aprovechamiento de pectina cítrica comercial como alternativa en el tratamiento de aguas residuales institucionales es una opción bastante buena y prometedora. Ya que, los resultados que se obtuvieron a lo largo del proyecto demuestran que la pectina si cumple la función que tiene como coagulante y floculante de forma eficaz, evidenciándose en la mejora de forma significativa de la turbidez del agua residual luego de su tratamiento. Asimismo, se pudo observar que la pectina fue efectiva al ser aplicada en diferentes dosis y rangos de pH, indicando su capacidad y versatilidad a la hora de adaptarse a diferentes condiciones de tratamiento. Además, el uso de la pectina cítrica comercial presenta ventajas adicionales, debido a que se encuentra en abundancia en la naturaleza por ser un polisacárido gelificante que se puede extraer de las paredes celulares de plantas, al ser una sustancia orgánica, la pectina no presenta los riesgos asociados a los compuestos inorgánicos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, siendo una alternativa sostenible que contribuye a la preservación del ecosistema y la protección del medio ambiente. Aunque, es de suma importancia la consideración del pH y las modificaciones fisicoquímicas que se realizan en el tratamiento del agua con pectina, ya que son variables que pueden afectar la calidad del agua pero que pueden abordarse y controlarse de forma efectiva en el proceso de tratamiento del agua residual. Por lo que, de forma general, los resultados obtenidos respaldan la efectividad y viabilidad del uso de la pectina cítrica

comercial como una alternativa a tener en cuenta en el tratamiento de aguas residuales institucionales, a la vez que contribuye en la mejora de la calidad del agua, genera un menor impacto ambiental y ayuda al cuidado del ecosistema.

10. Referencias

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2016). Boletín trimestral de insumos agropecuarios. DANE. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2016.pdf
- [2] García, V., Maldonado, H., Ale, N., Yipmantin, A., Guzmán, E. (2010). Pumachagua H. *Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos*. <file:///C:/Users/SALA/Downloads/15345.pdf>
- [3] Henao C., Carbacas E., Guerra A. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. UNIVERSIDAD DE CARTAGENA. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/109/Trabajo%20de%20grado-Extraccion%20y%20caracterizacion%20de%20pectina%20a%20partir%20de%20cascara%20de%20platanos%20para%20desarrollar%20un%20dise%C3%B1o%20general~1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] IBARRA, D. (2020). Análisis integral y optimización de un proceso de floculación-coagulación empleando pectina de nopal para el tratamiento de aguas contaminadas con metales de la industria de la galvanoplastia. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/453/1/TESIS%20DIANA%20IBARRA%20RODRIGUEZ%20DOC%202020%20a.pdf>

- [5] Jasim, A., Azeez, M. y Shamkhi S. (2022). *A comparative study of different coagulants used in treatment of turbid water*. Open Engineering.
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2022-0366/html>
- [7] Mario, M. (2022, 20 enero). *What is Turbidity and How is it Measured?* Tip Biosystems.
<https://tipbiosystems.com/blog/introduction-to-turbidity/>
- [8] Naturalista. (s.f.). *Daucus carota*. Naturalista. Recuperado de
<https://www.naturalista.mx/taxa/76610-Daucus-carota>
- [9] Pabón S. E., Benítez R., Sarria R. A., Gallo J. A. (2021). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión*. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009
- [10] Precious Sibiyi, Nomthandazo, Sudesh Rathilal, and Emmanuel Kweinor Tetteh. 2021. "Coagulation Treatment of Wastewater: Kinetics and Natural Coagulant Evaluation" *Molecules* 26, no. 3: 698. <https://doi.org/10.3390/molecules26030698>
- [11] Ramírez-Gavidia, T. C. (2020, 1 mayo). *Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. | AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*.
<https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/1627>
- [12] Rodríguez, K., & Román, A. (2004, 7 marzo). *EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE NARANJA DE LAS VARIEDADES Citrus sinensis y Citrus paradisi Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA SU PRODUCCIÓN*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5623/1/10127872.pdf>
- [13] Vasarhelyi, K. (2021, 15 abril). *The Hidden Damage of Landfills*. Environmental Center.
<https://www.colorado.edu/ecenter/2021/04/15/hidden-damage-landfills>

- [14] Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf;jsessionid=2B1A0B919C2F4E3002C2A9D611A61B4E?sequence=1>
- [15] Barreto Pardo, S., Vargas Moncada, D. K., Ruiz Martínez, L., & Gómez Ayala, S. L. (2020). EVALUACIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(1).
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/3081/3662>
- [16] Changhui W., Zheng H., Chenghao H., Qianhong W., Zaisheng Y., Leilei B., Helong J. y Dongdong L. (2022). *Drinking water treatment residue recycled to synchronously control the pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and phosphorus in sediment from aquatic ecosystems*. *Journal of Hazardous Materials*. [https://www.sciencedirect-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S0304389422003211](https://www.sciencedirect.com/bdbiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S0304389422003211)
- [17] Flores Zapata, L. S. (2020). Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72664>
- [18] García Palma, J. I. (2009). Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiado de café procedentes de desmucilaginado mecánico.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2033/1/Evaluaci%C3%B3n%20del%20rendimiento%20de%20extracci%C3%B3n%20de%20pectina%20en%20aguas%20mieles%20del%20beneficiado%20de%20caf%C3%A9%20procedentes%20de%20desmucilaginado%20mec%C3%A1nico.pdf>
- [19] García, M. (2019). *Caracterización de la pectina extraída de residuos y subproductos agroalimentarios*. Trabajo final Master.

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/49745/TFM->

[G1443.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/49745/TFM-G1443.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[20] Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2011).

Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. SIK y FAO.

<https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>

[21] INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. (n.d.). Retrieved February 14, 2023, from

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/29455/TesisP%20Yehudi%20Y.%20>

[LAzcano%20Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/29455/TesisP%20Yehudi%20Y.%20LAzcano%20Delgado.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

[22] Jasim, A., Azeez, M. y Shamkhi S. (2022). *A comparative study of different coagulants used in treatment of turbid water*. Open Engineering.

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2022-0366/html>

[23] Kumar, H., Bhardwaj, K., Sharma, R., Nepovimova, E., Kuča, K., Dhanjal, D. S., Verma,

R., Bhardwaj, P., Sharma, S., & Kumar, D. (2020). *Fruit and Vegetable Peels:*

Utilization of High Value Horticultural Waste in Novel Industrial Applications.

Molecules (Basel, Switzerland). <https://doi.org/10.3390/molecules25122812>

[24] Lessa, E. F., Medina, A. L., Ribeiro, A. S., & Fajardo, A. R. (2020). *Removal of multi-metals from water using reusable pectin/cellulose microfibers composite beads*.

Arabian Journal of Chemistry, 13(1), 709–720.

<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.07.011>

[26] Lupi, F., Gabriele, D., Seta, L., Baldino, N., de Cindio, B. y Marino, R. (2018).

Investigación reológica de geles de emulsiones basados en pectina para usos

cosméticos y farmacéuticos. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [https://link-springer-](https://link-springer-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/pdf/10.1007/s00397-014-0809-8)

[com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/pdf/10.1007/s00397-014-0809-8](https://link-springer-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/pdf/10.1007/s00397-014-0809-8)

[27] Ministerio del medio ambiente de Chile. (s.f). *Estrategia Nacional de Residuos*

Orgánicos. Economiacircular. <https://economiacircular.mma.gob.cl/>

- [28] Martínez, A. D. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en marcha*, 19(2), 31-40.
[file:///C:/Users/port/Downloads/Dialnet-MetodosDeAnalisisFisicosYESpectrofometricosParaEIA-4835509%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/port/Downloads/Dialnet-MetodosDeAnalisisFisicosYESpectrofometricosParaEIA-4835509%20(1).pdf)
- [29] Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. <file:///C:/Users/port/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaTurbiedadComoParametroIndicadorDelTr-7152687.pdf>
- [30] Newton, J. (2019, 2 marzo). *The Effects of Landfills on the Environment*. Sciencing. <https://sciencing.com/effects-landfills-environment-8662463.html>
- [31] Salud Pública, S. (2010). DECRETO 3930 DE 2010 (OCTUBRE 25). <https://repositorio.saludcapital.gov.co/handle/20.500.14206/13376>
- [32] Olivera, C., Alberto, C., Zapata, F., & Sariah, L. (n.d.). FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL. Retrieved February 14, 2023. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72664/B_Flores_ZLS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [33] P.L. Kiew, & Chong, K. H. (2017, December). *Development of fruit-based waste material as biofloculant for water clarification*. ResearchGate; unknown. https://www.researchgate.net/publication/323411778_Development_of_fruit-based_waste_material_as_biofloculant_for_water_clarification
- [34] Valladares, M., Cárdenas, C., De la Cruz, P. y Melgoza, R. (2016). *Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Medellín. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n31/1692-3324-rium-16-31-00055.pdf>

[35] Vasarhelyi, K. (2021, 15 abril). *The Hidden Damage of Landfills*. Environmental Center.

<https://www.colorado.edu/ecenter/2021/04/15/hidden-damage-landfills>

[36] Kalstein. (2021). Turbidímetro vs Espectrofotómetro. Kalstein. Recuperado de

<https://kalstein.co.ve/turbidimetro-vs-espectrofotometro/>

[37] IDEAM. (2017). Turbiedad por Nefelometría. Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

[38] IDEAM. (s.f.). Sólidos Suspendidos Totales en aguas. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

[39] Daviran Huarcaya, J. J. (2021). Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (theobroma cacao) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón.

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6368/TESIS_PREGRA DO_DAVIRAN_FIARN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[40] Báez, M. (2009). Validación de métodos de ensayo para el análisis de parámetros físico-químicos en aguas limpias y residuales en el laboratorio de medio ambiente.

Trabajo de grado (Ingeniero Geográfico y del Medio Ambiente). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí.

[41] Cerón P., Vicky (2016) *Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa EMPOOBANDO E.S.P.* Informe final de Trabajo de Grado.

Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.<https://sired.udenar.edu.co/3769/>

- [42] Asano, T., Burton, F. y Leverenz, T. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, 1st Edition*. Metcalf & Eddy, Inc. an AECOM Company. <https://www-accessengineeringlibrary-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/content/book/9780071459273/chapter/chapter17>
- [43] Ideam,. (2020). INSTRUCTIVO DE MANEJO DEL pH-METRO PORTÁTIL THERMO SCIENTIFIC ORION 3 STAR.
<http://sqi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I067+INSTRUCTIVO++DE+MANEJO+DEL+pH-METRO+PORT%C3%81TIL+THERMO+SCIENTIFIC+ORION+3+STAR+v2.pdf/a98546b5-ba51-4456-b1e3-eb19b0e55232?version=1.0#:~:text=Enciende%20el%20medidor%2C%20si%20est%C3%A1,en%20el%20modo%20de%20medici%C3%B3n>
- [44] Ideam,. (2020). INSTRUCTIVO DE MANEJO DEL CONDUCTIMETRO PORTÁTIL METTLER TOLEDO, MODELO MC126
<http://sqi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I068+INSTRUCTIVO+DE+MANEJO+DEL+CONDUCTIMETRO+PORT%C3%81TIL+METTLER+TOLEDO%2C+MODELO+MC126+v2.pdf/f81d4741-f0cc-4dfd-a74e-2e02c365810c?version=1.0>
- [45] Ideam,. (2020). INSTRUCTIVO DE MANEJO TURBIDIMETRO TURBIQUANT 1500T
<http://sqi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I007+INSTRUCTIVO+DE+MANEJO+TURBIDIMETRO+TURBIQUANT+1500T+v3.pdf/f572db70d-e30a-4bbd-bfb7-6b0a208f164e?version=1.0>
- [46] Lastra Bravo, T. E. (2010). *Estudio de la floculación con energía cinética en un reactor tubular* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).v
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2511>

- [47] Preciosa Sibiyá, N.; Rathilal, S.; Kweiyor Tetteh, E. Tratamiento de coagulación de aguas residuales: cinética y evaluación de coagulantes naturales. *Moléculas* 2021 , 26 , 698. <https://doi.org/10.3390/molecules26030698>
- [48] Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852018000200008&script=sci_arttext&lng=en
- [49] Al-Gheethi, A. A., Mohamed, R. M. S. R., Wurochekke, A. A., Nurulainee, N. R., Rahayu, J. M., & Hashim, M. A. (2017). Efficiency of Moringa oleifera seeds for treatment of laundry wastewater. In *MATEC web of conferences* (Vol. 103, p. 06001). EDP Sciences. https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/17/mateconf_iscee2017_06001/matec_conf_iscee2017_06001.html
- [50] Kebaili, M., Djellali, S., Radjai, M., Drouiche, N., & Lounici, H. (2018). Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 64, 292-299. [https://www.sciencedirect-com.bdiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S1226086X18301485#bib0065](https://www.sciencedirect.com/bdiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S1226086X18301485#bib0065)
- [51] Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029
- [52] Mercado-Martínez, I., Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Jurado-Eraso, M., & Olivero-Verbel, R. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga

de Malambo, Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-103.

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553756965010/553756965010.pdf>

[53] Mosquera Rivera, L. C., & Leal Gómez, N. (2018). *Estudio De La Extracción De Pectina De Cáscaras De Cholupa (Passiflora Maliformis) Y Evaluación Del Uso Como Coagulante Para La Remoción De Cromo (Cr) En Aguas De Curtiembre* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA).

<https://repositoriousco.co/bitstream/123456789/3115/1/TH%20IA%200294.pdf>

[54] M. Magesh Kumar, R. Karthikeyan, K. Anbalagan, M. Nishant Bhanushali. (2016)

[Coagulation process for tannery industry effluent treatment using *Moringa oleifera* seeds protein: Kinetic study, pH effect on floc characteristics and design of a thickener unit.](#) *Separation Science and Technology* 51:12, pages 2028-2037.

[55] Escobar Arango, J. D. (2021). Diseño de filtro como alternativa de tratamiento de agua potable en respuesta a la problemática del sector Carpinelo II.

NORMATIVIDAD AMBIENTAL Y SANITARIA.

(http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm)

[56] Aburto Jara, J. F. (2008). Comparación de la eficiencia de los coagulantes A y B en el tratamiento de agua potable.. D - Universidad de Chile. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaeaan/108297?page=1>

[57] Costa, J., Maranduba, H., Castro, S., Neto, A., Rodríguez, L. (2022). *Desempeño ambiental de los residuos de cítricos de naranja como materia prima para la producción de pectina y aceite esencial.* <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.008>

Anexo 1 (Ficha técnica dada por el proveedor)

PECTINA CÍTRICA RÁPIDA HM P.R.S REF. HSC102

IDENTIFICACIÓN

Producto: Pectina Cítrica Rápida HM P.R.S Ref. HSC102
Fórmula química: $C_8H_{12}O_5$
CAS: 9000-69-5
EINECS: 232-553-0
Aditivo alimentario: E440

Descripción: La pectina cítrica es un polisacárido de alto metoxilo purificada de fraguado rápido, extraída de cáscara de cítricos y estandarizada con sacarosa.

Niveles de uso (lineamientos):

Mermeladas: 0.4 - 1.0%

Rango de pH: 2.5 - 3.5

Sólidos solubles: > 55%

Se recomienda disolver la pectina en agua antes de agregarla al sistema final.

Aplicaciones: Se usa como agente gelificante, espesante, de relleno y estabilizador. Principalmente en mermeladas, jaleas, confitería, productos lácteos, repostería.

En medicina se ha venido utilizando como absorbente intestinal desde hace muchos años.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Propiedades	Especificaciones
Apariencia	Polvo fluido blanco a café claro

La información contenida aquí es una recopilación de los datos de la ficha técnica de nuestro proveedor/The information content on this document is provided by the data sheet of the supplier

PECTINA CÍTRICA RÁPIDA HM P.R.S REF. HSC102

Propiedades	Especificaciones
Olor	Ligero, dentro de la nota
Sabor	Ligero, libre de sabores desagradables
US-SAG, °	150 ± 5
Ácido Galacturónico, %	≥ 65
Grado de esterificación, %	> 69
Pérdidas en secado, %	≤ 12
Cenizas totales, %	≤ 5.0
Cenizas insolubles en ácido, %	≤ 1.0
Contenido de Nitrógeno, %	≤ 1.0
SO ₂ , mg/kg	≤ 50
Libre de Alcohol metílico, etílico e isopropílico, %	≤ 1.0
Metales pesados, mg/kg	≤ 15
Plomo, mg/kg	≤ 5
Arsénico, mg/kg	≤ 3
Tamaño de partícula, %	1% retenido en 300 µm
pH (1% solución de agua)	3.0 - 3.8
Temperatura de ajuste, °C	80 - 90

PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Propiedades	Especificaciones
Recuento total en placa, CFU/g	< 1000
Hongos y levaduras, CFU/g	< 100
Coliformes	Ausente en 1 g
E. Coli	Ausente en 1 g

La información contenida aquí es una recopilación de los datos de la ficha técnica de nuestro proveedor/The information content on this document is provided by the data sheet of the supplier

PECTINA CÍTRICA RÁPIDA HM P.R.S REF. HSC102

Propiedades	Especificaciones
Staphylococcus aureus	Ausente en 1 g
Salmonella	Ausente en 25 g

Nota: Cumple con los estándares GB 25533, FCC/FDA, ECC/EU y FAO WHO (JECFA).

INFORMACIÓN NUTRICIONAL

Parámetro	Cantidad
Energía (por 100 g)	Típicamente 550 – 650 KJ
Proteína	Típicamente < 0.5%
Carbohidratos	15 – 25%
Azúcares	15 – 25%
Grasa	< 0.5%
Fibra	Típicamente 75 – 85%

ESTABILIDAD Y ALMACENAMIENTO

Se recomienda guardar en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco, alejado de la luz, el calor y la humedad. Se consideran 24 meses o más de vida útil cuando se almacena en las condiciones antes mencionadas, sin embargo, se deberá controlar la calidad antes de usar.

Fecha de revisión: 2018-12-28

La información contenida aquí es una recopilación de los datos de la ficha técnica de nuestro proveedor/The information content on this document is provided by the data sheet of the supplier