Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica
ISSN en línea 3005-2599, Julio - Septiembre 2026,
Volumen 6, Número 3.

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a.v6i3

EVALUACIÓN DEL QUITOSANO COMO AGENTE CLARIFICANTE DEL NÉCTAR DE GUAYABA (PSIDIUM GUAJAVA) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PH

EVALUATION OF CHITOSAN AS A CLARIFYING AGENT FOR GUAVA NECTAR (PSIDIUM GUAJAVA) UNDER DIFFERENT PH CONDITIONS

Angélica Estefanía Chérrez Neacato
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

Mara Joselyn Quiñonez Corozo
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

Steven Ricardo Cusme Canchingre
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

E. COUTURE
Educación y Ciencias Sociales

Estudios y Perspectivas
Revista Científica y Académica

Estudios y Perspectivas
Revista Científica Multidisciplinaria

DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a..v6i3.2114

Evaluación del Quitosano como Agente Clarificante del Néctar de Guayaba (Psidium Guajava) Bajo Diferentes Condiciones de pH

Angélica Estefanía Chérrez Neacato
aecherrez@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0000-0003-3645-9350
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

Mara Joselyn Quiñonez Corozo
mquinonez4@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-9074-0604
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

Steven Ricardo Cusme Canchingre
scusme1@utmachala.edu.ec
https://orcid.org/0009-0009-2680-7690
Universidad Técnica de Machala , Ecuador

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la concentración de quitosano y del pH sobre la clarificación y las propiedades fisicoquímicas del néctar de guayaba (*Psidium guajava*). Se aplicó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 4 × 3, compuesto por cuatro concentraciones de quitosano (0, 200, 350 y 500 ppm) y tres niveles de pH (3,0; 3,5 y 4,0), con tres repeticiones por combinación, para un total de 36 unidades experimentales. Se determinaron la turbidez, la absorbancia a 455 nm, los sólidos solubles y el pH final. El análisis de varianza mostró efectos significativos del pH, la concentración de quitosano y su interacción sobre la turbidez y la absorbancia (p < 0,001). La interacción indicó que el efecto del quitosano dependió del pH del medio. La combinación de 500 ppm de quitosano y pH 4,0 presentó la menor turbidez (34,05 ± 1,3 NTU) y absorbancia (0,003 ± 0,001). En cambio, los sólidos solubles mostraron variaciones limitadas entre los tratamientos. Se concluye que el quitosano tiene potencial como agente clarificante del néctar de guayaba y que su eficiencia no depende únicamente de la concentración aplicada, sino de su interacción con el pH. Entre las condiciones evaluadas, 500 ppm de quitosano a pH 4,0 produjo la mayor clarificación

***Palabras clave*:** clarificación; néctar de guayaba; Psidium guajava; quitosano; turbidez

Evaluation of Chitosan as a Clarifying Agent for Guava Nectar (Psidium guajava) Under Different pH Conditions

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of chitosan concentration and pH on the clarification and physicochemical properties of guava nectar (*Psidium guajava*). A completely randomized 4 × 3 factorial design was used, comprising four chitosan concentrations (0, 200, 350, and 500 ppm) and three pH levels (3.0, 3.5, and 4.0), with three replicates per combination, for a total of 36 experimental units. Turbidity, absorbance at 455 nm, soluble solids, and final pH were determined. Analysis of variance showed significant effects of pH, chitosan concentration, and their interaction on turbidity and absorbance ($p < .001$). The interaction indicated that the effect of chitosan depended on the pH of the medium. The combination of 500 ppm chitosan and pH 4.0 produced the lowest turbidity (34.05 ± 1.3 NTU) and absorbance (0.003 ± 0.001). In contrast, soluble solids showed limited variation among treatments. Chitosan therefore has potential as a clarifying agent for guava nectar, and its effectiveness depends not only on the applied concentration but also on its interaction with pH. Among the evaluated conditions, 500 ppm chitosan at pH 4.0 produced the greatest clarification

***Keywords*:** chitosan; clarification; guava nectar; Psidium guajava; turbidity

Recibido: 21- junio-2026 / Aprobado: 30-septiembre-2026

INTRODUCCIÓN

Ecuador posee una amplia diversidad de frutas tropicales y subtropicales con potencial para la elaboración de alimentos y bebidas. Entre ellas, la guayaba (Psidium guajava) destaca por su contenido de vitamina C, carotenoides, compuestos fenólicos y otros metabolitos relacionados con su capacidad antioxidante, características que favorecen su aprovechamiento en el desarrollo de productos alimenticios (Belmonte-Herrera et al., 2024). La diversidad frutícola del país también ofrece materias primas con propiedades fisicoquímicas y componentes bioactivos de interés para la elaboración de bebidas y alimentos funcionales (Sánchez-Capa et al., 2023).

Pese a su valor nutricional y aceptación, los néctares de frutas pueden presentar problemas tecnológicos relacionados con la turbidez, la sedimentación de la pulpa, la separación de fases y la pérdida de estabilidad coloidal. Estas alteraciones afectan la apariencia y uniformidad del producto y adquieren especial relevancia en matrices con pectinas y sólidos insolubles, como la guayaba, cuya composición favorece la permanencia de partículas suspendidas en el medio líquido (Shirvani et al., 2023).

La clarificación es una operación orientada a reducir o remover las partículas suspendidas y otros componentes asociados con la turbidez. Este proceso puede mejorar la apariencia de las bebidas y disminuir la formación de sedimentos y la separación de fases durante el procesamiento y almacenamiento (Shirvani et al., 2023). La apariencia también interviene en la percepción de calidad del consumidor, por lo que atributos como el color, la claridad y la homogeneidad pueden influir en la aceptación del producto (Hosseini et al., 2021).

Entre los agentes utilizados para clarificar bebidas se encuentran la gelatina, la bentonita y las enzimas pectolíticas, cuyos mecanismos favorecen la separación de las partículas responsables de la turbidez (Shirvani et al., 2023). La bentonita puede adsorber proteínas debido a su estructura laminar, mientras que la gelatina promueve procesos de coagulación y floculación mediante interacciones con determinados componentes de la matriz. Las enzimas pectolíticas, por su parte, degradan sustancias

pécticas que contribuyen a la viscosidad y estabilidad de las partículas suspendidas (Hossain & Ahmed, 2023).

El empleo de clarificantes convencionales puede ocasionar pérdidas de compuestos bioactivos o modificaciones en atributos como el color, el aroma y el sabor. Algunos agentes de origen animal, como la gelatina y la caseína, también presentan restricciones relacionadas con las preferencias alimentarias de ciertos consumidores (Shirvani et al., 2023). Estas limitaciones han favorecido el estudio de biopolímeros naturales como alternativas para los procesos de clarificación (Bertrand et al., 2024).

El quitosano es un biopolímero obtenido mediante la desacetilación parcial de la quitina y posee grupos amino que adquieren carga positiva en medios ácidos (Jiménez-Gómez & Cecilia, 2020). Esta propiedad le confiere capacidad floculante y afinidad por partículas y compuestos con carga negativa, por lo que puede favorecer la remoción de sólidos suspendidos, pectinas y otros componentes relacionados con la turbidez. Su comportamiento depende de las condiciones del medio, especialmente del pH, que modifica la protonación de los grupos amino, y de la concentración aplicada, que influye en la neutralización y agregación de las partículas. Por estas características, el quitosano ha despertado interés como agente clarificante en la industria de bebidas (Bertrand et al., 2024).

Aunque se ha estudiado la aplicación del quitosano en diferentes jugos de frutas, su comportamiento puede variar según la composición de la matriz y las condiciones del proceso. En el néctar de guayaba, la presencia de pectinas y sólidos suspendidos hace necesario examinar conjuntamente el pH y la concentración del polímero para determinar las combinaciones que favorecen la clarificación. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del pH y de la concentración de quitosano sobre la clarificación y las propiedades fisicoquímicas del néctar de guayaba (Psidium guajava).

METODOLOGÍA

Materia prima y lugar del estudio

La investigación se desarrolló en los laboratorios de la Carrera de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, provincia de El Oro, Ecuador. Como materia prima se utilizó pulpa comercial de guayaba (*Psidium guajava*) adquirida en un supermercado local.

Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 4 × 3. Los factores evaluados fueron la concentración de quitosano, con cuatro niveles (0, 200, 350 y 500 ppm), y el pH del medio, con tres niveles (3,0; 3,5 y 4,0). La combinación de ambos factores generó 12 tratamientos, cada uno con tres repeticiones independientes, para un total de 36 unidades experimentales.

Los tratamientos T1, T2 y T3 correspondieron a 0 ppm de quitosano y valores de pH de 3,0; 3,5 y 4,0, respectivamente. Los tratamientos T4, T5 y T6 incluyeron 200 ppm; T7, T8 y T9, 350 ppm; y T10, T11 y T12, 500 ppm, bajo los mismos tres niveles de pH.

Formulación del néctar de guayaba

El néctar se preparó mediante una relación de dilución 1:2 de pulpa comercial y agua destilada. Se elaboraron 4 L, que se homogeneizaron para distribuir uniformemente los sólidos suspendidos. La mezcla se tamizó para retirar semillas, fibras gruesas y otras partículas, y posteriormente se distribuyó en envases de vidrio, con 80 mL por unidad experimental.

Ajuste del pH y proceso de clarificación

El pH de cada unidad experimental se ajustó a 3,0; 3,5 o 4,0 mediante la adición de una solución de ácido cítrico al 20 %. Posteriormente, se agregó una solución de quitosano al 1 % (p/v) en el volumen requerido para alcanzar concentraciones finales de 0, 200, 350 o 500 ppm.

Las muestras se agitaron a 300 rpm para favorecer la interacción del quitosano con las partículas coloidales. Después de la agitación, permanecieron en reposo para permitir la formación y sedimentación de los flóculos. El sobrenadante se separó y almacenó a 4 °C hasta la realización de los análisis fisicoquímicos.

Análisis fisicoquímicos

Las determinaciones instrumentales se realizaron por triplicado. Para el análisis estadístico se utilizó el promedio obtenido en cada unidad experimental, de manera que las repeticiones instrumentales no se consideraron unidades experimentales independientes.

Turbidez

La turbidez se determinó con un turbidímetro HACH 2100N y se expresó en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

pH

El pH final se midió con un potenciómetro HANNA HI9813-61, de acuerdo con el método oficial AOAC 981.12.

Absorbancia a 455 nm

La absorbancia se midió a 455 nm con un espectrofotómetro UV-visible DR 1900 (HACH). Antes de la lectura, las muestras se diluyeron con agua destilada en una proporción de 1:40 para adecuar la respuesta al intervalo de medición del equipo.

Sólidos solubles

Los sólidos solubles se determinaron mediante un refractómetro ATC con compensación de temperatura y se expresaron en grados Brix (°Brix), de acuerdo con la norma NTE INEN 380.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza factorial para evaluar los efectos del pH, la concentración de quitosano y la interacción entre ambos factores sobre las variables de respuesta. Cuando se identificaron diferencias significativas, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. También se calcularon los tamaños del efecto mediante eta cuadrado parcial (η^2p).

Los análisis de varianza y las comparaciones múltiples se realizaron con Jamovi e InfoStat. La relación entre las variables se examinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, mientras que el

análisis de componentes principales y las representaciones gráficas se desarrollaron en R, versión 4.4.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización inicial y efecto general de los tratamientos

Caracterización del néctar de guayaba

Antes de aplicar los tratamientos, el néctar de guayaba presentó un pH de 4,01 ± 0,05, una acidez titulable de 0,53 ± 0,18 % expresada como ácido cítrico y un contenido de sólidos solubles de 1,90 ± 0,00 °Brix. La turbidez inicial fue de 2404 ± 61,57 NTU y la absorbancia a 455 nm alcanzó 0,24 ± 0,03 (Tabla 1).

El valor de pH confirmó el carácter ácido de la matriz, mientras que la acidez titulable se aproximó a los valores informados para bebidas elaboradas con guayaba por Peasura y Sinchaipanit (2022) y Gutiérrez et al. (2022). Las diferencias entre productos pueden relacionarse con la variedad, el grado de madurez de la fruta, la formulación y las condiciones de procesamiento. La elevada turbidez inicial se asocia con la presencia de partículas coloidales y polisacáridos, entre ellos pectina, almidón y hemicelulosa, que dispersan la luz y contribuyen a la apariencia turbia del néctar (Peasura & Sinchaipanit, 2022).

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica inicial del néctar de guayaba

Parámetro	Valor	Unidad
pH	4,01 ± 0,05	—
Acidez titulable	0,53 ± 0,18	% de ácido cítrico
Sólidos solubles	1,90 ± 0,00	°Brix
Turbidez	2404 ± 61,57	NTU
Absorbancia a 455 nm	0,24 ± 0,03	Abs

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar. NTU = unidades nefelométricas de turbidez; Abs = absorbancia.
Fuente*:* elaboración propia con base en los resultados experimentales*.*

Efecto general del pH y la concentración de quitosano

Los tratamientos modificaron principalmente la turbidez y la absorbancia del néctar. Los sólidos solubles y el pH final presentaron variaciones menores entre las combinaciones evaluadas (Tabla 2). En ausencia de quitosano, la turbidez fue de 1529,6 ± 9,1 NTU a pH 3,0; 1530,1 ± 3,4 NTU a pH 3,5; y 1510,7 ± 26,6 NTU a pH 4,0. Estos valores fueron inferiores a la turbidez inicial del néctar, aunque esta diferencia no debe atribuirse exclusivamente al ajuste del pH, porque las muestras también fueron sometidas a agitación, reposo y separación del sobrenadante.

La incorporación de quitosano redujo la turbidez en distintas proporciones según el pH y la concentración aplicada. El tratamiento T12, correspondiente a 500 ppm de quitosano y pH 4,0, presentó el menor valor de todo el ensayo, con 34,1 ± 1,3 NTU. El tratamiento T8, compuesto por 350 ppm y pH 3,5, alcanzó una turbidez de 80,0 ± 14,9 NTU. Estos resultados muestran que la mayor concentración de quitosano no produjo la misma respuesta en todos los niveles de pH.

Tabla 2. Propiedades *fisicoquímicas del néctar de guayaba después de los tratamientos*

Tratamiento	Turbidez (NTU)	Sólidos solubles (°Brix)	Absorbancia a 455 nm	pH final
T1	1529,6 ± 9,1	1,7 ± 0,0	0,163 ± 0,002	2,9 ± 0,0
T2	1530,1 ± 3,4	1,3 ± 0,0	0,088 ± 0,001	3,4 ± 0,0
T3	1510,7 ± 26,6	1,8 ± 0,0	0,086 ± 0,002	4,1 ± 0,0
T4	136,0 ± 24,3	1,7 ± 0,0	0,044 ± 0,003	2,9 ± 0,0
T5	169,2 ± 5,2	1,3 ± 0,0	0,048 ± 0,009	3,3 ± 0,0
T6	1380,0 ± 14,4	1,8 ± 0,1	0,165 ± 0,016	3,9 ± 0,0
T7	165,3 ± 6,1	1,7 ± 0,0	0,050 ± 0,002	2,9 ± 0,0
T8	80,0 ± 14,9	1,3 ± 0,0	0,040 ± 0,009	3,3 ± 0,0
T9	704,0 ± 10,6	2,0 ± 0,1	0,069 ± 0,004	4,0 ± 0,0
T10	260,0 ± 8,0	1,7 ± 0,0	0,155 ± 0,039	2,9 ± 0,0
T11	201,1 ± 3,6	1,3 ± 0,0	0,059 ± 0,009	3,3 ± 0,0
T12	34,1 ± 1,3	1,8 ± 0,0	0,003 ± 0,001	4,1 ± 0,0

Nota*.* Los valores se expresan como media ± desviación estándar. T1–T3 = 0 ppm de quitosano; T4–T6 = 200 ppm; T7–T9 = 350 ppm; T10–T12 = 500 ppm. Dentro de cada concentración, los tratamientos corresponden, respectivamente, a pH 3,0; 3,5 y 4,0.

Fuente*:* elaboración propia con base en los resultados experimentales*.*

La reducción de la turbidez observada en varios tratamientos coincide con la capacidad clarificante atribuida al quitosano en distintas matrices frutales. Taştan y Baysal (2015) informaron una disminución de la turbidez después de aplicar quitosano en jugo de granada. Heidarizadeh et al. (2023) redujeron esta variable de 702,11 ± 1,76 a 12,29 ± 1,46 NTU en jugo de fresa, mientras que Yıldız y Tokatlı (2024) obtuvieron valores de 1,40 y 1,34 NTU en jugo de cereza ácida. Rungsardthong et al. (2006) también alcanzaron una turbidez de 2,80 NTU en jugo de manzana tratado con quitosano. Aunque las magnitudes no son directamente comparables por las diferencias entre matrices, formulaciones y condiciones experimentales, los antecedentes respaldan la capacidad del polímero para remover partículas relacionadas con la turbidez.

Efecto del pH y la concentración de quitosano sobre la turbidez

El análisis de varianza mostró efectos significativos del pH, la concentración de quitosano y la interacción entre ambos factores sobre la turbidez del néctar ($p < 0,001$) (Tabla 3). Los tamaños del efecto fueron elevados para la concentración de quitosano ($\eta^2p = 1,000$), el pH ($\eta^2p = 0,997$) y la interacción pH × quitosano ($\eta^2p = 0,998$). La interacción significativa indica que el efecto de la concentración de quitosano cambió según el pH del medio; por tanto, los efectos principales no deben interpretarse de manera aislada.

Tabla 3. Análisis de varianza de la turbidez del néctar de guayaba según el pH y la concentración de quitosano

Fuente de variación	gl	*F*	*p*	η²p
pH	2	3673	< 0,001	0,997
Quitosano	3	19329	< 0,001	1,000
pH × quitosano	6	2414	< 0,001	0,998
Error	24	—	—	—

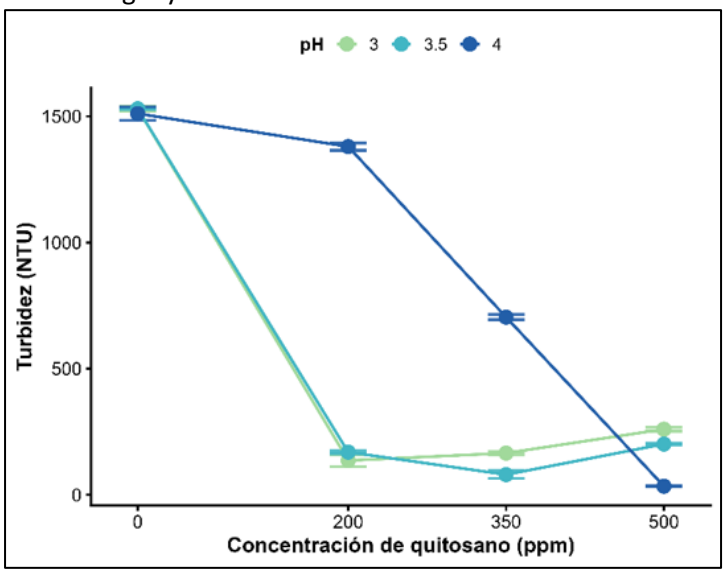
Nota. gl = grados de libertad; *F* = estadístico de Fisher; η²p = eta cuadrado parcial. **Fuente***:* elaboración propia con base en los resultados experimentales.

El comportamiento de los tratamientos confirma la interacción entre ambos factores. A pH 4,0, la turbidez disminuyó progresivamente al aumentar la concentración de quitosano: pasó de 1510,7 ±

26,6 NTU sin quitosano a 1380,0 ± 14,4 NTU con 200 ppm, 704,0 ± 10,6 NTU con 350 ppm y 34,1 ± 1,3 NTU con 500 ppm. La reducción entre el tratamiento sin quitosano y la concentración de 500 ppm fue de aproximadamente 97,7 %.

A pH 3,0, la turbidez descendió desde 1529,6 ± 9,1 NTU en ausencia de quitosano hasta 136,0 ± 24,3 NTU con 200 ppm. Al incrementar la concentración, aumentó a 165,3 ± 6,1 NTU con 350 ppm y a 260,0 ± 8,0 NTU con 500 ppm. A pH 3,5, el menor valor se obtuvo con 350 ppm (80,0 ± 14,9 NTU), mientras que la concentración de 500 ppm produjo un aumento hasta 201,1 ± 3,6 NTU. La respuesta, por consiguiente, no fue lineal y la concentración que produjo la menor turbidez varió con el pH. Entre todas las combinaciones evaluadas, 500 ppm de quitosano a pH 4,0 alcanzó la mayor reducción de la turbidez.

Figura 1. Efecto de la interacción entre la concentración de quitosano y el pH sobre la turbidez del néctar de guayaba



Fuente: elaboración propia con base en los resultados experimentales.

El comportamiento del quitosano frente a los diferentes niveles de pH puede relacionarse con el estado de protonación de sus grupos amino. Este polímero es una base débil con un pKa cercano a 6,3; por ello, en medios ácidos, sus grupos amino se protonan y adquiere carácter de polielectrolito catiónico (Jiménez-Gómez & Cecilia, 2020). Esta propiedad favorece su interacción con partículas de carga opuesta presentes en la matriz, aunque la magnitud de la respuesta depende del estado de ionización de los grupos funcionales y de la composición del producto (Guibal et al., 2006).

En el jugo de guayaba, las partículas asociadas con la pectina presentan carga superficial negativa (Zheng et al., 2024). Los grupos amino protonados del quitosano ($–NH_3^+$) pueden interactuar con los grupos carboxilo de la pectina ($–COO^-$), lo que favorece la neutralización de cargas, la agregación de las partículas y su posterior sedimentación (Assifaoui et al., 2024). Las diferencias de potencial zeta entre ambos biopolímeros respaldan la naturaleza catiónica del quitosano y el carácter aniónico de la pectina (Adhikari et al., 2023).

El incremento de la turbidez observado con las dosis más elevadas a pH 3,0 y 3,5 podría relacionarse con una sobredosificación del polímero. En los procesos de coagulación y floculación, una cantidad excesiva de coagulante puede invertir la carga superficial y reestabilizar las partículas, con la consiguiente pérdida de eficiencia (Arboleda Valencia, 2000). Zemmouri et al. (2011) observaron que dosis elevadas de quitosano pueden debilitar la coagulación por puente y favorecer la reestabilización de los coloides.

Este comportamiento no se presentó a pH 4,0, donde el aumento hasta 500 ppm continuó reduciendo la turbidez. La diferencia confirma que no existe una concentración de quitosano que pueda considerarse óptima con independencia del pH y que ambas variables deben evaluarse conjuntamente al establecer las condiciones del proceso. Debido a que no se midieron la carga superficial ni el potencial zeta de las muestras del presente estudio, la posible reestabilización se plantea como una explicación compatible con los resultados, no como un mecanismo demostrado experimentalmente.

Efecto sobre la absorbancia y los sólidos solubles

Efecto del pH y la concentración de quitosano sobre la absorbancia

La absorbancia a 455 nm varió entre los tratamientos y mostró una respuesta dependiente de la combinación del pH y la concentración de quitosano. El análisis de varianza identificó efectos significativos del pH, la concentración de quitosano y su interacción ($p < 0,001$) (Tabla 4). La interacción pH × quitosano presentó el mayor tamaño del efecto ($\eta^2p = 0,939$), seguida del pH ($\eta^2p = 0,777$) y la concentración del polímero ($\eta^2p = 0,746$). La presencia de una interacción significativa indica que la

respuesta espectrofotométrica debe interpretarse a partir de cada combinación experimental y no únicamente mediante los efectos principales.

Tabla 4. Análisis de varianza de la absorbancia a 455 nm según el pH y la concentración de quitosano

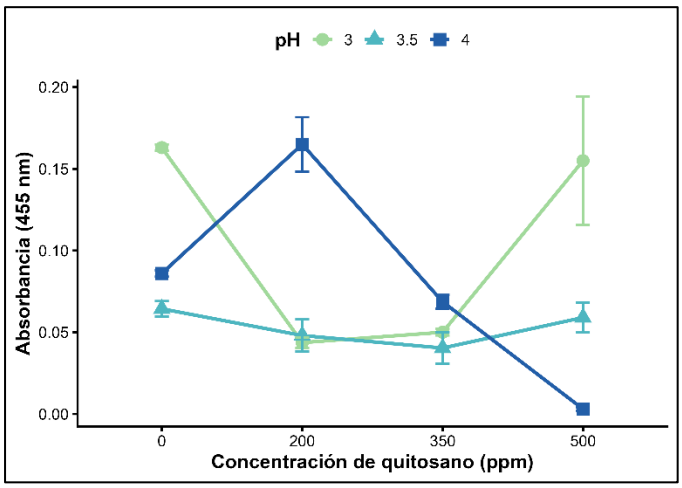
Fuente de variación	gl	*F*	*p*	η^2p
pH	2	41,8	< 0,001	0,777
Quitosano	3	23,5	< 0,001	0,746
pH × quitosano	6	61,2	< 0,001	0,939
Error	24	—	—	—

Nota. gl = grados de libertad; *F* = estadístico de Fisher; η^2p = eta cuadrado parcial.

Fuente*:* elaboración propia con base en los resultados experimentales.

A pH 4,0, el aumento de la concentración de quitosano produjo una reducción de la absorbancia desde 0,086 ± 0,002 en ausencia del polímero hasta 0,003 ± 0,001 con 500 ppm, equivalente a una disminución aproximada del 96,5 %. Esta combinación presentó el menor valor de absorbancia de todo el ensayo. A pH 3,0, la absorbancia disminuyó desde 0,163 ± 0,002 sin quitosano hasta 0,044 ± 0,003 con 200 ppm. Posteriormente aumentó a 0,050 ± 0,002 con 350 ppm y a 0,155 ± 0,039 con 500 ppm. A pH 3,5 se observó una reducción desde 0,088 ± 0,001 hasta 0,040 ± 0,009 con 350 ppm, seguida de un aumento a 0,059 ± 0,009 con 500 ppm. La concentración que produjo la menor absorbancia fue, por tanto, de 200 ppm a pH 3,0; 350 ppm a pH 3,5; y 500 ppm a pH 4,0.

Figura 2. Efecto de la interacción entre la concentración de quitosano y el pH sobre la absorbancia a 455 nm del néctar de guayaba



Fuente: elaboración propia con base en los resultados experimentales.

Los resultados coinciden con la observación de que la eficiencia del quitosano como clarificante depende tanto de la dosis aplicada como de las características del medio (Cosme & Vilela, 2021). Domingues et al. (2012) también identificaron el pH y la concentración del polímero como variables que intervienen conjuntamente en la clarificación de jugos. En el presente estudio, esta dependencia se manifestó en el desplazamiento de la concentración que produjo la menor absorbancia conforme aumentó el pH.

La reducción de la absorbancia puede asociarse con la remoción de partículas y compuestos que contribuyen a la atenuación de la radiación durante la medición. El aumento registrado con 500 ppm a pH 3,0 y 3,5 indica que una dosis mayor no produjo necesariamente una respuesta óptica más favorable. Este comportamiento resulta compatible con la posible reestabilización de partículas descrita en los procesos de coagulación-floculación cuando existe una cantidad excesiva de polímero. Sin embargo, como no se midió directamente la carga superficial de las partículas, esta explicación debe considerarse una interpretación fisicoquímica y no un mecanismo confirmado.

La turbidez y la absorbancia a 455 nm no representan exactamente el mismo fenómeno. La turbidez se relaciona principalmente con la dispersión de la radiación ocasionada por partículas suspendidas, mientras que la lectura espectrofotométrica puede responder tanto a la absorción de determinados compuestos como a efectos de dispersión presentes en una matriz turbia. La correlación lineal entre ambas variables no fue estadísticamente significativa (r = 0,056; p = 0,744), lo que indica que sus variaciones no ocurrieron de manera proporcional en el conjunto de las observaciones. Por ello, ambas mediciones aportan información complementaria y no deben utilizarse como indicadores equivalentes de clarificación.

Sólidos solubles

Los sólidos solubles variaron entre 1,3 y 2,0 °Brix. Los tratamientos correspondientes a cada nivel de pH mostraron valores cercanos entre sí, con independencia de la concentración de quitosano: aproximadamente 1,7 °Brix a pH 3,0; entre 1,3 °Brix a pH 3,5; y entre 1,8 y 2,0 °Brix a pH 4,0. Esta distribución sugiere que las diferencias observadas estuvieron relacionadas principalmente con las

condiciones de pH o con la variabilidad experimental, mientras que el aumento de la dosis de quitosano no mostró una tendencia uniforme.

A diferencia de la turbidez y la absorbancia, los sólidos solubles presentaron cambios descriptivos reducidos entre los tratamientos. Esto indica que la clarificación actuó principalmente sobre las partículas suspendidas y la respuesta óptica del néctar, sin producir modificaciones amplias en el contenido de sólidos solubles. Se han informado comportamientos semejantes en jugos tratados con quitosano, donde la mejora de la claridad no estuvo acompañada por cambios importantes en los grados Brix (Wang et al., 2003; Xing & Yao, 2008). Esta interpretación se limita a la tendencia observada, debido a que no se presentan resultados específicos del análisis de varianza para los sólidos solubles.

Análisis de componentes principales

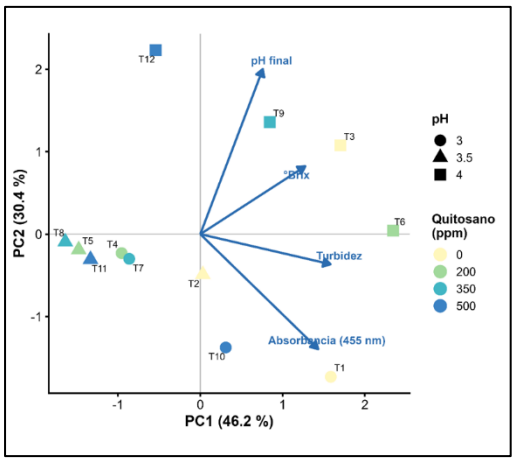
El análisis de componentes principales permitió integrar las variables fisicoquímicas y representar las diferencias entre los tratamientos. Los dos primeros componentes explicaron el 76,6 % de la variabilidad total: el componente principal 1 (PC1) explicó el 46,2 % y el componente principal 2 (PC2), el 30,4 %. Esta proporción permitió conservar una parte considerable de la información original en la representación bidimensional.

La distribución de los tratamientos estuvo relacionada principalmente con las variables ópticas. La turbidez y la absorbancia contribuyeron a la separación de varias combinaciones experimentales, lo que concuerda con el empleo de mediciones de claridad, transmitancia y distribución de partículas para evaluar la clarificación de jugos (Ninga et al., 2022; Widowati et al., 2021). En el jugo de guayaba, la turbidez se relaciona con la presencia de partículas polisacarídicas, particularmente pectinas, cuya remoción forma parte del proceso de clarificación (Cosme & Vilela, 2021; Zahari & Mokhtar, 2025).

Aunque los vectores de turbidez y absorbancia se proyectaron en un sector próximo del plano factorial, esta disposición no debe interpretarse como evidencia suficiente de una relación lineal entre ambas variables. El coeficiente de Pearson obtenido previamente fue reducido y no significativo (r = 0,056; p = 0,744).

La aparente proximidad observada en el biplot corresponde a una representación limitada a los dos primeros componentes, que reúnen el 76,6 % de la variabilidad, mientras que la correlación utiliza la información completa de las observaciones. En consecuencia, el PCA y el análisis de correlación deben interpretarse como procedimientos complementarios. Los tratamientos T3 y T6, correspondientes a pH 4,0 con 0 y 200 ppm de quitosano, respectivamente, se ubicaron en la dirección asociada con mayores valores de turbidez. Este resultado coincide con los datos experimentales, ya que ambos presentaron turbideces superiores a 1300 NTU. Los tratamientos T4, T5, T7, T8 y T11 se agruparon en el sector negativo de PC1, lo que indica perfiles fisicoquímicos relativamente próximos dentro del espacio definido por las variables analizadas. Esta distribución muestra que diferentes combinaciones de pH y quitosano pueden producir respuestas semejantes, aun cuando no compartan la misma concentración del polímero. El tratamiento T12, compuesto por 500 ppm de quitosano y pH 4,0, ocupó una posición diferenciada y alejada de la dirección correspondiente a los valores elevados de turbidez y absorbancia. Su ubicación coincide con los resultados experimentales, pues presentó la menor turbidez (34,1 ± 1,3 NTU) y la menor absorbancia (0,003 ± 0,001). Esta respuesta respalda su identificación como la combinación con mayor capacidad de clarificación dentro del intervalo estudiado. La dependencia de la respuesta respecto de la dosis y el pH también ha sido descrita en aplicaciones del quitosano en bebidas (Cosme & Vilela, 2021), mientras que Xing y Yao (2008) informaron niveles elevados de transmitancia en jugo de guayaba bajo condiciones optimizadas.

Figura 3. Biplot del análisis de componentes principales de las propiedades fisicoquímicas del néctar de guayaba tratado con diferentes concentraciones de quitosano y niveles de pH



Fuente: elaboración propia con base en los resultados experimentales.

El análisis multivariado confirmó que la respuesta del néctar no estuvo determinada únicamente por la cantidad de quitosano. La posición de los tratamientos en el biplot refleja el efecto conjunto del pH y la concentración del polímero sobre las propiedades fisicoquímicas evaluadas. Las características de la matriz, la presencia de compuestos pécticos y las condiciones del proceso también pueden influir en la eficiencia de clarificación (Zahari & Mokhtar, 2025).

En conjunto, los resultados muestran que el tratamiento con 500 ppm de quitosano a pH 4,0 produjo la respuesta más favorable en turbidez y absorbancia. Sin embargo, las concentraciones con mejor desempeño fueron diferentes a pH 3,0 y 3,5, lo que confirma la necesidad de seleccionar la dosis del clarificante en función del pH de la matriz. Esta conclusión se limita a las condiciones, concentraciones y variables analizadas en el presente experimento.

CONCLUSIONES

El pH, la concentración de quitosano y la interacción entre ambos factores influyeron significativamente en la turbidez y la absorbancia del néctar de guayaba. La respuesta del polímero varió según el pH del medio, por lo que una mayor concentración no produjo necesariamente una clarificación más eficiente.

Entre las condiciones evaluadas, el tratamiento con 500 ppm de quitosano a pH 4,0 presentó la mayor clarificación, con una turbidez de 34,1 ± 1,3 NTU y una absorbancia de 0,003 ± 0,001 a 455 nm. A pH 3,0, los menores valores de ambas variables se obtuvieron con 200 ppm, mientras que a pH 3,5 se alcanzaron con 350 ppm. Estos resultados confirman que la concentración más favorable de quitosano depende del pH de la matriz.

Los tratamientos produjeron cambios principalmente en las propiedades ópticas del néctar, mientras que los sólidos solubles variaron de 1,3 a 2,0 °Brix sin mostrar una tendencia definida respecto del aumento de quitosano. El análisis de componentes principales explicó el 76,6 % de la variabilidad mediante sus dos primeros componentes y permitió diferenciar los tratamientos según sus características fisicoquímicas.

El quitosano mostró potencial como agente clarificante del néctar de guayaba dentro de las condiciones estudiadas. Su aplicación requiere considerar conjuntamente la concentración y el pH, debido a que la eficiencia del proceso no depende de la dosis del polímero de manera aislada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhikari, M., Koirala, S., & Anal, A. K. (2023). Edible multilayer coating using electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries. *International Journal of Food Science & Technology, 58*(2), 871–879. https://doi.org/10.1111/ijfs.15704

AOAC International. (2023). *Official Method 981.12: pH of acidified foods*. In *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). AOAC International.

Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (3.ª ed., Tomo 1). McGraw-Hill Interamericana.

Assifaoui, A., Hayrapetyan, G., Gallery, C., & Agoda-Tandjawa, G. (2024). Exploring techno-functional properties, synergies, and challenges of pectins: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 7*, 100496. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100496

Belmonte-Herrera, B. H., Domínguez-Avila, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Valenzuela-Melendres, M., Tortoledo-Ortiz, O., & González-Aguilar, G. A. (2023). Optimization and In Vitro Digestion of a Guava (Psidium guajava), Mamey (Pouteria sapota) and Stevia (Stevia rebaudiana) Functional Beverage. *Foods*, *13*(1), 142. https://doi.org/10.3390/foods13010142

Bertrand, M., Simonin, S., & Bach, B. (2024). Applications of chitosan in the agri-food sector: A review. *Carbohydrate Research*, *543*, 109219. https://doi.org/10.1016/j.carres.2024.109219

Cosme, F., & Vilela, A. (2021). Chitin and Chitosan in the Alcoholic and Non-Alcoholic Beverage Industry: An Overview. *Applied Sciences*, *11*(23), 11427. https://doi.org/10.3390/app112311427

Dereli, B. O., Türkyılmaz, M., & Özkan, M. (2023). Clarification of pomegranate and strawberry juices: Effects of various clarification agents on turbidity, anthocyanins, colour, phenolics and

antioxidant activity. *Food Chemistry, 413*, 135672. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135672

Domingues, R. C. C., Faria Junior, S. B., Silva, R. B., Cardoso, V. L., & Reis, M. H. M. (2012). Clarification of passion fruit juice with chitosan: Effects of coagulation process variables and comparison with centrifugation and enzymatic treatments. *Process Biochemistry, 47*(3), 467–471. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.12.002

Espinales Terán, J. L. H. B. H. J. (2020). *Estudio de quitosano extraído a partir de dos crustáceos: camarón blanco (Litopenaeus setiferus) y camarón cebra (Rimapenaeus faoe) y su aplicación como clarificante en la industria licorera*.

Guibal, E., Van Vooren, M., Dempsey, B. A., & Roussy, J. (2006). A review of the use of chitosan for the removal of particulate and dissolved contaminants. *Separation Science and Technology, 41*(11), 2487–2514. https://doi.org/10.1080/01496390600742807

Gutiérrez, A., Miranda, S., & Hernández, H. (2022, 31 mayo). Desarrollo y caracterización de una bebida a base de guayaba y jengibre. *JOURNAL OF BIOENGINEERING AND BIOMEDICINE RESEARCH*. https://cmibq.org.mx/jbbr/images/doc/jbbr-vol-6-no-2/jbbr-vol-6-no-2-1

Heidarizadeh, F., Kolahi, M., & Akhond, M. (2023). Enhancing the qualitative and nutritional properties of strawberry juice through chitosan treatment. *International Journal Of Food Science & Technology*, *58*(10), 5214-5226. https://doi.org/10.1111/ijfs.16623

Hossain, M. B., & Ahmed, L. (2023). Application of enzymes in juice clarification. In *Value-Addition in Beverages through Enzyme Technology* (pp. 97–104). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85683-6.00004-1

Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., Mousavi, S. M., & Azimi, S. Z. (2021). Continuous Clarification of Barberry Juice with Pectinase Immobilised by Oxidised Polysaccharides. *Food Technology and Biotechnology*, *59*(2), 174–184. https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6976

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2008). *NTE INEN 2337:2008: Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos*. INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. *NTE INEN 380: Productos alimenticios. Determinación de sólidos solubles. Método refractométrico*. INEN.

Jiménez-Gómez, C. P., & Cecilia, J. A. (2020). Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*, *25*(17), 3981. https://doi.org/10.3390/molecules25173981

Ninga, K. A., Zangué Desobgo, S. C., Nso, E. J., & Kayem, J. (2022). White-flesh guava juice clarification by a fixed-angle conical rotor centrifuge laboratory and characterization of continuous disk stack centrifuges. *Heliyon, 8*(11), e11606. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11606

Peasura, N., & Sinchaipanit, P. (2022). The Impact of Sweetener Type on Physicochemical Properties, Antioxidant Activity and Rheology of Guava Nectar during Storage Time. *Beverages*, *8*(2), 24. https://doi.org/10.3390/beverages8020024

Rungsardthong, V., Wongvuttanakul, N., Kongpien, N., & Chotiwaranon, P. (2006). Application of fungal chitosan for clarification of apple juice. *Process Biochemistry, 41*(3), 589–593. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.08.003

Sánchez-Capa, M., Corell González, M., & Mestanza-Ramón, C. (2023). Edible Fruits from the Ecuadorian Amazon: Ethnobotany, Physicochemical Characteristics, and Bioactive Components. *Plants*, *12*(20), 3635. https://doi.org/10.3390/plants12203635

Shirvani, A., Mirzaaghaei, M., & Goli, S. A. H. (2023). Application of natural fining agents to clarify fruit juices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *22*(6), 4190–4216. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13207

Tastan, O., & Baysal, T. (2015). Clarification of pomegranate juice with chitosan: Changes on quality characteristics during storage. *Food Chemistry*, *180*, 211-218. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.053

Tridge. (2023). Fresh guava in Ecuador (market overview and export data). https://www.tridge.com/tridge-woods/fresh-guava/EC

Wang, H.-F., Li, H.-S., Zhang, X.-P., & Huang, X.-C. (2003). Clarification effects of chitosan on apple fruit juice. *Agricultural Sciences in China, 2*(6), 677–681.

Widowati, E., Sanjaya, A. P., Sari, A. M., & Ambarwati, S. (2021). Effect of partially purified polygalacturonase and cellulase on red guava juice clarification at various incubation times and temperatures. *agriTECH, 41*(2), 145–151. https://doi.org/10.22146/agritech.52516

Xing, S.-W., & Yao, J.-R. (2008). Study on clarification of guava juice with chitosan. *Modern Food Science and Technology*, 914–916.

Yıldız, A. B., & Tokatlı, K. (2024). Evaluation of chitosan as clarification aid in production of sour cherry juice and its effect on quality during storage. *Journal of Food Science and Technology*, *61*(12), 2235–2242. https://doi.org/10.1007/s13197-024-06055-4

Zahari, N. A., & Mokhtar, M. N. (2025). Techno-economic analysis of nata de coco as a supporting medium for immobilizing pectinase in guava juice clarification. *Advances in Agricultural and Food Research Journal, 6*(1), a0000556. https://doi.org/10.36877/aafrj.a0000556

Zemmouri, H., Kadouche, S., Lounici, H., Hadioui, M., & Mameri, N. (2011). Use of chitosan in coagulation flocculation of raw water of Keddara and Beni Amrane dams. *Water Science & Technology: Water Supply, 11*(2), 202–210. https://doi.org/10.2166/ws.2011.038

Zheng, X., Chen, Z., Guo, Z., Chen, M., Xie, B., Sun, Z., & Hu, K. (2024). Effect of novel processing techniques on the carotenoid release during the production of red guava juice. *Molecules, 29*(2), 487. https://doi.org/10.3390/molecules29020487