

Evaluación del uso de aguas mieles como sustrato alternativo en la producción de fertilizantes orgánicos para cultivos transitorios

Evaluation of the use of honey water as an alternative substrate in the production of organic fertilizers for transitory crops.

Silvia Cristina Carrera Quintana¹, Karen Marcela Vargas Bernal², Karen Julieth Lozano Rojas³

P.h.D Agroindustria y desarrollo agrícola sostenible, Universidad Surcolombiana. Msc Acuicultura y tecnología acuática tropical, Universidad del Magdalena. Bióloga, Universidad del Magdalena. Dinamizadora SENNOVA e Investigadora experta, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila Sena- Garzón. ¹

Ms (c) Ingeniería ambiental, Universidad Europea del Atlántico. Ms (c) Ingeniería y tecnologías ambientales, Universidad Internacional Iberoamericana. Ing. Química, Universidad de Bofotá Jorge Tadeo Lozano. Investigadora experta, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila Sena - Garzón. ²

Ing. Ambiental, Fundación Escuela Tecnológica de Neiva Jesús Oviedo Pérez. Investigadora Junior, Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila Sena - Garzón. ³

sccarreraq@sena.edu.co, kmvargas@sena.edu.co, kjlozano@sena.edu.co

RESUMEN

El beneficio del café como práctica ancestral genera desaforados volúmenes de aguas mieles capaces de contaminar cuerpos hídricos superficiales que propagan la acidificación de suelos, la muerte de ecosistemas, la proliferación de enfermedades que impactan directamente al eje ambiental, social y económico. El presente estudio pretende evaluar la eficiencia de remoción de coagulantes naturales (hidrocoloides, quitosano y pectina) para el tratamiento de aguas mieles de tal forma que permitan la elaboración de fertilizantes orgánicos para ser implementados como alternativa en cultivos transitorios. Para ello se recolectaron muestras de material vegetal para la transformación fisicoquímica dentro del laboratorio del C.A.D.P.H como biomaterial catiónico y aniónico. Se realizó el tratamiento por el método de test de jarras en proporciones de 220, 260, 280 y 300 mgL⁻¹ en donde se obtuvo un 78,9% de remoción de turbiedad y 98,13% de remoción de SST con un pH de 5 para el quitosano como coagulante y floculante. Así mismo se dispuso los sedimentos principalmente obtenidos para la elaboración del fertilizante orgánico como sustrato al proceso de fermentación y propagación de microorganismos siendo una propuesta ecosostenible como se detalla en la metodología. Cabe mencionar que la variación de los resultados obtenidos sobre la evaluación de cultivos de lechuga y espinaca presentaron una similitud en el alto de la hoja para los dos tipos de fertilizantes evaluados. Todos los resultados obtenidos se realizaron por triplicado y fueron analizados con el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion.

Palabras claves: beneficio del café, aguas mieles, coagulantes naturales, fertilizante orgánico, ecosostenible.

ABSTRACT

The processing of coffee as an ancestral practice generates enormous volumes of honey water capable of contaminating surface water bodies that spread the acidification of soils, the death of ecosystems, the proliferation of diseases that directly impact the environmental, social and economic axis. The present study aims to evaluate the efficiency of removal of natural coagulants (hydrocolloids, chitosan and pectin) for the treatment of honey water in such a way that it allows the preparation of organic fertilizers to be implemented as an alternative in transitional crops. For this, samples of plant material were collected for physicochemical transformation within the C.A.D.P.H laboratory as cationic and anionic biomaterial. The treatment was carried out by the jar test method in proportions of 220, 260, 280 and 300 mgL⁻¹ where 78.9% turbidity removal and 98.13% TSS removal were obtained with a pH of 5 for chitosan as a coagulant and flocculant. Likewise, the sediments mainly obtained for the production of organic fertilizer were used as a substrate for the fermentation process and propagation of microorganisms, being an eco-sustainable proposal as detailed in the methodology. It is worth mentioning that the variation in the results obtained on the evaluation of lettuce and spinach crops presented a similarity in the height of the leaf for the two types of fertilizers evaluated. All results obtained were performed in triplicate and were analyzed with the STATGRAPHICS Centurion statistical package.

Keywords: coffee benefits, honey waters, natural coagulants, organic fertilizer, eco-sustainable.

INTRODUCCIÓN

Las estadísticas de agricultura reflejan la producción de café en el mundo para el año 2022, se destacan tres países de Latinoamérica como potenciales productores entre ellos se encuentra Brasil con 62.600 sacos, Colombia con 12.600 sacos y Perú con 4.200 sacos producidos en esta vigencia. Aunque son cifras favorables para la economía de dichos países, dicha producción presenta un impacto directo para el eje ambiental, se estima que por cada kilogramo de café en pergamino seco se produce entre 40 y 60 litros de aguas mieles y de ellos solo el 5% de la fincas productoras cuentan con un sistema de tratamiento previo al vertimiento a los cuerpos hídricos (Rojas, Barrios, Rivas & Quintana, 2020) cifras que pueden llegar a los 33.000 mgL⁻¹ a 110.000 mgL⁻¹ (Cancho, Morales, Santos & Dilas-Jiménez, 2022).

En la actualidad la industria del café percute directamente a la problemática ambiental debido a los altos volúmenes de aguas mieles de café que se producen en el despulpe del producto especialmente en las zonas de alta montaña de los departamentos productores en Colombia. Atribuible principalmente en la afectación de material contaminante de las aguas superficiales, acuíferas y suelos a partir de su alta deposición de materia orgánica sólida y particulada junto con la acidificación de los suelos.

Este tipo de aguas además altera la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ en efluentes hídricas por encima de 2.500 mgL⁻¹ (Rojas, Barrios, Rivas & Quintana, 2020) cifras que pueden llegar a los 33.000 mgL⁻¹ a 110.000 mgL⁻¹ (Cancho, Morales, Santos & Dilas-Jiménez, 2022). Atribuible y no menos importante el pH oscila entre 4 y 4.5 (Zambrano, Rodríguez & Zambrano, 2006) con una turbiedad mayor a los 1200 NTU, como aporte de sólidos suspendidos totales ocasionando obstrucción de la fuente lumínica solar afectando directamente los ecosistemas acuáticos y alterando la cadena trófica de los diferentes cuerpos de agua que reciben estos afluentes. Algo similar ocurre con la aplicación de insumos agroquímicos a cultivos productivos, los cuales sin lugar a duda han contribuido con el crecimiento en la producción de alimentos en el mundo, pero la aplicación excesiva genera eutrofización, toxicidad de las aguas superficiales y subterráneas, degradación de suelos, y un desequilibrio biológico y ambiental en la reproducción de la biodiversidad (Gonzales, 2019).

La magnitud del problema directamente está muy relacionada con el prebeneficio de café y el tipo de fermentación que aplique el caficultor. Es decir, su color puede ser muy oscuro y puede ser un obstáculo para la radiación solar y la fotosíntesis (Cancho, Morales, Santos & Dilas-Jiménez, 2022). Esto conlleva además las afectaciones necróticas de los ecosistemas internos (fitoplancton y zooplancton) y externos (fauna y flora) amplificando a su vez, el área superficial de suelos acidificados no aptos para uso en cultivos.

La coagulación es una técnica de tratamiento de aguas para la clarificación que consiste en la aplicación de un coagulante por el método de jarras (Jar test) capaz de agrupar las partículas coloidales en suspensión, causantes de la turbidez, sólidos totales disueltos, color y olor, debido a la interacción entre cargas eléctricas opuestas creando agrupaciones de mayor tamaño (floculación) que tenga la capacidad de sedimentación (Quintero & Rodríguez, 2019; Enrique et al., 2013). Los coagulantes primarios son compuestos inorgánicos convencionales tales como: sulfato de aluminio, aluminato de sodio y cloruro férrico (Enrique et al., 2013). La mayoría de estos compuestos son sales ácidas capaces de afectar el pH del agua (Quintero & Rodríguez, 2019). En ocasiones los insumos químicos son costosos y a su vez la aplicación de estos genera afecciones a la salud y medio ambiente. Razón por la cual el gremio innovador e investigativo busca sustituir este tipo de coagulantes primarios con opciones más ecológica en su mayoría de origen vegetal y solubles en agua.

La implementación de tecnologías verde que involucren biomateriales derivado de *Opuntia ficus*, como el mucilago, compuesto principalmente de carbohidratos o hidrocoloides conocido coloquialmente como mucilago, este a su vez está estructurado químicamente de forma ramificada conteniendo proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico, capaz de formar complejos viscosos y actuar como floculante natural (Aguas & Salcedo, 2015; Choque et al., 2018) y el quitosano obtenido en las industrias productoras de langostas a partir del caparazón que contiene principalmente los crustáceos, con materiales que pueden tener un potencial como coagulante en la remoción de turbidez de suspensiones coloidales por sus altos contenidos de ácidos húmicos (Fuentes et al., 2008).

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en Colombia es el ente que establece los parámetros y valores límites máximos permisibles que deberá cumplir quienes realizan vertederos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público en donde es designado por actividades industriales. Por su puesto el beneficio de café es una de ellas. con el apoyo de la Federación Nacional de Cafeteros se estableció los parámetros máximos permisibles para dicha actividad (Ministerio de Ambiente, 2015) véase Tabla 1.

Tabla 1.

Valores máximos permisibles en vertederos puntuales a cuerpos de aguas superficiales para el beneficio del café.

Parámetro	Unidades	Beneficio de café (clasificación de la federación nacional de cafeteros-FNC/Cenicafé)	
		Proceso natural o ecológico	Proceso tradicional (Suave lavado)
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	3000	650
Sólidos suspendidos (SST)	mg/L	800	400
Fósforo Total (P)	mg/L	No determinado	No determinado
Nitrógeno Total (N)	mg/L	No determinado	No determinado

Fuente: *Resolución 0631 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible], por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo del 2015.

Para mitigar el problema de contaminación de estos subproductos en la obtención del grano de café, se mencionan diversas tecnologías como biorremediación por fermentados para disminuir la carga tóxica del agua. La tecnología becolsub logra retener el 50% de las aguas mieles producidas al postbeneficio de café, sin embargo, una de las desventajas más notoria en su uso es el manejo de caudal al ingreso del proceso ya que no satisface ni el 70% del caudal generado y esto denota a su vez, el incremento de los parámetros fisicoquímicos en puntos de vertido (Sanz *et al.*, 2011). Otros estudios revelan que las aguas residuales de café pueden ser utilizadas como bioinsumos en la producción de hortalizas especialmente en el rábano y pepino (Bolaños *et al.*, 2013; Veliz *et al.*, 2016; Chemura, 2014).

La implementación de fertilizantes orgánicos permita la liberación gradual de nutrientes a lo largo del tiempo contribuye a un suministro sostenible y reduciendo el riesgo de contaminación del agua, a la par que enriquecen la materia orgánica y mantienen niveles equilibrados de salinidad. Además, favorecen la biodiversidad del suelo, reciclan desperdicios orgánicos, y minimizan el riesgo de resistencia de plagas y enfermedades.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de coagulantes naturales (hidrocoloides, quitosano y pectina) para el tratamiento de aguas mieles de tal forma que permitan la elaboración de fertilizantes orgánicos y su posible uso en cultivos transitorios (lechuga y espinaca).

MATERIALES Y METODOS

Preparación de la solución de los coagulantes

Quitosano

Los residuos de crustáceos fueron recolectados de restaurantes de la región. Se utilizaron 60 kg de conchas de camarón las cuales se dividieron en 3 partes iguales, efectuando por triplicado cada experimento. Para la extracción del quitosano las conchas se sometieron a un lavado preliminar con abundante agua por triplicado hasta eliminar la totalidad de material orgánico, posteriormente se secaron a 35°C por 24 horas en un horno mermmert modelo 750 y se molieron a un tamaño de partícula < 250µm en un molino mahlkonig EK43. Posteriormente se llevó a un tratamiento químico para la obtención de quitosano en tres etapas: 1) desmineralización, en donde los residuos fueron sometidas a una solución de ácido clorhídrico 0,6 N en una relación de 11:1 líquido-sólido durante 3 h a 30 °C, 2) desproteización, las muestras provenientes de la desmineralización se trataron con una solución de hidróxido al 1% durante 24 horas a 28 °C en agitación constante. El residuo obtenido se sometió a un lavado por triplicado y secado a 34°C para ser desacetilado. 3) desacetilación, el residuo obtenido es sometido a un último tratamiento mezclando con una relación de 1:4 con NaOH al 50% p/v a una temperatura de 100°C por 2 h, allí fue lavado con abundante agua destilada y se procedió a secar a 33°C por 24 h (Rodríguez & Gallego, 2019; Ricaurte & Morales, 2015).

Nopal

El opuntia ficus se recolectaron de los alrededores de Villavieja en función de la edad entre 2 a 3 años donde no mostraran enfermedades u hongos. Se realizó el pretratamiento de limpieza (extracción de espinas y pelado), se utilizaron 3 kg, se dividieron en 3 partes iguales, efectuando por triplicado cada experimento. Para la extracción de hidrocoloides se procedió a cortar las pencas previamente peladas en

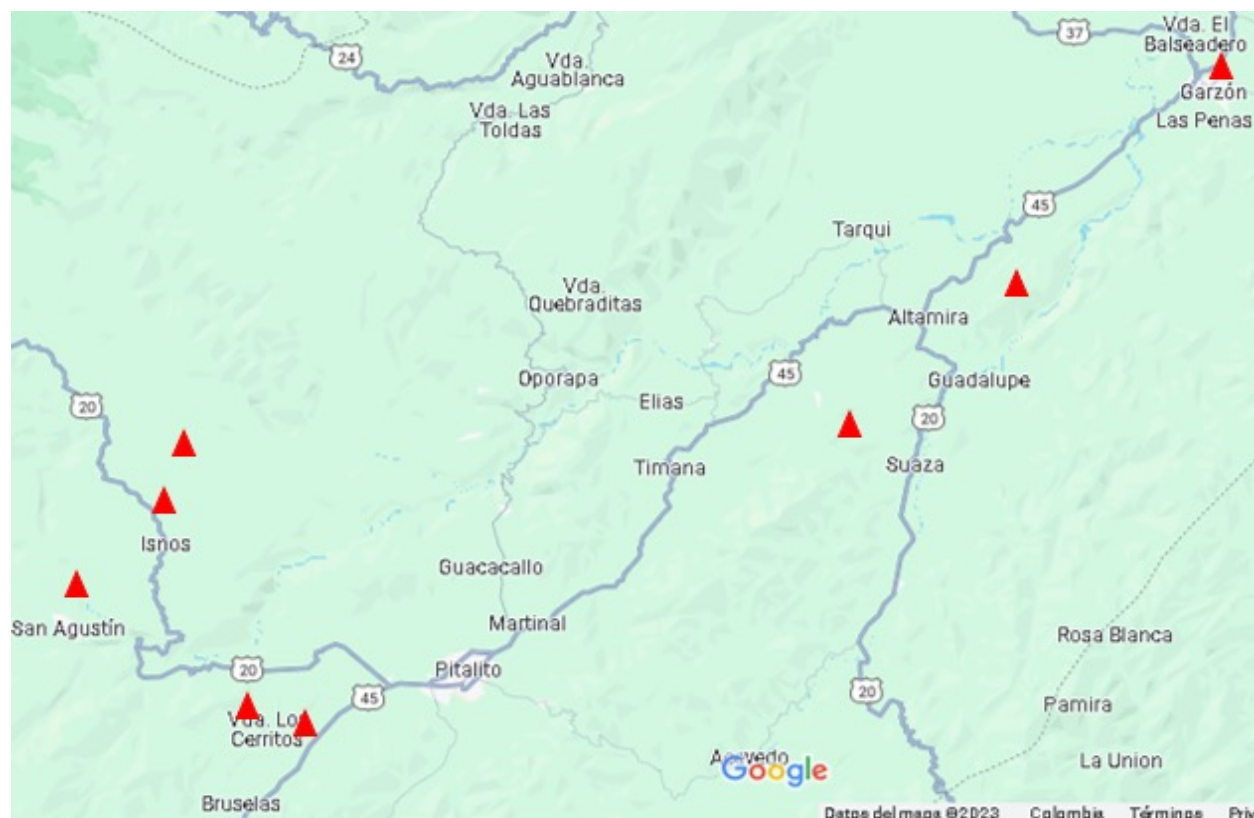
pequeños cubos de 1cm³ aproximadamente en donde fueron sometidas a una solución de agua destilada en una relación de 1:2, se empleó una plancha para calentar a temperatura de ebullición durante 15 minutos, luego se dejó reposar por 20 minutos, se filtró con un tamiz < 500 µm todo el mucilago del nopal separando de las fibras de la penca por completo. El residuo obtenido se sometió a una solución de etanol al 96% en una relación 1:4 mucilago- Etanol durante 24 h a 5°C, se filtró el sólido y se secó a 25°C por 24 h en un horno mermmert modelo 750, se pulverizó en un matraz y se empacó en bolsa ziploc.

Obtención de aguas mieles

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Garzón, región céntrica y sur del Huila en Colombia véase (figura.1), especialmente en fincas productoras de café.

Figura 1.

Geoubicación de fincas aliadas cafeteras, Huila Colombia.



Pruebas de jarras

El test de jarras es un método que permitió identificar la selección del rango de operación sobre la dosis de coagulante natural a evaluar por tratamiento fisicoquímico en agua residual y determinar las condiciones óptimas en la eliminación del material en suspensión y material orgánico total de la muestra (Rodríguez-Jimenez & Gallego-Suarez, 2019). Para este experimento, se preparó el coagulante natural de quitosano y nopal sólido. Se prepararon dosis de nopal, quitosano y quitosano más pectina de: 220, 260, 280, 300 mgL⁻¹. El procedimiento de evaluación de coagulación-floculación se llevó a cabo por el método test de jarras con ello, se utilizó un agitador múltiple de velocidad variable con cuatro paletas, se agregó 0.5 L de aguas mieles a estudio a cada vaso precipitado y se tomó uno como control. Se adicionó la dosis del coagulante a evaluar a cada vaso precipitado conforme a la experimentación previamente establecida. Se inició el proceso de mezclado rápido de 100 rpm durante 1 minuto. Después, las revoluciones fueron reducida a 40 por 20 minutos. El proceso de coagulación y floculación finalizó con la etapa de sedimentación a 0 rpm durante 85 minutos. Una vez terminado el procedimiento fisicoquímico, las muestras de agua se tomaron del sobrenadante de cada vaso precipitado a 15°C y luego se analizaron.

Elaboración de fertilizante orgánico

En la elaboración del prototipo se tomó como base un digestor para material orgánico, generando con ello un proceso anaerobio para la propagación de microorganismos eficientes; se utilizó un recipiente plástico con tapa hermética de 100 L como reactor y para la solución

madre 50L de agua reposada, 0.87 L de microorganismos eficientes (EM-1) comerciales de la marca FUNDASES, 2.5 Kg de melaza y 0,01kg de levadura como fuente de energía- El recipiente se cerró herméticamente para evitar el paso de aire y lograr una propagación en ausencia de oxígeno, además de ello se perforó para la elaboración del contenedor de gas utilizando la manguera plástica y el recipiente PET, que permitió la salida del biogás o descarga de materias orgánicas estabilizadas, posteriormente para mantener las condiciones del sistema el reactor se mantuvo almacenado en un lugar fresco durante 15 días.

Para la elaboración del fertilizante orgánico se utilizó el reactor anaeróbico con los microorganismos ya propagados del primer prototipo agregando una mezcla de 50 Litros de aguas mieles del café, obtenidas de la finca la Bolsa ubicada en la vereda el Caguán del municipio de Garzón Huila. El reactor fue sellado nuevamente verificando que el agua del contenedor de gas no presentara fugas o entradas de aire. El reactor con las mezclas se almacenó en un lugar fresco agitándolo por 1 minuto diariamente durante 22 días, después del tiempo estipulado se destapó para verificar las condiciones del fertilizante realizando análisis de variables como pH, nitritos, fosforo y potasio en el laboratorio del centro de formación CADPH, mediante espectrofotometría UV-VIS con el equipo Thermo Scientific.

Evaluación en cultivos transitorios

Para evaluar el efecto del fertilizante orgánico elaborado y compararlo con un fertilizante químico se procedió a preparar la tierra para sembrar semillas de lechuga y espinaca en la granja experimental del Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila, teniendo en cuenta la siguiente dosis de fertilización:

Tabla 2.

Método de dosificación

Proceso	Fertilizante orgánico	Fertilizante químico
En el proceso de cosecha duro 3 meses, a los 20 días se inicia con el proceso de fertilización en los cultivos transitorios de espinaca y lechuga.	Los primeros 10 días se inicia con una dosificación de 1.5ml por triplicado en las plantas de lechuga y espinaca.	Los primeros 10 días se inicia con una dosificación de 3 por triplicado en las plantas de lechuga y espinaca.
	En la segunda dosificación se aumentó a 1.5ml durante 7 días en las plantas de lechuga y espinaca por triplicado	En la segunda dosificación tuvo un aumento de 6 gramos por las plantas de lechuga y espinaca por triplicado.
	Tercera dosificación tuvo el aumento de 2.5 ml por las plantas de lechuga y espinaca por triplicado.	En la tercera dosificación tuvo un aumento de 8 gramos por las plantas de lechuga y espinaca por triplicado.
Total	Se utilizó 47 ml de fertilizante orgánico para realizar la evaluación del comportamiento del fertilizante orgánico en los cultivos transitorios.	Se utilizó 0.906 k/g de fertilizante químico 10-30-10 Producción, para realizar la comparación por triplicado en cultivos transitorios de lechuga y espinaca.

Análisis estadístico de datos

Todas las variables de estudio se analizaron con el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de fertilizante

A continuación, se presenta la valoración química del fertilizante obtenido

Tabla 3.

Composición fisicoquímica de fertilizante orgánico

Componente	Unidades (mg/L)
Nitritos	8
Fosforo	28.5
Potasio	17

La matriz obtenida sobre los parámetros de calidad de agua mieles iniciales obtenidas del beneficiadero de café, usadas para los ensayos de test de jarras se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4.

Valores iniciales de aguas mieles del beneficiadero de café usada para el test de jarras

Parametro fisicoquímico	Coagulante Natural	Unidad de medida	Concentracion inicial	Concentracion final	Resolucion 0631 de 2015	Parametros fisicoquimicos maximos permisivos
SST	Quitosano	mg/L	20650	386	400-800	
	Quitosano + Pectina		11970	5422		
	Nopal		12167	3491		
Turbidez	Quitosano	NTU	1203	232	>300	
	Quitosano + Pectina		1100	430		
	Nopal		1152	470		
pH	Quitosano	Unidades	3,8	4,7	≥5 < 9	
	Quitosano + Pectina		3,6	4,5		
	Nopal		3,7	4,1		
Conductividad	Quitosano	μS/cm	800	300	<1000 μS/cm	
	Quitosano + Pectina		1700	1600		
	Nopal		1400	1200		

SST: sólidos totales suspendidos.

Mediante la técnica de test de jarras se pudo evidenciar el comportamiento de las aguas mieles por el método de coagulación-floculación con tres diferentes coagulantes naturales permitiendo que la carga electrónica de los coloides que constituyen dicha agua pueda neutralizarse y ser precipitada por una agitación constante de 40 minutos (Figura 2). La eficiencia de remoción en general nos indicó que para el coagulante de quitosano mostró una remoción de SST del 98,13%, nopal un 71,3% y quitosano + pectina un 54,67%, así mismo se identificó la eficiencia sobre la remoción de la turbidez del 78,9% para el quitosano, del 60,88% el quitosano + pectina y el nopal con 54,3%.

Figura 2.

Resultado comparativo de medidas sobre las variables fisicoquímicas en porcentaje de remoción de SST y Turbidez.

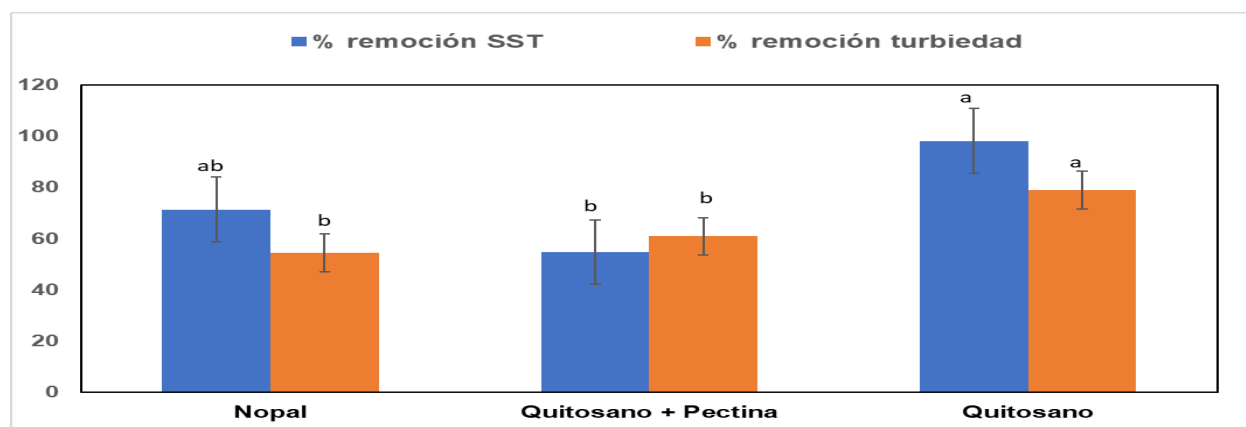
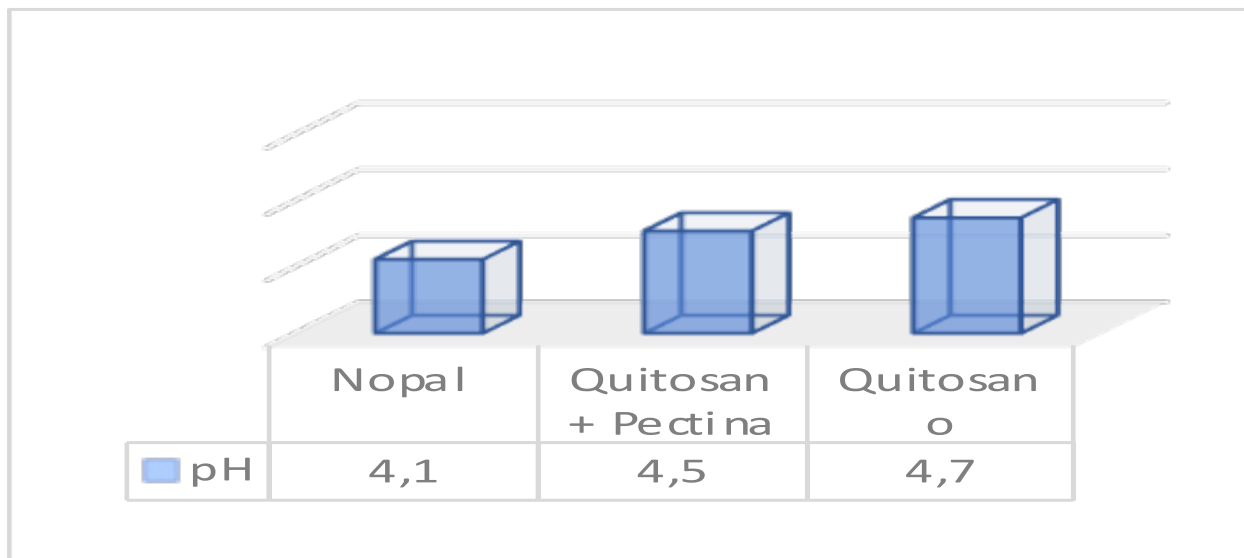


Figura 3.

Resultado del efecto del pH según coagulante utilizado sobre aguas mieles después del tratamiento fisicoquímico.

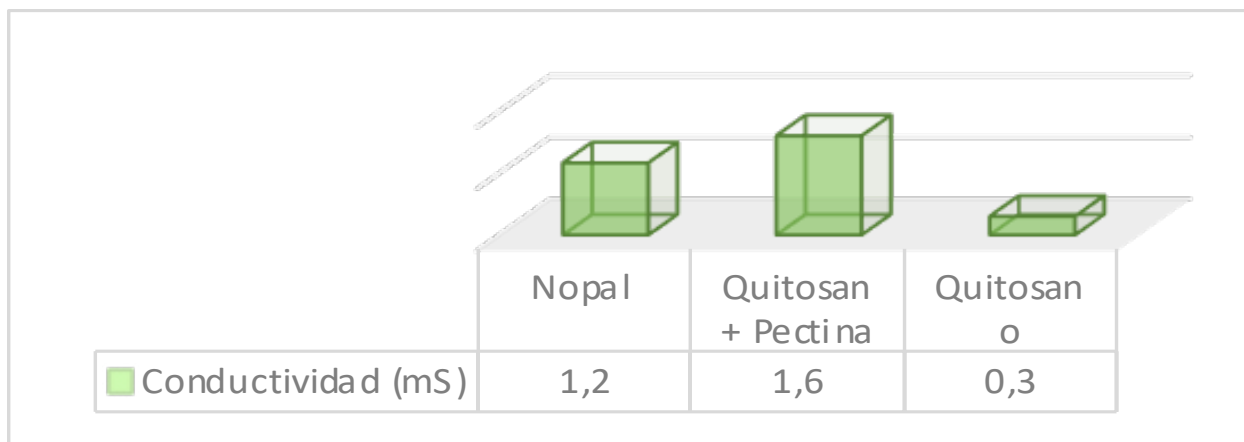


Una de las principales causas del efecto en general es la capacidad de neutralizar las cargas repelentes de las aguas residuales que permitan la coagulación y la floculación, así pues, se estima que los coagulantes de quitosano extraído de subproducto de crustáceos muestran un muy buen comportamiento en comparación del nopal y el quitosano más pectina, probablemente por las múltiples cargas catiónicas y aniónicas desarrolladas sobre la estructura química del coagulante. Además, cabe resaltar los comportamientos de los demás coagulantes ya que presentan un comportamiento de remoción por encima del 50%, probablemente se pueda relacionar con la capacidad de carga electrónica disponible en los coagulantes siendo muy poca para tan grandes fuerzas de repulsión que se muestran en este tipo de aguas residuales agrícolas. Según la literatura reportada esta cuenta con un porcentaje excesivo de materia orgánica, entre ellos azúcares reductores, fibras entre otros. Un factor a evaluar y esto también influye es el pH ácido del medio (Figura 3), usualmente dificulta la atracción de enlaces y genera otras alteraciones sobre la evaluación.

Así mismo, cabe mencionar, además que los coagulantes de nopal y quitosano más pectina presentaron fallas exactamente sobre la floculación mas no en la coagulación, su interacción es muy poca lo que implica una dificultad de fuerza electrostática sobre las aguas mieles en la capacidad de decantar y ser sumergidos posteriormente por gravedad más rápidamente.

Figura 4.

Resultado del efecto sobre la conductividad (mS/cm) según coagulante utilizado después del tratamiento fisicoquímico.

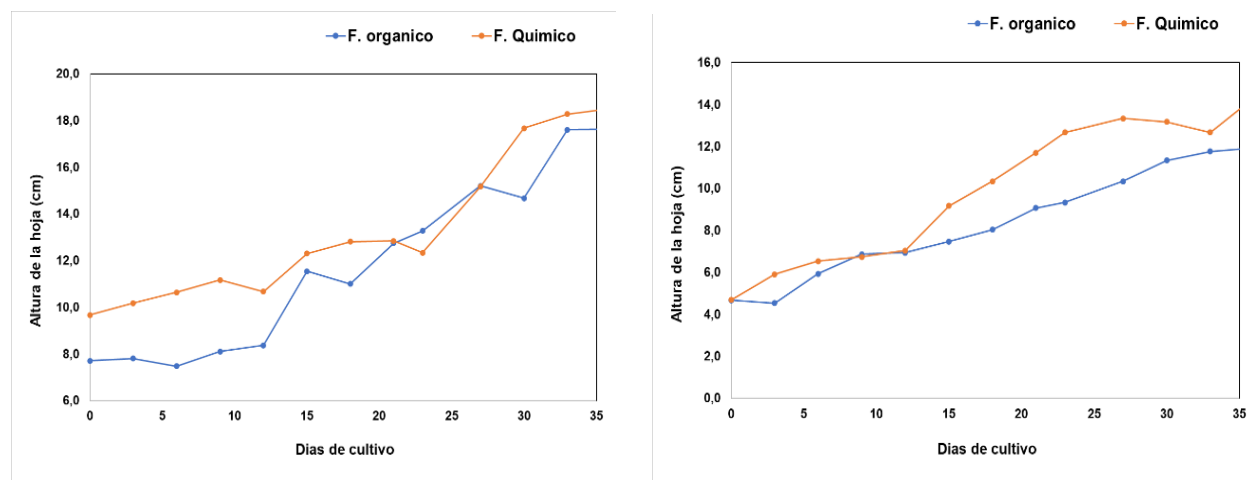


El parámetro fisicoquímico de conductividad en comparación con los valores iniciales (Tabla 1) del pretratamiento reflejan una reducción de 1.5 mS/cm (Figura 4) y un incremento de 0.9 unidades de pH para el coagulante quitosano. Desafortunadamente con el pH no se generó gran eficiencia en la remoción en ninguno de los coagulantes, por tanto, se aconseja implementar un acondicionador de pH con el coagulante quitosano sobre el tratamiento antes de llevar las aguas tratadas al vertimiento hídrico.

La producción de 50 litros de este fertilizante orgánico tiene un costo de \$18.537 mil pesos, lo que lo posiciona como una alternativa económica y favorable para cultivos transitorios la lechuga y espinaca, puesto que un fertilizante químico como agromix por 50 kg cuesta aproximadamente \$98.900 Esta opción es una alternativa eficiente para reducir los costos asociados a los fertilizantes químicos.

Figura 5.

Evaluación del fertilizante orgánico sobre cultivos de lechuga.



Evaluación sobre altura de la hoja espinaca.

Evaluación sobre la altura de la hoja de lechuga.

El fertilizante 2K presento un rendimiento similar en cultivos transitorios de lechuga y espinaca en comparación con el fertilizante químico, donde el paquete estadístico nos indicó unos resultados satisfactorios según la escala comparativa de crecimiento y desarrollo de los fertilizantes, el cual demostró que el fertilizante orgánico y fertilizante químico son similares, es decir que no tiene una diferencia estadísticamente y presenta un nivel de confianza del 95% (Figura 5)

CONCLUSIONES

El coagulante de mejor comportamiento respecto a las agua mieles obtenidas de beneficiadero de café fue el quitosano extraído de subproductos de los crustáceos teniendo un 78.9% de remoción de turbidez y 98.13% de remoción en SST. Según cifras funciona como neutralizador electrostático de las fuerzas catiónicas y aniónicos repelentes sobre la composición fisicoquímica de estas aguas residuales, es decir, interactúa como coagulador y precipitador en el tratamiento de aguas agrícolas como una opción rentable.

De acuerdo al Decreto 3930 de 2010 del ministerio de ambiente, la conductividad como parámetro fisicoquímico debe ser inferior a 1000 μ S/cm, dato que para nuestra investigación es de suma importancia puesto que el único coagulante que cumple dicha restricción es el quitosano extraído de subproductos de crustáceos, así pues, se establece en esta investigación que el coagulante natural de quitosano remueve 1.5 unidades en (mS/cm) y genera un incremento de 0.9 unidades de pH.

El fertilizante orgánico 2K se destaca por su amigabilidad con el medio ambiente, gracias a la presencia de microorganismos eficientes (EM-1) que contribuyen a la recuperación de suelos agrícolas. Su elevado contenido de fósforo y potasio favorece el desarrollo robusto de las raíces, promoviendo un crecimiento fuerte de las plantas. Esta práctica no solo busca el bienestar de las plantas, sino también la conservación del suelo y la restauración de microorganismos que pueden haberse visto afectados por el uso excesivo de fertilizantes químicos.

La aplicación del fertilizante orgánico 2K se alinea con la preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad, proporcionando beneficios tanto para los cultivos como para la salud a largo plazo del suelo. En la comparación que se realizó entre el fertilizante químico y el fertilizante orgánico, se destaca que el tratamiento más económico es el fertilizante orgánico elaborado con las aguas mieles del café, los residuos generados en el test de jarra y EM-1.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolaños, E. A., Muelas, M., Mejía, L., & Trochez, T. (2013). Efectividad de la aplicación de bioinsumo de aguas residuales de café en productividad de hortalizas. *Temas Agrarios*, 18(1), 41-48. <https://doi.org/10.21897/rta.v18i1.708>.

Cancho, J. C. J., Morales, J. G. J., Santos, E. V., Collao, J. E. G., & Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Limpieza del agua miel proveniente del beneficiado húmedo del café mediante polímeros naturales orgánicos. *Alpha Centauri*, 3(3), 02-10.

Contreras-Lozano, K., Aguas-Mendoza, J., Salcedo-Mendoza, J., Olivero-Verbel, R., Mendoza-Ortega, G. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Produccion + Limpia*, 10 (1), 1909-0455.

Correa, R. (2023). Fertilizantes: jaque a la economía. . Obtenido de Fertilizantes: jaque a la economía. : <https://www.larepublica.co/analisis/rodolfo-correa-3159692/fertilizantes-jaque-a-la-economia-3260590>

Enrique, R., Verbel, O., Darío, I., Martínez, M., Montes Gazabón, L. E., Iván, C., & Mercado Martínez, D. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* * Removing turbidity from Magdalena river by the use of *Opuntia ficus-indica* cactus mucilage Remoção da turbidez da água do rio Magdalena usando o mucílago. 8(1), 19–27.

Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I., & Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, 8, 281–287. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/16755>

González, P (2019) Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca nacional de Chile BCN.

Quintero, L., & Rodríguez, N. (2019). Extractos vegetales para el tratamiento de las aguas residuales del café. *Ciencia, Tecnología e Innovación Para La Caficultura Colombiana, tratamiento de aguas residuales por el método de Coagulación y floculación*, 1–8.

Rojas, E. M., Cruz, S. M. O., Barrios, J. R., Pino, M. E. M., Rivas, D. A. V., & Quintana, S. G. C. (2020). Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 84-96.

Rodríguez Jiménez, D. M., & Gallego Suarez, D. D. J. (2019). Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 6-17.

Rodríguez Díaz, Y. J., De la Cruz Frías, G. A., López Mena, W. E., Ricaurte Valdés, L., & Morales Gutiérrez, M. L. (2015). Use of a natural polymer (chitosan) as a coagulant during water treatment for consumption.

Resolución 0631 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo del 2015.

Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., López, U., & Velásquez, J. (2011). Controle los flujos de café y agua en el módulo becolsub. *Cenicafé. Avances Técnicos*, 405(1), 1–8. Torrente, A., Montealegre, E. M., Medina, A., & Bolívar R, H. (2015). Oportunidades para el departamento del Huila en el mercado de fertilizantes. *Revista RETO* |, 3(3), 93–104.

Zambrano, D. A., Rodríguez, N., López, U., & Zambrano, A. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café.