

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



TESIS:

**Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum*
por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el
liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la
industria alimentaria**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:
Bach. Rosa Janneth SAÑE TELLO**

**ASESOR:
Dr. Juan Carlos PONCE RAMÍREZ**

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por concederme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para afrontar cada desafío y permitirme culminar satisfactoriamente esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres Victor Sauñe e Hilda Olarte, por constituir el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo. Su confianza y ejemplo han sido la principal motivación para perseverar en la consecución de mis objetivos.

A mi hermana Liliana, por su cariño, compañía y apoyo permanente, por estar presente en cada momento de este camino y ser parte importante de este logro.

A mis queridos papitos Hipólito y Teodora, por su inmenso amor, sus enseñanzas y por ser fuente permanente de inspiración y fortaleza. Cada palabra, consejo y muestra de afecto ha contribuido significativamente a la persona que hoy soy.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis queridos padres y familiares, por su amor, apoyo incondicional, comprensión y constante motivación. Gracias por estar presentes en cada momento, por confiar en mí y por enseñarme que, con esfuerzo y perseverancia, es posible superar las dificultades y alcanzar nuestros sueños. Este logro también es de ustedes.

Expreso mi especial y sincero agradecimiento al Dr. Juan Carlos Ponce Ramírez y al Mg. Julio Fernando Pérez Sáez, por su orientación, dedicación, conocimientos y valiosos aportes durante el desarrollo de la presente investigación. Su acompañamiento y experiencia fueron fundamentales para la realización y culminación de este trabajo.

Asimismo, manifiesto mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, institución que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, adquirir conocimientos y desarrollar las capacidades necesarias para afrontar los desafíos de mi futura vida profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de esta investigación. A cada una de ellas, mi más sincero reconocimiento y gratitud.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1 Ñuñunga	5
1.1.1 Clasificación taxonómica	6
1.1.2 Usos tradicionales	6
1.2 Extracción	7
1.2.1. Tipos de extracción	7
1.3 Métodos de extracción	11
1.3.1. Ultrasonido	11
1.3.2. Liofilizado	12
1.3.3. Solución hidroalcohólica	13
1.4 Colorantes naturales	13
1.4.1. Composición	13
a. Carotenoides	13
b. Antocianinas	14
c. Clorofilas	14
d. Betalaínas	15
1.4.2. Toxicidad	16
1.4.3. Uso de colorantes naturales en alimentos	17
1.5 Técnicas y caracterización de pigmentos naturales	18
1.5.1. Espectrofotometría UV-Visible en el análisis de pigmentos naturales	18
1.5.2. Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)	19
1.5.3. Cromatografía en capa fina (CCF o TLC)	20
1.5.4. Espectrometría de masas aplicada al análisis de pigmentos	21
1.5.5. Ensayos de estabilidad térmica, oxidativa y lumínica	21
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. Lugar de ejecución	23
2.2. Población y muestra	24
2.2.1. Población	24
2.2.2. Muestra	24
2.3. Materiales, equipos y reactivos	24
2.3.1. Materiales	24
2.3.2. Reactivos	24

2.3.3.	Equipos	25
2.4.	Diseño metodológico	25
2.4.1.	Tipo de investigación	25
2.4.2.	Nivel de investigación	25
2.4.3.	Diseño experimental de la investigación	25
2.5.	Diseño experimental	33
2.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	35
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES		37
3.1.	Extracción de colorantes	37
3.2.	Determinación de las propiedades fisicoquímicas	42
3.2.1.	pH	42
3.2.2.	Solubilidad	47
3.2.3.	Color	51
3.3.	Determinar los principales compuestos químicos presentes en el colorante natural extraído	55
3.4.	Evaluación de las características colorimétricas del colorante natural en gelatina	65
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		71
BIBLIOGRAFÍA		72
ANEXOS		79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de solanum nitidum.	6
Tabla 2 Tratamientos correspondientes al diseño factorial 2 x 2 x 2 con 3 repeticiones en la investigación.	34
Tabla 3 Rendimiento de los tratamientos de extracción de colorante.	37
Tabla 4 Prueba de tukey para rendimiento de la extracción de colorante.	40
Tabla 5 Valores de pH según concentración de etanol y método de extracción.	42
Tabla 6 Prueba de tukey para el pH de los extractos de colorante.	46
Tabla 7 Valores de solubilidad de los extractos de colorante obtenidos por tratamientos.	47
Tabla 8 Prueba de tukey para la solubilidad de los extractos de colorante.	50
Tabla 9 Valores del color y su variación en la escala de CIElab.	51
Tabla 10 Prueba de tukey para la ΔE de los extractos de colorante.	54
Tabla 11 Selección de los dos mejores tratamientos según las variables en estudio.	54
Tabla 12 Factor de retención obtenidas.	62
Tabla 13 Contenido de fenoles totales y flavonoides en el extracto de ñuñunga.	64
Tabla 14 Valores de ΔE en gelatina de los mejores tratamientos.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fruto Ñuñunga.	5
Figura 2 Diseño experimental de investigación.	26
Figura 3 Diagrama de flujo para la extracción del colorante.	27
Figura 4 Flujograma de la elaboración de la gelatina con extracto de colorante de Ñuñunga.	32
Figura 5 Rendimientos de extracción del colorante de Ñuñunga.	39
Figura 6 Variación del pH según tratamientos de extracción de colorante.	43
Figura 7 Solubilidad porcentual de los extractos de ñuñunga (%).	48
Figura 8 Valores de ΔL , Δa y Δb en la escala CIELab del extracto de colorante,	52
Figura 9 Espectro de absorción UV-Vis del extracto hidroalcohólico de <i>Solanum nitidum</i> , rango 230–550 nm.	56
Figura 10 Espectro de absorción UV-Vis del extracto hidroalcohólico de <i>Solanum nitidum</i> , rango 400 - 550 nm.	58
Figura 11 Cromatografía de capa fina de las muestras.	61
Figura 12 Muestras de gelatina con el colorante de extracto de ñuñunga.	66
Figura 13 Comparación de los valores de AE de los tratamientos T4 y T8.	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Muestra el proceso para la obtención de la muestra.	80
Anexo 2. Extracción por maceración.	81
Anexo 3. Extracción por ultrasonido.	82
Anexo 4. Extracción por agitación.	83
Anexo 5. Procedimiento para obtener extracto del fruto de <i>Solanum nitidum</i> .	84
Anexo 6. Determinación de compuestos químicos del colorante extraído, por cromatografía por capa fina.	85
Anexo 7 Extractos de colorantes obtenidos en el estudio.	86
Anexo 8 Solubilidad promedio del extracto de ñuñunga liofilizado.	87
Anexo 9 Patrones del color naranja y derivados.	88
Anexo 10 Muestran de extracto de ñuñunga de los mejores tratamientos.	89
Anexo 11 ANVA del rendimiento de la extracción del colorante.	90
Anexo 12 ANVA del pH del colorante extraído.	91
Anexo 13 ANVA de la solubilidad del colorante extraído.	92
Anexo 14 ANVA de la ΔE del colorante extraído.	92
Anexo 15 Matriz de consistencia de la investigación.	93

INTRODUCCIÓN

Se pueden obtener colorantes naturales de diversos orígenes vegetales y estos incluyen pigmentos como betalainas, carotenoides, antocianinas y clorofilas. Las antocianinas son especialmente notables entre ellos por su habilidad de ofrecer colores púrpuras, azules y rojos, así como por tener actividad biológica vinculada a su estructura fenólica. Sin embargo, existen ciertas restricciones en su uso industrial que tienen que ver con su estabilidad ante el pH, la temperatura, el oxígeno, la luz y las condiciones de almacenamiento. Por lo tanto, es esencial implementar procesos de extracción y preservación que posibiliten la obtención de pigmentos con propiedades apropiadas para su inclusión en matrices alimentarias.

En este marco, el *Solanum nitidum* Ruiz & Pav., popularmente llamada ñuñunga, es un recurso vegetal andino que se encuentra en varias zonas del Perú y de otras naciones andinas. La especie, que se halla sobre todo en regiones de gran altitud, es parte de la familia Solanaceae.

Estudios realizados en esta especie han indicado la existencia de metabolitos secundarios, flavonoides y compuestos fenólicos, lo que demuestra que tiene un gran potencial fitoquímico. Además, investigaciones recientes sobre los frutos de *S. nitidum* han descubierto varios metabolitos bioactivos, lo que justifica el interés científico en darle valor a esta especie a través de nuevas aplicaciones agroindustriales.

La industria alimentaria demanda actualmente alternativas seguras y de origen natural que sustituyan a los colorantes sintéticos tradicionales, los cuales han sido asociados a riesgos potenciales para la salud y al rechazo creciente por parte de consumidores que buscan productos más saludables y respetuosos con el medio ambiente. El fruto de ñuñunga (*Solanum nitidum*), especie nativa de la región andina, se presenta

como una fuente potencialmente rica en colorantes naturales, cuya composición y propiedades aún han sido poco estudiadas.

La industria alimentaria necesita alternativas naturales a los colorantes sintéticos, asociados a riesgos para la salud y rechazo de los consumidores. El fruto de *Solanum nitidum* (ñuñunga) es un recurso andino poco estudiado con potencial como pigmento, pero no se han estandarizado métodos de extracción ni evaluado sus propiedades. Por ello, esta investigación determina el efecto de la solución hidroalcohólica, el ultrasonido y la liofilización sobre el rendimiento y características del colorante obtenido, para evaluar su viabilidad como alternativa a los colorantes sintéticos.

Por lo tanto, el estudio actual propone la "Obtención de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* mediante la técnica de solución hidroalcohólica, ultrasonido y liofilización como opción a los colorantes artificiales en el sector alimentario", con el objetivo de utilizar una especie vegetal andina como recurso posible de pigmentos naturales. Para lograrlo, se tiene como objetivo general: Determinar el efecto de los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguidos del proceso de liofilización, sobre el rendimiento del colorante natural obtenido del fruto de *Solanum nitidum*, para evaluar su potencial como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es ayudar a valorar *S. nitidum* y crear información científica que apoye su posible uso como fuente de colorantes naturales para la industria alimentaria, teniendo en cuenta que estos productos ahora tienen un interés comercial y tecnológico cada vez mayor.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue analizar cómo se obtiene y caracteriza un colorante natural a partir del fruto de ñuñunga (*Solanum nitidum*), utilizando varias técnicas de extracción y soluciones hidroalcohólicas. Para llevar a cabo esto, se usaron los procesos de extracción dinámica, extracción asistida por ultrasonido y maceración con etanol al 70 % y 96 %. Después se concentró la sustancia por liofilización y evaporación rotatoria.

Los resultados evidenciaron que la investigación demostró la viabilidad de obtener un colorante natural a partir del fruto de ñuñunga (*Solanum nitidum*) mediante extracción hidroalcohólica asistida por ultrasonido y agitación, identificándose al tratamiento T4 como el óptimo, con un rendimiento de extracto de 30,5 %. El colorante presentó características fisicoquímicas favorables, destacando un pH ligeramente ácido, baja solubilidad y menor variación de color.

Asimismo, mediante, barrido espectral y cromatografía de capa fina se identificó la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y pigmentos tipo antocianinas, destacando T4 con 151 mg GAE/g de fenoles totales y 274,03 mg QE/g de flavonoides. Finalmente, su aplicación en gelatina evidenció una buena aceptación visual y menor variación de color ($\Delta E = 9,46$) frente a T8 ($\Delta E = 18,47$), demostrando su potencial como fuente de pigmentos naturales para aplicaciones alimentarias, principalmente como agente colorante.

Palabras claves: Ñuñunga, colorante, ultrasonido, liofilizado

ABSTRACT

The objective of the study was to analyze how a natural dye is obtained and characterized from the ñuñunga fruit (*Solanum nitidum*), using various extraction techniques and hydroalcoholic solutions. To accomplish this, the researchers employed dynamic extraction, ultrasound-assisted extraction, and maceration with 70% and 96% ethanol. The substance was then concentrated by freeze-drying and rotary evaporation.

The results showed that the study demonstrated the feasibility of obtaining a natural dye from the ñuñunga fruit (*Solanum nitidum*) through hydroalcoholic extraction assisted by ultrasound and agitation, with treatment T4 identified as the optimal one, yielding an extract yield of 30.5%. The dye exhibited favorable physicochemical characteristics, notably a slightly acidic pH, low solubility, and minimal color variation.

Furthermore, spectral scanning, and thin-layer chromatography, the presence of phenolic compounds, flavonoids, and anthocyanin-type pigments was identified, with treatment T4 standing out with 151 mg GAE/g of total phenols and 274.03 mg QE/g of flavonoids. Finally, its application in gelatin showed good visual acceptance and less color variation ($\Delta E = 9.46$) compared to T8 ($\Delta E = 18.47$), demonstrating its potential as a source of natural pigments for food applications, primarily as a coloring agent.

Keywords: Ñuñunga, dye, ultrasound, freeze-dried

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Ñuñunga

Según Bañico (2022), ñuñunga o qeqño , es una hierba perenne o planta sufruticosa que alcanza entre 60 y 100 cm de altura, con tallo y follaje cenicientos. Sus hojas son pecioladas y oblongas, tienen el borde ondulado y venas prominentes. Las flores se presentan en cimas terminales, con corola azul o morada, y su fruto es una baya de color rojo oscuro. Prefiere suelos francos o franco arenosos, adaptándose a la pedregosidad media o baja y suelos de poca profundidad. Es un recurso vegetal accesible y se distribuye en toda la región de Ayacucho.

Figura 1
Fruto Ñuñunga.



Nota: Elaboración propia.

1.1.1 Clasificación taxonómica

Según la certificación emitida por el Herbarium Huamanguensis de la UNSCH en el año 2017 la siguiente tabla muestra la clasificación del *solanum nitidum* (Venegas, 2023) .

Tabla 1

Clasificación taxonómica de solanum nitidum.

División	Magnoliophita
Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Solanum
Especie	Solanum Nitidum R & P.
Nombre Común	“Ñuñunga”

Nota, tomado de Venegas (2023)

1.1.2 Usos tradicionales

Según Bañico (2022) tradicionalmente, las hojas y frutos se utilizan para tratar el "aire", problemas hepáticos (bebiendo el jugo de los frutos), problemas renales, como purgante (decocción de frutos en enema), para curar heridas (polvo de frutos secos), específicamente, para problemas hepáticos, se bebe una cucharada del jugo que sueltan los frutos. Sus hojas, tostadas, se emplean como cicatrizante, analgésico, antipirético y antiespasmódico, ayudando en el tratamiento de afecciones como quemaduras, úlceras irritadas y forúnculos. Además, las hojas molidas se usan para aliviar dolores y como remedios en casos de tortícolis, mal aire y fiebre, siendo colocadas en las áreas afectadas o en formas de baños con hojas hervidas para aliviar fiebre y dolores corporales (Venegas, 2023) . El cocimiento de los frutos se usa en baños para bajar la fiebre y contra el raquitismo de los niños, los frutos maduros se emplean para destetar a los niños, untando

con su jugo los pezones de la madre (probablemente el origen del nombre común en quechua) (Berrocal, 2018) .

1.2 Extracción

La extracción es una operación unitaria de separación utilizada en cualquier industria, como en los alimentos y las bebidas. La industria farmacéutica y la biotecnológica es una operación basada en la transferencia selectiva de uno o varios compuestos de una mezcla a otra fase, también conducto en las propiedades de composición y propiedades físico-químicas del soluto en sistemas bifásicos, como operan en la mayoría, dos son inmiscibles fases líquidas o entre una fase sólida y un líquido conocido como sólido-líquido, y son una herramienta eficaz para el aislamiento, concentración y recuperación de sustancias de interés (Nimbkar et al., 2025).

Según Azmir et al. (2013) la extracción representa un proceso necesario en la industria alimentaria y farmacéutica, que permite obtener, purificar, y formular compuestos bioactivos localizados en materias primas naturales. Recientemente, se ha incrementado la tendencia hacia este tipo de procesos a partir del mayor interés mostrado por consumidores de productos naturales, lo que ha promovido también el desarrollo de tecnologías de extracción más eficientes y sostenibles de manera de recuperar compuestos como antioxidantes, pigmentos, flavonoides entre otros; presentes, sobre todo, en frutas, verduras, o en plantas medicinales.

1.2.1. Tipos de extracción

Existen diversos tipos de extracción que se clasifican según las fases involucradas y la tecnología utilizada.

a) Extracción sólida-líquido

La extracción sólida-líquido es uno de los métodos más empleados para aislar compuestos bioactivos a partir de materias primas vegetales debido a su simplicidad y

eficiencia. Este proceso consiste en poner en contacto un material sólido con un solvente líquido capaz de disolver los componentes de interés. Durante la extracción, el solvente penetra en la estructura del sólido, solubiliza los compuestos deseados y posteriormente estos se difunden hacia la fase líquida, generando un extracto (Azmir et al., 2013).

La eficacia del proceso está en función de la dimensión de los sólidos, el tipo de solvente, la temperatura, el tiempo de contacto y la agitación. Una mayor superficie del sólido y una adecuada afinidad entre el solvente y el soluto favorecen la transferencia de masa y el rendimiento de extracción. Este procedimiento se utiliza para la obtención de diferentes compuestos bioactivos, aceites, pigmentos naturales y metabolitos de las materias primas vegetales (Coulson & Richardson, 1981).

b) Extracción líquida-líquido

La extracción líquida-líquido, permite la separación de compuestos concretos mediante su afinidad diferenciada entre dos fases líquidas que no se mezclan, lo que la transforman en una técnica a considerar dentro de los procesos de separación y purificación; en este proceso, el soluto se transfiere de una fase líquida inicial hacia una segunda fase de tipo líquido en la que presenta una mayor solubilidad; la separación se basa en el equilibrio de partición del compuesto desde una fase a la otra (Geankoplis, 2003).

La eficacia del proceso depende de la naturaleza de los solventes, el coeficiente de distribución del soluto, los parámetros experimentales tanto de temperatura como de pH y la relación de volúmenes entre fases, siendo la selección adecuada de un solvente determinante para poder realizar una extracción selectiva (Azmir et al., 2013).

c) Extracción por maceración

La maceración es un procedimiento clásico mediante el cual se introduce el material vegetal en un disolvente por largo tiempo con el fin de que los diferentes compuestos solubles que contienen difundan hacia el líquido, siendo este un método fácil y barato, pero muchas veces requiere tiempos de extracción prolongados y grandes volúmenes de disolvente (Azmir et al., 2013).

d) Extracción por solventes

La extracción por solventes es una técnica convencional para recuperar compuestos bioactivos de materiales vegetales. Consiste en sumergir el material vegetal en un solvente que disuelve los compuestos deseados; luego, estos compuestos se separan del solvente para su posterior uso. Esta técnica es sencilla y económica, requiere equipos simples y es ampliamente usada para extraer una variedad de compuestos fitoquímicos. Sin embargo, la extracción por solventes puede tener limitaciones como baja eficiencia, uso elevado de solventes orgánicos tóxicos, tiempos prolongados de extracción y riesgo de co-extracción de impurezas (Mungwari et al., 2025).

Entre los solventes empleados se encuentran el agua, etanol, metanol y diferentes mezclas hidroalcohólicas. En aplicaciones relacionadas con alimentos, los solventes de menor toxicidad, particularmente el agua y el etanol, presentan especial interés debido a su compatibilidad con la obtención de ingredientes destinados al consumo humano. La selección del solvente debe realizarse considerando la naturaleza química del compuesto que se desea recuperar, así como su estabilidad frente a las condiciones del proceso (Tzanova et al., 2024).

e) Extracción enzimática y fermentación

La extracción enzimática (EAE) es una técnica que utiliza enzimas para romper la pared celular de plantas, hongos o animales, facilitando la liberación de compuestos bioactivos. Se realiza en condiciones suaves, es eficiente, económica y ecológica, reduciendo el uso de solventes y energía. La fermentación, en este contexto, se refiere al proceso mediante el cual microorganismos producen las enzimas necesarias para la extracción o modifican el material natural para mejorar la recuperación de metabolitos (Łubek-Nguyen et al., 2022).

f) Extracción alcalina y ácida

La extracción alcalina y ácida se basa en la modificación del pH del medio para favorecer la solubilización, separación o liberación de determinados componentes presentes en una matriz vegetal. Dependiendo del compuesto de interés, pueden emplearse soluciones ácidas o alcalinas para modificar las interacciones entre los componentes de la matriz y facilitar su recuperación.

El pH constituye un factor especialmente importante en la extracción y estabilidad de los pigmentos naturales. En el caso de las antocianinas, por ejemplo, las variaciones de pH producen transformaciones estructurales que modifican tanto su estabilidad como su color. En medios fuertemente ácidos predominan formas más estables y de coloración roja, mientras que al aumentar el pH se producen transformaciones hacia estructuras menos estables y, en condiciones alcalinas, puede ocurrir una degradación acelerada del pigmento (Molina et al., 2023).

1.3 Métodos de extracción

1.3.1. Ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido, se fundamenta en la producción de ondas ultrasónicas que dan lugar a un fenómeno que se conoce como cavitación acústica en el medio líquido, fenómeno que conlleva la aparición, el crecimiento y el colapso de microburbujas, situaciones que determinan la generación de elevadas presiones y micro turbulencias que son suficientemente intensas como para alterar la estructura celular de la matriz vegetal. Esto favorece la ruptura de la pared celular y facilita el movimiento del solvente hacia el interior del material sólido, lo que se traduce en la aparición de compuestos intracelulares en que se tiene interés (Mason et al., 2011).

La extracción asistida por ultrasonido es una técnica moderna que permite mejorar la recuperación de compuestos bioactivos desde diferentes matrices, especialmente las de origen vegetal. Este método consiste en la aplicación de ondas ultrasónicas, generalmente en el rango de entre 20 kHz y 100 kHz, que se transmiten en el interior del disolvente generando un fenómeno físico denominado cavitación acústica. La cavitación es la aparición, crecimiento y colapso de microburbujas presentes en el disolvente, lo que conlleva a la aparición de micro chorros, turbulencias locales y cambios de presión favorables para el rompimiento de las paredes celulares de la matriz vegetal (Chemat et al., 2011).

Según Yusoff et al. (2022) , el éxito del proceso de extracción asistida mediante ultrasonido depende de diversos parámetros, como son la frecuencia y la intensidad del ultrasonido empleado, la naturaleza del disolvente usado, la temperatura, el tiempo de extracción, la naturaleza de la materia prima (especialmente el tamaño de las partículas obtenidas y la composición de la matriz vegetal), el cual va a influir en la eficacia de la cavitación acústica y en la transferencia de masa entre el disolvente y el material sólido,

de ahí que la optimización de las condiciones de funcionamiento suponga tener una mayor productividad del proceso, un menor consumo de disolvente y una mayor calidad de los extractos obtenidos, favoreciendo así la recuperación de compuestos bioactivos.

En el ámbito de la extracción y obtención de productos de alta calidad, la extracción asistida por ultrasonido ha sido una de las metodologías que ha tenido una pertinencia dentro del desarrollo de tecnologías sostenibles, ya que permite incrementar el rendimiento de la extracción, reducir el tiempo de procesamiento y disminuir el consumo energético, al tiempo que conseguir una máxima recuperación de los compuestos bioactivos de interés funcional y nutricional (Chemat et al., 2017).

1.3.2. Liofilizado

La liofilización, conocida también como congelación por secado, es un proceso de conservación y deshidratado debido a la eliminación del agua de un producto antes congelado mediante sublimación del hielo bajo condiciones de vacío. Este método permite conservar la estructura, composición química, y las propiedades biológicas de los compuestos que hay en el material en las industrias alimentaria, farmacéutica y biotecnológica (Ratti, 2001).

El proceso de liofilización se realiza a través de tres etapas básicas, en primer lugar, la congelación del producto, el secado primario (sublimación del hielo) y el secado secundario con la eliminación del agua residual unida a la matriz del alimento o material biológico. Bajo la condición de que se realice a temperaturas bajas, reduce la degradación térmica de compuestos sensibles como son las vitaminas, antioxidantes y compuestos bioactivos (Fellows, 2017).

1.3.3. Solución hidroalcohólica

Las soluciones hidroalcohólicas son mezclas de agua y alcohol, normalmente etanol, que se utiliza como disolvente para la obtención de los compuestos bioactivos de las materias primas vegetales. Ya que combinan agua y alcohol, permiten la solubilización de compuestos que van desde compuestos polares hasta compuestos moderadamente apolares, lo cual favorece el proceso de extracción (Dai & Mumper, 2010).

Las soluciones hidroalcohólicas son de uso frecuente en la obtención de extractos de plantas medicinales, alimentos funcionales y productos nutraceuticos. La proporción de agua-alcohol puede variar en función de los compuestos a los que se desea llegar, dado que dicha proporción se traduce en una polaridad del disolvente dada que incrementa la solubilidad de los metabolitos en la matriz vegetal (Azmir et al., 2013).

1.4 Colorantes naturales

1.4.1. Composición

Los colorantes naturales se establecen por un grupo variado de compuestos químicos asociados a plantas, microorganismos y algunos animales. Estos colorantes comprenden una serie de pigmentos que presentan estructuras moleculares que pueden absorber longitudes de onda determinadas de la luz visible, siendo los colores los que dan su singularidad en los alimentos y productos naturales. Aparte de sus propiedades colorantes, muchos de estos compuestos exhiben, además, propiedades biológicas significativas, como por ejemplo actividad antioxidante, antiinflamatoria, protectora replicativa del daño celular (Rodríguez, 2015).

a. Carotenoides

Los carotenoides son unos pigmentos liposolubles que dan lugar a colores amarillos, anaranjados y rojos en numerosos alimentos como las zanahorias, los tomates,

el maíz, el mango y los pimientos. Químicamente, se componen de cadenas largas de hidrocarburos con múltiples enlaces dobles conjugados que les permiten absorber la luz y producir su color característico. Dentro de este tipo de compuesto se encuentran el β -caroteno, el licopeno, la luteína o la zeaxantina. Además de su actividad como colorantes en los alimentos, algunos carotenoides (especialmente el β -caroteno) tienen actividad como precursores de la vitamina A y tienen un papel importante como antioxidantes, es decir, en la neutralización de los radicales libres para proteger a las células del estrés oxidativo. Como consecuencia de todas estas propiedades, los carotenoides se utilizan como colorantes y son ampliamente empleados en la industria de los alimentos, en suplementos nutricionales y en productos farmacéuticos (Rodríguez, 2015).

b. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos que se disuelven en agua, del grupo de los flavonoides, responsables de la coloración roja, púrpura o azul presente en frutas y vegetales como las uvas, los arándanos, las fresas, las cerezas y la col morada, y cuya estructura química corresponde al ion flavilio. Su color se puede ver afectado por factores como el pH, la temperatura o la presencia de otros compuestos (Khoo et al., 2017).

En medios ácidos, las antocianinas tienden a dar lugar a colores rojos, mientras que en medios neutros o básicos suelen dar lugar a colores púrpuras o azulados. Más allá de su capacidad para colorar, estos compuestos muestran también capacidades antioxidantes y la asociación de los mismos con beneficios en enfermedad cardiovascular o en la aparición de enfermedades degenerativas (Delgado et al., 2000).

c. Clorofilas

Las clorofilas son pigmentos naturales responsables de la coloración verde característica de las plantas y cumplen una función esencial en el proceso de fotosíntesis,

ya que participan en la captación de energía lumínica. Desde el punto de vista químico, las clorofilas poseen una estructura basada en un anillo porfirínico con un átomo central de magnesio y una cadena lateral hidrofóbica, conocida como fitol, que facilita su integración en las membranas de los cloroplastos (Ferruzzi & Blakeslee, 2007).

Las clorofilas son empleadas como colorantes naturales en la industria alimentaria (bebidas, dulces, salsas y alimentos procesados). Sin embargo, son pigmentos que responden a diversos factores: calor, luz, pH, lo que implica una alteración del color durante el procesamiento de este tipo de alimentos (Rodríguez, 2015).

d. Betalaínas

Delgado et al. (2000), nos mencionan que las betalaínas son pigmentos hidrosolubles que están presentes principalmente en plantas del orden Caryophyllales, la betarraga. Se pueden diferenciar en dos grandes grupos: las betacianinas (que producen el color rojo - violáceo) y las betaxantinas (que producen coloraciones amarillas o anaranjadas). Las betalaínas se caracterizan por poseer una excelente intensidad de color y una buena solubilidad en agua.

Desde el enfoque químico, las betalaínas son compuestos nitrogenados que tienen su origen en el ácido betalámico y que, además, destacan por su elevada solubilidad en agua y actividad antioxidante. Junto con su uso como pigmentos naturales, las betalaínas han despertado la atención también en la industria de los alimentos para ser utilizados como colorantes naturales y para poder obtener información relativa a los beneficios en cuanto a las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y protectoras del estrés oxidativo (Azeredo, 2009).

Según Rodríguez (2015), la composición y estabilidad de los colorantes naturales fluctúan dadas por distintos factores; por ejemplo, podemos hablar de:

- Especie vegetal o fuente biológica
- Condiciones de cultivo y clima
- Grado de madurez del alimento
- Métodos de extracción y procesamiento
- Almacenamiento y exposición a luz, oxígeno o temperatura

Los cuales afectan la cantidad de pigmentos que se pueden hallar en el mismo y su estabilidad al elaborar productos de alimentación. Por consiguiente, el estudio de la composición de los colorantes naturales tiene una importancia capital para la optimización de su uso en la industria y la garantía de calidad del producto final.

1.4.2. Toxicidad

La toxicidad de los colorantes naturales ha sido ampliamente investigada, dada su aplicación en alimentos, productos cosméticos y productos farmacéuticos. En general, estos compuestos son considerados menos peligrosos que un gran número de colorantes artificiales, ya que son procedentes de fuentes naturales y muchas veces constituyen parte de la dieta humana desde hace siglos. Sin embargo, su seguridad está relacionada de forma inherente con numerosos elementos como la dosis ingerida, la pureza del colorante, la forma en que se extrae, la presencia de otros contaminantes u otros compuestos secundarios (Delgado et al., 2000).

Según Rodríguez (2015), diversos pigmentos naturales, como los carotenoides, las antocianinas y las betalainas, se caracterizan por presentar baja toxicidad y, asimismo, tener propiedades antioxidantes que podrían contribuir a proteger al organismo frente al daño provocado por el proceso oxidativo. Estas sustancias han sido asociadas con efectos para la salud, entre los que se encuentran actividad antiinflamatoria, efectos cardioprotectores y posibles efectos anticancerígenos. En virtud de estas propiedades,

muchos colorantes naturales han sido clasificados como aceptables para su consumo responsable en los límites que marcan los organismos internacionales.

No obstante, el origen natural de un compuesto no garantiza necesariamente su total inocuidad. Algunos extractos vegetales pueden contener metabolitos secundarios con efectos adversos o generar reacciones alérgicas en personas sensibles. Además, la contaminación con metales pesados, pesticidas o solventes residuales durante el proceso de extracción puede representar un riesgo toxicológico si no se aplican adecuados controles de calidad.

1.4.3. Uso de colorantes naturales en alimentos

Los colorantes naturales tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria, ya que se utilizan en esta industria para la mejora de la apariencia del alimento, para recuperar el color perdido con el procesado y para homogenizar la coloración de los mismos. Su aplicación es extensa en bebidas, productos de confitería, lácteos, panificación, mermeladas y productos alimenticios industriales (Soladoye et al., 2015).

Según Molina et al. (2023) el color en los alimentos es un parámetro sensorial fundamental, ya que influye directamente en la aceptación o rechazo de un producto y se asocia de forma íntima con la percepción de frescura, sabor, textura e índice de calidad general. Aunque históricamente los colorantes sintéticos han dominado el mercado alimentario por ser más económicos y estables, la creciente evidencia sobre sus efectos adversos para la salud humana (como alergias, hiperactividad, déficit de atención en niños y carcinogenicidad) ha impulsado un fuerte rechazo por parte de los consumidores.

Mungwari et al. (2025) nos menciona que la mayoría de estos efectos positivos se debe a su notable capacidad antioxidante para neutralizar los radicales libres que se generan de forma endógena o por factores externos en el organismo. Al cederles un

electrón a estas especies químicas altamente inestables y reactivas, los antioxidantes previenen el daño oxidativo de biomoléculas celulares cruciales como los ácidos nucleicos, las proteínas, los carbohidratos y los lípidos. Esto es de vital importancia debido a que el desbalance provocado por el estrés oxidativo prolongado se asocia directamente con el desarrollo de patologías crónico-degenerativas, incluyendo el Parkinson, el Alzheimer, la arterioesclerosis, la diabetes, las enfermedades coronarias y diversos tipos de cáncer.

1.5 Técnicas y caracterización de pigmentos naturales

La caracterización de los pigmentos naturales es fundamental para determinar su composición, concentración, estructura química y comportamiento frente a diferentes condiciones de procesamiento y almacenamiento. Entre las principales técnicas analíticas empleadas se encuentran la espectrofotometría UV-Visible, la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), la cromatografía en capa fina (TLC) y la espectrometría de masas. Estas técnicas pueden utilizarse de manera complementaria para obtener información cualitativa y cuantitativa de los pigmentos presentes en una matriz vegetal (Yan et al., 2023).

1.5.1. Espectrofotometría UV-Visible en el análisis de pigmentos naturales

La espectrofotometría UV-Visible es una técnica ampliamente utilizada para la caracterización y cuantificación de pigmentos naturales debido a que permite determinar la capacidad de los compuestos coloreados para absorber radiación electromagnética en determinadas longitudes de onda. En el caso de las antocianinas, su comportamiento espectral está relacionado con su estructura química y con las condiciones del medio, especialmente el pH (Yan et al., 2023).

Según Saha et al. (2020), la espectrofotometría UV-Visible también permite obtener información relacionada con las características estructurales de las antocianinas. Los cambios en el espectro de absorción pueden asociarse con modificaciones en la estructura molecular, glucosilación, acilación y condiciones del medio. Por ello, esta técnica constituye una herramienta de utilidad tanto para la evaluación del contenido de pigmentos como para el seguimiento de su estabilidad.

La copigmentación, es un mecanismo para estabilizar el color mediante interacciones moleculares con cofactores (como flavonoides o aminoácidos). Para identificar este fenómeno, se escanea la muestra en un rango de longitud de onda de 380 a 750 nm a lo largo del tiempo (0, 4, 8, 12 y 24 horas). La copigmentación se confirma espectrofotométricamente cuando se observa un efecto batocrómico, es decir, un incremento de 5 a 20 nm en la longitud de onda de máxima absorción del pigmento (Saha et al., 2020).

1.5.2. Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)

La cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés) es una de las principales técnicas empleadas para la separación, identificación y cuantificación de pigmentos naturales, particularmente de las diferentes especies de antocianinas presentes en frutas, vegetales y otras matrices vegetales. A diferencia de los métodos espectrofotométricos, que permiten principalmente determinar el contenido total, HPLC permite analizar individualmente los diferentes compuestos presentes en una mezcla. En el análisis de antocianinas, HPLC puede utilizarse conjuntamente con detectores UV-Visible o de arreglo de diodos (DAD/PDA), permitiendo registrar la respuesta de los compuestos a diferentes longitudes de onda. La comparación de los tiempos de retención y los espectros obtenidos con estándares de referencia facilita la identificación de los pigmentos presentes en la muestra (Singh et al., 2020).

Asimismo, la HPLC presenta mayor sensibilidad y selectividad que los métodos espectrofotométricos convencionales para la determinación de antocianinas individuales. Por esta razón, constituye una herramienta importante para establecer el perfil de pigmentos de una materia prima y evaluar los cambios producidos durante los procesos de extracción, almacenamiento y procesamiento (Yan et al., 2023).

1.5.3. Cromatografía en capa fina (CCF o TLC)

La cromatografía en capa fina (CCF o TLC, por sus siglas en inglés) es una técnica cromatográfica sencilla y de bajo costo que puede utilizarse para la separación e identificación preliminar de pigmentos presentes en extractos vegetales. El procedimiento se basa en la migración diferencial de los componentes de una muestra sobre una fase estacionaria, generalmente una placa recubierta con sílica gel, utilizando una fase móvil apropiada. En el análisis de antocianinas, la TLC permite observar diferentes manchas correspondientes a los compuestos presentes en el extracto. La separación depende de la interacción de cada compuesto con la fase estacionaria y la fase móvil. La comparación de la distancia recorrida por los compuestos con la distancia recorrida por el frente del solvente permite obtener el valor de R_f (factor de retención), que puede utilizarse como criterio de identificación cuando se trabaja bajo condiciones estandarizadas y con sustancias de referencia (Welch et al., 2008) .

Actualmente, aunque la TLC ha sido desplazada en muchas aplicaciones por técnicas instrumentales de mayor resolución como HPLC, continúa siendo útil para análisis preliminares debido a su rapidez, bajo consumo de muestra y bajo costo. Además, puede permitir el análisis simultáneo de varias muestras (Custodio et al., 2024).

1.5.4. Espectrometría de masas aplicada al análisis de pigmentos

La espectrometría de masas (MS) aplicada al análisis de pigmentos naturales (como las antocianinas) se define como una técnica analítica cuantitativa y de caracterización estructural que ofrece una elevada sensibilidad, selectividad y resolución. Cuando se acopla a sistemas de separación como la cromatografía de líquidos (LC-MS o HPLC-MS), esta combinación permite resolver mezclas sumamente complejas de un extracto vegetal e inferir la estructura y el peso molecular exacto del pigmento a partir del análisis de sus iones moleculares, fragmentos iónicos y las pérdidas de fragmentos específicos en espectros de masas primarios y secundarios (Custodio et al., 2024).

Según Welch et al. (2008), para introducir las muestras líquidas de los pigmentos en el espectrómetro de masas, la interfaz de acoplamiento más empleada en la actualidad es la ionización por electrospray (ESI). La ESI consiste en una técnica de ionización suave que genera iones gaseosos a partir de gotas líquidas altamente cargadas en evaporación directa desde la fase móvil, lo que resulta ideal para analizar metabolitos vegetales pequeños e inestables (como las antocianinas) con una mínima manipulación y previniendo su descomposición térmica prematura antes del ingreso al analizador.

1.5.5. Ensayos de estabilidad térmica, oxidativa y lumínica

La evaluación de la estabilidad es un aspecto importante en la caracterización de pigmentos naturales, debido a que estos compuestos pueden sufrir modificaciones durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. Entre los principales factores que afectan su estabilidad se encuentran la temperatura, el oxígeno, la luz, el pH, los metales y la composición de la matriz alimentaria (Xue et al., 2024).

La estabilidad térmica permite evaluar el comportamiento del pigmento frente a diferentes temperaturas y tiempos de exposición. En las antocianinas, el incremento de la

temperatura generalmente favorece las reacciones de degradación, ocasionando una disminución de su concentración y pérdida de intensidad de color. Por ello, pueden realizarse ensayos a diferentes temperaturas y tiempos, determinando posteriormente la concentración residual mediante espectrofotometría UV-Visible o HPLC (Oancea, 2021).

La estabilidad oxidativa evalúa la resistencia de los pigmentos frente a la acción del oxígeno y otros agentes oxidantes. Las antocianinas son susceptibles a procesos oxidativos que pueden modificar su estructura química y provocar pérdida de color. Por esta razón, la exposición controlada al oxígeno o a condiciones oxidantes puede emplearse para estudiar la velocidad de degradación del pigmento (Xue et al., 2024).

La exposición a la luz constituye otro factor relevante en la estabilidad de los pigmentos naturales. La radiación puede favorecer reacciones fotoquímicas que ocasionan modificaciones estructurales y disminución de la intensidad del color. En particular, las antocianinas presentan sensibilidad a la luz, por lo que su estabilidad puede evaluarse almacenando los extractos bajo diferentes condiciones de iluminación y oscuridad, y posteriormente determinando la retención de pigmento o la variación del color (Xue et al., 2024).

Según Yan et al. (2023), en conjunto, los ensayos térmicos, oxidativos y lumínicos permiten determinar las condiciones bajo las cuales el pigmento mantiene sus características y establecer su potencial de aplicación como colorante natural en alimentos. La evaluación de estos factores resulta especialmente importante para las antocianinas debido a su sensibilidad frente a las condiciones ambientales y de procesamiento.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló principalmente en las instalaciones de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a través del uso de sus laboratorios especializados y de la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, espacios que cuentan con equipos e infraestructura adecuados. En dichos ambientes se llevó a cabo las operaciones preliminares del estudio, tales como selección de frutos, lavado, acondicionamiento de muestras, molienda, extracción del colorante natural mediante solución hidroalcohólica, así como las pruebas iniciales de estabilidad y aplicación en matrices alimentarias modelo.

La extracción asistida por ultrasonido, la espectrofotometría UV-Visible y la cromatografía en capa fina (CCF o TLC) se realizaron en el Laboratorio de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), donde se contó con los equipos y materiales necesarios para el desarrollo de estas etapas experimentales, evaluación del color, espectrofotometría y otras pruebas necesarias para una adecuada caracterización del colorante obtenido.

2.2. Población y muestra

Los frutos de Ñuñunga será procedente, del distrito de Soras, provincia de Sucre y departamento de Ayacucho.

2.2.1. Población

La población está representada por 50kg del fruto de Ñuñunga

2.2.2. Muestra

La muestra está constituida por 3kg del fruto de Ñuñunga

2.3. Materiales, equipos y reactivos

2.3.1. Materiales

- Embudos de vidrio
- Espátula
- Fuente de acero inoxidable
- Matraz de Erlenmeyer, de 100 ml, 250ml y 500ml
- Placas Petri
- Pinzas
- Luna de reloj
- Tubos de ensayo
- Varilla de vidrio
- Vasos de precipitado de 50 mL y 100mL.
- Frascos de vidrio oscuros
- Táperes de vidrio

2.3.2. Reactivos

- Agua destilada
- Alcohol de 96° y 70°
- Metanol

2.3.3. Equipos

- Balanza analítica marca OHAUS, modelo AS200
- Estufa marca MEMMERT
- Espectrofotómetro UV - Visible marca THERMOSCIENTIFIC
- Liofilizadora marca DAIHAN Scientific, modelo UniFreezFD
- Rotavapor marca BUCHI R-300
- pHmetro digital marca MILWAUKEE
- Colorímetro espectrofotómetro digital BGD551

2.4. Diseño metodológico

2.4.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental, porque es un tipo de investigación en la que el investigador modifica o controla una variable para observar qué efecto produce sobre otra.

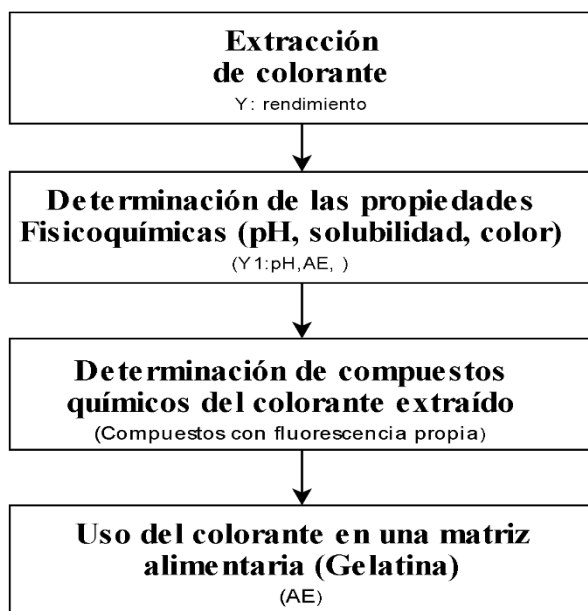
2.4.2. Nivel de investigación

La investigación corresponde a un nivel explicativo y correlacional, debido a que busca determinar la relación causa-efecto entre las variables independientes (concentración de solvente, frecuencia de ultrasonido y temperatura de liofilización) y las variables dependientes (rendimiento de extracción, propiedades fisicoquímicas y estabilidad del colorante).

2.4.3. Diseño experimental de la investigación

La figura 2 muestra el flujo metodológico seguido en la investigación para la obtención y evaluación del colorante natural.

Figura 2
Diseño experimental de investigación.



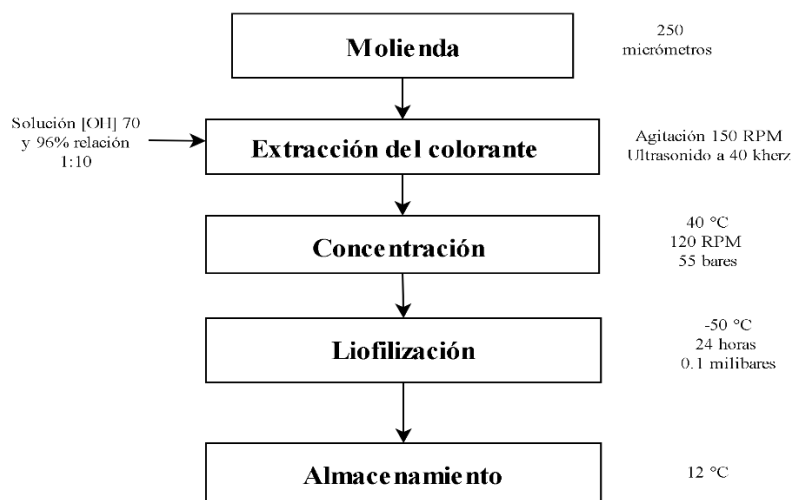
La figura representa el flujo secuencial del diseño experimental empleado en la presente investigación para la obtención, caracterización y evaluación del colorante natural extraído del fruto de *Solanum nitidum*.

a) Extracción de colorante

En la primera etapa, se realizó la extracción del colorante a partir de la materia prima, utilizando una solución hidroalcohólica, considerada uno de los métodos más empleados para la obtención de pigmentos naturales. Además, se aplicaron técnicas complementarias como ultrasonido y liofilización, trabajando bajo condiciones controladas de concentración del solvente, tiempo de extracción, potencia y temperatura, según el método utilizado. El propósito de esta etapa fue determinar el rendimiento de extracción.

Figura 3

Diagrama de flujo para la extracción del colorante.



La extracción del colorante se realizó a través de las siguientes operaciones:

- ***Molienda***

Consistió en reducir el tamaño de las partículas de la materia prima vegetal para facilitar la liberación y posterior extracción de los pigmentos presentes en sus tejidos. El tamaño de partícula a controlar fue 2 mm.

- ***Extracción del colorante***

La extracción del colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* se realizó mediante el método de extracción: maceración, ultrasonido y agitación, empleando una solución hidroalcohólica como solvente (Venegas, 2023) . Consistió en lo siguiente:

- Se pesaron 20 g de muestra seca y molida por cada concentración de solvente.
- Se colocó la muestra en un recipiente de vidrio color ámbar y se añadieron 200 mL de etanol al 70 % y 200 mL de etanol al 96 %, respectivamente, estableciendo una relación muestra–solvente de 1:10 p/v.

- La mezcla se procesó en baño ultrasónico a 32 °C, 40 kHz, durante 60 minutos y 150 rpm. Se filtró inmediatamente con papel filtro Whatman N° 1, recuperando el residuo sólido.
- La mezcla se mantuvo en reposo, protegida de la luz y a temperatura ambiente, durante 7 días, con agitación ocasional.
- Transcurrido el tiempo, se filtró con papel filtro Whatman N° 1, separando el extracto líquido del residuo sólido.
- Para agotar la muestra, al residuo sólido se le añadieron nuevos 200 mL de etanol en la misma concentración y se agitó durante 10 minutos, en iguales condiciones.

- ***Concentración***

Se realizó para concentrar el extracto por reducción de presión y calentamiento controlado a una temperatura de 40 °C y a una rotación continua de 60 rpm. Asimismo, se determinó el rendimiento de la extracción del colorante.

- ***Liofilización***

Se realizó primero a través de una congelación del extracto a -50 °C por un tiempo de 24 horas, luego se realizó la sublimación a una presión de 0.1 milibares hasta obtener el extracto seco.

- ***Almacenamiento***

El almacenamiento del extracto se realizó en un envase de vidrio de color ámbar y en refrigeración hasta su caracterización.

b) Determinación de las propiedades fisicoquímicas

Se determinó las propiedades fisicoquímicas del colorante para evaluar su calidad, estabilidad y uso en alimentos. Se analizó especialmente el pH, pues influye en la

estabilidad de pigmentos naturales como antocianinas y betalaínas, sensibles a cambios de acidez que alteran su color y pueden degradarlos.

- **pH:** Para su determinación de pH se midió por inmersión, electrodo de pH de vidrio combinado. Se realizó mediante el método potenciométrico, utilizando un pH-metro previamente calibrado, de acuerdo con la metodología establecida por la norma AOAC 981.12. (AOAC, 2019).
- **Solubilidad:** La determinación de la solubilidad del colorante natural extraído de *Solanum nitidum* se realizó mediante el método gravimétrico, evaluando su capacidad de disolución y dispersión en distintos medios y disolventes, de acuerdo con la metodología establecida por la norma AOAC Official Method 945.06. Este análisis permitió determinar la compatibilidad del extracto en matrices acuosas y su posible incorporación en productos alimentarios, considerando que una adecuada solubilidad influye directamente en la facilidad de aplicación y comportamiento del colorante en sistemas reales de procesamiento (AOAC, 2019).
- **Color:** De igual modo, se llevó a cabo el mismo análisis del espectro de absorción mediante la técnica de espectrofotometría UV-Vis, con el fin de poder identificar la longitud de onda de absorción máxima ($\lambda_{\text{máx}}$) característica del pigmento, y a partir de ese dato poder inferir la naturaleza de los compuestos existentes. En este sentido, realizar una cuantificación de la intensidad del color. Esta técnica es muy utilizada en la caracterización de los pigmentos naturales porque presenta una buena precisión y sensibilidad. Se empleó la fórmula CIElab:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

La evaluación conjunta de estos parámetros permitió establecer la relación entre las condiciones de extracción y la calidad del colorante obtenido, proporcionando

información relevante sobre su comportamiento frente a factores fisicoquímicos y su potencial uso en la industria alimentaria, donde la estabilidad del color es un criterio determinante (Delgado et al., 2000).

c) Determinación de compuestos químicos del colorante extraído

Se realizó la identificación de compuestos químicos en un colorante utilizando cromatografía en capa fina (TLC), lo que permitió determinar los pigmentos responsables de la coloración, como carotenoides y antocianinas, y establecer el perfil químico del extracto.(Rodríguez, 2015).

Se utilizó como una técnica rápida y económica para el tamizaje cualitativo inicial, verificación del aislamiento y monitoreo rutinario de las fracciones en procesos de purificación, permitiendo analizar múltiples muestras de colorante en paralelo. (Custodio et al., 2024).

- Se preparó la cámara cromatográfica vertiendo una mezcla de fase móvil compuesta por 7 partes de cloroformo y 3 partes de metanol. Se tapó el recipiente y se dejó saturar la atmósfera interna durante unos 30 minutos.
- Se cortó una placa de TLC de sílice gel 60 F254 a las dimensiones requeridas. Con ayuda de un lápiz, se trazó una línea de origen a 1 cm del borde inferior, cuidando de no dañar la capa de adsorbente.
- Se aplicaron las muestras sobre la línea de origen utilizando capilares de vidrio, permitiendo que los puntos de aplicación se secan por completo.
- Se colocó la placa verticalmente en la cámara cromatográfica, asegurando que el eluyente estuviera debajo de la línea de aplicación de las muestras, y se tapó la cámara para prevenir la evaporación de los disolventes.

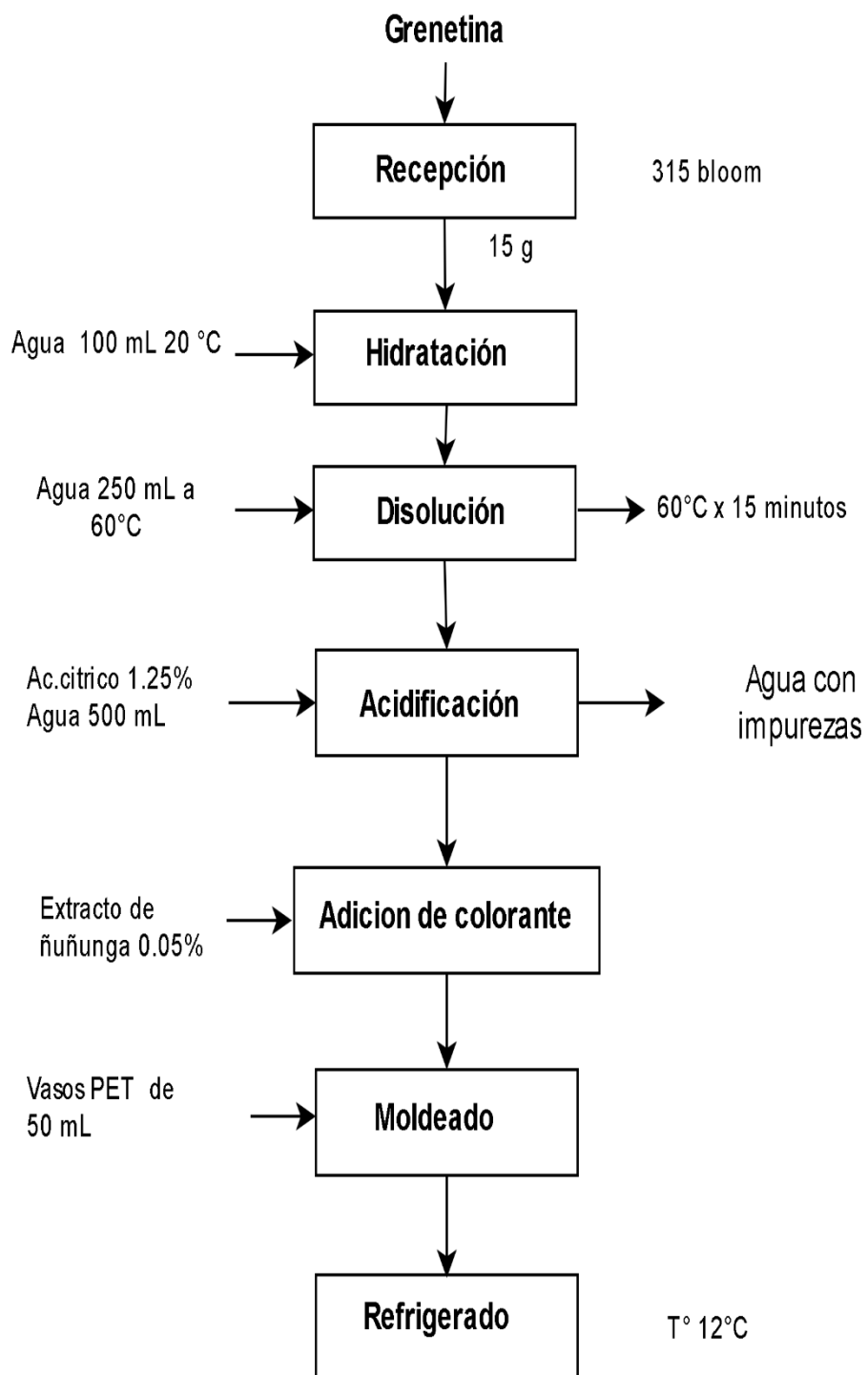
- En la fase móvil, se permitió la ascensión por capilaridad en la placa, y cuando el frente del disolvente llegó al borde superior, la placa se retiró para marcar la altura máxima del eluyente.
- Se dejó secar la placa a temperatura ambiente. Finalmente, se procedió a la visualización y análisis de las manchas mediante la exposición de la placa a una lámpara de luz ultravioleta, evaluando primero bajo luz UV de onda corta (254 nm) para observar la desactivación de la fluorescencia del soporte, y posteriormente bajo luz UV de onda larga (366 nm) para detectar compuestos con fluorescencia propia. Se registraron las posiciones de todos los componentes revelados en ambas longitudes de onda.

d) Uso del colorante en una matriz alimentaria

Los dos mejores tratamientos de extracción del colorante obtenido de la ñuñunga se incorporaron en la gelatina como matriz modelo, exclusivamente para evaluar sus características colorimétricas, sin considerar propiedades nutricionales ni aptitud como alimento. Se analizó: la estabilidad del color ante condiciones de almacenamiento; la capacidad de impartir tonalidad uniforme y aceptable en la estructura gelatinosa. Esta evaluación permite valorar su desempeño como agente colorante y su potencial como alternativa a colorantes sintéticos, con base en su comportamiento visual y físico-químico en la matriz. Este tipo de evaluación es clave para determinar la viabilidad del colorante natural como sustituto de aditivos sintéticos en la industria alimentaria (Fellows, 2017). Se aplicó según la figura 4.

Figura 4

Flujograma de la elaboración de la gelatina con extracto de colorante de Ñuñunga.



Descripción de las operaciones:

- **Recepción:** Se recepcionó grenetina comercial de 315 grados Bloom.
- **Hidratación:** Se añadió 15 gramos de la grenetina sobre 100 mL de agua fría (temperatura ambiente o 15–25 °C), se deja reposar 15–30 minutos sin agitar mucho, para que absorba agua, se hinche y se ablande.
- **Disolución:** La grenetina hidratada se sometió a disolución en 250 mL de agua y se llevó a baño maría o calentamiento directo a 45–60 °C, con agitación suave y continua, hasta que se fundiera por completo.
- **Acidificación:** Se incorporó de forma lenta el 1.25% P/V de ácido cítrico adecuado. Se monitoreo en tiempo real con potenciómetro (pH-metro), hasta alcanzar el pH de 3.5, el cual es ideal para antocianinas o betalaínas.
- **Adición de colorante:** Se adicionaron 0.05% del colorante obtenido (Mejor tratamiento con etanol al 70 % y mejor tratamiento con etanol al 96%), cada preparación se agitó hasta obtener una distribución uniforme del colorante.
- **Moldeado:** Las muestras se colocaron en recipientes individuales (Vasos PET de 50 mL).
- **Almacenado:** Las muestras de gelatina fueron almacenadas a temperaturas de refrigeraron hasta su gelificación.

Controles a realizar:

Una vez gelificadas, se realizaron tres mediciones de color en diferentes puntos de cada muestra mediante el sistema CIELAB, registrándose los valores de L*, a* y b*.

2.5. Diseño experimental

El análisis de los resultados obtenidos se sustentó en un diseño experimental factorial 2x2x2, con 3 repeticiones correspondiente a la evaluación de tres factores: A:

Concentración hidroalcohólica, (2 niveles: 70 y 96%), B: Frecuencia de ultrasonido (2 niveles: 0 y 40 Kherz), y agitación (con dos niveles: 0 y 150 RPM), generando 08 tratamientos con tres repeticiones. La representación matemática del modelo es la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\theta)_{ik} + (\beta\theta)_{jk} + \alpha\beta\theta_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijkl} = variable respuesta

μ = media poblacional

α_i = Efecto del i esimo nivel del factor A (Solución hidroalcohólica 70 y 96%)

β_j = Efecto del j esimo nivel del factor B (Frecuencia ultrasónica 0 y 40 herz)

θ_k = Efecto del kjesimo nivel del factor C (agitación 0, 150 rpm).

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto interacciones del i esimo nivel factor A, con el j esimo nivel factor B

$\alpha\theta_{ik}$ = Efecto interacciones del i esimo nivel factor A, con el k esimo nivel factor C

$\beta\theta_{jk}$ = Efecto interacciones del j esimo nivel factor B, con el k esimo nivel factor C

$\alpha\beta\theta_{ijk}$ = Efecto interacciones del i esimo nivel factor A, con el j esimo nivel factor B, con el k esimo nivel factor C.

ε_{ijkl} = Efecto del error experimental

Tabla 2

Tratamientos correspondientes al diseño factorial 2 x 2 x 2 con 3 repeticiones en la investigación.

Tratamientos	Solución [OH]	Frecuencia ultrasónica (Herz)	Agitación (RPM)
T1	70%	0	0
T2	70%	0	150
T3	70%	40	0
T4	70%	40	150
T5	96%	0	0
T6	96%	0	150
T6	96%	40	0
T8	96%	40	150

Este diseño se considera adecuado porque:

- Permitió comparar directamente los tres factores de extracción entre sí y saber cuál es más eficiente.
- Permitió evaluar el efecto de la concentración del solvente, determinando si el etanol al 70 % o al 96 % extrae mayor cantidad de colorante.
- Optimizó los ensayos experimentales, aprovechando cada condición para obtener resultados comparativos claros.
- Facilitó el análisis estadístico mediante análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los resultados obtenidos.

2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las pruebas como Tukey son útiles para comparar tratamientos ante diferencias significativas. Las técnicas de procesamiento y análisis de datos son cruciales para evaluar la eficiencia en la extracción de colorantes con soluciones hidroalcohólicas asistidas por ultrasonido, permitiendo interpretar resultados y seleccionar condiciones óptimas, lo que respalda la reproducibilidad y validación de la investigación.

El análisis de datos es clave para evaluar la eficacia de la extracción de colorantes con soluciones hidroalcohólicas y ultrasonido. Las pruebas de comparación múltiple, como Tukey, ayudan a identificar diferencias significativas entre tratamientos y seleccionar condiciones óptimas, validando así la investigación.

Los datos recolectados fueron organizados en hojas de cálculo y procesados mediante software estadístico especializado (Minitab). Las técnicas de análisis utilizadas fueron:

a. Análisis descriptivo:

Se calcularon promedios, desviación estándar y coeficientes de variación de los datos de rendimiento, pH, solubilidad, parámetros de color y absorbancia.

b. Análisis de varianza (ANOVA):

Permitió determinar si existieron diferencias significativas entre los métodos de extracción y entre los diferentes niveles de tiempo y concentración.

Se evaluó tanto el efecto principal de cada factor como las interacciones entre factores.

c. Pruebas post-hoc (Tukey o Duncan):

Se aplicaron en caso de encontrarse diferencias significativas, con la finalidad de identificar qué tratamientos fueron estadísticamente superiores.

d. Análisis cromatográfico (TLC):

Se procesaron los datos de los cromatogramas para identificar los compuestos característicos y asociarlos con la capacidad tintórea del colorante.

e. Representación gráfica:

Los resultados fueron presentados en tablas y gráficos (barras, dispersión y comparativos de espectros de absorción), lo que permitió una interpretación visual clara.

f. Contrastación de hipótesis:

Se verificó la validez de las hipótesis específicas mediante los resultados experimentales y estadísticos, confirmando qué método de extracción resultó más eficiente y viable para la industria alimentaria.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Extracción de colorantes

La extracción de estos pigmentos a partir de la ñuñunga representa una etapa fundamental para su posterior aprovechamiento como colorantes naturales. En este proceso, se empleó solución hidroalcohólica, frecuencia de ultrasonido y agitación, resultando factores muy importantes en el proceso de extracción de los compuestos pigmentarios depende de sus características químicas y de la polaridad del medio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Rendimiento de los tratamientos de extracción de colorante.

Tratamientos	Solución [OH]	Frecuencia ultrasónica (Herz)	Agitación (RPM)	Rendimiento (%)	DS
T1	70%	0	0	25.47	$\pm 0.1984^c$
T2	70%	0	150	28.50	$\pm 0.3013^b$
T3	70%	40	0	29.47	$\pm 0.2517^{ab}$
T4	70%	40	150	30.48	$\pm 0.2930^a$
T5	96%	0	0	11.65	$\pm 0.1894^f$
T6	96%	0	150	15.03	$\pm 0.1155^e$
T7	96%	40	0	15.97	$\pm 0.2082^e$
T8	96%	40	150	19.00	$\pm 0.2646^d$

La Tabla 3 presenta cómo la concentración de la solución hidroalcohólica, la frecuencia del ultrasonido y la rapidez de agitación afectan el rendimiento al extraer colorante vegetal. Los hallazgos muestran importantes diferencias entre los tratamientos,

resaltando que las soluciones hidroalcohólicas con 70% de etanol mostraron un rendimiento más alto que las soluciones con 96 %.

Los tratamientos efectuados con alcohol al 70 % mostraron un rendimiento que osciló entre el 25,40 % y el 30,50 %, siendo T1 (70 % de alcohol, 0 Hz y 0 rpm) el de menor rendimiento. El más alto, por otro lado, fue en T4 (70 % de alcohol, 40 Hz y 150 rpm), alcanzando un 30,48 %. Por el contrario, al utilizar una concentración de alcohol del 96 %, los rendimientos disminuyeron notablemente, fluctuando entre el 11,65 % y el 19,00 %. Dentro de esta concentración, T5 fue la opción con menor rendimiento y T8 la que tuvo más rendimiento.

Tomando en cuenta el promedio de los cuatro tratamientos para cada concentración, la solución hidroalcohólica al 70% tuvo un rendimiento medio del 28,48 %, frente a un promedio de 15,41% que mostró el alcohol al 96 %. Por lo tanto, según las condiciones analizadas, el uso de un 70% de etanol logró un rendimiento medio alrededor del 85.5 % superior al que se obtuvo con el 96 %. La razón de este comportamiento puede ser que las mezclas de agua y etanol tienen una capacidad más alta para impulsar la extracción de ciertos pigmentos, especialmente los de carácter hidrofílico. Linares y Rojas (2022), afirman que es posible aumentar la productividad de pigmentos hidrofílicos (como betalainas y antocianinas) mediante el uso de agua junto con un solvente orgánico, ya que esto produce cambios en la polaridad y mejora la interacción con la matriz vegetal.

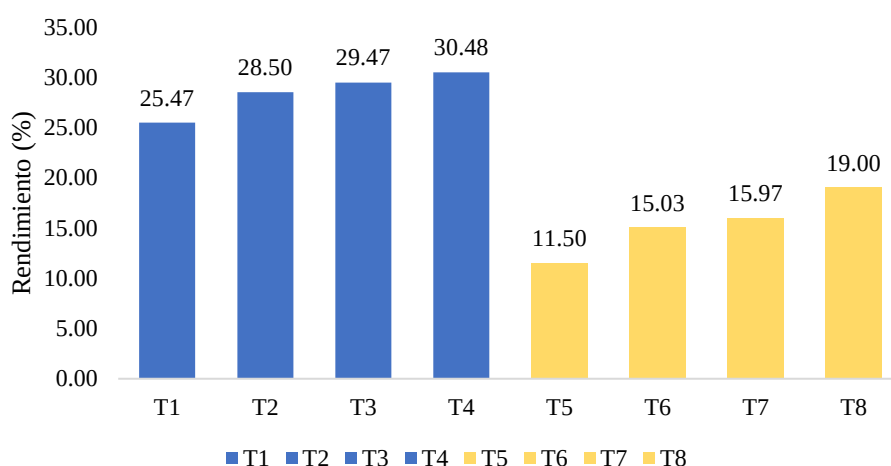
Además, la frecuencia ultrasónica mostró una tendencia positiva en cuanto al rendimiento. El rendimiento medio fue de cerca del 20,13 % sin ultrasonido, pero cuando se utilizó a 40 Hz subió a un 23,75 %. Cuando se unieron 70 % de etanol, 150 rpm de agitación y 40 Hz de ultrasonido, se obtuvo el rendimiento individual más alto, que fue del 30.5 %. Este comportamiento puede ser explicado por el fenómeno de cavitación acústica que generan los ultrasonidos, el cual promueve la ruptura o permeabilización de

estructuras celulares y hace más sencillo que los pigmentos se transfieran del tejido vegetal al solvente. Según la literatura, la eficiencia de recuperación de pigmentos puede aumentar y el tiempo que se requiere para la extracción disminuir si se utiliza extracción asistida por ultrasonido. (Kumar et al., 2025).

De manera análoga, la agitación a 150 rpm mostró una tendencia favorable. El rendimiento medio de los tratamientos sin agitación fue de 20,63 %, por otro lado, el de los que fueron sometidos a 150 rpm fue cercano a 23,25 %. El aumento podría estar vinculado con una transferencia de masa más eficiente y una renovación más frecuente del disolvente que está en contacto con la superficie de la materia prima. En los procesos de extracción con ultrasonido, los factores que pueden cambiar significativamente la eficacia del proceso son el estado sólido-líquido, las propiedades del disolvente y las condiciones de mezcla. (Linares & Rojas, 2022).

Figura 5

Rendimientos de extracción del colorante de Ñuñunga.



Un factor especialmente relevante es que el impacto de la concentración de etanol fue mucho más evidente que el efecto aislado de la agitación o de la frecuencia ultrasónica. Esto se puede notar cuando se comparan T4 y T8: los dos tratamientos usaron

150 rpm y 40 Hz, pero el tratamiento T4, que tenía un 70 % de etanol, llegó al 30,50 %, en cambio el tratamiento T8, con un 96 %, solo llegó al 19,00 %. Esta diferencia de 11,5 puntos porcentuales señala que la composición del solvente es un elemento decisivo para recuperar el colorante en la materia prima analizada.

Los hallazgos indican que la concentración de etanol debe optimizarse según el pigmento en cuestión. Estudios de extracción asistida por ultrasonido sugieren que reducir la proporción de etanol puede mejorar la recuperación de pigmentos hidrofílicos, aunque la concentración ideal varía según el compuesto y la matriz vegetal.

El Análisis de variancia del rendimiento de la extracción del colorante (anexo 05), se muestra que los hallazgos señalan que la concentración de la solución hidroalcohólica afectó significativamente el rendimiento de extracción, siendo este mayor con un 70 % de etanol (28,50 % de rendimiento promedio) que con un 96 % (15,38 %). Además, se observó que el rendimiento tiende a aumentar cuando se aplica ultrasonido de 40 Hz y agitación de 150 rpm. El tratamiento T4 logró el mayor rendimiento experimental (30,5 %), por lo que inicialmente podría considerarse como la condición más propicia de los tratamientos analizados, siempre y cuando se confirme a través del análisis estadístico correspondiente (ANOVA y prueba de comparación de medias).

Tabla 4

Prueba de tukey para rendimiento de la extracción de colorante.

Tratamientos	N	Media	Agrupación			
T4	3	30.48	A			
T3	3	29.47	A	B		
T2	3	28.50		B		
T1	3	25.47			C	
T8	3	19.00				D
T7	3	15.97				E
T6	3	15.03				E
T5	3	11.65				F

Los resultados de la prueba de comparación múltiple de Tukey de la tabla 4, se utilizó para reconocer diferencias significativas en el rendimiento del proceso de extracción de colorante a través de ocho tratamientos diferentes (T1 a T8). Todos los tratamientos según el diseño incluyen un número de repeticiones $N=3$. Conforme al criterio de Tukey, la columna Agrupación agrupa tratamientos que no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos, y los valores representan el rendimiento medio.

El mejor tratamiento fue el T4, que incluye el grupo A y presenta la media más elevada (30.48%), es el tratamiento con mejor desempeño en la extracción. Como no comparte letra con ningún otro grupo, es estadísticamente mejor que todos los demás. Los tratamientos T3 (29.47) y T4 (28.50) constituyen el grupo B, no con diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero sí con un rendimiento significativamente inferior al de T4 y superior al de las terapias de los grupos siguientes.

El grupo C incluye el tratamiento T1 (25.47), con rendimiento intermedio y diferencias significativas con otros grupos. El tratamiento T8 (19.00) pertenece al grupo D, que tiene un rendimiento significativamente más bajo en comparación con los grupos anteriores. Los tratamientos T7 (15.97) y T6 (15.03) forman el grupo E, sin diferencias significativas entre ellos, y con promedios bastante bajos. El tratamiento T5 (11.65) tiene el valor más bajo y constituye el grupo F, por lo que es estadísticamente el de menor desempeño.

Por lo tanto, los tratamientos T4 y T3 son los que alcanzaron el mayor rendimiento y son estadísticamente iguales, además se nota una tendencia a la baja en el rendimiento desde T2 hasta T5, con una división estadística evidente entre los grupos: $A > B > C > D > E > F$. Ningún tratamiento tiene en común más de un grupo, lo que indica una gran discriminación entre las condiciones analizadas.

3.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas

3.2.1. pH

Los valores de pH determinados en los extractos de *Solanum nitidum* mostraron un comportamiento uniformemente ligeramente ácido en todas las fracciones evaluadas, sin registrarse valores extremos que comprometan su uso potencial, como se detalla en la tabla 5.

Tabla 5

Valores de pH según concentración de etanol y método de extracción.

Tratamiento	Solución [OH]	Frecuencia ultrasónica (Herz)	Agitación (RPM)	pH	DS
T1	70%	0	0	5.24 ± 0.014 ^f	
T2	70%	0	150	5.32 ± 0.021 ^{ef}	
T3	70%	40	0	5.40 ± 0.018 ^{bcd}	
T4	70%	40	150	5.46 ± 0.021 ^a	
T5	96%	0	0	5.36 ± 0.012 ^{de}	
T6	96%	0	150	5.38 ± 0.025 ^{cde}	
T7	96%	40	0	5.42 ± 0.018 ^{bc}	
T8	96%	40	150	5.45 ± 0.032 ^{ab}	

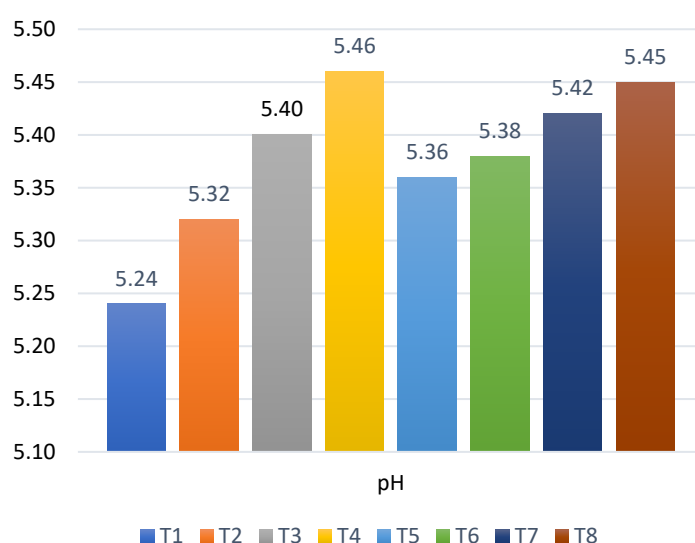
Los valores de pH determinados en los extractos obtenidos a partir de *Solanum nitidum* mostraron un comportamiento uniformemente ligeramente ácido, con etanol al 70 %, el pH varía entre 5,24 (T1) y 5,46 (T4).

El tratamiento con etanol T4 (etanol 70 %, 40 Hertz, 150 RPM) tiene el valor de pH (5.46) más alto de toda la tabla, lo que señala que en estas condiciones el medio es más alcalino, no registrándose valores extremos que comprometan su potencial aplicación como colorante natural en alimentos. Cuando se utiliza etanol al 96 %, el pH permanece en un rango más reducido y de manera sistemática más bajo: entre 5.36 (T5) y 5.45 (T8). Esto indica que el incremento en la concentración de etanol tiende a disminuir y estabilizar el pH del extracto, sin importar los demás factores que se hayan utilizado.

En todos los tratamientos, la desviación estándar (DS) es muy baja (entre $\pm 0,012$ y $\pm 0,032$), lo que evidencia una gran exactitud y repetibilidad en las determinaciones de pH. De acuerdo con Skoog et al., (2015), si una desviación estándar es menor que 0,03 unidades de pH, se confirma que los resultados son consistentes y el método de medición es confiable.

Figura 6

Variación del pH según tratamientos de extracción de colorante.



En la figura 6, el valor final de los extractos se vio afectado de manera individual y en conjunto por la concentración de etanol, la agitación y la fuerza ultrasónica. El pH más alto ($5.46 \pm 0,021$) se observó al tratar con etanol al 70 % y 150 RPM (T4), en contraste con el etanol al 70 % sin agitación ni ultrasonido (T1), que mostró el más bajo ($5,24 \pm 0,014$). Los tratamientos con etanol al 96 %, por su parte, presentaron valores de pH más uniformes , lo que indica que esta concentración otorga una mayor estabilidad al medio en cuanto a su acidez.

Es crucial controlar el pH a lo largo del proceso de extracción porque afecta la estabilidad, la solubilidad y el rendimiento de recuperación de compuestos que son relevantes, como los metabolitos secundarios o los colorantes (Pérez et al., 2018). Los

resultados conseguidos posibilitan elegir las condiciones más apropiadas, de acuerdo con el rango de pH que se quiere para el proceso.

Este comportamiento sugiere que la concentración del solvente influye en la acidez del extracto, probablemente debido a que mezclas hidroalcohólicas más diluidas favorecen la extracción de compuestos ácidos de naturaleza polares (como ácidos orgánicos y grupos fenólicos presentes en las antocianinas), mientras que concentraciones más altas de etanol reducen la proporción de agua en el medio, disminuyendo la liberación de protones y elevando consecuentemente el pH. En este sentido, Khoo et al. (2017) señalan que las antocianinas son pigmentos solubles en agua pertenecientes al grupo de los compuestos fenólicos, cuya estructura y propiedades ácido-base dependen fuertemente del medio de extracción y de la polaridad del solvente utilizado. Por su parte, Delgado et al. (2000) indican que los extractos vegetales ricos en pigmentos presentan generalmente reacción ácida, atribuida tanto a los propios pigmentos como a otros metabolitos secundarios co-extraídos, coincidiendo con los hallazgos del presente estudio.

Por otro lado, el método de extracción también mostró cierta influencia: la extracción asistida por ultrasonido produjo los valores de pH más elevados, especialmente con etanol al 70 % (T4: 5,46), en tanto que la maceración con etanol al 70 % registró el valor más bajo (T1: 5,24). Al respecto, Chemat et al. (2011) mencionan que la extracción asistida por ultrasonido puede modificar el perfil de compuestos recuperados respecto a métodos convencionales, debido a los efectos de cavitación que favorecen la liberación selectiva de ciertos metabolitos, lo que explicaría las diferencias observadas en los valores de pH entre métodos. Asimismo, Azmir et al. (2013) indican que la selección del solvente y la técnica de extracción determinan el tipo y proporción

de compuestos bioactivos extraídos, influyendo directamente en las propiedades fisicoquímicas del producto final.

Es relevante destacar que todo el rango de pH obtenido se sitúa en valores levemente ácidos, lo cual es una característica favorable para el uso del colorante en la industria alimentaria, ya que Khoo et al. (2017) y Xue et al. (2024) señalan que las antocianinas presumiblemente los principales pigmentos presentes en *Solanum nitidum* presentan mayor estabilidad en condiciones ácidas.

Para ver el análisis de variancia entre tratamientos y sus efectos de significancia se muestra en el anexo 06, estos resultados del análisis de varianza (ANOVA) se utilizó para determinar la importancia estadística de tres factores y sus interacciones en el pH del colorante extraído se muestran en la Tabla 7. Los tres factores son: concentración de hidróxido/etanol ([OH]), fuerza ultrasónica (FU) y agitación (AGIT). Se especifican el número de grados de libertad (GL), la suma de cuadrados (SC), la media de cuadrados (MC), el valor F y el nivel de significancia (valor p). El modelo también toma en cuenta las interacciones dobles y la triple interacción de los factores.

Si bien los valores obtenidos son ligeramente superiores al rango óptimo de estabilidad reportado en la literatura (pH 2–4), se mantienen alejados de la neutralidad o alcalinidad donde los pigmentos pierden su coloración característica. Esta acidez moderada podría además complementarse con ajustes sencillos en formulación, sin que represente una limitación sustancial para su aplicación práctica.

El ANOVA del anexo 06 revela que todos los factores analizados concentración, fuerza ultrasónica y agitación, así como sus interacciones tienen un impacto significativo en el pH del colorante extraído ($p < 0,001$). La fuerza ultrasónica es el factor de mayor impacto, seguido de la agitación, mientras que la concentración tiene un efecto menor. Las interacciones significativas indican que es crucial considerar la combinación de estos

factores para determinar las condiciones ideales, validando la solidez de los resultados obtenidos.

El p (valor) es menor a 0,05 en todos los casos, lo que señala que los tres factores principales tienen un impacto significativo en el pH del extracto. Se satisface el criterio de rechazo de la hipótesis nula de igualdad entre las medias.(Montgomery, 2022).

Tabla 6

Prueba de tukey para el pH de los extractos de colorante.

Tratamientos	N	Media	Agrupación			
T4	3	5.4627	A			
T8	3	5.4567	A	B		
T7	3	5.4236		B	C	
T3	3	5.4067			C	D
T6	3	5.3867			C	D E
T5	3	5.3650				D E
T2	3	5.3200				E F
T1	3	5.2433				F

Los hallazgos de la prueba de comparación múltiple de Tukey se exponen en la Tabla 6. Esta prueba se llevó a cabo después del análisis de varianza con el propósito de establecer si existían discrepancias significativas entre los valores medios del pH de los extractos de colorante, que se obtuvieron a partir de ocho tratamientos diferentes. Se especifican la cantidad de repeticiones (N), el promedio del pH por tratamiento y la clasificación por letras, en la que los tratamientos con letras iguales no muestran diferencias significativas desde el punto de vista estadístico ($p > 0,05$).

Finalmente, Bañico (2022) en estudios previos sobre *Solanum nitidum* ("ñuñunga") identificó la presencia de compuestos fenólicos en sus extractos hidroalcohólicos, lo que corrobora que el carácter ácido observado en el presente estudio se debe probablemente a la estructura química de dichos compuestos, cuyos grupos hidroxílicos confieren acidez al medio. En consecuencia, los valores de pH obtenidos

confirman la idoneidad del etanol como solvente y de las técnicas evaluadas para obtener extractos con características fisicoquímicas adecuadas y estables, aptos para su posterior aprovechamiento como colorante natural.

La prueba de Tukey demuestra que el tratamiento T1 genera extractos con un pH notablemente más alto en comparación con los demás, mientras que los valores más bajos y significativamente diferentes del resto corresponden a T8. Los tratamientos intermedios presentan variaciones graduales con traslapes entre grupos sucesivos, lo que indica una respuesta constante del pH frente a las modificaciones en las condiciones de extracción.

3.2.2. Solubilidad

Los resultados de la solubilidad de los extractos de colorantes se observan en la tabla 7.

Tabla 7

Valores de solubilidad de los extractos de colorante obtenidos por tratamientos.

Tratamiento	% de solubilidad	DS
T1	1.269	±0.0023
T2	1.391	±0.0081
T3	1.528	±0.0075
T4	1.696	±0.0111
T5	1.319	±0.0059
T6	1.382	±0.0070
T7	1.682	±0.0141
T8	1.705	±0.0069

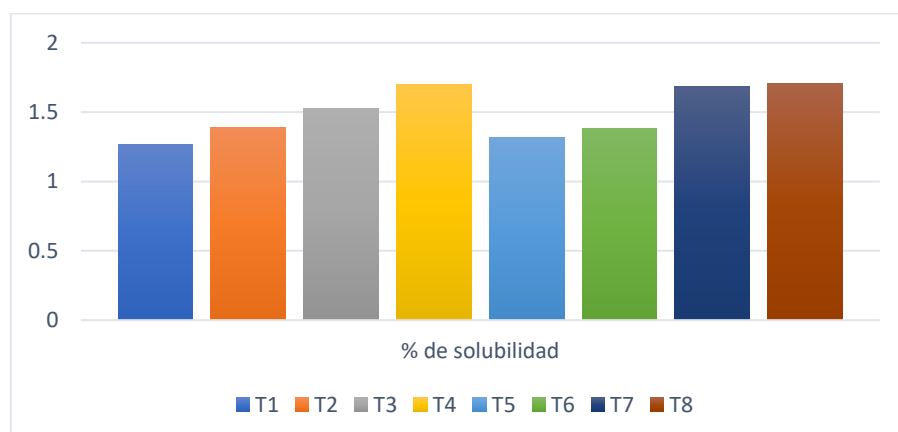
Los resultados de solubilidad en agua (%) de los ocho tratamientos analizados se muestran en la Tabla 7. Se observó una variabilidad entre las formulaciones, con valores que oscilaron entre 1,269 % y 1,705 %. La solubilidad más alta fue la del tratamiento T8

(1,71 %), después T4 (1,70 %) y luego T7 (1,68 %). Por otro lado, el valor más bajo fue T1, que tuvo un 1,27 %.

El porcentaje de solubilidad del extracto de ñuñunga varió significativamente según el tratamiento aplicado, registrando valores entre 1,269 % y 1,705 %. El tratamiento T8 presentó la mayor solubilidad (1,705 %) con excelente repetibilidad ($\sigma = \pm 0,0069$), seguido por T4 y T7. En contraste, T1 mostró el menor valor (1,269 %). Las bajas desviaciones estándar obtenidas en todos los ensayos confirman la precisión del método y la fiabilidad de los resultados. Se concluye que los tratamientos T8, T4 y T7 constituyen las condiciones más favorables para la solubilización de los compuestos del extracto de ñuñunga.

La solubilidad es una propiedad funcional relevante en los productos alimentarios en polvo porque muestra la habilidad de los sólidos que se encuentran en la muestra para disolverse o dispersarse en la fase acuosa, lo que afecta directamente a sus características de reconstitución, humectabilidad y dispersibilidad. Según la literatura, la solubilidad de un polvo está influenciada por variables como su densidad, composición química, tamaño y estructura de las partículas, porosidad y condiciones de rehidratación. (Barbosa-Canovas *et al.*, 2005).

Figura 7
Solubilidad porcentual de los extractos de ñuñunga (%).



En términos generales, para un extracto de colorante destinado a ser incorporado en alimentos, es preferible que tenga una mayor solubilidad, siempre que esta característica no comprometa la estabilidad del pigmento.

Cabe destacar que los valores de la tabla 7 y la figura 7 son relativamente bajos en comparación con ciertos polvos alimentarios obtenidos a través del secado por aspersión, los cuales han mostrado índices de solubilidad en agua significativamente más altos. Los valores de 15,36 a 30,15 % fueron observados en polvo de camote de pulpa anaranjada; por otra parte, se registraron del 62,56 al 83,52 % en polvo de cupuaçu. Entre otros elementos, la composición, el método de secado y el uso de agentes portadores pueden explicar estas diferencias (Oancea, 2021) .

En el ANOVA del anexo 07, los factores [OH], FU y AGIT presentan valores de $p = 0,0000$, menores que 0,05. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que cada uno de estos factores ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la solubilidad del colorante extraído.

Las interacciones $[OH] \times FU$ y $[OH] \times AGIT$ son altamente significativas ($p = 0,0000$). Esto significa que el efecto de [OH] sobre la solubilidad depende del nivel de FU y de AGIT, respectivamente. Por ello, estos factores no deben interpretarse únicamente de manera independiente; es necesario analizar sus medias mediante gráficos de interacción y/o una prueba de comparación de medias.

Finalmente, la interacción triple $[OH] \times FU \times AGIT$ presenta $F = 36,79$ y $p = 0,0000$, siendo estadísticamente significativa. Esto indica que el efecto combinado de los tres factores sobre la solubilidad depende de la combinación específica de sus niveles. Por esta razón, para determinar las condiciones que maximizan la solubilidad, resulta necesario analizar las medias de los tratamientos y realizar la correspondiente comparación múltiple.

Tabla 8*Prueba de tukey para la solubilidad de los extractos de colorante.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T8	3	1.7063	A
T4	3	1.6975	A
T7	3	1.6827	A
T3	3	1.5282	B
T2	3	1.3918	C
T6	3	1.3824	C
T5	3	1.3190	D
T1	3	1.2691	E

El tratamiento T8 presentó la mayor media de solubilidad (1,7063), seguido de T4 (1,6975) y T7 (1,6827). Los tres tratamientos pertenecen al grupo A, por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

El tratamiento T1 presentó la menor solubilidad, con una media de 1,2691, perteneciendo al grupo E. De acuerdo con las medias obtenidas, los tratamientos pueden ordenarse de mayor a menor solubilidad: T8 (1,7063) > T4 (1,6975) > T7 (1,6827) > T3 (1,5282) > T2 (1,3918) $\approx$ T6 (1,3824) > T5 (1,3190) > T1 (1,2691).

En un extracto de colorante destinado a la industria alimentaria, generalmente es mejor que presente mayor solubilidad, especialmente si se pretende incorporarlo a alimentos o bebidas.

El disolvente etanólico al 70% mostró una respuesta más marcada a la aplicación de las técnicas intensificadoras, esto sugiere que la solubilización del colorante de *Solanum nitidum* tiene un carácter preferentemente hidrofílico, por lo que una proporción mayor de agua en el medio mejora la extracción. Según indican Dai & Mumper (2010), la selección de la polaridad del disolvente es determinante en la recuperación de compuestos fenólicos y pigmentos, ya que la similitud de polaridad entre el soluto y el medio incrementa la eficiencia de extracción. Por su parte, Azmir et al. (2013) señalan que mezclas hidroalcohólicas suelen ser superiores a alcoholes puros para la recuperación

de compuestos con grupos hidroxílicos, como ocurre con antocianinas y otros pigmentos fenólicos, lo que coincide con el mayor rendimiento relativo observado en el presente estudio a 70% de etanol. Esto confirma que el colorante de *Solanum nitidum* presenta carácter polar e hidrosoluble, característica que orienta su aplicación preferente en alimentos de matriz acuosa y medio ácido, tales como jugos, néctares, mermeladas y gelatinas (Oancea, 2021) .

3.2.3. Color

La variación de color es un parámetro muy importante en los alimentos, porque el color constituye uno de los primeros atributos que el consumidor percibe y puede influir en la aceptación visual, la identificación del producto y la percepción de calidad.

Los extractos del colorante fueron evaluados su color obteniendo en la tabla 9 los siguientes resultados.

Tabla 9
Valores del color y su variación en la escala de CIElab.

Tratamientos	L*	DS	a*	DS	b*	DS	ΔE	DS
T0	58.18	0.0000	27.34	0.0000	70.12	0.0000		
T1	48.55	±0.5173	25.37	±0.4309	78.41	±0.5072	12.86	±0.2255 ^c
T2	46.74	±0.6691	36.43	±0.5000	84.04	±0.5750	20.18	±0.1609 ^a
T3	42.07	±0.5244	40.45	±0.4613	72.51	±0.5969	20.91	±0.1710 ^a
T4	47.54	±0.4761	28.45	±0.4161	69.51	±0.5773	10.71	±0.4452 ^d
T5	49.24	±0.1015	26.05	±0.1000	81.12	±0.6045	14.23	±0.1852 ^c
T6	46.18	±0.3061	32.81	±0.3326	80.04	±0.1550	16.50	±0.1997 ^b
T7	47.07	±0.6511	26.05	±0.5076	81.12	±0.4517	15.69	±0.2892 ^c
T8	48.03	±0.3500	31.04	±0.3800	71.29	±0.5558	10.87	±0.1365 ^d

De acuerdos a los resultados podemos afirmar que el tratamiento más concentrado que se obtuvo fue el tratamiento T4(Sol. Hidroalcohólica 70%, 40 Herz de frecuencia de ultrasonido y 150 rpm) el cual alcanzo un valor de L* de 10.71, es decir un tono más próximo al patrón de comparación del extracto obtenido el cual fue el Ocre dorado

estándar (L^* : 58.18, a^* :27.34 y b^* :70.12), por lo que existe una diferencia perceptible bajo observación cuidadosa.

Para el caso de los valores a^* (tono verde-rojo), podemos decir que el tratamiento T3(40.45) alcanzo el mayor valor. Para el caso de los valores b^* (tono amarillo-azul), podemos decir que el tratamiento T2(84.04) alcanzo el mayor valor a amarillo.

Finalmente podemos decir que todos los tratamientos provocan un oscurecimiento y una intensificación del amarillo (ΔL^- , Δb^+), lo que señala que el proceso examinado genera un oscurecimiento general y una coloración más amarillenta. Estos resultados concuerdan con (Rodríguez, 2015), quien afirma que los colores más concentrados tienden a tener valores en luminosidad, mayor tono rojo y mayor valor azul.

Figura 8

Valores de ΔL , Δa y Δb en la escala CIElab del extracto de colorante,



De la figura 8, para medir la luminosidad todos los valores ΔL son negativos, lo que significa que todos los tratamientos producen una reducción de la claridad, es decir, la muestra se vuelve más oscura respecto al inicio. Los tratamientos que alcanzaron el mayor oscurecimiento fueron el T4 (-17,12), seguido del T8 (-16,64) y del T3 (-15,93)

y el tratamiento de menor oscurecimiento fueron el T5(-8,76) y el T7 (-8,76). De acuerdo a los resultados podemos decir que el extracto más concentrado fue el tratamiento T4.

Para el caso del tono rojo-verde (Δa^*), la mayoría de tratamientos aumenta el tono rojizo. Por lo tanto, los tratamientos con mayores valores de Δa positivo fueron el T6 (+14,81) y T3 (+13,45) con los cambios más intensos, es decir con mayor tono rojizo.

Para el caso del tono amarillo-azul (Δb^*), todos aumentan el amarillo, siendo los tratamientos de mayor aumento del amarillo el T2 (+27,04), seguido del T5 y T7 (+24,12) y el T6 (+23,04).

Todos los tratamientos provocan un oscurecimiento y una intensificación del amarillo (ΔL^- , Δb^+), lo que señala que el proceso examinado genera un oscurecimiento general y una coloración más amarillenta

Finalmente podemos afirmar que el T4 y el T8 producen el oscurecimiento más intenso, aunque con un incremento más contenido del amarillo. El T4 también apenas modifica el eje de rojo a verde. En contraste, los que menos cambios hacen en la claridad son el T5 y el T7, que además tienen una leve inclinación hacia el verde; por tanto, se diferencian del resto de los miembros del grupo. Esta afirmación concuerda con lo mencionado por (Hutchings, 1999).

En el ANOVA del anexo 08, los tres factores examinados ([OH], FU y AGIT), según el análisis de varianza de la tabla 13, tienen un impacto relevante en la cantidad de colorante que se extrae.

La relación entre las variables FU y AGIT es la más potente de todas ($F = 716,27$), lo que sugiere que dicha relación es crucial para el proceso. La interacción triple también es importante, así que el comportamiento del sistema depende de la unión de los tres factores. Este comportamiento fue sometido a la prueba de ordenamiento de Tuckey.

Tabla 10*Prueba de tukey para la ΔE de los extractos de colorante.*

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
T3	3	20.91	A	
T2	3	20.18	A	
T6	3	16.50	B	
T5	2	14.33		C
T7	3	14.23		C
T1	3	12.86		C
T8	3	10.87		D
T4	3	10.71		D

El tratamiento T3 presentó la mayor variabilidad del color (20,91), seguido de T2 (20.18). Los dos tratamientos pertenecen al grupo A, por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

El tratamiento T4 (10.71) presentó la menor variación del color en comparación con el patrón de colores tono Ocre base neutro, perteneciendo al grupo D. Esto indica que el tratamiento T4(10.71) y el tratamiento T8(10.87) presentaron una solubilidad significativamente menor que todos los demás tratamientos, de acuerdo con las medias obtenidas.

Para determinar los dos mejores tratamientos se consideró los criterio de mejor tratamiento (4 ptos) y segundo mejor tratamiento (2 ptos), de las variables: rendimiento, pH, solubilidad y variación de color; los resultados se muestra en la tabla 11:

Tabla 11*Selección de los dos mejores tratamientos según las variables en estudio.*

Tratamientos	Rendimiento	pH	Solubilidad	ΔE	Puntaje
T4	4	4	2	4	14
T8	0	2	4	2	8
T3	2	0	0	0	2

Nota; Mejor tratamiento (4 ptos), según mejor tratamiento (2ptos)

Finalmente podemos mencionar que el mejor tratamiento fue T4 (14 puntos) por haber alcanzado el mayor puntaje en el conjunto de criterios. Por lo tanto, T4 fue el mejor en rendimiento de extracción y variación de color (ΔE), pero fue segundo en solubilidad, porque presenta la menor solubilidad. El segundo mejor tratamiento por conjunto de criterios fue T8(8 puntos), por lo tanto se consideraron estos dos tratamientos para las evaluaciones siguientes.

3.3. Determinar los principales compuestos químicos presentes en el colorante natural extraído

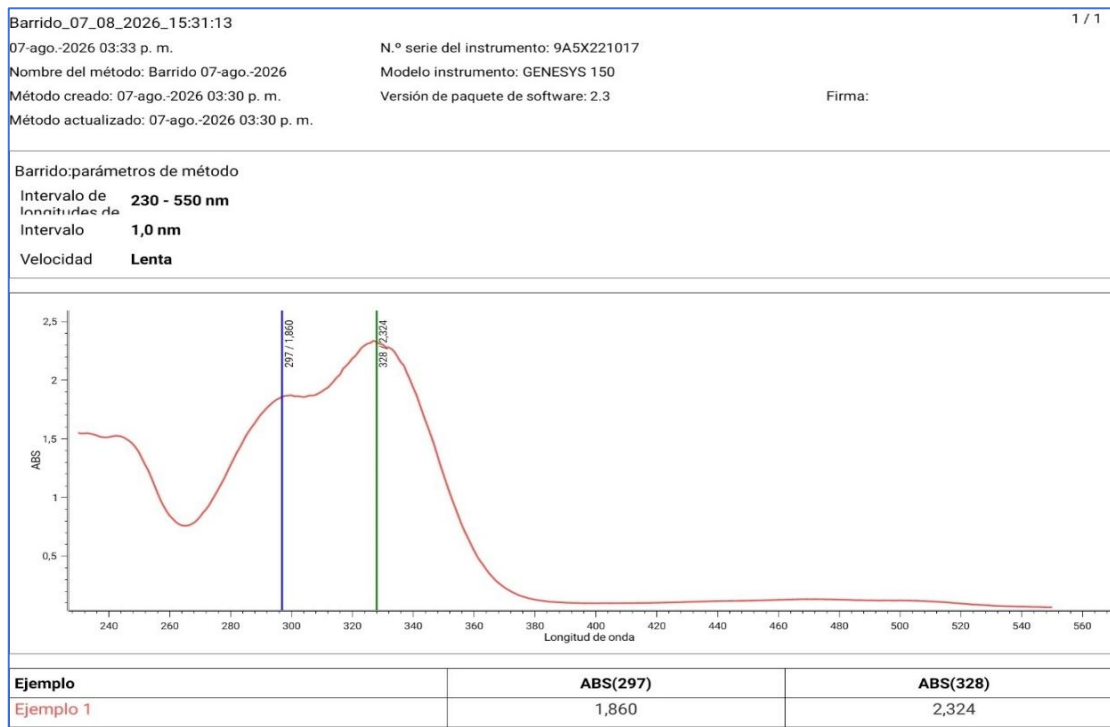
Para determinar los compuestos químicos presentes en el mejor tratamiento T4 responsables del color en el extracto de ñuñunga se realizó; a) Un barrido espectral, b) Una cromatografía en capa fina (TLC), tal como se detalla a continuación.

a) Identificación de los principales compuestos químicos por barrido espectral

El barrido espectral realizado para identificar la presencia de compuestos responsables del color se realizó en el rango de 230 a 550 nm, los picos de máxima absorción se observan en la figura 9.

Figura 9

Espectro de absorción UV-Vis del extracto hidroalcohólico de Solanum nitidum, rango 230–550 nm.



Nota: La ausencia de picos en la región visible sugiere que los compuestos mayoritarios son de naturaleza fenólica, confirmando los hallazgos obtenidos previamente por cromatografía en capa fina.

El análisis espectral mediante barrido en el rango de 230 a 550 nm del mejor tratamiento T4 permitió identificar la longitud de onda de máxima absorción ($\lambda_{\text{máx}}$) del extracto hidroalcohólico de *Solanum nitidum*, registrándose el valor más alto a 328 nm ($A = 2,324$), acompañado de un segundo máximo a 297 nm ($A = 1,860$). Este perfil de absorción, con banda principal en el rango de 320–330 nm y una banda secundaria cercana a 300 nm, es altamente característico de ácidos hidroxicinámicos, principalmente ácido cafeico y ácido ferúlico, compuestos que exhiben su máxima absorción en ultravioleta cercano debido a la conjugación de su estructura aromática con la cadena alifática insaturada.

En este sentido, Dai & Mumper (2010) Señalan que los ácidos cinámicos presentan sistemáticamente su banda de absorción principal entre 320 y 330 nm, y una segunda banda en torno a 290–300 nm, coincidiendo exactamente con los valores

obtenidos experimentalmente. Por su parte, Khoo et al. (2017) indican que los flavonoides también absorben en regiones cercanas, pero la posición precisa del máximo a 328 nm apunta con mayor fuerza a los derivados cinámicos como los componentes mayoritarios responsables de la respuesta espectral.

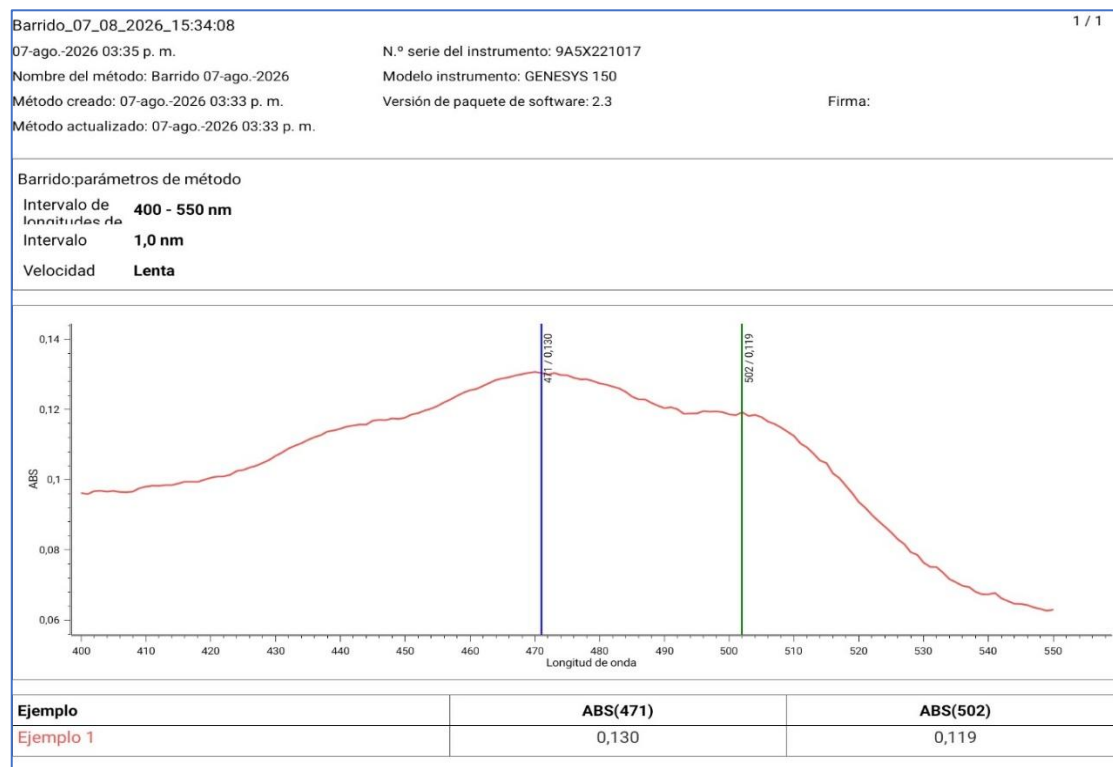
Es relevante destacar que no se registró absorción significativa en la región visible (480–550 nm), donde típicamente absorben las antocianinas. Esto sugiere que, en las condiciones de extracción empleadas, los pigmentos no se encuentran en la forma catión flavilio de color intenso, sino que predominan los ácidos fenólicos y flavonoides, compuestos que confieren propiedades antioxidantes y coloración más tenue, visible en el extracto, pero con absorción concentrada en el rango ultravioleta. Este hallazgo es consistente con Bañico (2022), quien reportó abundantes compuestos fenólicos en *Solanum nitidum*, y con Delgado et al. (2000), que describen cómo los ácidos cinámicos co-extraídos suelen dominar la respuesta espectral UV en extractos de especies del género.

La intensidad de absorción registrada permite además establecer una referencia cuantitativa relativa: a 328 nm se obtuvo la mayor respuesta, por lo que esta longitud de onda se recomienda para cuantificar estos compuestos en futuros ensayos, aprovechando la buena precisión y sensibilidad que ofrece la espectrofotometría UV-Vis en este rango, tal como mencionan Custodio et al. (2024) en su revisión sobre análisis cuantitativo de antocianinas y compuestos fenólicos en muestras vegetales.

El barrido espectral realizado para identificar la presencia de compuestos responsables del color se realizó en el rango de 400 a 550 nm, los picos de máxima absorción se observan en la figura 10.

Figura 10

Espectro de absorción UV-Vis del extracto hidroalcohólico de Solanum nitidum, rango 400 - 550 nm.



Nota: La magnitud de la absorbancia fue baja en todo el recorrido espectral, sin registrarse picos agudos ni absorción intensa en el rango característico de antocianinas (510–530 nm).

El análisis espectral realizado en el rango visible de 400 a 550 nm permitió caracterizar las propiedades de color del extracto hidroalcohólico de *Solanum nitidum* del tratamiento T4, registrando un máximo de absorción a 471 nm con valor de absorbancia de 0,130, y un segundo valor relevante a 502 nm con 0,119 de absorbancia. El perfil obtenido se presenta como una banda ancha y continua, sin picos definidos ni de alta intensidad en el rango de 510–530 nm, región espectral donde típicamente absorben las antocianinas en su forma catión flavilio coloreada.

El máximo de absorción ubicado a 471 nm se sitúa en la zona del espectro correspondiente a la luz azul-azul verdosa, lo que implica que el extracto refleja y transmite predominantemente longitudes de onda asociadas a tonos amarillentos, anaranjados y rojizos tenues. Esta coloración es característica de extractos ricos en ácidos

fenólicos y flavonoides, compuestos que presentan absorción débil en la región visible y mucho más intensa en el ultravioleta, tal como confirma la comparación con el barrido espectral previo, donde se registraron absorbancias superiores a 2,0 a 328 nm. Al respecto, Dai & Mumper (2010) señalan que los ácidos hidroxicinámicos y los flavonoides poseen bandas de absorción principales en el rango de 240–360 nm, manifestando en la región visible solamente absorción secundaria y de baja intensidad, lo que explica la diferencia de magnitud observada entre ambos espectros. Por su parte, Delgado et al. (2000) indican que los flavonoides sin sustitución específica en su estructura confieren coloraciones pálidas o tenues, en contraste con la coloración intensa que aportan las antocianinas.

La ausencia de un máximo definido en el rango 510–530 nm, característico de las antocianinas, sugiere que en las condiciones del extracto estos pigmentos no se encuentran en su forma catión flavilio la única forma estructural de color intenso. Este comportamiento está directamente relacionado con el pH levemente ácido del extracto (5,24–5,41), valor muy superior al rango de estabilidad óptima de las antocianinas (pH 1,0–3,0). Khoo et al. (2017) explican que a medida que el pH aumenta, el catión flavilio se transforma sucesivamente en carbinol pseudobase y entonces en quinoidal anhidra, formas que son incoloras o de coloración muy tenue. Asimismo, Xue et al. (2024) y Oancea (2021) confirman que por encima de pH 4,0 la pérdida de coloración en antocianinas es apreciable y progresiva, coincidiendo plenamente con los resultados obtenidos. De igual manera, Custodio et al. (2024) señalan que la cuantificación e identificación de antocianinas por espectrofotometría requiere ajustar previamente las muestras a pH ácido, precisamente para asegurar que los pigmentos se mantengan en su forma coloreada.

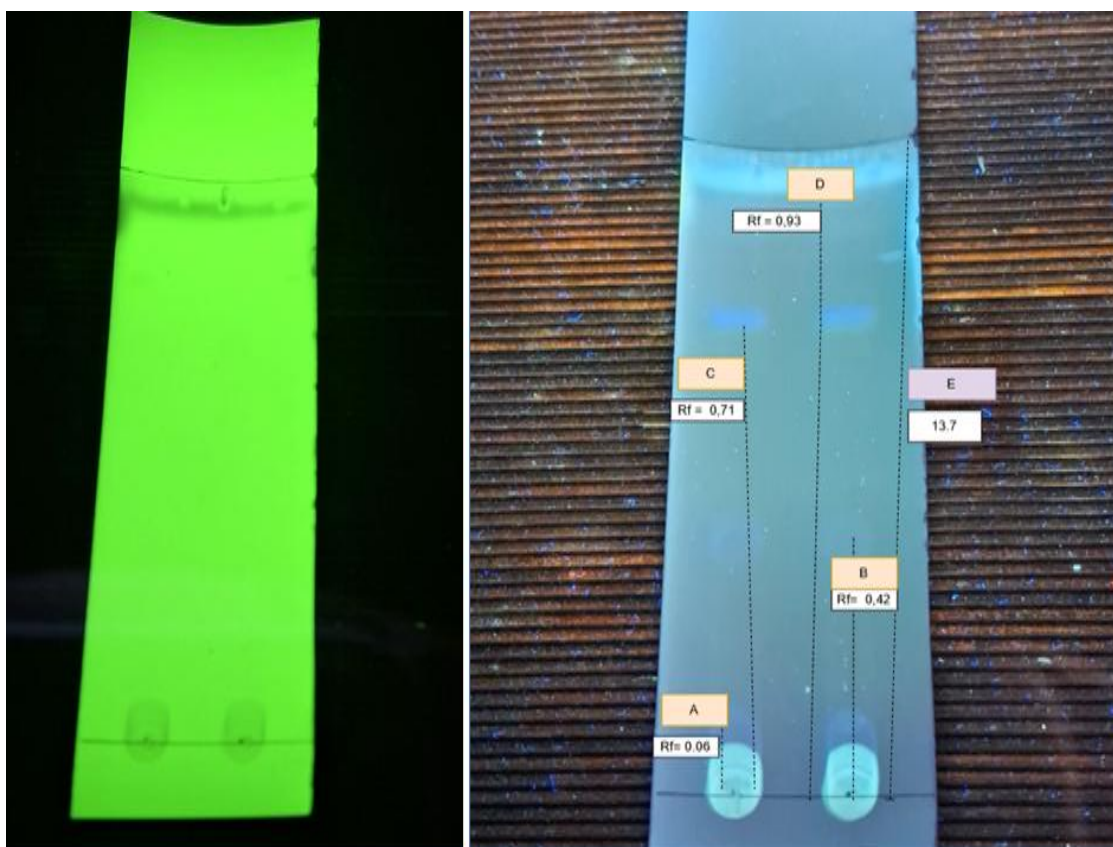
La baja magnitud de los valores de absorbancia registrados en la región visible (inferiores a 0,150) refuerza que la intensidad del color es moderada. Esto no significa que el extracto carezca de valor como colorante natural, sino que su coloración se origina principalmente por los ácidos fenólicos y flavonoides identificados por cromatografía en capa fina y espectrofotometría UV, compuestos que además de aportar color poseen reconocida actividad antioxidante. En este sentido, Carocho et al. (2015) mencionan que los colorantes naturales de origen vegetal frecuentemente presentan menor intensidad colorante que los sintéticos, pero aportan beneficios funcionales adicionales, lo que justifica su aprovechamiento en formulaciones donde se combine el matiz de color con propiedades saludables.

Los resultados obtenidos en la región visible complementan y refuerzan los hallazgos del análisis en región ultravioleta, permitiendo establecer que los metabolitos mayoritarios del extracto de *Solanum nitidum* son ácidos cafeicos, ferúlico y flavonoides, mientras que las antocianinas se encuentran en proporción reducida o en formas estructurales de baja coloración debido al pH del medio.

b) Determinación de compuestos químicos por cromatografía en capa fina (TLC)

Los resultados de determinación de compuestos químicos por cromatografía en capa fina (TLC) del mejor tratamiento T4, se observan en la siguiente figura 11.

Figura 11
Cromatografía de capa fina de las muestras.



El análisis cromatográfico en capa fina permitió caracterizar cualitativamente los compuestos presentes en los extractos de *Solanum nitidum*, revelando la separación de cuatro bandas bien definidas con valores de factor de retención (Rf) de 0,06; 0,42; 0,71 y 0,93 (Tabla 12) . Estos resultados evidencian que los metabolitos recuperados presentan distinta polaridad, desde sustancias muy polares con escasa movilidad en la placa hasta compuestos de afinidad reducida por la fase estacionaria.

Se usó la formula

El valor Rf (factor de retención o retardo) en cromatografía se saca dividiendo la distancia que recorre la sustancia entre la distancia que recorre el disolvente.

$$Rf = \frac{\text{Distancia recorrida por la sustancia (soluto)}}{\text{Distancia recorrida por el frente del disolvente}}$$

Tabla 12
Factor de retención obtenidas.

Compuesto	Rf Promedio $\pm$ DS
A	0,06 $\pm$ 0,01
B	0,42 $\pm$ 0,01
C	0,71 $\pm$ 0,01
D	0,93 $\pm$ 0,01

Nota, DS (desviación estándar).

El examen de las placas bajo luz ultravioleta a dos longitudes de onda complementó e interpretó este perfil.

A 254 nm se observaron zonas de absorción con tonalidad verdosa sobre fondo fluorescente, indicando compuestos que absorben intensamente radiación en esta región espectral, característica de estructuras aromáticas con sistemas de dobles enlaces conjugados.

A 366 nm, en cambio, se registraron señales definidas de fluorescencia violeta-azulada, correspondiente a la emisión propia de estos compuestos al ser excitados. Este patrón espectral dual absorción a 254 nm y fluorescencia a 366 nm coincide plenamente con el comportamiento descrito para compuestos fenólicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoides, tal como señalan Dai & Mumper (2010), quienes indican que los anillos aromáticos con conjugación electrónica son responsables de estas propiedades ópticas en extractos vegetales hidroalcohólicos.

La correlación entre los valores de Rf y el patrón de fluorescencia permitió proponer la identidad preliminar de los componentes separados. La banda con Rf = 0,42 presenta movilidad y respuesta espectral coincidente con el ácido cafeico, en tanto que la banda de Rf = 0,71 se ajusta al rango reportado para el ácido ferúlico. Esta identificación se ve reforzada además por el análisis espectrofotométrico UV-Vis, que registró máximos

de absorción a 297 nm y 328 nm, valores característicos precisamente de ácidos hidroxicinámicos como el cafeico y el ferúlico, confirmando que ambos métodos convergen en la misma conclusión sobre la naturaleza de los compuestos mayoritarios. Ambos ácidos cinámicos están ampliamente descritos en el género *Solanum*, y su presencia en *Solanum nitidum* se ve respaldada por los hallazgos de Bañico (2022), quien identificó compuestos fenólicos en extractos hidroalcohólicos de esta misma especie. Por su parte, la banda de $R_f = 0,06$ corresponde a compuestos de muy alta polaridad, probablemente flavonoides glicosilados, azúcares o ácidos orgánicos, que por su gran afinidad por la fase estacionaria de sílice migran escasamente.

Finalmente, la banda de $R_f = 0,93$ representa metabolitos de baja polaridad, posiblemente flavonoides agliconas o derivados menos polares, que recorren casi toda la placa junto con el frente del solvente. Estos resultados son consistentes con Khoo et al. (2017), que describen cómo el grado de glicosilación y la sustitución de las estructuras flavonoidales determinan su polaridad y comportamiento cromatográfico.

No se observaron diferencias cualitativas sustanciales en el número de bandas ni en sus valores de R_f entre los distintos tratamientos evaluados, lo que indica que ni la concentración de etanol ni el método de extracción alteraron la variedad ni la identidad química de los compuestos recuperados, sino que influyeron principalmente en su proporción relativa. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Azmir et al. (2013), quienes señalan que la selección del solvente y la técnica de extracción afecta fundamentalmente el rendimiento de recuperación, más que modificar el perfil cualitativo de metabolitos de una planta determinada.

En consecuencia, el análisis por cromatografía en capa fina, corroborado por espectrofotometría UV-Vis, confirmó preliminarmente que los extractos de *Solanum nitidum* están constituidos principalmente por ácidos fenólicos (cafeico y ferúlico) y

flavonoides en distinto grado de glicosilación, compuestos responsables tanto de las propiedades de color como de las potenciales cualidades antioxidantes y funcionales del colorante obtenido.

Para contrastar el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides identificados en la prueba de barrido espectral y en cromatografía de capa fina, se procedió a cuantificar el contenido de estos compuestos, sus resultados se observan en la tabla 13.

Tabla 13

Contenido de fenoles totales y flavonoides en el extracto de ñuñunga.

Tratamientos	Fenoles totales (mg GAE/g)	D.S	Flavonoides (mg QE/g)	D.S
T4	151.39	±0.1858 ^a	274.03	±0.1012 ^a
T8	122.33	±0.3308 ^b	210.02	±0.2314 ^b
T0*	104.67	±0.3704 ^c	195.61	±0.5454 ^c

La Tabla 15 muestra que el tratamiento T4 tuvo la mayor cantidad de fenoles totales (151,39 mg GAE/g de muestra) y flavonoides (274,03 mg QE/g de muestra), seguido por T8 con 122,33 mg GAE/g y 210,02 mg QE/g respectivamente. En contraste, T0 tuvo las cifras más bajas: 104,67 mg GAE/g de fenoles totales y 195,61 mg QE/g de flavonoides. El tratamiento T4 aumentó los niveles de flavonoides y fenoles totales en relación con T0, en un 40,1 % y un 44,7 %, respectivamente. Esta tendencia evidencia que las condiciones aplicadas en T4 favorecieron una mayor recuperación de compuestos bioactivos.

Los resultados obtenidos son coincidentes con los hallazgos de estudios efectuados en frutos cítricos. En dichas investigaciones, se ha notado que la cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides cambia dependiendo del tipo de especie, el tejido vegetal y las condiciones del procesamiento. Además, se ha establecido que una

concentración más elevada de estos compuestos puede correlacionarse con un mayor potencial antioxidante (Abeyasinghe et al., 2007; Xi et al., 2015).

Igualmente, la naringina y otros flavonoides son importantes por su conocida actividad antioxidante (Alam et al., 2014).

El presente estudio es el primero en caracterizar el extracto de frutos de *Solanum nitidum*, a diferencia de los trabajos de Berrocal (2018) y Venegas (2023), realizados con hojas. El tratamiento T4 resultó óptimo para la recuperación de fenoles y flavonoides, con contenidos cercanos a los reportados en hojas. El perfil espectral confirma que el fruto posee compuestos con capacidad de absorción en la región UV-B, y la TLC evidencia una composición cualitativamente rica y diferenciada. Estos resultados demuestran que el fruto de "ñuñunga" constituye una fuente alternativa y valiosa de metabolitos con potencial fotoprotector, revalorizando la especie y ampliando sus posibilidades de aprovechamiento integral.

Las desviaciones estándar bajas que se detectan señalan una disminuida variabilidad entre las determinaciones. No obstante, para determinar si las discrepancias observadas entre tratamientos son significativas desde el punto de vista estadístico, es preciso tener en cuenta los resultados del análisis de varianza y las pruebas correspondientes de comparación de medias.

3.4. Evaluación de las características colorimétricas del colorante natural en gelatina

Los dos mejores tratamientos de extracción de colorante a partir de ñuñunga fueron evaluados para ver su respuesta a las características de color en gelatina como matriz modelo, así como ver su capacidad para conferir coloración uniforme, con el fin de valorar su potencial alternativa a colorantes sintéticos, sin considerar propiedades nutricionales ni aptitud como alimento.

Los resultados de ΔE (Variación del color) en la matriz gelatina, se observan en la tabla 14.

Tabla 14

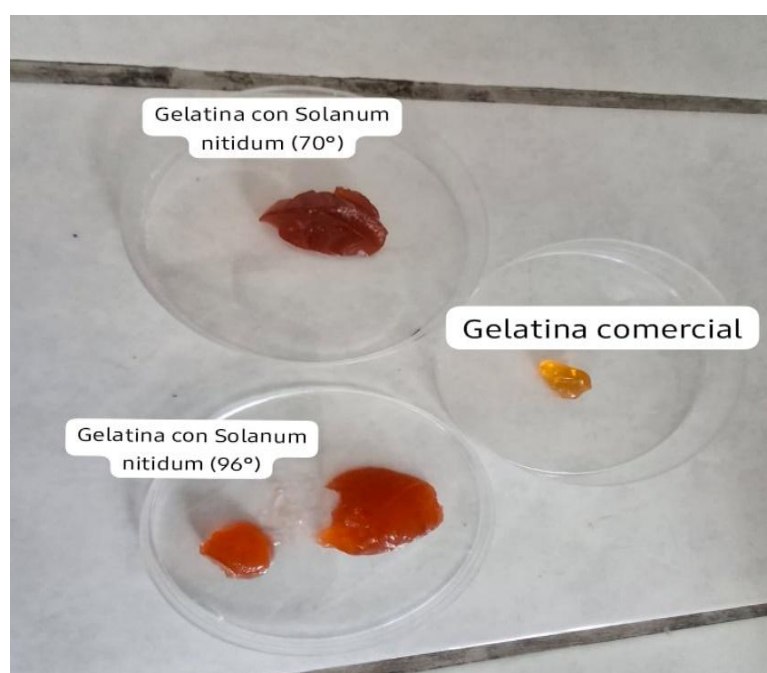
Valores de ΔE en gelatina de los mejores tratamientos.

Tratamientos	ΔE	D.S
T4 (70% OH, 40 hz, 150 rpm)	9.46	$\pm 0.1513^a$
T8 ((96% OH, 40 hz, 150 rpm)	18.47	$\pm 0.1582^b$

Los valores de la diferencia total de color (ΔE) que se obtuvieron en los tratamientos óptimos de gelatina de naranja están reflejados en la Tabla 16. El tratamiento T4 (70 % OH, 40 Hz y 150 rpm) mostró un valor de $\Delta E = 9,46 \pm 0,1513$. Por otro lado, el tratamiento T8 (70 % OH, 40 Hz y 150 rpm) tuvo un valor de $\Delta E = 18,47 \pm 0,1582$. Al comparar con un patrón de gelatina de naranja comercial ($L^*:43.48$, $a^*:31.73$, $b^*:71.35$). Los resultados visuales se muestran en la figura 12.

Figura 12

Muestras de gelatina con el colorante de extracto de ñuñunga.

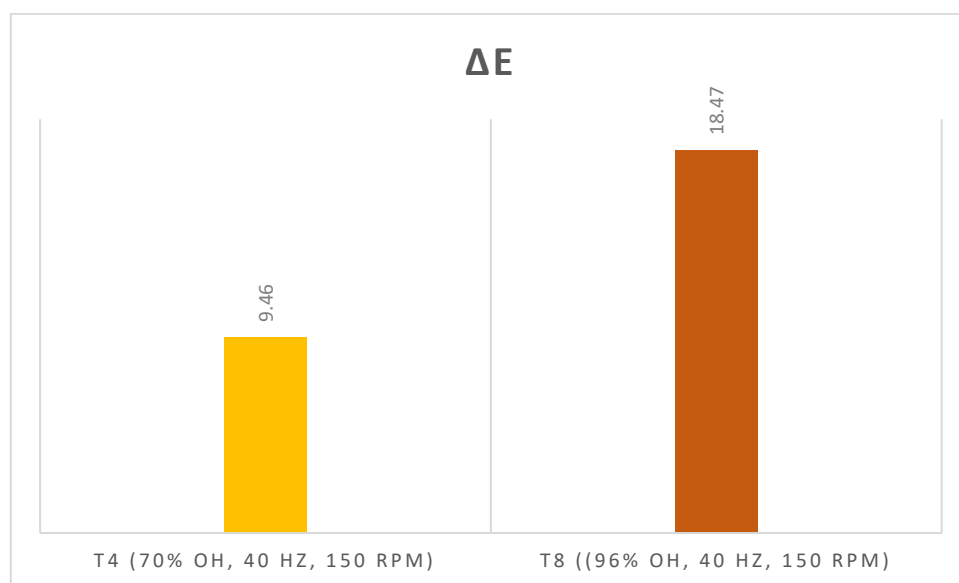


De acuerdo a los resultados de la evaluación podemos ver que el tratamiento T4, es el que más aceptación visual alcanzo y el que menos variación de color alcanzo ($\Delta E = 9,46 \pm 0,1513$), en relación al tratamiento T8($\Delta E = 18,47 \pm 0,1582$).

Este resultado concuerda con la afirmación de (De Flaviis et al., 2025), quienes manifiestan que la ΔE , o diferencia total de color, es un indicador instrumental que permite medir la variación global del color en una muestra en comparación con un color de referencia usando las coordenadas CIELAB (L^* , a^* y b^*). A menor ΔE , menor es la discrepancia con respecto al color de referencia.

Figura 13

Comparación de los valores de AE de los tratamientos T4 y T8.



En este sentido, en la figura 13, T4 mostró una variación de color aproximadamente un 48,8 % menor que T8, lo que demuestra que el color distintivo de la gelatina de naranja se conservó más. Desde la perspectiva tecnológica, es relevante este comportamiento porque el color es uno de los principales rasgos visuales de los alimentos y tiene el potencial de afectar las expectativas sensoriales y la aceptación del consumidor.

Asimismo, existe la cercanía al color naranja, lo cual es alentador, asimismo existe investigaciones que manifiestan que se ha comprobado que las diferencias de color en productos de naranja, establecidas a través de CIELAB, pueden vincularse con la percepción visual y las expectativas sobre las propiedades sensoriales del producto.(Wei et al., 2012).

Asimismo, las reducidas desviaciones estándar que se obtuvieron en los dos tratamientos señalan una variabilidad baja de las mediciones. Por lo tanto, T4 es el tratamiento más conveniente para mantener el color de la gelatina de naranja, ya que muestra el valor más bajo de ΔE cuando se analiza solamente la variación cromática.

CONCLUSIONES

1. Se logró extraer el colorante natural del fruto de ñuñunga (*Solanum nitidum*) mediante la combinación de factores (solución hidroalcohólica, frecuencia de ultrasonido y agitación, evaluándose 8 tratamientos, determinándose que el mejor tratamiento fue el T4 logrando un rendimiento de 30.5% en extracto. El proceso propuesto constituye una alternativa viable y sostenible para la obtención de colorante natural, como sustituto potencial de colorantes sintéticos en aplicaciones de la industria alimentaria.
2. Se determinó la influencia de las condiciones de extracción sobre las características fisicoquímicas del colorante natural de *Solanum nitidum*. El pH presentó un comportamiento ligeramente ácido (5,24–5,46), destacando T4 (5,46). La solubilidad de los extractos de *Solanum nitidum* el tratamiento T8 presentó la mayor solubilidad (1,7063%), seguido de T4 (1,6975 %) y T7 (1,6827 %), sin diferencias significativas entre ellos. Asimismo, T4 mostró la menor variación de color respecto al patrón Ocre estándar ($\Delta E = 10,71$), seguido de T8 ($\Delta E = 10,87$). En conjunto, T4 presentó el mejor comportamiento fisicoquímico, evidenciando condiciones favorables para la estabilidad y aplicación del colorante en matrices alimentarias.
3. El análisis mediante cromatografía en capa fina permitió identificar el perfil de componentes individuales del colorante, revelando la presencia de compuestos fenólicos y pigmentos del tipo antocianinas, responsables de la coloración observada y de las propiedades fisicoquímicas evaluadas. La composición cualitativa resultó acorde con las características botánicas y fitoquímicas descritas para la especie *Solanum nitidum*, confirmando su riqueza en metabolitos de interés colorante.
4. Se determinó los principales compuestos químicos presentes en el mejor tratamiento de extracción de colorante natural obtenido del fruto de *Solanum nitidum* (T4),

mediante extracción con solución hidroalcohólica, ultrasonido y posterior liofilización, revelando la presencia mayoritaria de compuestos fenólicos y flavonoides, de manera cualitativa (Por barrida espectral y por cromatografía de capa fina). De manera cuantitativa se determinó que el tratamiento T4 valores de Fenoles totales de 151 mg GAE/g de muestra y 274.03 mg QE/g de muestra de flavonoides, resultando superior al tratamiento T8(122.33 mg GAE/g de muestra y 210.02 mg QE/g de muestra de flavonoides), confirmando que estos compuestos son los que dar el color al extracto de *Solanum nitidum*.

5. Se evaluó las características colorimétricas del extracto *Solanum nitidum* como colorante natural en gelatina, determinándose que, de los mejores tratamientos, el T4 logro más aceptación visual y el que menos variación de color alcanzo ($\Delta E = 9,46 \pm 0,1513$), en relación al tratamiento T8($\Delta E = 18,47 \pm 0,1582$). Por lo que podemos afirmar que su capacidad para conferir coloración es uniforme, sin considerar propiedades nutricionales ni aptitud como alimento.
6. El tratamiento T4 (etanol 70 %, 40 kHz, 150 RPM) presenta el mayor rendimiento, mejor comportamiento fisicoquímico, mayor contenido de compuestos bioactivos y coloración más estable en producto formulado. Es la condición óptima para aprovechar *Solanum nitidum* como colorante natural en la industria alimentaria.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere profundizar en la identificación y cuantificación específica de los compuestos responsables de la coloración mediante cromatografía de líquidos de alta eficacia (HPLC), complementando el análisis cualitativo con patrones de referencia. Esto permitirá conocer con exactitud el tipo y contenido de pigmentos presentes, tales como antocianinas u otros compuestos fenólicos, y establecer su correlación con la tonalidad observada.
- Se recomienda ampliar la caracterización fisicoquímica evaluando la estabilidad del colorante ante variaciones de temperatura, luz y tiempo de almacenamiento, así como su comportamiento al incorporarlo en matrices alimentarias reales. Estos ensayos permitirán validar su comportamiento en condiciones reales de uso y determinar su vida útil como colorante natural.
- Se sugiere explorar concentraciones intermedias de etanol entre el 70 % y el 96 %, con el fin de identificar la proporción óptima que maximice tanto el rendimiento como la calidad del colorante extraído, perfeccionando así el proceso de obtención.
- Se recomienda realizar ensayos comparativos de estabilidad entre el colorante natural de ñuñunga y colorantes sintéticos de uso comercial, con el propósito de demostrar su viabilidad como alternativa sostenible y saludable para la industria alimentaria.
- Se recomienda purificar el extracto en futuros estudios. Esto permitirá aislar los compuestos de interés, eliminar interferencias y obtener un producto más estable, facilitando su caracterización precisa y su uso como colorante en la industria alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeyasinghe, D. C., Li, X., Sun, C., Zhang, W., Zhou, C., & Chen, K. (2007). Bioactive compounds and antioxidant capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species. *Food Chemistry*, 104(4), 1338-1344.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.047>
- AOAC. (2007). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (18th ed.). Oxford University Press.
- Alam, M. A., Subhan, N., Rahman, M. M., Uddin, S. J., Reza, H. M., & Sarker, S. D. (2014). *Effect of Citrus Flavonoids, Naringin and Naringenin, on Metabolic Syndrome and Their Mechanisms of Action* 2. *Advances in Nutrition*, 5(4), 404-417.
<https://doi.org/10.3945/an.113.005603>
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365–2376.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Barbosa, M. de S. G., Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). *Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews*. *Food Chemistry*, 292, 275-280.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.072>

- Bañico, E. (2022). *Efecto hepatoprotector del extracto hidroalcohólico de las hojas de Solanum nitidum Ruiz & Pavon “ñuñunga.”*
- Berrocal, S. (2018). *Contenido de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de Solanum nitidum R. & P. ñuñunga.*
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.007>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1981). *Ingeniería química: operaciones básicas (Vol. 2): Vol.2* (Reverté).
- Custodio, J. A., Aktaş, H., Zalewska, M., Wyrwisz, J., & Kurek, M. A. (2024). A Review of Quantitative and Topical Analysis of Anthocyanins in Food. *Molecules*, 29(8), 1735. <https://doi.org/10.3390/molecules29081735>
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

- De Flaviis, R., & Sacchetti, G. (2025). A 50-year theoretical gap on color difference in food science: Critical insights and new perspectives. *Journal of Food Science*, 90(6), e70317. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70317>
- Delgado, F., Jiménez, A. R., & Paredes, O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(3), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>
- Fellows, P. . (2017). *Food processing technology : principles and practice*. Woodhead Publishing.
- Ferruzzi, M. G., & Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003>
- Geankoplis, C. J. (2003). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (Cecsa).
- Hutchings, J. B. (1999). *Food colour and appearance* (2nd ed.). Aspen Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2373-4>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Kumar, G., Malakar, S., Kumari, S., Pawar, K., Kokane, S. B., Suri, S., & Arora, V. K. (2025). *Impact of ultrasound treatment on millets – quality assessment and implications: A review*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(14), 7632–7645. <https://doi.org/10.1002/jsfa.14349>

- Linares, G., & Rojas, M. L. (2022). Ultrasound-Assisted Extraction of Natural Pigments From Food Processing By-Products: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.891462>
- Łubek-Nguyen, A., Ziemichód, W., & Olech, M. (2022). Application of Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and Pharmaceutical Applications. *Applied Sciences*, 12(7), 3232. <https://doi.org/10.3390/app12073232>
- Mason, T., Chemat, F., & Vinatoru, M. (2011). The Extraction of Natural Products using Ultrasound or Microwaves. *Current Organic Chemistry*, 15(2), 237–247. <https://doi.org/10.2174/138527211793979871>
- Molina, A. K., Corrêa, R. C. G., Prieto, M. A., Pereira, C., & Barros, L. (2023). Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications. *Molecules*, 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>
- Montgomery, D. (2022). *Design and Analysis of Experiments*, (9th Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Mungwari, C. P., King'onde, C. K., Sigauke, P., & Obadele, B. A. (2025). Conventional and modern techniques for bioactive compounds recovery from plants: Review. *Scientific African*, 27, e02509. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02509>
- Nimbkar, S., Murugesan, P., Sinija, V. R., & Moses, J. A. (2025). Food processing: extraction. In *Utilizing Microfluidics in the Food Industry* (pp. 171–185). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13453-1.00010-3>

- Oancea, S. (2021). A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. *Antioxidants*, 10(9), 1337. <https://doi.org/10.3390/antiox10091337>
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)
- Rodriguez, Delia. (2015). *Food Carotenoids*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118864364>
- Pérez, E., García, L., & López, M. (2018). Influencia del pH y solvente en la extracción de compuestos bioactivos y colorantes naturales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(1), 45-58.
- Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., & Banerjee, K. (2020). Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 103(1), 23–39. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0201>
- Singh, M., Kelso, C., Price, W. E., & Probst, Y. (2020). Validated liquid chromatography separation methods for identification and quantification of anthocyanins in fruit and vegetables: A systematic review. *Food Research International*, 138, 109754. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109754>
- Soladoye, O. P., Juárez, M. L., Aalhus, J. L., Shand, P., & Estévez, M. (2015). Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential Implications on Human Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106–122. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12127>

- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2015). Fundamentos de química analítica (9na Ed.). Cengage Learning.
- Tzanova, M. T., Yaneva, Z., Ivanova, D., Toneva, M., Grozeva, N., & Memdueva, N. (2024). Green Solvents for Extraction of Natural Food Colorants from Plants: Selectivity and Stability Issues. *Foods*, 13(4), 605. <https://doi.org/10.3390/foods13040605>
- Venegas, R. (2023). *Actividad fotoprotectora in vitro del extracto hidroalcohólico de las hojas de Solanum nitidum R.&P.* <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/30e67e37-3f21-45d4-b829-f997d63b4a57/content>
- Wei, S.-T., Ou, L.-C., Luo, M. R., & Hutchings, J. B. (2012). Optimisation of food expectations using product colour and appearance. *Food Quality and Preference, Sensometrics* 2010, 23(1), 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.07.004>
- Welch, C. R., Wu, Q., & Simon, J. E. (2008). Recent Advances in Anthocyanin Analysis and Characterization. *Current Analytical Chemistry*, 4(2), 75–101. <https://doi.org/10.2174/157341108784587795>
- Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. *Food Chemistry: X*, 24, 101883. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883>
- Yan, S., Li, Y., Liu, J., Si, D., & Zhang, X. (2023). Guideline for extraction, qualitative, quantitative, and stability analysis of anthocyanins. *EFood*, 4(1). <https://doi.org/10.1002/efd2.59>

Yusoff, I. M., Mat Taher, Z., Rahmat, Z., & Chua, L. S. (2022). A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food Research International*, 157, 111268. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268>

ANEXOS

Anexo 1

Muestra el proceso para la obtención de la muestra.



Se realizó el pesaje inicial de la muestra de frutos, registrándose una masa de 571.3g mediante una balanza electrónica.



Se colocó la muestra previamente acondicionada en una bandeja, antes de introducirla en la estufa para el proceso de secado.



Se utilizó la estufa para realizar el secado de la muestra a una temperatura controlada de 40 °C.



Después de 6 días de secado a 40 °C, se retiró la muestra de la estufa para continuar con las etapas posteriores del procedimiento.



Se realizó el pesaje de la muestra después del proceso de secado, obteniéndose una masa de 232.0 g.

Anexo 2

Extracción por maceración.



Preparación: Se pesaron 20 g de muestra y se añadieron 200 mL de etanol al 70 % y 96 %, respectivamente.



Las mezclas se dejaron en reposo durante 7 días, protegidas de la luz, con agitación ocasional.



Luego se filtraron y se realizó una segunda extracción.



Anexo 3

Extracción por ultrasonido.



Se peso 20g de muestra.



Se le llevo a ultrasonido en etanol de 96° y 70°



Se filtro las muestras



Listos para ser
llevados al rotavapor.

Anexo 4

Extracción por agitación.



Anexo 5

Procedimiento para obtener extracto del fruto de Solanum nitidum.



se concentraron en evaporador rotatorio a 40 °C.



TRATAMIENTOS



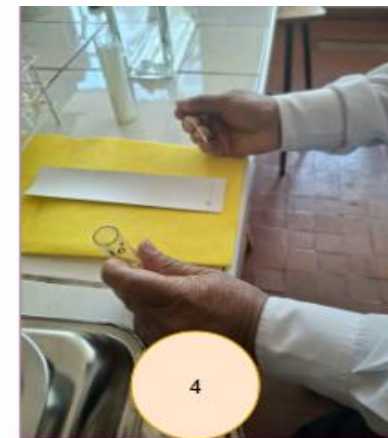
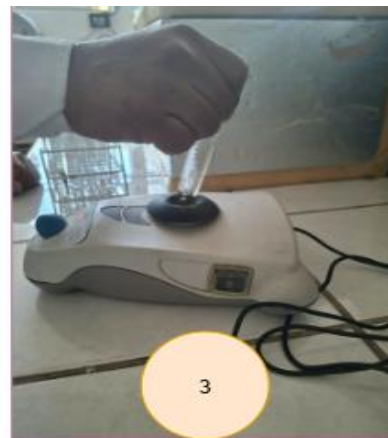
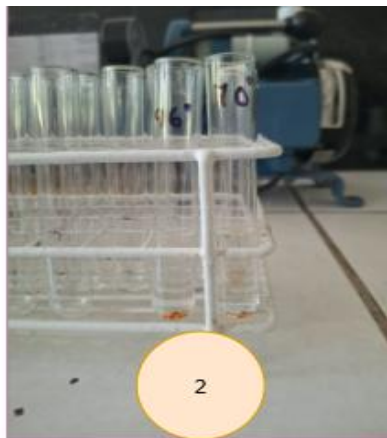
Se midieron el pH de los extractos obtenidos.



Se llevo al liofilizar.

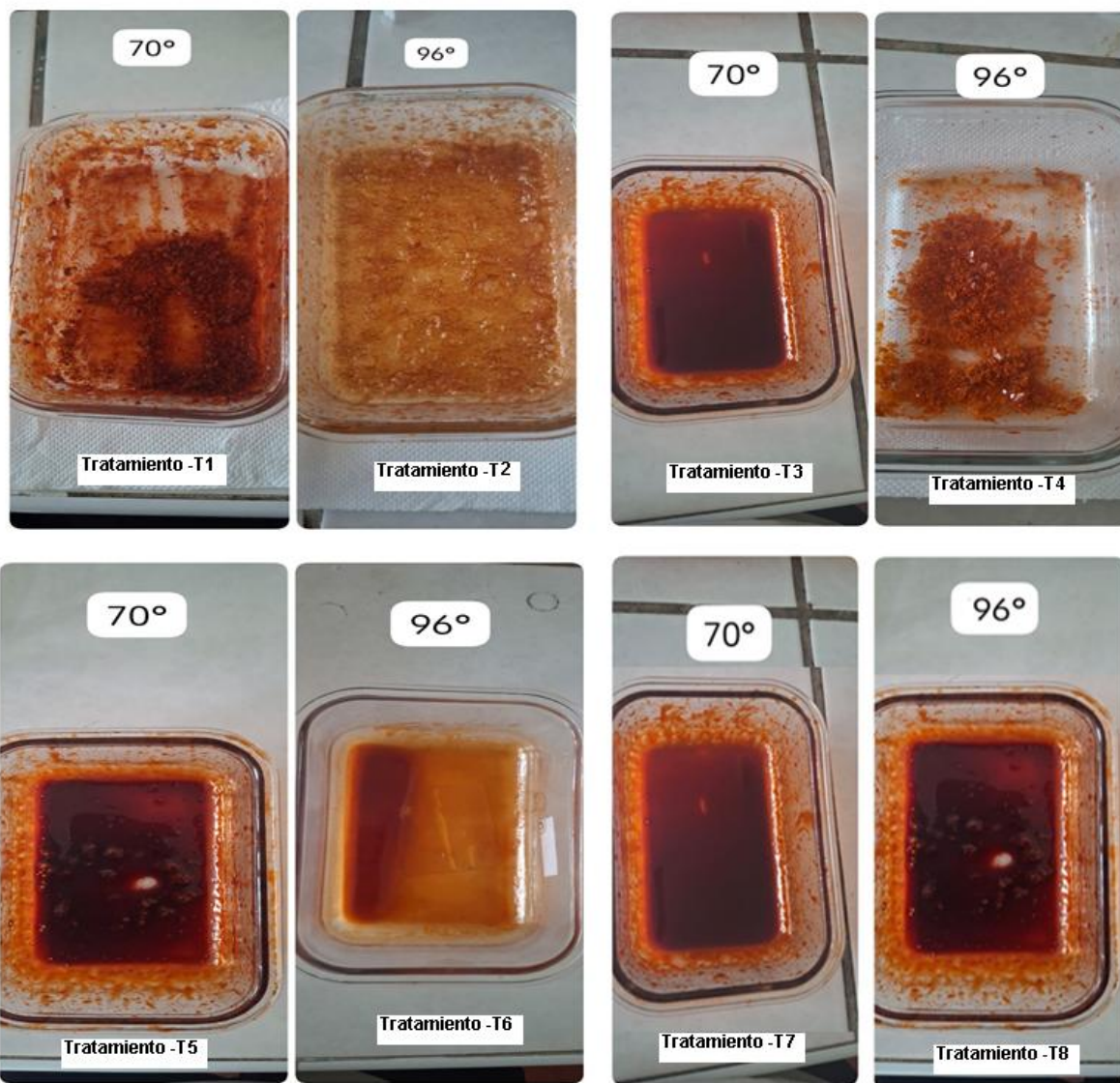
Anexo 6

Determinación de compuestos químicos del colorante extraído, por cromatografía por capa fina.



Anexo 7

Extractos de colorantes obtenidos en el estudio.

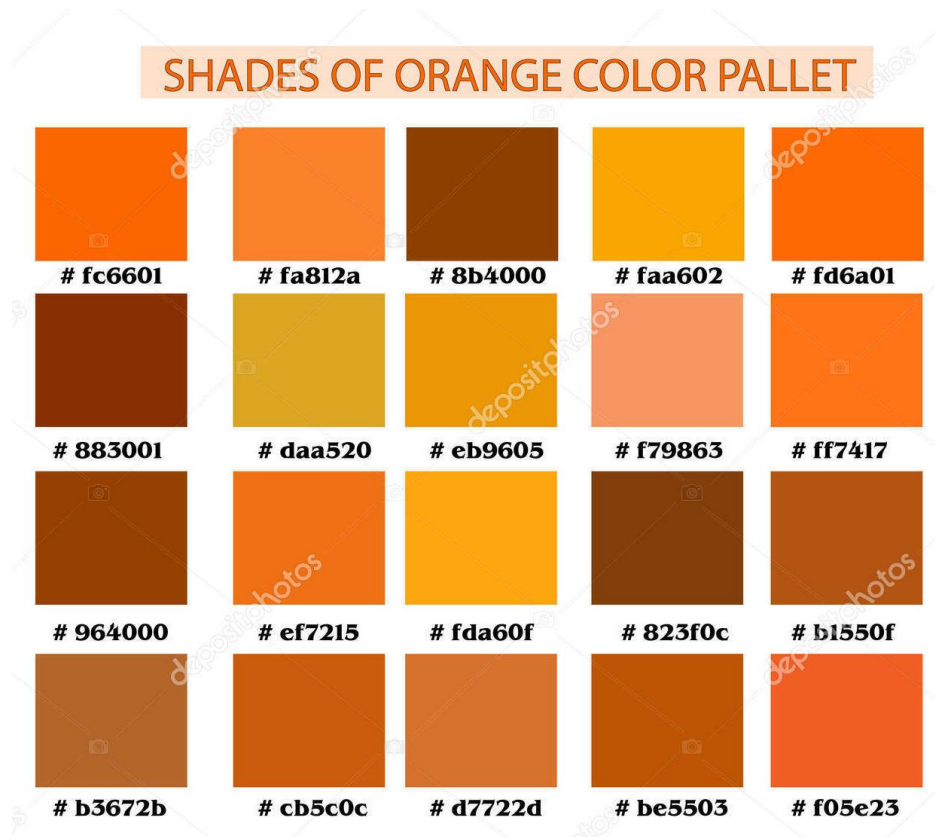


Anexo 8*Solubilidad promedio del extracto de ñuñunga liofilizado.*

Tratamiento	Peso placas petri (g)	Peso placa + sobrenadante (g)	masa humeda	Peso después de estufa	Peso final (masa seca)	Peso sobrenadante	% de solubilidad en agua
T1	45.0255	53.1071	2.8600	45.0618	8.0453	0.0363	1.2692308
T2	65.0148	72.3715	2.7812	65.0535	7.3180	0.0387	1.3914857
T3	45.1255	52.1671	2.8600	45.1692	6.9979	0.0437	1.5279720
T4	44.0136	51.1050	2.6880	44.0592	7.0458	0.0456	1.6964286
T5	43.7394	51.9733	1.5088	43.7593	8.2140	0.0199	1.3189290
T6	52.9246	61.4385	1.5343	52.9458	8.4927	0.0212	1.3817376
T7	52.9846	61.6385	1.5343	53.0104	8.6281	0.0258	1.6815486
T8	52.8786	61.3032	1.5600	52.9052	8.398	0.0266	1.7051282

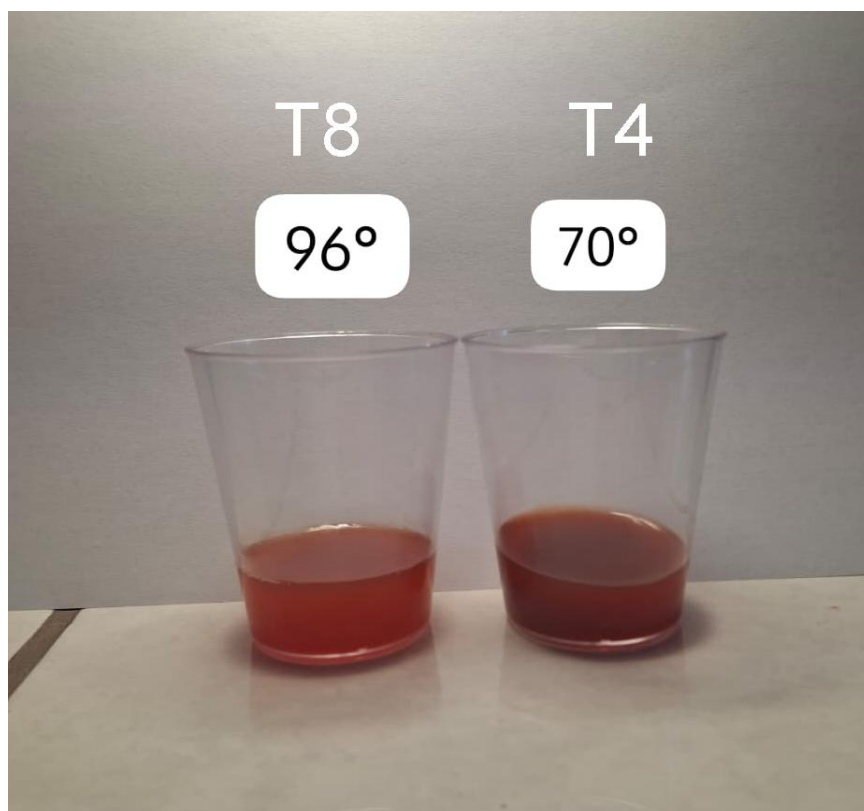
Anexo 9

Patrones del color naranja y derivados.



Anexo 10

Muestran de extracto de ñuñunga de los mejores tratamientos.



Anexo 11*ANVA del rendimiento de la extracción del colorante.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
[OH]	1	964.17	964.166	5968.02	0.000
FU	1	71.84	71.837	444.66	0.000
AGIT	1	38.67	38.665	239.33	0.000
[OH]*FU	1	1.87	1.867	11.56	0.004
[OH]*AGIT	1	1.98	1.977	12.24	0.003
FU*AGIT	1	1.98	1.977	12.24	0.003
[OH]*FU*AGIT	1	0.98	0.98	6.07	0.026
Error	15	2.42	0.162		
Total	22	1040.87			

Anexo 12*ANVA del pH del colorante extraído.*

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
[OH]	1	0.0224	0.0224	29.81	0.000
FU	1	0.3904	0.3904	520.47	0.000
AGIT	1	0.2249	0.2249	299.92	0.000
[OH]*FU	1	0.1393	0.1393	185.79	0.000
[OH]*AGIT	1	0.1167	0.1167	155.59	0.000
FU*AGIT	1	0.0961	0.0960	128.06	0.000
[OH]*FU*AGIT	1	0.1048	0.1048	139.78	0.000
Error	15	0.0113	0.0008		
Total	22	1.1604			

Anexo 13*ANVA de la solubilidad del colorante extraído.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
[OH]	1	0.0151	0.0151	204.43	0.0000
FU	1	0.3488	0.3488	4717.11	0.0000
AGIT	1	0.1545	0.1545	2088.48	0.0000
[OH]*FU	1	0.0569	0.0569	769.45	0.0000
[OH]*AGIT	1	0.0830	0.0830	1122.94	0.0000
FU*AGIT	1	0.0000	0.0000	0.22	0.6430
[OH]*FU*AGIT	1	0.0027	0.0027	36.79	0.0000
Error	16	0.0012	0.0001		
Total	23	0.6793			

Anexo 14*ANVA de la ΔE del colorante extraído.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
[OH]	1	29.607	29.607	112.58	0.0000
FU	1	20.093	20.093	76.40	0.0000
AGIT	1	6.955	6.955	26.45	0.0000
[OH]*FU	1	5.828	5.828	22.16	0.0000
[OH]*AGIT	1	1.440	1.440	5.48	0.0330
FU*AGIT	1	188.370	188.370	716.27	0.0000
[OH]*FU*AGIT	1	49.693	49.693	188.96	0.0000
Error	16	4.208	0.263		
Total	23	318.778			

Anexo 15

Matriz de consistencia de la investigación.

Problema	Objetivos	Marco teórico	Hipotesis	Variables e indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general		Hipótesis general	Variable independiente:	
¿En qué medida los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguidos del proceso de liofilización, influyen en el rendimiento del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> para su potencial aplicación como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria?	Determinar el efecto de los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguidos del proceso de liofilización, sobre el rendimiento del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> , para evaluar su potencial como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria.	Los pigmentos naturales se extraen de tejidos vegetales, utilizando métodos tradicionales como la maceración y la extracción con solventes. Sin embargo, se están desarrollando tecnologías más eficientes y sostenibles, como la extracción asistida por ultrasonido. Este método mejora la ruptura celular mediante cavitación, aumentando la penetración del solvente y la transferencia de masa, lo que optimiza la recuperación de compuestos colorantes y reduce el tiempo de extracción.	Los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguidos del proceso de liofilización, influyen significativamente en el rendimiento del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> , permitiendo identificar un tratamiento con mayor rendimiento y potencial para su utilización como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria.	X1: solución alcohólica (70 y 96%) X2: Frecuencia ultrasonica (0 y 40 herz)	Tipo de investigación: El proyecto de tesis será investigación de tipo experimental.
Problemas específicos	Objetivos específicos		Hipótesis específicas		
¿Cuál de los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguido de la liofilización permite obtener mayor rendimiento de colorante natural a partir del fruto de <i>Solanum nitidum</i> ?	Determinar cuál de los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguido del proceso de liofilización, permite obtener el mayor rendimiento de colorante natural a partir del fruto de <i>Solanum nitidum</i> .		Los métodos de extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguidos del proceso de liofilización, producen diferencias significativas en el rendimiento del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> .	X3: agitación (0 y 150 rpm)	Diseño estadístico: Factorial 2x2x2
¿Cómo influyen las condiciones de extracción sobre las características fisicoquímicas del colorante obtenido?	Determinar la influencia de las condiciones de extracción sobre las características fisicoquímicas del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> .		Las condiciones de extracción influyen significativamente en las características fisicoquímicas del colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> .	Variable dependiente: Y1: rendimiento de extracción	
¿Cuáles son los principales compuestos químicos presentes en el colorante natural extraído del fruto de <i>Solanum nitidum</i> mediante los métodos de extracción con solución hidroalcohólica, ultrasonido y el proceso de liofilizado?	Determinar los principales compuestos químicos presentes en el colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> mediante extracción con solución hidroalcohólica, ultrasonido y posterior liofilización.		El colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> mediante extracción con solución hidroalcohólica y ultrasonido, seguido del proceso de liofilización, contiene compuestos químicos y pigmentos bioactivos que pueden ser identificados y cuantificados mediante métodos analíticos.	Y2: Características físico químicas (pH, solubilidad y AE)	
¿Presenta el colorante natural obtenido de <i>Solanum nitidum</i> características adecuadas para ser considerado una alternativa potencial a los colorantes sintéticos en aplicaciones de la industria alimentaria?	Evaluar las características colorimétricas del colorante natural en gelatina como matriz modelo, determinando su capacidad para conferir coloración uniforme, con el fin de valorar su potencial alternativa a colorantes sintéticos, sin considerar propiedades nutricionales ni aptitud como alimento.		El colorante natural obtenido del fruto de <i>Solanum nitidum</i> presenta características fisicoquímicas, funcionales y de estabilidad adecuadas, que permiten considerarlo como una alternativa potencial a los colorantes sintéticos en aplicaciones de la industria alimentaria.	Y3: Identificación de compuestos químicos (Fenoles totales y flavonoides)	

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria**Expositora: Rosa Janneth Sauñe Tello****Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 26137012

Resolución Decanal N° 147-2026-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 18-09-2026

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día viernes veinticinco de setiembre del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Rosa Janneth Sauñe Tello**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, Mg. Wilber VILCAPOMA QUISPE (Miembros) y Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria**, presentado por la Bachiller Rosa Janneth Sauñe Tello. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N°147-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Rosa Janneth Sauñe Tello**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición de la Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ (Miembro-Asesor), Mg. Wilber VILCAPOMA QUISPE y Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS (Miembros).

A continuación, el presidente del jurado invito a la sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16).**

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

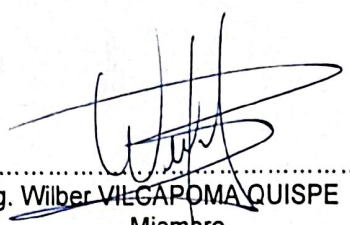
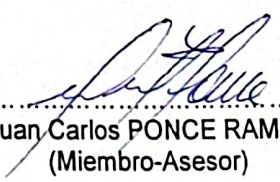
**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
**QUÍMICA Y
METALURGIA****ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS:**

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria**Expositora: Rosa Janneth Sauñe Tello****Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias****Expediente N° 26137012 Resolución Decanal N° 147-2026-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 18-09-2026**

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite a la Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, la Bachiller **Rosa Janneth Sauñe Tello**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las doce del medio día con cinco minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente
.....
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS
Miembro
.....
Mg. Wilber VILCAPOMA QUISPE
Miembro
.....
Dr. Juan Carlos PONCE RAMIREZ
(Miembro-Asesor)
.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGIA
Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias
AVENIDA INDEPENDENCIA S/N CIUDAD UNIVERSITARIA
E-mail: ep.alimentarias@unsch.edu.pe Teléfono - 066- 312340
AYACUCHO - PERÚ

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, la Srta. Rosa Janneth SAUÑE TELLO egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor Ing. Juan Carlos Ponce Ramírez, la Tesis: Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 3% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha setiembre 30 de 2026 e Identificador de la Entrega N° 3046674058.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, 30 de setiembre del 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
EPP DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Ing. JUAN CARLOS PONCE RAMÍREZ
DIRECTOR

c.c. : Archivo.
Constancia N° 120

Extracción de colorante natural del fruto de *Solanum nitidum* por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria

por Rosa Janneth Sauñe Tello

Fecha de entrega: 30-sept-2026 12:02p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3046674058

Nombre del archivo:

Extracción_de_colorante_natural_del_fruto_de_Solanum_nitidum_por_el_método_solución_hidroalcohóli...sonido_y_el_liofilizado_como_alternativa_a_los_colorantes_sintéticos_en_la_ (1.29M)

Total de palabras: 16506

Total de caracteres: 90785

Extracción de colorante natural del fruto de Solanum nitidum por el método solución hidroalcohólica, ultrasonido y el liofilizado como alternativa a los colorantes sintéticos en la industria alimentaria

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	2%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	1%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	1library.co	<1%
	Fuente de Internet	
4	"Proceedings of the XII International Congress on Bioscience and Biotechnology, VI Meeting of Postgraduate Students and Alumni of the CICB-UATx", Mexican Journal of Biotechnology, 2025	<1%
	Publicación	
5	repositorio.umsa.bo	<1%
	Fuente de Internet	
6	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		