

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**ESTUDIO CINÉTICO DE LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS DE
Bougainvillea spectabilis Y *Curcuma longa*, Y ANÁLISIS DE SU ESTABILIDAD
TEMPORAL.**

**POR:
KAREN YAMILLETH RODRÍGUEZ CABALLERO**

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2025

**ESTUDIO CINÉTICO DE LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS DE
Bougainvillea spectabilis Y *Curcuma longa*, Y ANÁLISIS DE SU ESTABILIDAD
TEMPORAL.**

POR:

KAREN YAMILETH RODRÍGUEZ CABALLERO

FRANCISCO ENRIQUE SÁNCHEZ M. Sc

Asesor principal

TESIS

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, a quien debo cada paso que he dado en este camino. A Él, que ha sido mi fortaleza cuando sentí que el peso era demasiado, mi refugio en los momentos de incertidumbre y la voz que me recordó que todo propósito tiene su tiempo. Gracias, Señor, por regalarme la serenidad que necesitaba para continuar, por iluminar mis decisiones y por abrazarme con tu gracia incluso cuando mis fuerzas parecían agotarse. Este logro es, ante todo, una muestra de tu fidelidad en mi vida.

A mis padres, que con su amor inquebrantable han sido mis cimientos más firmes. Gracias por enseñarme que el esfuerzo vale la pena, que la disciplina abre caminos y que la humildad engrandece el alma. Gracias por cada desvelo acompañándome de cerca o en silencio, por cada consejo que me sostuvo, por creer en mis sueños incluso cuando parecían lejanos. Su dedicación, su trabajo y su cariño han marcado mi vida de una manera que no puedo medir con palabras. Hoy, este triunfo también es de ustedes, porque sin su apoyo constante yo no estaría aquí culminando esta etapa tan importante.

A mi hija, mi tesoro más grande, mi inspiración diaria y la razón más profunda detrás de cada sacrificio. Gracias por enseñarme, sin palabras, la fuerza inmensa que tiene el amor. Por mostrarme que vale la pena luchar incluso cuando el cansancio pesa y la meta parece distante. Tu sonrisa fue mi impulso, tu existencia mi motivación, y tu amor el refugio donde descansaba mi corazón después de cada jornada difícil. Este logro es para ti, para mostrarte que tu madre siempre buscará ser un ejemplo de perseverancia, valentía y amor. Que nunca dudes de que todo lo que se hace con dedicación y entrega, florece.

AGRADECIMIENTOS

Profunda gratitud a Dios, fuente de sabiduría y calma en cada etapa de este proceso. Su presencia me dio claridad en los momentos de duda y fortaleza cuando las exigencias del camino parecían superar mis límites. Reconozco que este logro es también fruto de su guía constante.

A mis padres, agradezco inmensamente el apoyo que me brindaron en todas sus formas: desde sus consejos prudentes hasta las palabras que me impulsaron a continuar cuando las responsabilidades se acumulaban. Su confianza en mis capacidades ha sido un sostén invaluable y una motivación permanente para esforzarme más cada día.

A mi hija, agradezco por ser la luz que llenó de propósito cada esfuerzo. Su ternura y compañía me recordaron que este proyecto no solo representa un crecimiento personal, sino también un legado para su futuro. Cada avance, cada sacrificio y cada página escrita tuvo como inspiración su existencia.

A mis asesores, quienes dedicaron su tiempo, experiencia y criterio para orientarme con profesionalismo y paciencia. Sus observaciones enriquecieron enormemente este trabajo y su compromiso con la formación académica fue fundamental para llevar este proyecto a su culminación.

A mis amigas, gracias por su compañía leal en momentos en los que el cansancio se hacía presente. Su apoyo emocional, sus palabras oportunas y su disposición para escucharme fueron una parte esencial para mantener el equilibrio en este proceso. Su amistad se convirtió en un impulso silencioso pero necesario que me ayudó a avanzar con confianza.

CONTENIDO

	Pág.
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ECUACIONES	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General:	3
2.2. Específicos:.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Clasificación de los pigmentos alimenticios	4
3.2. Pigmentos alimenticios artificiales	4
3.2.1. Pigmentos alimenticios naturales	4
3.3. Composición química y características de los pigmentos	5
3.3.1. Napoleón (<i>Bougainvillea</i>).....	5

3.3.2. Cúrcuma	6
3.4. Importancia de los pigmentos.....	7
3.5. Compuestos fenólicos.....	7
3.5.1. Antocianinas	8
3.5.2. Betalaínas	8
3.5.3. Curcumina	8
3.6. Deshidratación.....	9
3.7. Aplicación de pigmentos naturales en alimentos	10
3.8. Estabilidad temporal de los pigmentos.....	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1. Ubicación de la investigación.....	12
4.2. Materiales y equipos	12
4.3. Metodología experimental.....	13
4.3.1. Recolección de la materia prima	13
4.3.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima	14
4.3.3. Deshidratación y obtención de pigmentos.....	14
4.3.4. Molienda.....	15
4.3.5. Almacenamiento del extracto	15
4.4. Metodología analítica	15
4.4.1. PH	16
4.4.2. Porcentaje de humedad	16
4.4.3. Color	16
4.4.4. Solubilidad.....	17
4.4.5. Rendimiento	17
4.4.6. Análisis de estabilidad	18
4.5. Diseño experimental.....	19
4.5.1. Tabla de tratamientos.....	19

4.5.2. Tabla de variables dependientes e independientes	19
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1. Análisis de la cinética de secado	21
5.2. Resultados de análisis fisicoquímicos de los extractos secos.....	24
5.3. Análisis de rendimiento	25
5.4. Análisis de estabilidad.....	26
5.5. Ángulo de tono	27
5.6. Croma	29
5.7. Análisis de pH en la estabilidad	31
VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES	34
VIII. BIBLIOGRAFÍAS	35
ANEXOS	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Materiales y equipos	12
Tabla 2: Tratamientos.	19
Tabla 3: Variables dependientes e independientes.....	20
Tabla 3: Análisis fisicoquímicos de los extractos secos.	24
Tabla 4: Parámetros del modelo de Page (k y n) para la cinética de secado.....	22
Tabla 5: pH en la estabilidad.	32

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Bougainvillea spectabilis.....	5
Figura 2: Curcuma longa.....	6
Figura 3: .Curva de secado y velocidad de secado de Bougainvillea spectabilis a 45 °C y 60 °C obtenidas mediante valores experimentales y el modelo de Page.....	21
Figura 4: Curva de secado y velocidad de secado de Curcuma longa a 45 °C y 60 °C obtenidas mediante valores experimentales y el modelo de Page.....	22
Figura 5: Efecto de la temperatura de secado en el rendimiento.	26
Figura 6: Análisis de estabilidad Bougainvillea spectabilis.....	
Figura 7: Análisis de estabilidad Curcuma longa.....	
Figura 8: Angulo de tono Bougainvillea spectabilis y Curcuma longa. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 9: h° bougainvillea spectabilis.....	28
Figura 10: h° Curcuma longa.	29
Figura 11: Croma Bougainvillea spectabilis.	
Figura 12: Croma Curcuma Longa.	31

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Pérdida de peso.....	14
Ecuación 2: Modelo Page.....	14
Ecuación 3: Velocidad instantánea de secado.	15
Ecuación 4: Angulo de tono	17
Ecuación 5: Solubilidad.....	17
Ecuación 6: Rendimiento	18
Ecuación 7: Color total.....	18
Ecuación 8: Croma	18

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Recolección y selección de la meteria vegetal	41
Anexo 2: Selección y cortado.	41
Anexo 3: Proceso de secado a diferentes temperaturas.	42
Anexo 4: Molienda y reducción de partículas.	42
Anexo 5: Almacenamiento.....	42
Anexo 6: Medición de pH.....	43
Anexo 7: Medición de Humedad.	43
Anexo 8: Medición de solubilidad	44
Anexo 9: Medición de color al extracto.....	44
Anexo 10: Estabilidad del color.	45

RODRÍGUEZ CABALLERO, K Y, 2025. Estudio cinético de la extracción de pigmentos de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*, y análisis de su estabilidad temporal. Informe de tesis para optar al grado de Ingeniería en Tecnología Alimentaria, Catacamas, Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 59 páginas.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de secado a diferentes temperaturas sobre el rendimiento y la estabilidad de los pigmentos de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*. Se recolectaron brácteas de *Bougainvillea spectabilis* y rizomas de *Curcuma longa* en buen estado, los cuales se deshidrataron a 45 °C y 60 °C registrando el peso cada **20 min** para elaborar las curvas de secado; posteriormente se molieron y almacenaron en frascos ámbar. El rendimiento de extracción se calculó como la relación entre el peso del extracto y la materia fresca (%), y se realizaron análisis fisicoquímicos de humedad, pH, color y solubilidad. La estabilidad del color se evaluó durante 30 días mediante el modelo CIELAB. Los resultados mostraron que las temperaturas de secado (45 y 60 °C) no produjeron diferencias significativas en la mayoría de variables a excepción del color de los extractos secos. El rendimiento fue similar entre temperaturas, con valores de 17 % para *Bougainvillea spectabilis* y 8 % para *Curcuma longa*. En la humedad final no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Con valores cercanos a 11 % en *Bougainvillea spectabilis* y 14 % en *Cúrcuma longa*. En el color, *Bougainvillea* presentó ángulos de tono entre un rango de 359–361° y 62–65° para la *Curcuma*, con variaciones estadísticas entre temperaturas, pero sin alterar la tonalidad típica de cada especie. La estabilidad cromática (ΔE) mostró fluctuaciones mínimas y sin efectos atribuibles a la temperatura, manteniéndose estable durante los 30 días. En conclusión, las temperaturas de 45 °C y 60 °C no provocaron diferencias significativas

en el rendimiento, humedad, pH ni solubilidad de los pigmentos para ningún material vegetal, lo que indica que la temperatura no afectó la calidad fisicoquímica del extracto. En el color del extracto sí se observaron diferencias estadísticas entre temperaturas. Por el contrario, el ΔE se mantuvo con cambios mínimos durante el almacenamiento, confirmando la estabilidad cromática. Los resultados confirman que el secado en un rango moderado de 45–60 °C es adecuado para la obtención de pigmentos de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*, ya que permite conservar el rendimiento y las principales propiedades fisicoquímicas del extracto. Aunque se detectaron diferencias estadísticas en algunos parámetros de color, estas no comprometieron la tonalidad característica ni la estabilidad cromática durante el almacenamiento, por lo que ambas temperaturas pueden considerarse viables para su aplicación tecnológica.

Palabras claves: Estabilidad, rendimiento, temperatura, pigmentos.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria alimentaria y cosmética se ha preocupado por implementar el uso de ingredientes naturales en respuesta a una creciente demanda por parte de los consumidores hacia productos más saludables, sostenibles y libres de aditivos sintéticos. Esta tendencia se ve reflejada en el auge de los pigmentos naturales como alternativas viables a los colorantes artificiales, los cuales, si bien han sido ampliamente utilizados por sus propiedades estables y bajo costo, han suscitado preocupación debido a sus posibles efectos adversos sobre la salud humana(FDA 2024).

Los pigmentos naturales no solo cumplen una función estética al conferir color a los alimentos y productos cosméticos, sino que también poseen compuestos bioactivos con potenciales beneficios para la salud. Estos compuestos pueden actuar como antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos e incluso como agentes protectores frente a enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Salvo et al. 2023)En este contexto, dos fuentes vegetales que destacan por su contenido de pigmentos funcionales son *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*, las cuales representan una opción para la obtención de colorantes naturales de alto valor añadido.

Las brácteas de *Bougainvillea spectabilis*, comúnmente conocida como “Napoleón”, son una fuente rica en betalaínas, pigmentos nitrogenados derivados del aminoácido tirosina. Las betalaínas se dividen en dos grupos: las betacianinas, responsables de los tonos rojo-violeta, y las betaxantinas, que aportan coloraciones amarillo-anaranjadas(Azeredo et al. 2007).Estos pigmentos son hidrosolubles, lo que los hace particularmente atractivos para su uso en alimentos líquidos y cosméticos. Estudios recientes han destacado su capacidad antioxidante,

su estabilidad en medios ácidos y su bajo riesgo tóxico, lo que los convierte en una opción segura y funcional (Chen et al. 2025).

Por otro lado, la cúrcuma (*Curcuma longa*), perteneciente a la familia Zingiberaceae, ha sido utilizada desde la antigüedad no solo como especia, sino también como colorante y agente terapéutico. El pigmento principal de su rizoma es la curcumina, un compuesto polifenólico responsable de su característico color amarillo intenso. Además de su función colorante, la curcumina ha demostrado tener propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y hepatoprotectoras, lo que ha despertado el interés de la industria farmacéutica y nutracéutica(Aggarwal y Harikumar 2009).

No obstante, uno de los principales retos asociados al uso de pigmentos naturales radica en su estabilidad. Estos compuestos son susceptibles a la degradación frente a factores ambientales como la temperatura, la luz, el pH y la presencia de oxígeno. Por ello, comprender su comportamiento bajo diferentes condiciones de almacenamiento es esencial para garantizar su funcionalidad a lo largo del tiempo (Salazar-González et al. 2023)

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de secado a diferentes temperaturas sobre el rendimiento y la estabilidad de los pigmentos de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*, así como caracterizar sus propiedades fisicoquímicas y modelar la cinética de secado.

II. OBJETIVOS

2.1.General:

Evaluar el efecto de secado a diferentes temperaturas sobre el rendimiento y la estabilidad de los pigmentos de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*.

2.2.Específicos:

- Caracterizar la cinética de secado de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* mediante análisis de comportamiento de pérdida de humedad en función del tiempo.
- Determinar las propiedades de color, pH, humedad, y solubilidad de los pigmentos obtenidos.
- Analizar la estabilidad del color de los pigmentos obtenidos durante su almacenamiento.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Clasificación de los pigmentos alimenticios

Los pigmentos alimentarios se emplean principalmente durante el proceso de procesamiento de los alimentos, donde pueden perder algunas de sus características de color. Así pues, es imprescindible recuperar su aspecto empleando técnicas adecuadas, proporcionándoles una oportunidad en el creciente mercado de alimentos. Además, se emplean para potenciar o realzar el color inicial, garantizar la homogeneidad del color, aportar color a los alimentos sin color y vincular estos procedimientos con una mejor calidad de los alimentos (Rodríguez-Mena et al. 2023).

3.2. Pigmentos alimenticios artificiales

Según la FDA, los pigmentos o colorantes artificiales son sustancias sintéticas, a menudo derivadas del petróleo, que se utilizan para agregar o impartir color a alimentos, medicamentos, cosméticos y dispositivos médicos (FDA 2023).

3.2.1. Pigmentos alimenticios naturales

Los pigmentos naturales no solo aportan color, sino que también ofrecen beneficios potenciales para la salud como interesantes compuestos bioactivos. Los pigmentos naturales provienen de varias fuentes, tales como animales, plantas, microorganismos y algas, y pueden emplearse como aditivos en la alimentación para alterar tanto las características fisicoquímicas como el valor nutricional de los alimentos(Du et al. 2019).

En general, la aplicación de pigmentos naturales en productos alimenticios puede modificar las características visuales, sensoriales y de color. Además, pueden influir positivamente en la salud humana mediante su capacidad para eliminar radicales libres, inhibir la inflamación y promover la protección cardiovascular(Salvo et al. 2023).

3.3.Composición química y características de los pigmentos

Los Pigmentos son los encargados del impresionante tono natural de las plantas. Los pigmentos más habituales en vegetales y frutas son las betalaínas de color rojo-amarillo, las clorofilas de color verde, las antocianinas de color rojo-morado y los carotenoides de color amarillo-anaranjado. Además de sus características de coloración, estos pigmentos vegetales podrían tener propiedades saludables para la salud(Rodriguez-Amaya 2016).

3.3.1. Napoleón (*Bougainvillea*)



Figura 1: *Bougainvillea spectabilis*.

Las *Bougainvilleas* son un género de plantas que forma parte de la familia Nyctaginaceae y fue descrito y nombrado en 1789 por el botánico francés Philibert Commerson en honor a Louis Antoine de Bougainvillea(Bautista et al. 2022). Morfológicamente, las plantas de *Bougainvillea* son arbustos escandentes o árboles pequeños a menudo armados con

espinas simples o bifurcadas. Las estructuras coloridas a menudo confundidas con flores son en realidad brácteas modificadas que rodean pequeñas flores tubulares. La flor generalmente está unida a la superficie interna de cada bráctea y su pedicelo es confluente con la nervadura central de la bráctea (Ho 1996).

El género *Bougainvillea* comprende 18 especies, es un grupo muy extenso distribuido en todo el mundo entre ellas están, *B. berberidifolia*, *B. buttiana*, *B. campanulata*, *B. glabra*, *B. herzogiana*, *B. infesta*, *B. lehmanniana*, *B. lehmannii*, *B. malmeana*, *B. modesta*, *B. pachyphylla*, *B. peruviana*, *B. 6omácea*, *B. praecox*, *B. spectabilis*, *B. spinosa*, *B. stipitata* y *B. trollii*. Sin embargo, las más conocidas y más comercializadas son *B. buttiana*, *B. glabra*, *B. spectabilis* y *B. peruviana*(Iqbal et al. 2008).

Las brácteas del napoleón (*Bougainvillea*) poseen pigmentos que fluctúan en función de su color, incluyendo las betalaínas (Gandía-Herrero y García-Carmona 2013). Las betalaínas son pigmentos hidrofílicos con nitrógeno, producidos a partir del aminoácido tirosina. Se clasifican en dos conjuntos estructurales: las betacianinas de color rojo-violeta y las betaxantinas de color amarillo-naranja (Azeredo 2009).

3.3.2. Cúrcuma



Figura 2: *Curcuma longa*.

La cúrcuma (*Curcuma longa L.*) es una especie vegetal perteneciente a la Familia Zingiberaceae, originaria del sudeste de Asia. Es mundialmente reconocida como especia aromática, empleada en la cocina asiática para aportar un matiz de color y un gusto picante a los platos. Los curcuminoïdes, compuestos fitoquímicos presentes en su característico rizoma

anaranjado, otorgan a esta planta significativas características medicinales(Gupta et al. 2013).

La cúrcuma imparte color y sabor a los alimentos, el pigmento es muy usado en preparados de mostaza, curry en polvo, sopas, arroz, vegetales, condimentos y salsas. Los componentes que caracterizan la cúrcuma son los pigmentos amarillos y los aceites volátiles. El principal pigmento amarillo es curcumina [1,7-bis-(4'-hidroxi-3'metoxi-fenilhepta-1,6-dieno-3,5-diona]; otros curcuminoides son; desmetoxicurcumina y bisdesmetoxicurcumina(Hewlings et al. 2017)

3.4.Importancia de los pigmentos

La industria de los alimentos se considera uno de los sectores más importantes a nivel global, con una gran necesidad en los mercados internacionales. La gran mayoría de los productos comestibles emplean colorantes, que pueden ser de origen natural o artificial. Un colorante es una sustancia que se encuentra en tejidos de animales, plantas o materiales sintéticos, y que otorga un color distintivo. Los colorantes sintéticos son los más empleados en los sectores de la cosmética, la alimentación y la medicina, gracias a sus beneficios en términos de variedad de colores, coste, resistencia a la oxidación y solubilidad(Vanegas y Camilo 2024).

3.5.Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios más abundantes en las plantas, se encuentran en especies de origen vegetal. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo, que puede dividirse en varias clases. Los compuestos fenólicos comprenden diferentes familias de compuestos ampliamente distribuidos en la naturaleza, presentes en la mayoría de los alimentos de origen vegetal su gran variabilidad química incluye muchos compuestos, desde ácidos fenólicos simples hasta flavonoides complejos.

Además de su influencia en diferentes parámetros organolépticos, como el color o el sabor(Martínez-Galán et al. 2021).

3.5.1. Antocianinas

Las antocianinas (antocianidinas glicosiladas) son compuestos flavonoides encontrados naturalmente en frutas y flores. Los flavonoides brindan a la planta variedad de colores que pueden ir desde el rojo hasta el violeta. Además de ser pigmentos naturales, estos compuestos participan en funciones biológicas vitales con su actividad antioxidante, su propiedad más importante. Consisten en pigmentos solubles en agua que por lo general son los principales responsables de aportar una variedad de colores a las plantas, distinguiéndose el rojo, azul y morado(Zhang et al. 2020).

3.5.2. Betalaínas

Las betalaínas son compuestos que presentan propiedades antioxidantes y ayudan a prevenir la degeneración relacionada con diferentes enfermedades. Se trata de pigmentos que contienen nitrógeno, son solubles en agua y provienen del ácido betalámico: betacianinas (de tono rojo-violeta) y betaxantinas (de color amarillo-naranja). No obstante, la utilización de estos pigmentos ha estado limitada debido a su sensibilidad a varios factores, como la temperatura, el pH, la luz, la actividad de agua y enzimática, además de la presencia de oxígeno y/o metales(Leroy y De Vuyst 2004).

Las betalaínas tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antihipertensivas, hipolipidémicas, antidiabéticas, hepatoprotectoras, neuroprotectoras, anticancerígenas y antimicrobianas(Clifford et al. 2015).

3.5.3. Curcumina

La curcumina es el componente activo más importante del extracto de cúrcuma, conocida por su color amarillo intenso y por poseer diversas propiedades biológicas. Su estructura química está compuesta por dos anillos aromáticos con grupos hidroxilo (-OH) y metoxi (-OCH₃), unidos por una cadena de siete carbonos con enlaces conjugados y grupos cetona, lo que le otorga la fórmula molecular C₂₁H₂₀O₆ (Gupta et al. 2013). Esta configuración estructural le permite actuar como un potente antioxidante, capturando radicales libres y modulando rutas celulares clave como NF-κB, lo que le confiere efectos antiinflamatorios, antitumorales, antimicrobianos y neuroprotectores. Además de la curcumina propiamente dicha, en los extractos de cúrcuma se encuentran otros compuestos estrechamente relacionados conocidos como curcuminoïdes, principalmente la demetoxicurcumina (DMC) y la bisdemetoxicurcumina (BDMC), que también contribuyen a la actividad biológica del extracto. Sin embargo, la curcumina presenta una baja solubilidad en agua, inestabilidad a la luz y al pH alcalino, y escasa biodisponibilidad oral, lo que ha motivado el desarrollo de diversas formulaciones como nanopartículas, complejos lipídicos y combinaciones con piperina para mejorar su absorción y eficacia terapéutica(Anand 2007)

3.6.Deshidratación

La deshidratación por flujo de aire caliente es una técnica que por medio del calor se elimina el agua que contienen algunos alimentos mediante la evaporación. La velocidad del proceso de deshidratación con aire caliente está influenciada por la forma y el espesor del producto, así como por las características del aire que se utiliza para secar, que incluyen la humedad del ambiente, la temperatura y la velocidad del flujo de aire(Toğrul y Pehlivan 2003).

Las frutas, hortalizas y hojas frescas, poseen en gran medida un alto contenido de agua, tanto ligada como no ligada. Es fundamental que la eliminación del agua líquida en el proceso de deshidratación evite reacciones bioquímicas no deseadas. Con un secado controlado eficaz, se pueden preservar los nutrientes, así como el color y el aroma, en las hojas secas(Vega-Gálvez 2008).

3.7.Aplicación de pigmentos naturales en alimentos

Los pigmentos naturales son utilizados para aportar color, mejorar la apariencia y aumentar el valor nutricional a diversos alimentos(Delgado-Vargas 2010) .

Se aplican principalmente en bebidas, productos lácteos, repostería, confitería, snacks, salsas y alimentos de origen vegetal, donde aportan tonalidades atractivas y más saludables en comparación con los colorantes sintéticos. Pigmentos como las antocianinas, carotenoides, betalaínas, clorofilas y curcuminoides son los más utilizados, y se obtienen de fuentes como la remolacha, cúrcuma, espirulina, zanahoria y algunas hojas(Chandranayagam et al. 2013). Por otra parte, los procesos de extracción deben realizarse con solventes de grado alimenticio de baja o nula toxicidad y cumplir con las normativas de seguridad y etiquetado establecidas por las autoridades competentes, estos son factores importantes a la hora de elegir un método de extracción(Molina et al. 2023).

3.8.Establecimiento temporal de los pigmentos

Los estudios de estabilidad y vida útil proporcionan información sobre su comportamiento y los cambios en la funcionalidad deseada (p. ej., capacidad de pigmentación) en condiciones de almacenamiento, lo cual es fundamental para su uso en alimentos estandarizados y de alta calidad(Contents Digest 2010).

Los pigmentos naturales son susceptibles a la degradación debido a la exposición a la luz, temperatura y pH (Sánchez Juan 2013). Factores como su misma estructura química, pH, temperatura, presencia de oxígeno y ácido ascórbico, concentración y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad del pigmento. Otros factores como la concentración del pigmento y la actividad de agua de la matriz afectan la estabilidad del color (Salcedo 2018).

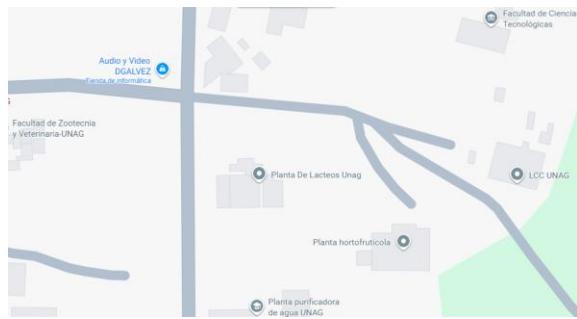
En el caso de *Bougainvillea spectabilis*, los principales pigmentos responsables de su coloración son las betalaínas, compuestos sensibles a la luz, temperatura y pH. Se ha reportado que estos compuestos presentan mayor estabilidad en condiciones ligeramente

ácidas y temperaturas moderadas, pero son propensos a la degradación térmica y oxidativa en condiciones extremas

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.Ubicación de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Tecnológicas de la Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho.



4.2.Materiales y equipos

En la **tabla 1** se muestran los equipos y materiales utilizados en el desarrollo de la investigación.

Tabla 1: Equipos y materiales

Equipos

Deshidratador TOPONEKITCHEN

Colorímetro KONICA MINOLTA

PH metro HANNA

Balanza OHAUS

Balanza de humedad OHAUS MB90

Placa magnética CORNING Stirrer

Centrifuga HERMLE

Molino de mano CROWN

Termómetro CDN

Materiales

Recipientes de plástico ámbar

Recipientes de vidrio

Bandejas

Matraz Erlenmeyer

Embudo

Tamiz

Masking tape

Papel aluminio

Marcadores

Guantes látex

4.3. Metodología experimental

En esta sección se describe el proceso de la metodología experimental utilizada en la investigación.

4.3.1. Recolección de la materia prima

Las hojas de *Bougainvillea spectabilis* fueron recolectadas en diferentes plantaciones ubicadas en la ciudad de Catacamas y en la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), identificando sitios específicos con presencia abundante de la especie. Por el contrario, la Cúrcuma de la especie Madras (*Curcuma longa L.*) se obtuvo en el mercado municipal de la ciudad de Catacamas, Olancho.

4.3.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima

La materia prima de *Bougainvillea spectabilis* se recolectó en estado fresco, seleccionando únicamente brácteas de color morado con tonalidad uniforme, sin presencia de marchitez, manchas, decoloraciones ni signos de deterioro físico. En el caso de *Curcuma longa*, se escogieron rizomas firmes, con coloración anaranjada intensa, libres de golpes, pudriciones, cortes, brotes o cualquier daño mecánico y/o microbiológico que comprometiera su calidad.

4.3.3. Deshidratación y obtención de pigmentos

Inicialmente se registró el peso de las bandejas del deshidratador, y luego con la materia prima (*Bougainvillea Spectabilis* y *Curcuma longa*). El proceso de deshidratación se realizó a dos temperaturas (45 y 60°C) en donde se registró su peso cada 20 minutos, para construir la curva de secado.

Para calcular la pérdida de peso expresada en porcentaje, se utilizó la *Ecuación 1* (Andrés Díaz Castro Zamorano 2010).

$$\% \text{ Pérdida de peso} = \left(\frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso fresco}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 1: Pérdida de peso.}$$

La velocidad de secado se determinó a partir del modelo de Page (*Ecuación 2*), el cual se ajustó a los datos experimentales de la razón de humedad (MR: Razón de humedad) obtenida durante el proceso de deshidratación. Este modelo se expresa como:

$$MR = \exp(-k t^n) \quad \text{Ecuación 2: Modelo Page.}$$

MR: razón de humedad

t: tiempo de secado

k: constante de secado

n: exponente del modelo de Page

exp: función exponencial

Una vez obtenidos los parámetros k y n mediante el ajuste del modelo, la velocidad de secado se calculó derivando la ecuación de Page respecto al tiempo, considerando la relación entre la razón de humedad y la humedad del material. La expresión resultante para la velocidad de secado instantánea fue:

$$R(t) = (X_0 - X_{eq})knt^{(n-1)}\exp(-kt^n) \quad \text{Ecuación 3: Velocidad instantánea de secado.}$$

donde X_0 corresponde a la humedad inicial y X_{eq} a la humedad de equilibrio. Esta ecuación permitió estimar la variación de la humedad en función del tiempo para cada una de las temperaturas evaluadas, facilitando el análisis de la velocidad de secado del material (PAGE 1949).

4.3.4. Molienda

Posteriormente la materia prima (*Bougainvillea Spectabilis* y *Curcuma longa*) ya deshidratada, fue molida en un molino de mano y para la reducción de sus partículas se utilizó una malla metálica.

4.3.5. Almacenamiento del extracto

El producto obtenido fue almacenado a temperatura ambiente (en botes de plástico ámbar para evitar la degradación del pigmento).

4.4. Metodología analítica

En esta sección se describe el proceso de la metodología analítica utilizada en la investigación.

4.4.1. pH

Para la determinación del pH de los extractos pigmentarios que se obtuvieron de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*, se pesó 0.50 gramos de muestra deshidratada y molida, los cuales se colocaron en un vaso de precipitados, y se les agregó 50 mL de agua destilada. La mezcla se agitó durante 5 minutos en una placa magnética marca CORNING stirrer. Posteriormente el pH del extracto se midió utilizando un pH-metro digital marca HANNA, introduciendo el electrodo directamente en la muestra líquida hasta que se estabilizó la lectura. Se realizaron tres repeticiones por lote.

4.4.2. Porcentaje de humedad

Para la determinación de humedad se utilizó una balanza de humedad marca OHAUS, modelo MB90, donde se utilizó el diseño de humedad, según manual del equipo, para materia fresca de terminación A 30, temperatura 195° C. Se pesaron 5 gramos de materia fresca por separado de *Curcuma longa* y *Bougainvillea spectabilis*. Seguidamente se colocaron en la balanza para obtener el porcentaje de humedad de las muestras. Para material seco (pigmentos) terminación A30, temperatura 160° C, se pesó 1 gramo de muestra de cada uno de los lotes de pigmento de *Curcuma longa* y *Bougainvillea spectabilis*, se colocaron en la balanza obteniendo el porcentaje de humedad de los pigmentos.

4.4.3. Color

La evaluación del color del extracto se llevó a cabo utilizando un colorímetro marca Konica Minolta CR400, empleando mediciones por reflectancia sobre la superficie de la muestra. Se empleó el espacio de color CIELAB (L^* , a^* , b^*), bajo condiciones estandarizadas de iluminante D65 y observador de 10°, conforme a las especificaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). El valor L^* indica la luminosidad (de 0 = negro a 100 = blanco), el valor a^* representa el eje rojo-verde (positivo = rojo, negativo = verde), y el valor

b^* representa el eje amarillo-azul (positivo = amarillo, negativo = azul). (Hernández-Herrero y Frutos 2011).

Además de los parámetros L^* , a^* y b^* , se calculó el ángulo de tono (h°) con el fin de precisar la tonalidad del color percibido (MCLELLAN et al. 1995). Este parámetro se obtiene a partir de los valores CIELAB mediante la *Ecuación 4*.

$$h^\circ = \text{atan}2(b^*, a^*) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad \text{Ecuación 4: } h^\circ: \text{Angulo de tono}$$

4.4.4. Solubilidad

Se pesó una cantidad de 0.5 g de extracto de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* por separado y se colocaron en un beaker de 20 mL. Subsiguientemente, a cada muestra se le agregaron 20 mL de agua destilada, las mezclas se agitaron vigorosamente en placa magnética marca CORNING stirrer durante 60 minutos a 25° C. Posteriormente se tomaron 10 mL y se centrifugaron a 800 rpm en una centrifuga MARCA HERMLE por 15 minutos para separar el sobrenadante del sedimento. El pellet se re-suspendió en 5 mL de agua destilada para ser depositado en capachos de papel aluminio previamente tarados. Estos se llevaron a un horno de secado a 80° C hasta obtener un peso constante. Después se enfriaron dentro de un recipiente hermético para evitar la absorción de humedad y se pesaron para obtener el residuo seco (Qureshi et al. 2022, Makkar et al. 1993).

Para calcular la solubilidad se usó la *Ecuación 5* y se expresó en porcentaje peso volumen

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{\text{Peso de sólidos disueltos}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 5: Solubilidad}$$

4.4.5. Rendimiento

El rendimiento del pigmento se calculó en función del peso de la materia prima fresca utilizada antes del proceso de deshidratación y extracción. Para ello, se tomó el peso inicial

de la muestra fresca (g) y el peso del extracto obtenido (g). Este valor permitió evaluar la eficiencia del proceso de obtención del pigmento en relación con la cantidad total de materia prima utilizada. Se utilizó la *Ecuación 6*

$$\textbf{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Peso del extracto}}{\text{Peso de la muestra fresca}} \right) * 100 \quad \textbf{Ecuación 6:} \text{ Rendimiento.}$$

4.4.6. Análisis de estabilidad

La estabilidad del color de los pigmentos se evaluó mediante el modelo CIELAB, registrando los valores L*, a* y b* con un colorímetro marca Konica Minolta CR400.(Costa et al. 2024) A partir de estos datos se calculó la diferencia de color total (ΔE^*), usando la *Ecuación 7*

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad \textbf{Ecuación 7:} \text{ Diferencia de color}$$

donde los subíndices 1 y 2 representan los valores al inicio y después del almacenamiento, respectivamente(Reyes 2012).

Los valores de ΔE permitieron clasificar la estabilidad cromática del pigmento: un ΔE menor a 1 indicó un cambio imperceptible (muy alta estabilidad), mientras que un valor mayor a 5 refleja una alteración evidente del color (muy baja estabilidad). Las mediciones se realizaron cada tres días para observar la evolución del color, representando los resultados en una gráfica ΔE vs. Tiempo (Klinke et al. 2023).

Además, se determinó el **croma (C*)**, que representa la saturación o intensidad del color del pigmento. Este parámetro se obtuvo mediante la relación matemática entre los valores a* y b*, utilizando la Ecuación 8

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \textbf{Ecuación 8:} \text{ Croma}$$

El cálculo del croma permitió evaluar la viveza del color durante el almacenamiento de los extractos.

Adicionalmente, el almacenamiento del pigmento se realizó en recipientes transparentes expuestos a luz natural, simulando condiciones reales de degradación. El seguimiento de la estabilidad se efectuó durante 5 semanas, y el color fue medido cada tres días, lo que permitió evaluar con precisión los cambios cromáticos a lo largo del tiempo.

4.5.Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con el programa estadístico Infostat, aplicando 2 repeticiones por tratamiento, con el objetivo de interpretar los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, con un nivel de significancia de 0.05. Los análisis se realizaron por separado para *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*.

4.5.1. Tabla de tratamientos

Tratamiento	Materia prima	Temperatura de secado
T1	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	45°C
T2	<i>Curcuma longa</i>	60°C
T3	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	45°C
T4	<i>Curcuma longa</i>	60°C

Tabla 2:Tratamientos.

4.5.2. Tabla de variables dependientes e independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
---------------------------------	-------------------------------

Temperatura de secado	Color (L*a*b*, h°)	pH	% Humedad	Solubilidad	Rendimiento	Estabilidad del color (ΔE)
--------------------------	--------------------------	----	--------------	-------------	-------------	----------------------------------

Tabla 3: Variables dependientes e independientes.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de la cinética de secado

En la **figura 3** se muestran las curvas de secado de *Bougainvillea spectabilis* realizadas a 60 y 45 °C. Se puede observar que existió un típico comportamiento de una disminución continua de la humedad en el tiempo, presentando una etapa inicial de pérdida rápida seguida por una fase de reducción más lenta hasta aproximarse a la humedad de equilibrio. La deshidratación a 60 °C fue más acelerada que a 45 °C, ya que en todos los intervalos de tiempo se observaron valores de humedad menores. El ajuste del modelo de Page representó adecuadamente la tendencia experimental, mostrando coincidencia entre los valores calculados y observados en ambas temperaturas.

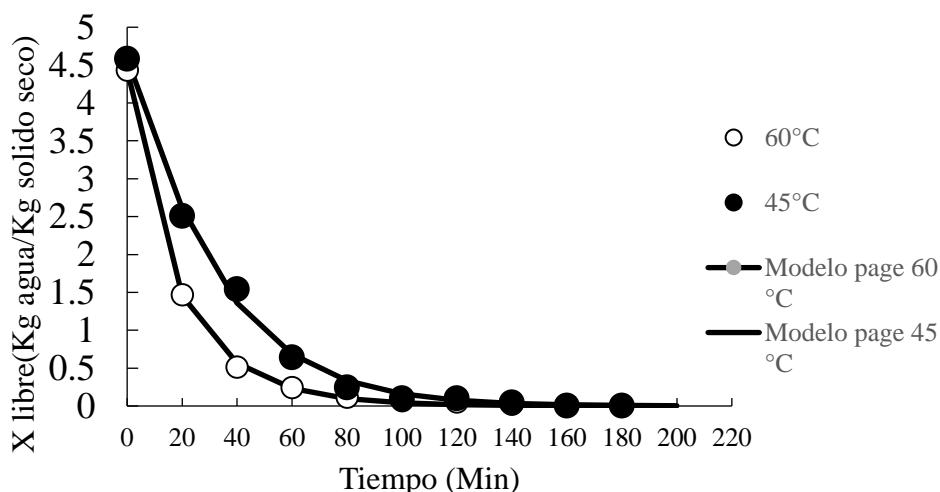


Figura 3: Curva de secado y velocidad de secado de *Bougainvillea spectabilis* a 45 °C y 60 °C obtenidas mediante valores experimentales y el modelo de Page.

El comportamiento de *Bougainvillea spectabilis* coincide con el patrón típico de secado en capas delgadas reportado para otros tejidos vegetales, donde la humedad disminuye rápidamente al inicio y posteriormente el proceso es controlado por difusión interna. La mayor velocidad de secado observada a 60 °C puede explicarse por el aumento del gradiente térmico, lo cual favorece el transporte de humedad hacia la superficie, tal como se ha documentado en el secado de hojas y materiales vegetales similares. Asimismo, la adecuación del modelo de Page coincide con estudios donde este modelo ha descrito correctamente cinéticas de secado en matrices vegetales.(Sanchez 2013) (Alcântara et al. 2024)

La **figura 4** muestra los resultados de las curvas de secado de *Curcuma longa* realizadas a 60 y 45 °C. Los resultados muestran que existe una pérdida de humedad marcada durante los primeros minutos, seguida de una reducción progresiva hasta alcanzar valores cercanos a la humedad de equilibrio. El proceso fue más rápido a 60 °C, ya que los valores de humedad se mantuvieron consistentemente por debajo de los registrados a 45 °C. El modelo de Page ajustado reprodujo adecuadamente la forma decreciente de la curva en ambas temperaturas, mostrando coherencia entre los valores experimentales y calculados.

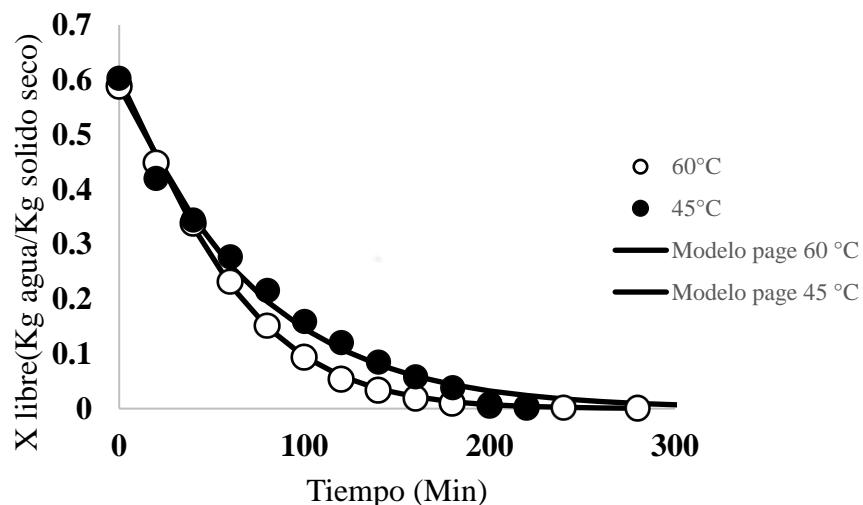


Figura 4: Curva de secado y velocidad de secado de *Curcuma longa* a 45 °C y 60 °C obtenidas mediante valores experimentales y el modelo de Page.

El secado de *Curcuma longa* mostró el comportamiento característico de materiales vegetales ricos en almidón y compuestos bioactivos, con un periodo inicial de alta velocidad seguido de una fase controlada por difusión interna. El incremento de temperatura a 60 °C aceleró el proceso, en concordancia con estudios en rizomas y frutos tropicales donde temperaturas mayores reducen significativamente el tiempo de secado(Giraldo-Zuniga 2006) (Hamed et al. 2025)

Tabla 4 Parámetros del modelo Page (k y n) para la cinética de secado.

Materia vegetal	Temperatura	k	n
<i>Bougainvillea spectabilis</i>	60	0.01±0.00A	0.885476888
<i>Bougainvillea spectabilis</i>	45	0.02±0.01A	1.106837993
<i>Curcuma longa</i>	60	0.01±0.00A	1.264291202
<i>Curcuma longa</i>	45	0.01±0.01A	1.039708847

Los resultados se presentan como media ±D. E (n=4). Letras iguales no difieren según la prueba de Tukey (5%).

La **tabla 4** muestra los parámetros k y n del modelo de Page calculados para cada condición de secado. Estos valores permiten caracterizar la velocidad de secado y el comportamiento del proceso bajo las diferentes temperaturas evaluadas. En *Bougainvillea spectabilis*, los valores de k no presentaron diferencias significativas entre 45 °C y 60 °C (0.01 ± 0.00), lo que indica que la temperatura no generó variaciones apreciables en la velocidad del secado para esta especie. De manera similar, en *Curcuma longa* los valores de k no mostraron diferencias significativas entre temperaturas, manteniéndose en el rango de 0.01–0.02. Esto sugiere que, dentro del intervalo evaluado, la temperatura de secado no modificó de forma significativa la constante de velocidad. La similitud en los valores de k entre temperaturas indica que, en el rango de 45–60 °C, el secado estuvo principalmente controlado por difusión interna, por lo que incrementos moderados de temperatura no alteraron de forma significativa la cinética del proceso, comportamiento reportado previamente en tejidos vegetales descritos con el modelo de Page(Akpınar et al. 2003) (Kavak Akpinar et al. 2006).

5.2.Resultados de análisis fisicoquímicos de los extractos secos.

En la **tabla 5** se presentan los resultados de humedad, solubilidad y Color (ángulo de tono) de los extractos secos. Se puede observar que en *Bougainvillea spectabilis*, los valores de solubilidad fueron 39.14 % a 60 °C y 31.22 % a 45 °C; según el análisis estadístico no hubo diferencias significativas entre temperaturas. De la misma manera, en *Curcuma longa* no hubo diferencias significativas en la solubilidad (27.43 % a 60 °C y 24.67 % a 45 °C). Estos resultados muestran que, dentro del rango térmico evaluado, la solubilidad de los extractos se mantiene estable, sin que el aumento de temperatura produzca cambios estadísticos en su capacidad de disolución. Estos resultados son consistentes con el estudio de Molina (2023), donde se ha observado que los pigmentos naturales mantienen una solubilidad estable cuando se someten a temperaturas moderadas de secado (40-60 °C)(Nurhaslina et al. 2022). La solubilidad de colorantes vegetales depende más de la estructura química del pigmento y de la matriz vegetal, que de variaciones térmicas pequeñas durante el procesado.(Molina et al. 2023)

Tabla 5: Análisis fisicoquímicos de los extractos secos.

Especie Vegetal	Temperatura	Solubilidad	Humedad	Color (Angulo de tono)
<i>Bougainvillea spectabilis</i>	60	39.14±5.26 A	10.63±0.01 A	360.76±3.67 A
	45	31.22±0.85 A	11.67±0.01 A	359.31±0.006 B
<i>Curcuma longa</i>	60	27.43±2.60 A	14.11±0.004 A	62.45±1.21 A
	45	24.67± 5.96 A	14.39±0.004 A	65.13±1.84 B

Los resultados se presentan como media ±D. E (n=4). Letras iguales no difieren según la prueba de Tukey (5%).

En cuanto a los análisis de humedad, las muestras secadas a 60 y 45° C de *Bougainvillea spectabilis* presentó valores de 10.63 %, y 11.67 % respectivamente. Sin embargo, no mostró diferencias significativas entre las dos temperaturas evaluadas. De forma similar, en el caso de la *Curcuma*, los valores obtenidos a esos mismos niveles térmicos (14.11 % a 60 °C y

14.39 % a 45 °C) tampoco evidenciaron diferencias significativas. Aunque se observa una ligera tendencia a mayor humedad a 45 °C, no se evidenciaron diferencias importantes entre ambas temperaturas, lo cual indica que el incremento de 45 °C a 60 °C no modificó de manera notable la capacidad del material para perder agua durante el secado. La literatura indica que cuando la temperatura de secado se mantiene en rangos moderados (40-60 °C), (Nurhaslina et al. 2022) la humedad final del producto depende más de la naturaleza del tejido que del incremento térmico.. Esto coincide con el comportamiento observado en este estudio, donde ambas temperaturas permitieron alcanzar valores similares de humedad final.

Finalmente, en el color medido como ángulo de tono, *Bougainvillea spectabilis* presentó valores del ángulo de tono cercanos a 360°, característicos de tonalidades rojizas–púrpuras. Aunque los tratamientos a 45 °C y 60 °C mostraron diferencias significativas en los valores obtenidos, ambos preservaron la misma región característica del espectro. En contraste, *Curcuma longa* mostró ángulos de tono mucho menores (62–65°), propios de tonalidades amarillo–anaranjadas. También presentó diferencias significativas entre temperaturas, lo que sugiere una ligera modificación en el matiz con el incremento de temperatura, aunque ambos tratamientos mantuvieron el color característico del pigmento. Estudios sobre betalaínas y curcuminoïdes indican que estos pigmentos mantienen su matiz cuando son sometidos a temperaturas inferiores a 70 °C, mostrando solo pequeñas variaciones atribuibles a fluctuaciones naturales(Carreón-Hidalgo et al. 2022). Esto coincide con los resultados obtenidos, donde las diferencias estadísticas no implicaron un cambio real de tonalidad.

5.3. Análisis de rendimiento

La **figura 3** muestra el rendimiento obtenido para *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* a dos temperaturas de secado (45 °C y 60 °C). En *Bougainvillea spectabilis*, los valores de rendimiento fueron similares entre ambas temperaturas (alrededor del 17 %), lo que indica que la temperatura de secado no ejerció un efecto significativo sobre la cantidad de extracto obtenido a partir de la muestra fresca. De manera comparable, en *Curcuma longa* se observó un comportamiento consistente entre 45 °C y 60 °C, con valores cercanos al 7–8 %, evidenciando nuevamente la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. El

rendimiento del extracto se calculó de forma individual para cada lote experimental, considerando la cantidad específica de materia prima fresca utilizada y la materia seca obtenida tras el proceso de deshidratación. Para *Bougainvillea spectabilis*, la materia fresca empleada osciló entre 67.43 y 123.26 g, mientras que para *Curcuma longa* se utilizaron masas de 420 y 507 g, dependiendo del tratamiento. La materia seca correspondió al material deshidratado a 45 y 60 °C, el cual fue posteriormente sometido al proceso de extracción. El rendimiento (%) se expresó como la relación entre el peso del extracto obtenido y la materia prima inicial de cada lote. Estos resultados indican que, para ambas especies, la variación de temperatura dentro del rango evaluado no modifica el rendimiento del proceso de extracción del pigmento. Esto sugiere que la eficiencia del proceso depende más de las características propias de cada especie que de la temperatura de secado utilizada.

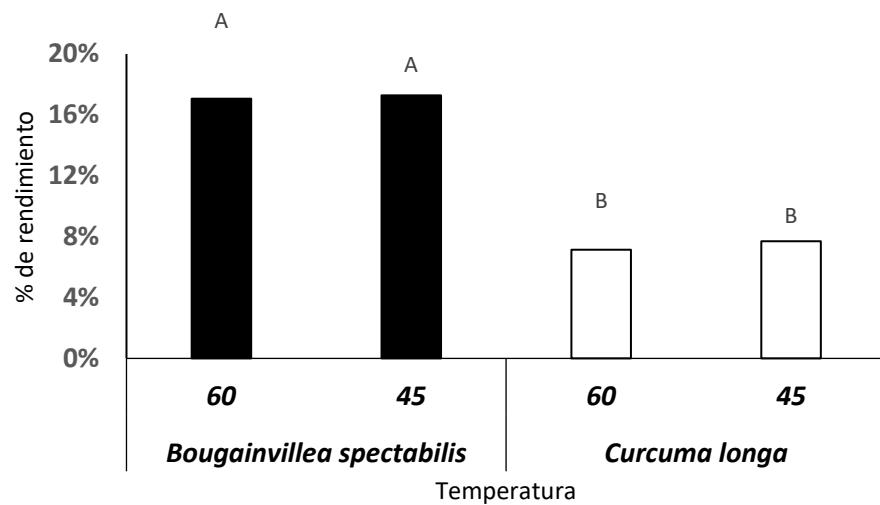


Figura 5: Efecto de la temperatura de secado en el rendimiento. Los resultados se presentan como media $\pm D.E$ ($n=4$). Letras iguales no difieren según la prueba de Tukey (5%).

5.4. Análisis de estabilidad

En la **figura 6** se muestran los resultados de la estabilidad de color medida como delta en el tiempo. El análisis de la diferencia de color (ΔE) en *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* mostró que ambos tratamientos térmicos (45 °C y 60 °C) presentaron un

comportamiento similar a lo largo del periodo de almacenamiento. La superposición de los datos y la ausencia de una tendencia claramente diferenciada entre temperaturas evidencian que el aumento de 45 °C a 60 °C no genera un efecto notable sobre la estabilidad del color del extracto. Además, el análisis estadístico confirmó que las diferencias entre temperaturas no fueron significativas, por lo que se concluye que, dentro de este rango térmico, la estabilidad cromática del pigmento se mantiene prácticamente constante. Estos resultados coinciden con estudios que reportan que los curcuminoïdes mantienen su estabilidad bajo secados moderados (50–80 °C) (Llano et al. 2022) y que las betalaínas conservan su integridad térmica por debajo de 70 °C(Otalora et al. 2020), respaldando que el rango de 45–60 °C es adecuado para obtener pigmentos estables.

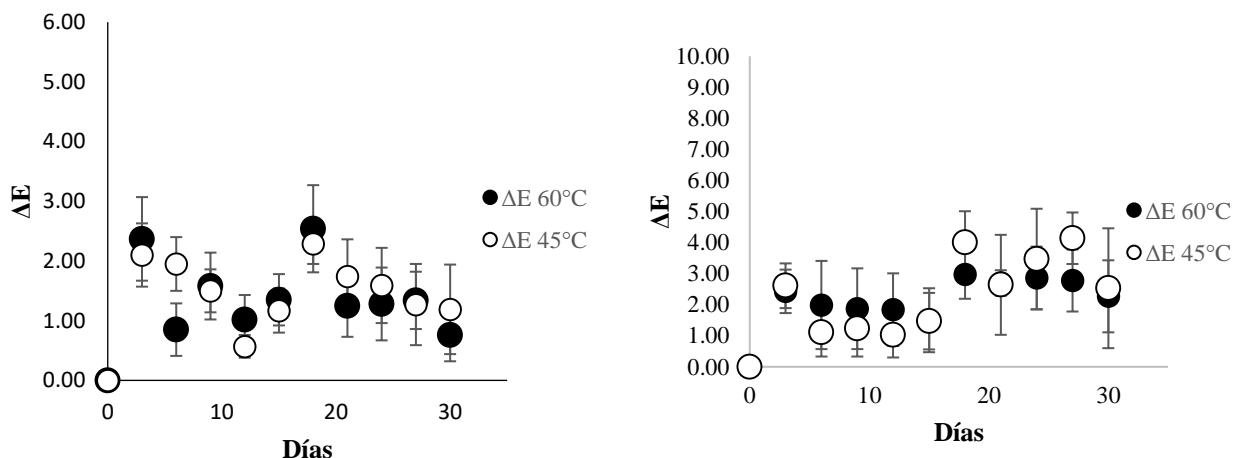


Figura 6: Análisis de estabilidad *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa*

5.5.Ángulo de tono

En la **figura 9** se muestran las gráficas de h° para *Bougainvillea spectabilis*, donde se observa que ambas temperaturas evaluadas (45 °C y 60 °C) mantienen un comportamiento muy parecido durante todo el periodo de almacenamiento. Los valores registrados para cada tratamiento se mantienen cercanos entre sí, sin mostrar patrones que indiquen que una temperatura genere cambios notorios respecto a la otra. Las pequeñas variaciones que

aparecen entre días son propias del comportamiento natural del pigmento y no reflejan un efecto atribuible a la temperatura (Azeredo et al. 2007)

Los valores de h° se ubicaron predominantemente entre 340° y 355° , que corresponden, dentro de la rueda de colores CIELab, al sector rojo/violeta. Esto indica que la tonalidad característica del extracto se mantuvo dentro del rango típico de pigmentos antociánicos/betalaínicos sin desplazarse hacia zonas de color adyacentes.

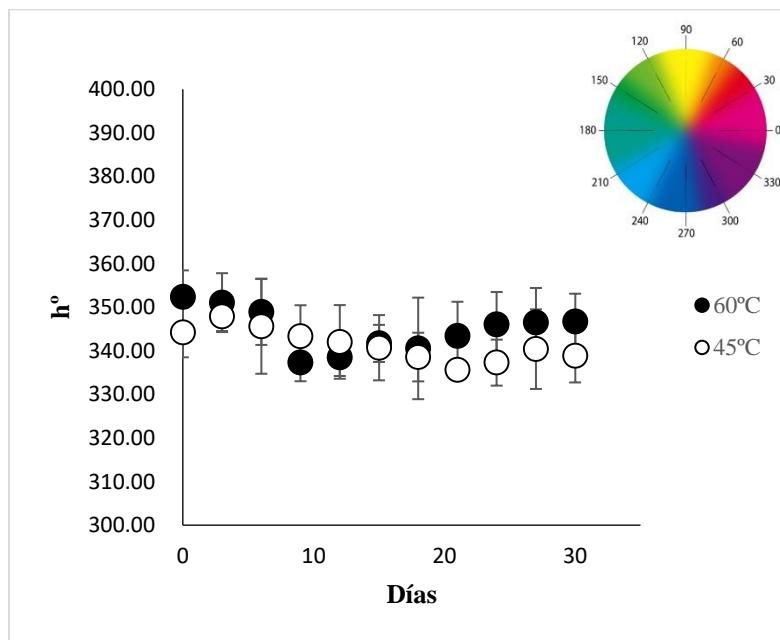


Figura 7: h° *bougainvillea spectabilis*. h° : Angulo de tono.

En la **figura 10** se muestran las gráficas de h° para *Curcuma longa*, donde se observa que ambas temperaturas evaluadas (45°C y 60°C) mantienen un comportamiento muy parecido durante todo el periodo de almacenamiento. Los valores registrados para cada tratamiento se mantienen cercanos entre sí, sin mostrar patrones que indiquen que una temperatura genere cambios notorios respecto a la otra. Las pequeñas variaciones que aparecen entre días son propias del comportamiento natural del pigmento y no reflejan un efecto atribuible a la temperatura (Azeredo et al. 2007)

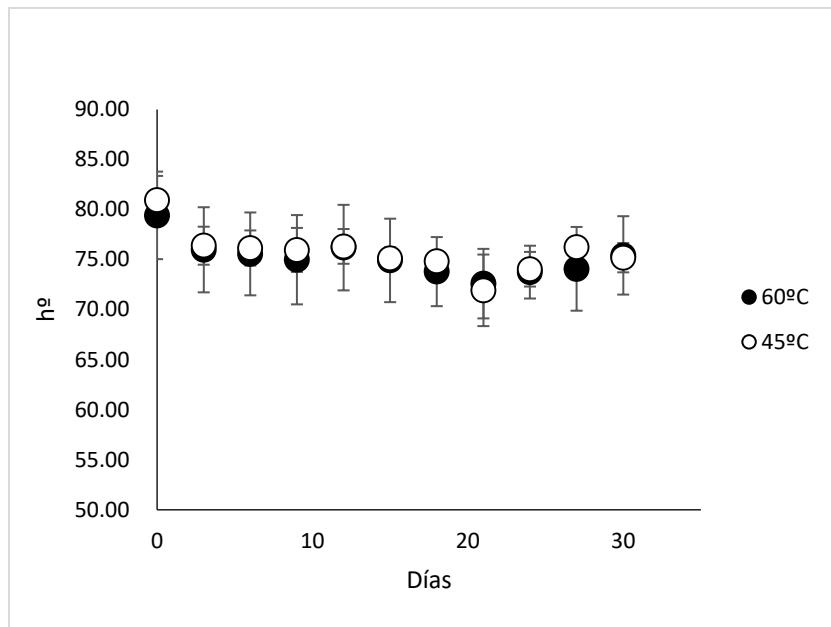


Figura 8: h° *Curcuma longa*, Angulo de tono.

5.6.Croma

En la **figura 11**, para *Bougainvillea spectabilis*, los valores de C* se mantuvieron en rangos relativamente estables durante el periodo de evaluación, sin diferencias marcadas entre las temperaturas de 45 °C y 60 °C. Ambas curvas muestran fluctuaciones ligeras, pero en general el nivel de saturación del color se conserva (en un rango de 6-8), lo que sugiere que el pigmento mantiene su intensidad cromática bajo ambas condiciones térmicas. Este rango de C* indica una saturación baja a moderada, lo que significa que el color no es altamente vívido; a medida que el valor de C* disminuye, el tono tiende a verse más apagado o blanquecino, mientras que valores más altos representan colores más puros e intensos(Lanfer-Marquez et al. 2005).

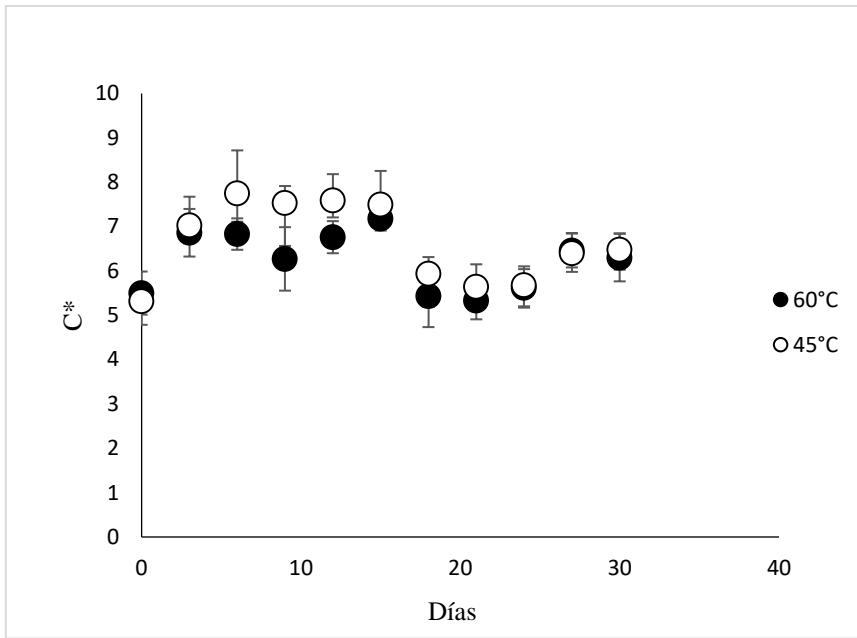


Figura 9: Croma *Bougainvillea spectabilis*.

En la **figura 12**, para *Curcuma longa* se observan variaciones a lo largo del almacenamiento, las temperaturas evaluadas muestran comportamientos semejantes. En general, los datos indican que el color de la cúrcuma conservó buena parte de su saturación (en un rango de 15-22), independientemente de la temperatura aplicada. Este rango de C indica una saturación baja a moderada, lo que significa que el color no es altamente vívido; a medida que el valor de C disminuye, el tono tiende a verse más apagado o blanquecino, mientras que valores más altos representan colores más puros e intensos.(Lanfer-Marquez et al. 2005)

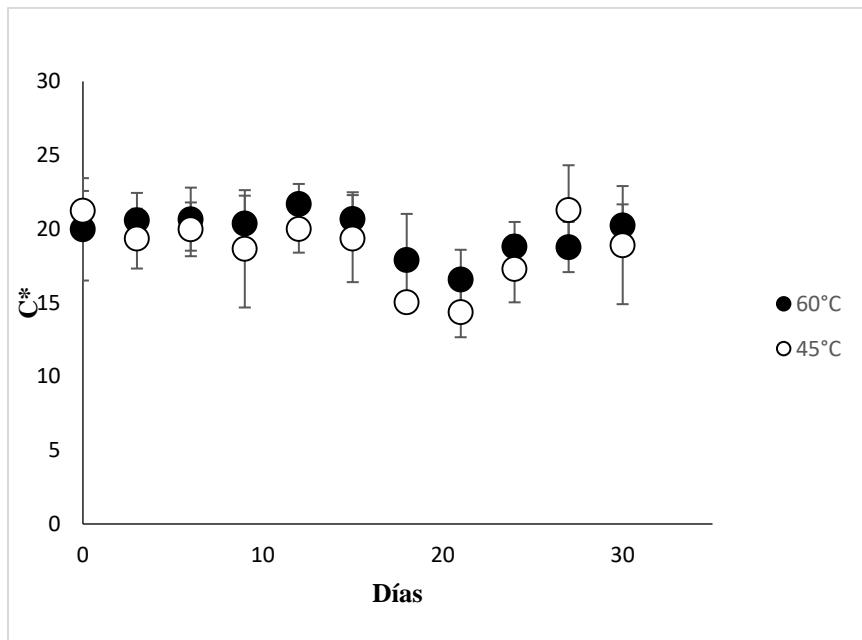


Figura 10: Croma *Curcuma Longa*.

5.7. Análisis de pH en la estabilidad

Los valores de pH inicial para *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* se mantuvieron en un rango ácido-neutral y no mostraron diferencias estadísticas entre las temperaturas evaluadas, ya que todos los tratamientos compartieron la letra A. Sin embargo, en ambas especies se observó una disminución significativa del pH después del almacenamiento, lo que confirma que el pH descendió 2 unidades tras los 30 días de conservación. Aun así, el pH final tampoco presentó diferencias entre temperaturas, manteniéndose nuevamente la letra A en ambos tratamientos, lo que indica que la temperatura de secado no afectó el pH, y que la reducción observada se debió únicamente al efecto del almacenamiento, y no al tratamiento térmico aplicado.

La disminución gradual del pH durante almacenamiento es un fenómeno ampliamente observado en pigmentos vegetales. De acuerdo con Silva (2022) los pigmentos naturales pueden sufrir ligeras acidificaciones debido a reacciones oxidativas que forman compuestos

más ácidos con el tiempo. Esto concuerda con el comportamiento observado en este estudio, donde el cambio se atribuye al almacenamiento y no a la temperatura.

Tabla 6: pH en la estabilidad.

Especie Vegetal	Temperatura	pH Inicial	pH Final
Bougainvillea spectabilis	60	6.17±0.12Ab	4.51±0.12 Aa
	45	6.25±0.11Ab	4.22±0.32 Aa
	60	6.72±0.07Ab	5.10±0.10 Aa
Curcuma longa	45	6.64±0.09Ab	5.12±0.08 Aa

Los resultados se presentan como media ±D. E (n=4). Letras iguales no difieren según la prueba de Tukey (5%). Las letras mayúsculas representan la diferencia entre temperaturas, las letras minúsculas representan la diferencia entre pH inicial y pH final.

VI. CONCLUSIONES

La cinética de secado de *Bougainvillea spectabilis* y *Curcuma longa* mostró comportamientos similares entre las temperaturas de 45 °C y 60 °C. En ambas especies, la pérdida de humedad ocurrió de manera progresiva y sin diferencias relevantes entre tratamientos. Esto demuestra que, dentro del rango estudiado, la temperatura no altera de manera significativa la dinámica de deshidratación. Asimismo, la velocidad de secado obtenida mediante la derivada del modelo de Page mostró un comportamiento coherente con estas curvas, evidenciando un valor máximo al inicio del proceso seguido de una disminución progresiva conforme la humedad se aproximó a su valor de equilibrio.

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas se mantuvieron estables entre 45 °C y 60 °C. No se observaron diferencias significativas derivadas del secado, pH y humedad y tanto la tonalidad como la saturación del color conservaron los valores característicos de cada especie. Esto demuestra que las temperaturas aplicadas no afectan la calidad inicial de los pigmentos.

La estabilidad cromática evaluada mediante ΔE evidenció que tanto *Bougainvillea spectabilis* como *Curcuma longa* mantuvieron cambios mínimos a lo largo de los 30 días de almacenamiento. Las fluctuaciones en los parámetros de color fueron pequeñas y similares entre temperaturas, sin mostrar patrones que indicaran un efecto del tratamiento térmico. Los valores de h° y C^* conservaron la tonalidad y saturación propias de cada pigmento, y las variaciones observadas corresponden al comportamiento natural del color antes que a un deterioro inducido por la temperatura. Esto confirma que los pigmentos presentan una buena estabilidad cromática en el rango de secado evaluado.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener el proceso de deshidratación dentro del rango de 45 °C a 60 °C.

Se sugiere que futuras investigaciones evalúen alternativas de secado como liofilización, microondas o infrarrojos, ya que diversos estudios indican que estos métodos pueden mejorar la retención de color y favorecer la preservación de compuestos bioactivos.

Además, se recomienda considerar distintas condiciones de almacenamiento, evaluando el efecto de la luz, la humedad y el tipo de envase sobre la estabilidad del color, ya que estos factores pueden influir en parámetros como el ángulo de tono, el croma y la diferencia total de color (ΔE).

También sería útil estudiar el comportamiento de los pigmentos en matrices alimentarias reales, con el fin de determinar su estabilidad durante procesos como calentamiento, mezclado, pasteurización o interacción con otros componentes.

Finalmente, se sugiere analizar la actividad antioxidante de los pigmentos obtenidos, así como evaluar métodos de encapsulación o protección que permitan mejorar aún más su estabilidad en aplicaciones industriales.

VIII. BIBLIOGRAFÍAS

- Aggarwal, BB; Harikumar, KB. 2009. Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* (Serie Directed Issue: Epigenetics and Disease) 41(1):40-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2008.06.010>.
- Akpinar, EK; Bicer, Y; Yildiz, C. 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59(1):99-104. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00425-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00425-9).
- Alcântara, CM de; Moreira, I dos S; Cavalcanti, MT; Lima, RP; Moura, HV; Neves, R da S; Cassimiro, CAL; Martins, JJA; Batista, FR da C; Pereira, EM; Alcântara, CM de; Moreira, I dos S; Cavalcanti, MT; Lima, RP; Moura, HV; Neves, R da S; Cassimiro, CAL; Martins, JJA; Batista, FR da C; Pereira, EM. 2024. Mathematical Modeling of Drying Kinetics and Technological and Chemical Properties of *Pereskia* sp. Leaf Powders (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). *Processes* 12(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12102077>.
- Anand. 2007. Bioavailability of Curcumin: Problems and Promises | Molecular Pharmaceutics (en línea, sitio web). Consultado 12 dic. 2025. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/mp700113r>.
- Azeredo, H; Santos, A; Souza, A; Mendes, K; R. Andrade, M. 2007. Betacyanin Stability During Processing and Storage of a Microencapsulated Red Beetroot Extract. *American Journal of Food Technology* 2(4):307-312. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajft.2007.307.312>.
- Bautista, MAC; Zheng, Y; Boufford, DE; Hu, Z; Deng, Y; Chen, T; Bautista, MAC; Zheng, Y; Boufford, DE; Hu, Z; Deng, Y; Chen, T. 2022. Phylogeny and Taxonomic Synopsis of the Genus *Bougainvillea* (Nyctaginaceae) (en línea) (En company: multidisciplinary digital

publishing institutiondistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). Plants 11(13). DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11131700>. Carreón-Hidalgo, JP; Franco-Vásquez, DC; Gómez-Linton, DR; Pérez-Flores, LJ. 2022. Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. Food Research International 151:110821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110821>.

Chandranayagam, C; Veeraraghavan, G; Subash, A; Vasantha, HR. 2013. Restoration of arsenite induced hepato-toxicity by crude tannin rich fraction of *Theobroma cacao* in Sprague Dawley rats. Food Research International 50(1):46-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.021>.

Clifford, T; Howatson, G; West, DJ; Stevenson, EJ; Clifford, T; Howatson, G; West, DJ; Stevenson, EJ. 2015. The Potential Benefits of Red Beetroot Supplementation in Health and Disease (En company: multidisciplinary digital publishing institutiondistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). Nutrients 7(4):2801-2822. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7042801>.

Contents Digest. 2010. Trends in Food Science & Technology 21(11):525-527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.008>.

Delgado-Vargas. 2010. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability: Critical Reviews in Food Science and Nutrition: Vol 40, No 3 (en línea, sitio web). Consultado 12 dic. 2025. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408690091189257>.

Du, F; Yang, Z; Liu, P; Wang, L. 2019. Bioaccessibility and variation of arsenic species in polished rice grains by an *in vitro* physiologically based extraction test method. Food Chemistry 293:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.079>.

FDA, HF. 2024. Color Additives in Foods (en línea). FDA . Consultado 17 nov. 2025. Disponible en <https://www.fda.gov/food/color-additives-information-consumers/color-additives-foods>.

Giraldo-Zuniga, AD. 2006. KINETIC DRYING EXPERIMENTAL DATA AND MATHEMATICAL MODEL FOR JACKFRUIT (*Artocarpus integrifolia*) SLICES. .

Gupta, SC; Patchva, S; Aggarwal, BB. 2013. Therapeutic Roles of Curcumin: Lessons Learned from Clinical Trials. The AAPS Journal 15(1):195-218. DOI: <https://doi.org/10.1208/s12248-012-9432-8>.

Hamed, Y; Embaby, HE; Youssef, KM; Fayad, E; Ali, OAA; Althobaiti, F; El-Samahy, SK; Gaballah, AA. 2025. Impact of drying temperature and slice thickness on the drying kinetics, color properties, and antioxidant activity of the Egyptian *Opuntia dillenii* fruit. Italian Journal of Food Science 37(3):416-426. DOI: <https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i3.2712>.

Hewlings, SJ; Kalman, DS; Hewlings, SJ; Kalman, DS. 2017. Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). Foods 6(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6100092>.

Ho, K. 1996. The crucial point of switching back to 4 years university. .

Iqbal, M; Akhtar, N; Zafar, S; Ali, I. 2008. Genotypic responses for yield and seed oil quality of two *Brassica* species under semi-arid environmental conditions. South African Journal of Botany 74(4):567-571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.02.003>.

Kavak Akpinar, E; Bicer, Y; Cetinkaya, F. 2006. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. Journal of Food Engineering 75(3):308-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.018>.

Lanfer-Marquez, UM; Barros, RMC; Sinnecker, P. 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. Food Research International (Serie Third International Congress on Pigments in Food) 38(8):885-891. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.012>.

Leroy, F; De Vuyst, L. 2004. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. Trends in Food Science & Technology 15(2):67-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>.

Llano, SM; Gómez, AM; Duarte-Correa, Y; Llano, SM; Gómez, AM; Duarte-Correa, Y. 2022. Effect of Drying Methods and Processing Conditions on the Quality of Curcuma longa Powder (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). Processes 10(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10040702>.

Martínez-Galán, JP; Ontibón-Echeverri, CM; Campos Costa, M; Batista-Duharte, A; Guerso Batista, V; Mesa, V; Monti, R; Veloso de Paula, A; Martins Baviera, A. 2021. Enzymatic synthesis of capric acid-rich structured lipids and their effects on mice with high-fat diet-induced obesity. *Food Research International* 148:110602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110602>.

Masyita, A; Hardinasinta, G; Astuti, AD; Firdayani, F; Mayasari, D; Hori, A; Nisha, INA; Nainu, F; Kuraishi, T. 2025. Natural pigments: innovative extraction technologies and their potential application in health and food industries (en línea). *Frontiers in Pharmacology* 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1507108>.

Molina, AK; Corrêa, RCG; Prieto, MA; Pereira, C; Barros, L; Molina, AK; Corrêa, RCG; Prieto, MA; Pereira, C; Barros, L. 2023. Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). *Molecules* 28(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>.

_____. 2023. Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). *Molecules* 28(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>.

Nurhaslina, CR; Andi Bacho, S; Mustapa, AN. 2022. Review on drying methods for herbal plants. *Materials Today: Proceedings* (Serie 2nd International Conference on Chemical Engineering and Applied Sciences) 63:S122-S139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.052>.

Otalora, CM; Bonifazi, E; Fissore, EN; Basanta, F; Gerschenson, LN. 2020. Thermal Stability of Betalains in By-Products of the Blanching and Cutting of Beta vulgaris L. var conditiva (en línea). DOI: <https://doi.org/10.31883/pjfn/116415>.

Reyes, IO. 2012. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA RESTAURADORA. .

- Rodriguez-Amaya, DB. 2016. Natural food pigments and colorants. Current Opinion in Food Science (Serie Food chemistry and biochemistry • Food bioprocessing) 7:20-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>.
- Salazar-González, C; Fuenmayor, CA; Díaz-Moreno, C; Stinco, CM; Heredia, FJ. 2023. Stability and shelf life modeling of natural colorant from bee pollen. Food Packaging and Shelf Life 40:101169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101169>.
- Salvo, ED; Vecchio, GL; Pasquale, RD; Maria, LD; Tardugno, R; Vadalà, R; Cicero, N; Salvo, ED; Vecchio, GL; Pasquale, RD; Maria, LD; Tardugno, R; Vadalà, R; Cicero, N. 2023. Natural Pigments Production and Their Application in Food, Health and Other Industries (en línea) (En company: multidisciplinary digital publishing institutedistributor: multidisciplinary digital publishing instituteinstitution: multidisciplinary digital publishing institutelabel: multidisciplinary digital publishing institutepublisher: publisher). Nutrients 15(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15081923>.
- Sanchez. 2013. Drying of Garlic Slices Using Convective Pre-drying and Vacuum-Microwave Finishing Drying: Kinetics, Energy Consumption, and Quality Studies | Food and Bioprocess Technology (en línea, sitio web). Consultado 12 dic. 2025. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1062-3>.
- Toğrul, İT; Pehlivan, D. 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering 58(1):23-32. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00329-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00329-1).
- Vanegas, M; Camilo, J. 2024. Colorantes naturales y sintéticos en la industria de alimentos (en línea) (En accepted: 2025-03-29t13:34:49z). . Consultado 12 dic. 2025. Disponible en <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/67693>.
- Vega-Gálvez. 2008. EMPIRICAL MODELING OF DRYING PROCESS FOR APPLE (CV. GRANNY SMITH) SLICES AT DIFFERENT AIR TEMPERATURES - VEGA-GÁLVEZ - 2008 - Journal of Food Processing and Preservation - Wiley Online Library (en línea, sitio web). Consultado 12 dic. 2025. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4549.2008.00227.x>.
- Zhang, Q; Wang, L; Liu, Z; Zhao, Z; Zhao, J; Wang, Z; Zhou, G; Liu, P; Liu, M. 2020. Transcriptome and metabolome profiling unveil the mechanisms of *Ziziphus jujuba* Mill. peel coloration. Food Chemistry 312:125903. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125903>.

ANEXOS

Anexo 1: Recolección y selección de la materia vegetal.



Anexo 2: Selección y cortado.



Anexo 3: Proceso de secado a diferentes temperaturas.



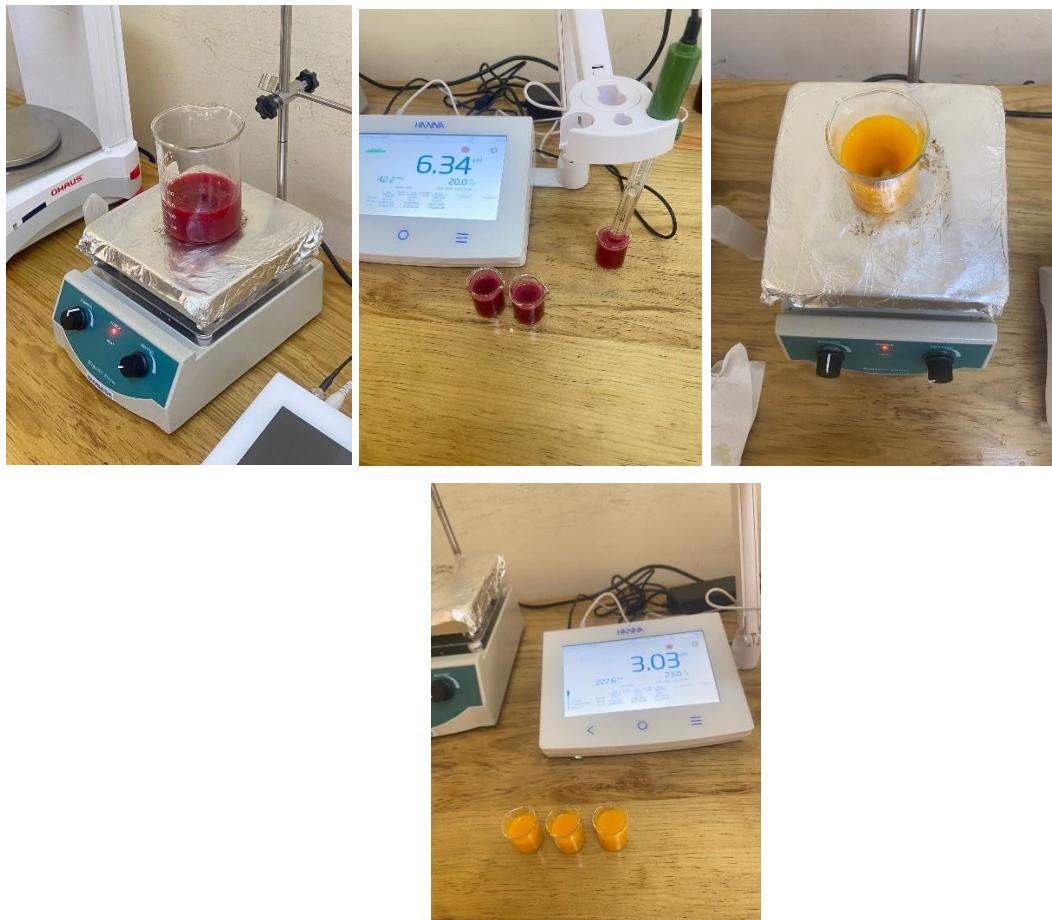
Anexo 4: Molienda y reducción de partículas.



Anexo 5: Almacenamiento.



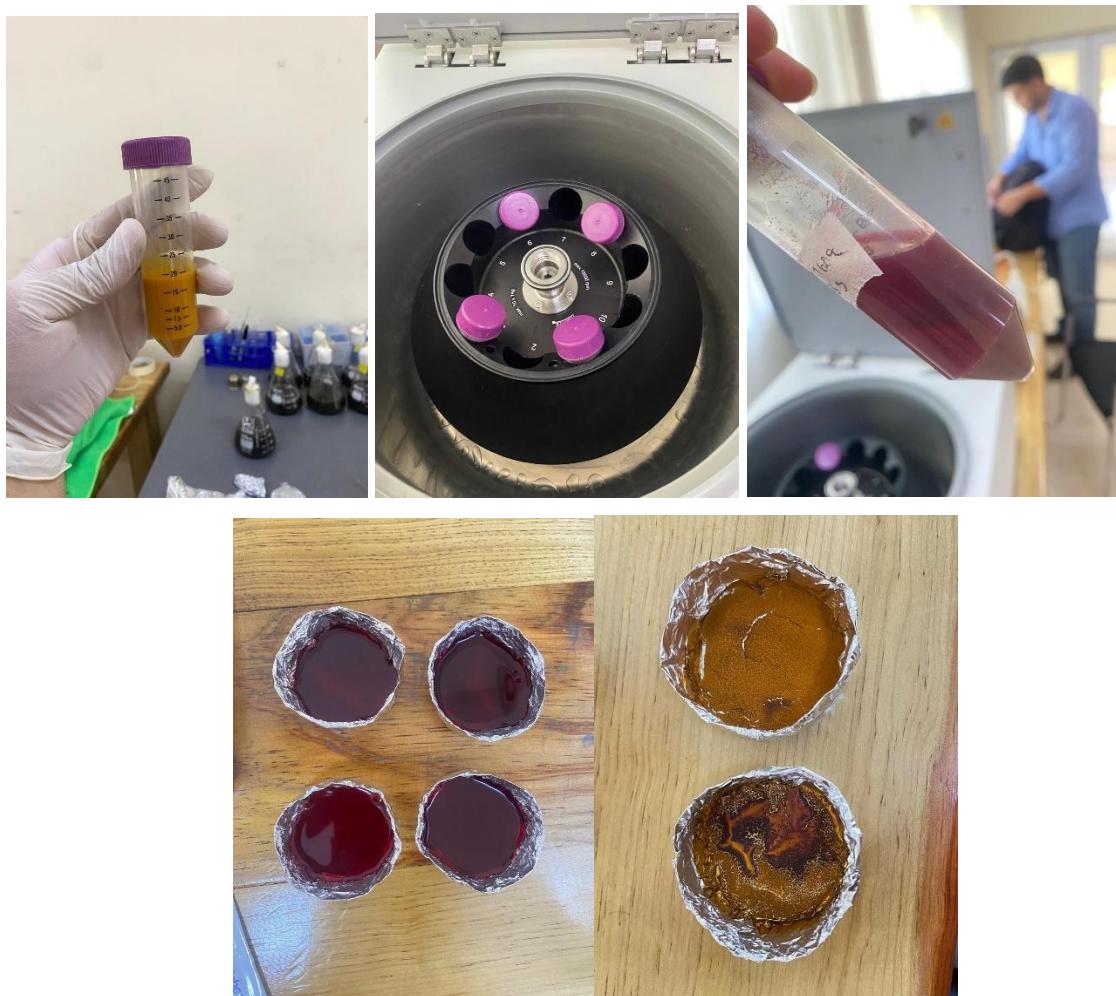
Anexo 6: Medición de pH.



Anexo 7: Medición de Humedad.



Anexo 8:Medición de solubilidad .



Anexo 9: Medición de color al extracto.



Anexo 10: Estabilidad del color.

