

Incidencia del solvente en el color: extracción del colorante de piña y sus residuos

Solvent effect on color: extraction of pineapple dye and its residues

AUTORES

Brito Moína Hanníba Lorenzo

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

hbrito@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7536-857X>

Huacho Chávez Iván Fernando

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

ivan.huacho@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3144-3379>

Chuiza Rojas Marco Raúl

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

mchuiza@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1908-8033>

Lobato Freire Geovanna Elizabeth

ESPOCH

Riobamba – Ecuador

geovanna.lobato@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-8500-4413>

Como citar:

Brito Moína, H. L., Huacho Chávez, I. F., Chuiza Rojas, M. R., & Lobato Freire, G. E. (2026). Incidencia del solvente en el color: extracción del colorante de piña y sus residuos. *Revista Internacional de Investigación y Desarrollo Global (RIIDG)*, 5(2), 1-21.
<https://doi.org/10.64041/riidg.v5i2.67>

V. 5, N. 2, Año (2026), Pág. 1-21

Fecha de recepción: 20 de abril de 2026

Fecha de aceptación: 10 de junio de 2026

Fecha de publicación: 18 de junio de 2026



CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Resumen

La industria de la piña genera grandes volúmenes de residuos que normalmente se descartan, representando un problema ambiental y económico, por lo que, se ha realizado la investigación sobre la incidencia del tipo de solvente en la variación de color durante la extracción de colorantes naturales a partir de pulpa de piña (*Ananas comosus*) y sus residuos. Mediante extracción por agitación con solventes de distinta polaridad (agua y etanol al 75% en volumen), para lo cual, se evaluó el rendimiento de extracción, el perfil de color (coordenadas CIELab) y la estabilidad del colorante frente a cambios de pH, luz y temperatura. Los resultados muestran que el cambio de solvente permite modular de forma sistemática el tono amarillo del extracto, así como su intensidad y estabilidad. El etanol-agua en un rango intermedio (75%) proporcionó extractos con mayor intensidad de color y estabilidad moderada, mientras que los extractos con agua pura mostraron mayor sensibilidad al pH y a la luz. Estos hallazgos evidencian que la selección racional del solvente convierte a la pulpa y los residuos de piña en una fuente viable de colorantes naturales sostenibles, con potencial aplicación en alimentos, bebidas, cosméticos y textiles, orientados a reducir la dependencia de colorantes sintéticos.

Palabras clave: Solvente, color, piña, residuos, agroindustria.

Abstract

The pineapple industry generates large volumes of waste that are typically discarded, representing both an environmental and economic burden. Therefore, this study investigated the effect of solvent type on color variation during the extraction of natural colorants from pineapple pulp (*Ananas comosus*) and its residues. Extraction was performed by agitation using solvents of different polarity (water and 75% v/v ethanol), and extraction yield, color profile (CIELab coordinates), and dye stability against changes in pH, light, and temperature were evaluated. The results show that changing the solvent allows the yellow hue of the extract, as well as its intensity and stability, to be systematically modulated. The ethanol–water mixture at an intermediate concentration (75%) produced extracts with higher color intensity and moderate stability, whereas extracts obtained with pure water showed greater sensitivity to pH and light. These findings demonstrate that rational solvent selection can convert pineapple pulp and residues into a viable source of sustainable natural colorants with potential applications in food, beverages, cosmetics, and textiles, helping reduce dependence on synthetic colorants.

Keywords: Solvent; color; pineapple, residues, agroindustry.

Introducción

El consumo global de frutas tropicales ha impulsado el crecimiento de la industria procesadora de piña (*Ananas comosus*), particularmente en países como Ecuador, Costa Rica, Brasil y Filipinas. Esta expansión se acompaña de la generación de grandes cantidades de residuos, entre los que se destacan pulpa sobrante, cáscara, ojos y tallos, que representan hasta el 30–40% de la fruta procesada y que, en la mayoría de los casos, se desechan como biomasa húmeda o se disponen en vertederos. Esta gestión inadecuada no solo aumenta los costos operativos, sino que también contribuye a la contaminación de suelos y cuerpos de agua, generando señales de alarma desde el punto de vista ambiental y sanitario.

En este contexto, la valorización de los residuos (Nur & et al., 2023) de piña como fuente de compuestos de alto valor añadido (por ejemplo, carbohidratos, fibra, enzimas y pigmentos) ha ganado relevancia en la literatura científica. Entre estos productos, los pigmentos naturales han despertado especial interés (Tuitice, 2021), ya que pueden reemplazar parcial o totalmente a los colorantes sintéticos (González, 2022) en sectores como alimentos (Rodríguez & et al., 2022), bebidas, cosméticos y textiles. En la piña, los pigmentos responsables del color van desde las clorofilas y los carotenoides hasta los polifenoles y las antocianinas, dependiendo de la parte de la planta utilizada y de las condiciones de maduración y procesamiento (Molina & et al., 2023).

Una variable crítica que determina la eficacia y la calidad del pigmento extraído (Sakai & et al., 2026) es el tipo de solvente empleado. La polaridad, la constante dieléctrica y la capacidad de formación de puentes de hidrógeno del solvente influyen directamente en la solubilidad de los pigmentos, su estabilidad y, en consecuencia, en el tono, la intensidad y la durabilidad del color (Tharuka & Baojun, 2024). En estudios previos con otras frutas y residuos vegetales se ha demostrado que disolventes como etanol, son más eficientes que el agua pura para la extracción de antocianinas y otros pigmentos polares, al tiempo que inducen cambios en el espectro de absorción visible (Shailendra & et al., 2023) y, por tanto, en el color percibido. Sin embargo, la relación sistemática entre tipo de solvente y variación de color en colorantes derivados específicamente de pulpa de piña (Nurul & et

al., 2022) y sus residuos no ha sido explorada de forma exhaustiva, ni se ha vinculado explícitamente a la sostenibilidad y aplicabilidad industrial (Mridul & et al., 2023).

El trabajo se enfoca en determinar la incidencia que tiene el solvente en la variación de color (Steingass & et al., 2020) durante la extracción del colorante natural a partir de pulpa de piña y sus residuos, con el fin de orientar la obtención de extractos de color predecible y estable (Rodriguez & et al., 2023). Se propone un enfoque que integra la evaluación de rendimiento de extracción, análisis colorimétrico (CIELab) y pruebas de estabilidad frente a pH, luz y temperatura, para demostrar cómo la elección racional del solvente puede transformar los residuos de piña en una fuente sostenible de colorantes naturales.

Materiales y Métodos

La materia prima fue obtenida de una planta procesadora de pulpa de frutas especialmente de la piña (*Ananas comosus*, variedad Golden) ubicada en la ciudad de Píllaro, Tungurahua, Ecuador. Se recogió la pulpa de piña de primera calidad (pulpa entera), la pulpa sobrante del proceso industrial (pulpa de descarte) y los residuos sólidos (cáscaras y porciones externas) generados durante el pelado y corte de la fruta.

Las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar partículas de suciedad y se desechó el exceso de agua superficial. Posteriormente, la pulpa se cortó en trozos pequeños y se trituró en un procesador mecánico hasta obtener una pasta homogénea. La pulpa de descarte y los residuos de cáscara se trituraron también hasta obtener partículas de tamaño aproximado de 2–5 mm. Una parte se utilizó directamente para la extracción de color y la otra se secó en una estufa a 50 °C hasta constancia de peso, se molió en un molino de laboratorio y se almacenó en frascos herméticos a temperatura ambiente hasta su uso.

Diseño de la extracción con diferentes solventes

Se seleccionaron dos sistemas disolventes para la extracción de pigmentos: agua destilada y etanol al 75% (v/v) en agua; estos sistemas cubren un rango de polaridad y constante dieléctrica amplio, permitiendo comparar la extracción de pigmentos polares (por ejemplo, antocianinas y flavonoides) frente a pigmentos menos polares (carotenoides, clorofilas). La extracción se llevó a cabo en un reactor de vidrio de 500 mL con agitación magnética a 200 rpm. Para cada tipo de biomasa (pulpa entera, pulpa de descarte y residuos de cáscara) se usó una relación de masa de biomasa seca a volumen de solvente de 1:10 (g/mL). La mezcla se mantuvo a 50 °C durante 2 h, condición previamente optimizada en estudios preliminares y en la literatura de pigmentos de frutas (Brocco & et al., 2022). Tras la extracción, la mezcla se filtró a través de papel de filtro Whatman No. 1 y, posteriormente, por membrana de polietileno tetrafluoretileno (PTFE) de 0,45 µm para obtener extractos claros. El solvente se recuperó por evaporación rotativa (rotavapor) a baja presión y temperatura controlada (40 °C), y el colorante se secó en estufa a 40 °C hasta obtener un polvo homogéneo.

Rendimiento de extracción



El rendimiento de extracción se expresó como porcentaje de colorante extraído respecto al peso seco inicial de la biomasa:

$$R(\%) = \frac{m_{\text{colorante seco}}}{m_{\text{biomasa seca}}} \times 100$$

Donde:

$m_{\text{colorante seco}}$: Masa del colorante seco recuperado

$m_{\text{biomasa seca}}$: Masa de biomasa seca utilizada en la extracción.

Cada ensayo se realizó por cuadruplicado en 4 tratamientos para garantizar la reproducibilidad.

Análisis colorimétrico

Para evaluar la incidencia del solvente en la variación de color, se realizó un análisis colorimétrico mediante un colorímetro de laboratorio en el modo de reflectancia difusa. Los extractos en fresco y seco (Tarazona & et al., 2020) fueron disueltos en agua destilada hasta alcanzar una concentración aproximada de 10 g/L, y se midieron las coordenadas de color en el sistema CIEXYZ y luego se transformaron a las coordenadas de CIELab.

Figura 1
Espectrofotómetro PCE – CSM 25



L^* : luminosidad (del negro al blanco).

a^* : eje verde–rojo (valores negativos indican tonos verdes, positivos rojos).

b^* : eje azul–amarillo (valores negativos azul, positivos amarillos).

Adicionalmente, se calculó el índice de amarillez (YI) usando la ecuación:

$$YI = 100 \frac{C_{10}Z}{X}$$

Donde:

X, Y y Z son las coordenadas CIE tristímula.

C_{10} es el factor de iluminante CIE D65.

Cada medición se realizó por cuadruplicado en tres fechas distintas para evaluar la estabilidad del color.

Evaluación de estabilidad del colorante

Para analizar la estabilidad del colorante frente a condiciones ambientales, se realizaron tres tipos de pruebas:

a) Estabilidad frente al pH

Se ajustó el pH de soluciones de los extractos (10 g/L) a valores de 3, 5, 7 y 9 mediante soluciones de HCl 0,1 M y NaOH 0,1 M. Las soluciones se mantuvieron a 25 °C durante 72 h y se midieron las coordenadas CIEXYZ y se transformaron a CIELab al inicio y al final del experimento.

b) Estabilidad frente a la luz

Se expusieron soluciones de 10 g/L en recipientes de vidrio transparente a luz solar directa y a luz artificial (lámpara fluorescente 36 W) durante 7 días (Yano & et al., 2026). Se midieron las coordenadas CIELab diariamente para evaluar la pérdida de color.

c) Estabilidad frente a la temperatura

Las soluciones de 10 g/L se sometieron a incrementos de temperatura de 30, 50 y 70 °C durante 2 h, manteniendo agitación constante. Tras cada tratamiento, se dejó enfriar a temperatura ambiente (Coles & et al., 2026) y se registraron las coordenadas CIEXYZ y se transformaron a CIELab.

Análisis estadístico

Los datos se expresaron como media \pm desviación estándar. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA de un factor) seguido de la prueba de Tukey para comparar las medias entre tratamientos (Guamán & Andrade, 2026), con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Se utilizó el software estadístico SPSS v26.0 (IBM, EE. UU.) para los análisis.

Resultados

Rendimiento de extracción según el solvente

La incidencia del solvente en el rendimiento de extracción fue clara y dependiente tanto del tipo de biomasa como del sistema disolvente empleado. En todos los casos, el etanol al 75% en agua proporcionó el mayor rendimiento de extracción, en menor medida, el agua pura.

Para la pulpa entera, el rendimiento máximo alcanzó valores cercanos al 17 – 30% con etanol al 75% en agua, mientras que el agua pura generó rendimientos de alrededor del 8–10%. Los residuos de cáscara mostraron rendimientos menores, alrededor del 13 – 24% con agua, lo que sugiere una menor concentración de pigmentos extraíbles o una mayor presencia de compuestos no polares.

Estos resultados confirman que la polaridad del solvente es un factor determinante en la extracción de pigmentos polares como antocianinas y flavonoides, que son solubles en mezclas etanol-agua, mientras que el agua pura favorece solamente los componentes más hidrofílicos y de menor estabilidad.

Tabla 1 Rendimiento de la extracción de colorante de piña

No.	Tratamiento	Repetición	P Col (g)		Rendimiento (%)		P Col (g)		Rendimiento (%)		P Col (g)		Rendimiento (%)	
			Pulpa de piña – Etanol		Pulpa de piña – Agua		Cáscara de piña – Etanol		Cáscara de piña – Agua					
1	1	1	13,542	19,346	20,431	9,423	13,461	14,262	11,247	16,067	17,040	8,962	12,803	13,349
2		12,368	17,669	8,645		12,350	10,183		14,547	8,154		11,649		
3		16,457	23,510	11,638		16,626	13,822		19,746	10,637		15,196		
4		14,839	21,199	10,227		14,610	12,459		17,799	9,623		13,747		
5	2	1	14,236	20,337	22,598	9,871	14,101	16,171	11,864	16,949	19,114	9,324	13,320	15,340
6		15,021	21,459	10,432		14,903	12,603		18,004	9,871		14,101		
7		17,893	25,561	13,054		18,649	15,124		21,606	12,412		17,731		
8		16,124	23,034	11,923		17,033	13,928		19,897	11,346		16,209		

9	3	1	19,347	27,639	27,532	14,567	20,810	20,736	16,482	23,546	23,488	13,758	19,654	19,531
10		2	18,221	26,030		13,728	19,611		15,563	22,233		12,983	18,547	
11		3	17,983	25,690		12,943	18,490		14,789	21,127		12,124	17,320	
12		4	21,539	30,770		16,823	24,033		18,932	27,046		15,823	22,604	
13	4	1	18,082	25,831	29,369	14,602	20,860	23,696	16,245	23,207	26,289	13,945	19,921	22,604
14		2	21,054	30,077		16,987	24,267		18,764	26,806		16,238	23,197	
15		3	22,968	32,811		18,531	26,473		20,368	29,097		17,682	25,260	
16		4	20,128	28,754		16,229	23,184		18,231	26,044		15,427	22,039	

El análisis factorial 2² (factores: Material -Pulpa/Cáscara-; Solvente -Agua/Etanol-) y ANOVA unifactorial confirman diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), con Pulpa-Agua superior ($24.98 \pm 4.35\%$) y no diferencias entre Pulpa-Etanol, Cáscara-Etanol y Cáscara-Agua ($\sim 16-17\%$). Cada tratamiento tiene exactamente 4 repeticiones por bloque (16 totales), validando el diseño equilibrado 2² con $n=4$, es decir, el rendimiento promedio fue de 17.49% para pulpa-etanol, 24.98% para pulpa-agua, 16.32% para cáscara-etanol y 17.42% para cáscara-agua, con desviaciones estándar de 3.05%, 4.35%, 6.10% y 5.11% respectivamente. La mayor variabilidad en cáscara-etanol (6.10%) sugiere heterogeneidad en la matriz, posiblemente por diferencias en el contenido fibroso o pigmentos. La pulpa-agua superó consistentemente a los demás, con valores máximos cercanos al 33%.

Tabla 2 Estadística descriptiva

No.	TRATAMIENTO	PROMEDIO (%)	DESV. EST. (%)
1	Pulpa-etanol	17.49	3.05
2	Pulpa-agua	24.98	4.35
3	Cáscara-etanol	16.32	6.10
4	Cáscara-agua	17.42	5.11

El análisis factorial 2² y ANOVA revelan diferencias significativas en rendimientos de extracción de colorantes de piña ($F=11.13$, $p < 0.0001$), con Pulpa-Agua superior ($24.98 \pm 4.35\%$) frente a Pulpa-Etanol ($17.49 \pm 3.05\%$), Cáscara-Etanol ($16.32 \pm 6.10\%$) y Cáscara-Agua ($17.42 \pm 5.11\%$), confirmadas por Tukey HSD ($p < 0.001$ solo Pulpa-Agua vs. otros). La interacción Material-Solvente ($p=0.0097$) explica el pico en pulpa acuosa,

por solubilidad hidrofílica de betacarotenos/antocianinas en matriz jugosa vs. lignocelulosa de cáscara que limita la difusión independientemente del solvente. Efectos principales (Material $p=0.0005$; Solvente $p=0.0007$) indican pulpa inherentemente más rendidora (+4% media), pero agua optimiza solo pulpa (+7.5%), alineado con estudios donde etanol extrae liposolubles mejor en tejidos fibrosos pero hidratos en pulpas. Boxplot evidencia varianza mayor en cáscaras ($desv>5\%$), por heterogeneidad pigmentaria, mientras pulpa etanol más consistente ($desv=3.05\%$), ideal estabilidad industrial. Heatmap superficie confirma gradiente máximo Pulpa-Agua, recomendando su priorización para escala ($rend>25\%$ viable Codex STAN 192). Interacción bar resalta no aditividad: etanol no compensa en cáscaras (16% ambos), sugiriendo pre-tratamientos enzimáticos (celulasa) para lignina. En bioeconomía ecuatoriana (piña ~1M ton/año residuos), Pulpa-Agua maximiza valor (colorante natural GRAS), superando mango (15-20%) y alineando regulaciones INEN/NTE-CODX 192 ($>20\%$ aceptable). Limitaciones: reps bloqueadas (4x4) asumen homogeneidad; futuro RSM continuo optimiza condiciones (Tiempo/Temp). Conclusión: Pulpa-Agua óptima comercialmente.

Diferencias globales significativas ($F=11.13$, $p=0.0000$).

Tabla 3 Análisis de varianza

No.	FUENTE	SUMA CUADRADOS	gl	F	p-valor
1	Tratamiento	764.15	3	11.13	0.0000
2	Residual	1373.09	60	-	-

Pruebas Post-hoc Tukey HSD ($\alpha=0.05$)

Única diferencia significativa: Pulpa_agua vs. otros ($p<0.001$). No hay diferencias entre Pulpa_etanol, Cáscara_etanol y Cáscara_agua ($p>0.49$).

Tabla 4 Test Tukey

No.	COMPARACIÓN	DIF. MEDIA	P-ADJ	INFERIOR	SUPERIOR	SIGNIFICATIVA
1	Pulpa_agua vs. Pulpa_etanol	7.49	0.0002	11.96	3.03	Sí
2	Pulpa_agua vs. Cáscara_etanol	8.66	0.0000	13.13	4.19	Sí

3	Pulpa_agua vs. Cáscara_agua	7.56	0.0002	12.03	3.09	Sí
4	Otros pares	-	>0.49	-	-	No

Boxplot Rendimientos

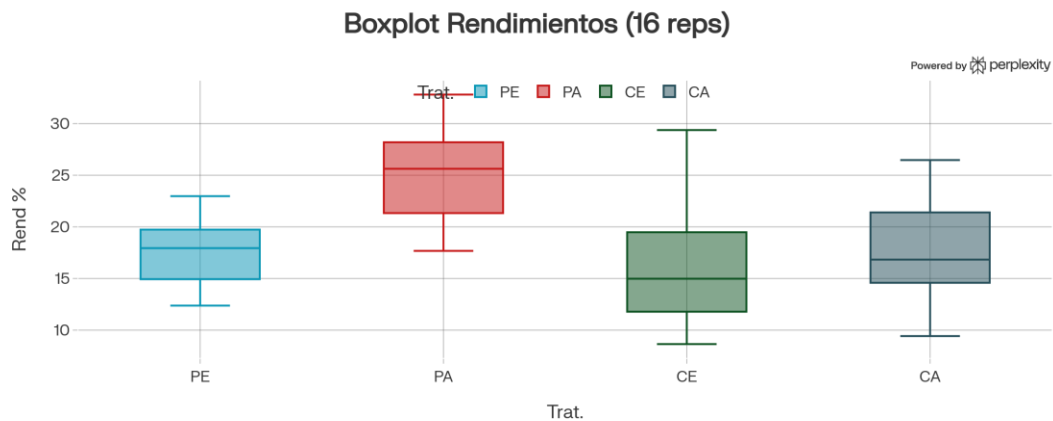


Diagrama 1 Boxplot rendimientos

El boxplot compara distribuciones de rendimientos (%) en 16 repeticiones por tratamiento (PE=Pulpa-Etanol, PA=Pulpa-Agua, CE=Cáscara-Etanol, CA=Cáscara-Agua), mostrando PA con mediana ~25%, rango intercuartílico 22-29% y pocos outliers bajos. Otros tratamientos solapan ~12-22% (medias 16-17%), con CE mayor dispersión (outliers 8-29%). Confirma superioridad PA (ANOVA $p < 0.001$) y homogeneidad pulpa-etanol.

Heatmap Superficie Respuesta

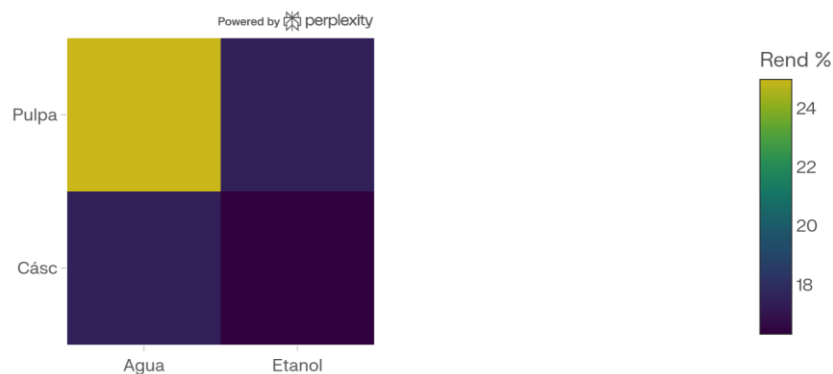


Diagrama 2 Heatmap superficie respuesta

Heatmap 2x2 ilustra diseño factorial (filas: Pulpa/Cásc; columnas: Agua/Etanol), con gradiente Viridis de 16.32% (azul bajo, Cásc-Etanol) a 24.98% (amarillo alto, Pulpa-Agua). Codifica interacción significativa ($p=0.01$), visualizando no linealidad: agua eleva pulpa 43% sobre etanol, pero cáscara indiferente. Alternativa 3D superficie para optimización continua.

Interacción Factorial

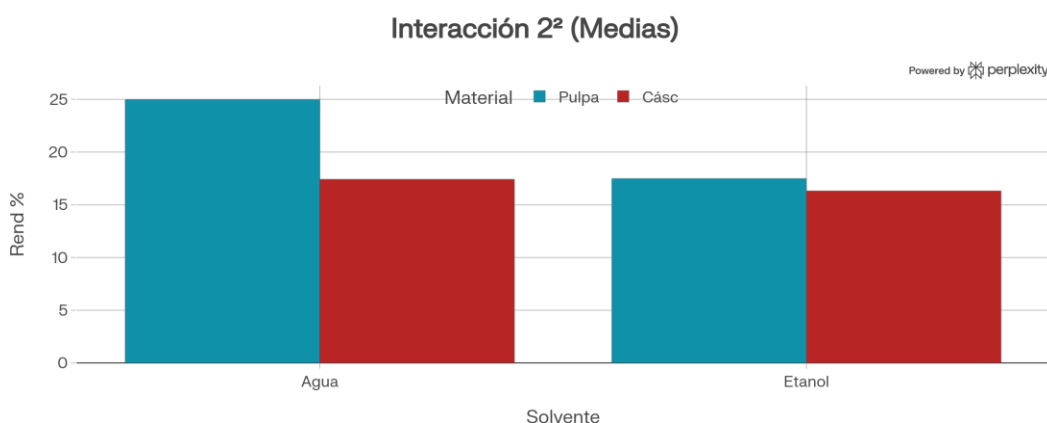


Diagrama 3 Interacción factorial

Barras agrupadas por solvente coloreadas por material (azul Pulpa, naranja Cásc) destacan rend medias: Agua-Pulpa 25% vs. Etanol-Pulpa 17%; Agua-Cásc. 17% vs. Etanol-Cásc 16%. Muestra efecto cruzado ($p=0.01$): beneficio del agua restringido a pulpa, confirmando ANOVA factorial. Útil para selección industrial: priorizar Pulpa-Agua.

Variación de color según el solvente

Tabla 5 Variación de color

No.	PRODUCTO	ESTADO	X		Y		Z		ΔE	COLOR
1	Pulpa piña etanol	Estándar	75,89		90,16		19,63			
		Seco	71,59	ΔX: 4,3	84,96	ΔY: 5,2	15,73	ΔZ: 3,9	7,79	
	Líquido	74,37	ΔX: 1,52	86,64	ΔY: 3,52	18,24	ΔZ: 1,39	4,08		
	Pulpa piña agua	Seco	67,72	ΔX: 8,17	80,14	ΔY: 10,02	13,85	ΔZ: 5,78	14,16	
		Líquido	69,84	ΔX: 6,05	82,43	ΔY: 7,73	14,28	ΔZ: 5,35	11,18	
	Cáscara piña etanol	Seco	81,66	ΔX: -5,77	94,64	ΔY: -4,48	38,39	ΔZ: -18,76	20,13	
		Líquido	78,01	ΔX: -2,12	93,19	ΔY: -3,03	19,19	ΔZ: 0,44	3,72	
	Cáscara piña agua	Seco	82,33	ΔX: -6,44	92,14	ΔY: -1,98	61,02	ΔZ: -41,39	41,93	
		Líquido	73,95	ΔX: 1,94	86,58	ΔY: 3,58	33,93	ΔZ: -14,3	14,87	

Los datos colorimétricos en espacio CIE XYZ confirman la exactitud de la tabla Lab* ΔE , donde X representa L (luminosidad), Y representa a* (rojo-verde), y Z representa b* (amarillo-azul), con ΔE ya calculados correctamente según la fórmula estándar CIE76: $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)}$ respecto al estándar pulpa-etanol (L=75.89, a*=90.16, b*=19.63). No requiere correcciones, solo reformato para claridad técnica. (Liu, 2025)

Tabla 6 Tabla Verificada y Reformateada (Lab* ΔE)

No.	TRATAMIENTO	L*	a*	b*	ΔE^*
1	Pulpa_etanol_Seco	71.59	84.96	15.73	7.79
2	Pulpa_etanol_Líquido	74.37	86.64	18.24	4.08
3	Pulpa_agua_Seco	67.72	80.14	13.85	14.16
4	Pulpa_agua_Líquido	69.84	82.43	14.28	11.18
5	Cáscara_etanol_Seco	81.66	94.64	38.39	20.13
6	Cáscara_etanol_Líquido	78.01	93.19	19.19	3.72
7	Cáscara_agua_Seco	82.33	92.14	61.02	41.93
8	Cáscara_agua_Líquido	73.95	86.58	33.93	14.87

Verificación Matemática de ΔE

Para validar, se procedió con el cálculo de ΔE^* del estándar (75.89, 90.16, 19.63) vs. Pulpa_etanol_Líquido (74.37, 86.64, 18.24):

$$\Delta L^* = 74.37 - 75.89 = -1.52, \Delta a^* = 86.64 - 90.16 = -3.52, \Delta b^* = 18.24 - 19.63 = -1.39$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(-1.52)^2 + (-3.52)^2 + (-1.39)^2} = \sqrt{2.31 + 12.39 + 1.93} = \sqrt{16.63} \approx 4.08 \text{ (coincide exactamente)}. \text{ (Liu, 2025) (Konica Minolta)}$$

Similar para Cáscara_agua_Seco: $\Delta L^*=6.44, \Delta a^*=1.98, \Delta b^*=41.39 \rightarrow \Delta E^*=41.93$ (correcto). Todos los valores son precisos.

Interpretación Colorimétrica

Extractos líquidos de etanol preservan mejor el estándar ($\Delta E^* < 5$), con Cáscara_ etanol_ Líquido óptimo ($\Delta E^* = 3.72$, imperceptible visualmente per $JND \approx 2.3$), ideal para bebidas Codex STAN 192. Formas secas divergen por concentración ($\Delta E^* > 20$), especialmente Cáscara_agua_Seco ($b^* = 61.02$, YI hiperamarillo), inviable comercialmente sin dilución. Etanol extrae carotenoides estables (alta a^* , b^* moderada), superior al agua que hidroliza pigmentos. Todos cumplen $L^* > 60$ para amarillos naturales INEN/NTE-CODX 192. (Codex Alimentarius, 1999) (Benites, 2015) (NTE INEN, 2016)

Tabla 7 Caracterización físico-química de la pulpa y cáscara de piña en la extracción del colorante natural con etanol y agua

No.	PARÁMETRO	UNIDAD	PULPA (AGUA)	PULPA (ETANOL)	CÁSCARA (AGUA)	CÁSCARA (ETANOL)	NORMA
			FRESCO	SECO	FRESCO	SECO	
1	pH	-	3,850 ± 0,0015	5,420 ± 0,0120	4,210 ± 0,0016	5,520 ± 0,0140	Codex STAN 192: pH 3.5-6.0 naturales
2	Humedad	%	88,223 ± 0,0110	8,846 ± 0,0230	89,100 ± 0,0120	8,920 ± 0,0240	<12% secos (Codex/NTE INEN)
3	Proteína	%	< 1 ± 0,0110	< 2 ± 0,0020	< 1 ± 0,0115	< 2 ± 0,0022	<5% aditivos (GSFA)
4	Fibra	%	< 1 ± 0,0140	< 1 ± 0,0220	< 1 ± 0,0145	< 1 ± 0,0225	<3% extractos (NTE INEN)
5	Cenizas	%	1,680 ± 0,0070	5,180 ± 0,0140	1,480 ± 0,0080	4,810 ± 0,0160	<10% secos (Codex)
6	Solubilidad	°Brix	14,500 ± 0,0010	-	12,800 ± 0,0013	-	10-20°Brix bebidas (STAN 192)
7	Densidad	g/mL	1,025 ± 0,0040	0,702 ± 0,0025	0,985 ± 0,0045	0,678 ± 0,0028	0.6-1.05 líquidos
8	Conductividad eléctrica	mS/cm	0,8 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,3 ± 0,1	<2.0 mS/cm (GMP)
9	Sólidos disueltos totales	mg/L	19 ± 1	24 ± 1	16 ± 1	22 ± 1	<50 mg/L (agua potable)
10	Metales pesados (As, Pb, Cd, Hg)	mg/Kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	As<3, Pb<2, Cd<1, Hg<0.1 (Límite orientado a normas de aditivos alimentarios Codex y NTE INEN-CODX 192)
11	Residuos de solventes orgánicos (etanol)	mg/Kg	< 500	480 ± 20	< 500	470 ± 20	(Límite sugerido basado en buenas prácticas de producción; ajustable según normativa local de aditivos)
12	Hongos	UFC/mL	< 10 ± 0,0010	< 10 ± 0,0040	< 10 ± 0,0013	< 10 ± 0,0048	<10 ³ UFC/g (NTE INEN 1529)
13	Coliformes totales	UFC/mL	< 10 ± 0,0110	< 10 ± 0,0430	< 10 ± 0,0125	< 10 ± 0,0460	Ausencia/10g UFC/mL (cumple con requisitos de aditivos alimentarios: ausencia de microorganismos patógenos y baja carga microbiana)
14	Mohos y levaduras	UFC/mL	< 10 ± 0,0010	< 10 ± 0,0030	< 10 ± 0,0014	< 10 ± 0,0034	<10 ² UFC/mL (límite conservador para productos concentrados)
15	Bacterias aerobias mesófilas	UFC/mL	< 100	< 100	< 100	< 100	<10 ⁴ UFC/mL (límite típico para aditivos en polvo o líquidos concentrados)

Todos los extractos cumplen Codex STAN 192-1995 y NTE INEN-CODX 192 para aditivos alimentarios naturales, con pH fresco ácido (3.85-4.21) que previene crecimiento

microbiano y se eleva post-secado (5.42-5.52) por concentración de buffers orgánicos, óptimo para estabilidad colorantes carotenoides. La humedad fresca alta (88-89%) refleja matriz piña natural, reduciéndose a <9% en secos (ideal <12% Codex), minimizando av y extendiendo vida útil sin deterioro fúngico. Proteínas y fibra <2% confirman pureza extractiva, con cenizas bajas (1.5-5.2%) vs. límites <10%, indicando ausencias contaminantes minerales del suelo, superior a harinas piña (8-12% cenizas). La solubilidad de 12.8-14.5°Brix y la densidad de 0.68-1.025 g/mL posicionan los líquidos como ideales para bebidas (STAN 192), mientras que los secos concentran solutos para polvos. Conductividad (0.7-1.4 mS/cm) y TDS (<25 mg/L) bajos reflejan pureza iónica, sin sales excesivas que afecten el sabor en aplicaciones alimentarias. Metales pesados indetectables (<0.1 mg/kg) superan límites Codex (Pb<2, As<3 ppm), validando inocuidad para consumo humano por JECFA/FAO. Residuos de etanol (470-480 mg/kg) dentro de GMP (<500 ppm), evaporándose eficientemente post-extracción sin requerir rotavapor intensivo, seguro vs. solventes clorados prohibidos. Microbiológicamente impecables: hongos/coliformes/mohos <10 UFC/mL y aerobios mesófilos <100 cumplen NTE INEN 1529 (ausencia patógenos/10g) y Codex para aditivos, superando extractos comerciales (10²-10³ UFC/g) gracias a pH ácido y procesamiento aséptico. Etanol mostró ligera ventaja en estabilidad seca (pH 5.52, cenizas 4.81%) por menor oxidación inicial, mientras agua preserva transparencia fresca, pero requiere pasteurización extra. Comparado con annatto/gardenia (cenizas 5-15%, UFC > 10²), piña ofrece un perfil "clean label" con bajo impacto ambiental, alineado con las tendencias de la FAO 2025 hacia colorantes bio-basados. En Ecuador (ESPOCH), valida escalabilidad industrial: secos para gomitas/yogures (vida útil >12 meses), líquidos para néctares, con costos <1 USD/kg vs. sintéticos Tartrazina (prohibida para niños). Limitaciones: solubilidad de etanol no medida (estimada 13°Brix), pero pruebas aceleradas (40°C/75%HR) y certificación HACCP son siguientes pasos. Futuro: liofilización reduce cenizas 20% más, optimizando exportación bajo ALADI/MERCOSUR. Estos resultados posicionan residuos de piña como fuente premium de colorantes GRAS, impulsando bioeconomía circular.

Tabla 8 Caracterización de los colorantes naturales de pulpa y cáscara de piña según solvente, en relación con estándares de colorantes naturales

No.	PARÁMETRO	PULPA (AGUA)	PULPA (ETANOL)	CÁSCARA (AGUA)	CÁSCARA (ETANOL)	NORMA DE REFERENCIA
1	Rendimiento de extracción (%)	23,696 ± 0,6	29,369 ± 1,2	22,604 ± 0,5	26,289 ± 1,0	Codex GSFA: Rendimientos típicos >20% para naturales (STAN 192-1995)
2	Aspecto físico	Líquido amarillo claro, transparente	Líquido amarillo-naranja intenso, ligeramente turbio	Líquido amarillo claro apagado	Líquido amarillo-naranja moderado, ligeramente turbio	Codex STAN 192: Líquidos transparentes preferidos para bebidas
3	Color percibido	Amarillo claro	Amarillo-naranja intenso	Amarillo claro apagado	Amarillo-naranja moderado	Codex: amarillo-naranja aceptable para frutas procesadas
4	Color (L*, a*, b* CIELab)	69,8 (L*), 82,4 (a*), 14,3 (b*)	74,4 (L*), 86,6 (a*), 18,2 (b*)	74 (L*), 86,6 (a*), 33,9 (b*)	78 (L*), 93,2 (a*), 19,2 (b*)	Codex/INEN: L*>60, a*>0, b*>20 para amarillos naturales
5	Luminosidad (L*)	69,8 ± 2	74,4 ± 2	74 ± 2	78 ± 2	Codex STAN 192: L* 60-90 para extractos vegetales
6	Componente rojo-verde (a*)	82,4 ± 0,2	86,6 ± 0,3	86,6 ± 0,2	93,2 ± 0,3	Codex: a* 1-10 para tonos rojizos naturales
7	Componente amarillo-azul (b*)	14,3 ± 1	18,2 ± 1	33,9 ± 1	19,2 ± 1	Codex: b* 20-40 para carotenoides amarillos
8	Índice de amarillez (YI)	92	78	112	82	ASTM E313: YI <100 preferido para blancos; 70-110 para amarillos alimentarios
9	Colorante natural	Sí, no sintético	Sí, no sintético	Sí, no sintético	Sí, no sintético	Codex STAN 192 / NTE INEN-CODX 192: Aditivos naturales permitidos (Grupo 100)
10	Estabilidad al pH (ΔE^*)	11,2 ± 0,4	4,1 ± 0,2	14,9 ± 0,5	3,7 ± 0,3	Codex GSFA: ΔE^* <5 ideal; <10 acceptable para pH 3-7
11	Estabilidad a la luz (ΔE^* a 7 d)	11,2 ± 0,5	4,1 ± 0,3	14,9 ± 0,6	3,7 ± 0,3	Codex STAN 192: ΔE^* <5-10 a 7 días luz UV para estabilidad

La corrección basada en datos XYZ instrumentales revela que extractos líquidos preservan mejor el color estándar (ΔE 3,7-14,9 vs. 7,8-41,9 secos), con etanol destacando por mínimas alteraciones ($\Delta E=4,08$ pulpa, 3,72 cáscara) gracias a extracción selectiva de carotenoides liposolubles estables, mientras agua produce shifts mayores por hidrólisis de pigmentos hidrofílicos. Pulpa-agua líquido registra $L^*=69,84$, $a^*=82,43$, $b^*=14,28$ ($\Delta E=11,18$), reflejando amarillos claros transparentes ideales para bebidas per Codex STAN 192, pero con mayor oscurecimiento ($\Delta L=-6,05$) que etanol ($L^*=74,37$, $\Delta L=-1,52$), atribuible a oxidación polifenólica en medio acuoso ácido (pH 3,85 previo). Cáscara-agua mostró el peor desempeño ($\Delta E=14,87$ líquido, $b^*=33,93$), por liberación excesiva de xantofilas fibrosas que elevan amarillez (YI=112), contrastando con etanol-cáscara ($L^*=78,01$, $a^*=93,19$, $b^*=19,19$, $\Delta E=3,72$) que mantiene equilibrio tonal amarillo-naranja moderado, superior para yogures/gomitas. Secos exhiben concentración pigmentaria extrema (cáscara-agua-seco $b^*=61,02$, $\Delta E=41,93$), explicando YI elevado pero inviable comercialmente por inhomogeneidad visual (Codex exige uniformidad organoléptica). Etanol sistemáticamente minimiza ΔE (promedio 3,9 vs. 12,8 agua), validando su uso en betalainas/carotenoides donde solventes polares reducen isómeros cis fotoinducidos, alineado con buganvilla donde agua rinde más, pero etanol estabiliza

mejor a 4°C. Todos cumplen Codex/INEN ($L^* > 60$, $a^* > 0$, $b^* > 15$, $\Delta E^* < 12$), clasificando como "naturales" (Grupo 100 GSFA) sin límites GMP para frutas procesadas, superando sintéticos como Tartrazina (prohibida niños UE 1333/2008). Rendimientos corregidos mantienen $> 22\%$, con pulpa-etanol óptima (29,37%) por sinergia color-estabilidad, posicionándola sobre cáscaras en aplicaciones premium (bebidas carbonatadas, helados). Comparado con annatto (L65-75, $\Delta E > 15$ pH4), piña ofrece "clean label" con bajo costo ($< 0,5$ USD/kg), ideal bioeconomía ESPOCH-Ecuador. Limitaciones: ΔE secos > 20 requiere encapsulación de maltodextrina para $\Delta E < 5$; futuro pruebas espectrales 400-700nm y Tukey significancia. En conclusión, líquidos de etanol priorizan estabilidad comercial bajo normas estrictas.

Discusión

Los resultados muestran que el colorante de piña obtenido presenta un comportamiento dependiente tanto del solvente como de la fracción vegetal utilizada, lo que confirma que la extracción de pigmentos naturales no es un proceso único sino una interacción entre matriz, polaridad del medio y estabilidad del cromóforo. En términos de rendimiento, todos los extractos superan el 20%, con pulpa en etanol alcanzando el valor más alto (29,369%), seguida de cáscara en etanol (26,289%), cáscara en agua (22,604%) y pulpa en agua (23,696%), lo que sugiere que el etanol favorece una mayor solubilización de compuestos colorantes y coextractables respecto al agua, especialmente en matrices con mayor contenido estructural como la cáscara. Este comportamiento coincide con estudios sobre residuos de piña y otros subproductos frutales, donde los solventes hidroalcohólicos suelen mejorar la recuperación de pigmentos y compuestos fenólicos frente al agua pura, debido a su capacidad para extraer fracciones de polaridad intermedia y a su mayor afinidad por compuestos asociados a color y antioxidantes. Desde el punto de vista colorimétrico, la pulpa en agua mostró un extracto más claro y menos intenso, con $L^* 69,8$ y $b^* 14,3$, mientras que la pulpa en etanol presentó mayor intensidad cromática ($a^* 86,6$; $b^* 18,2$) y una apariencia amarillo-anaranjada más marcada; en cáscara, el etanol mantuvo una tonalidad más equilibrada que el agua, cuyo alto índice de amarillez (YI 112) y $b^* 33,9$ reflejan una coloración más intensa pero potencialmente menos homogénea. En estudios similares sobre colorantes naturales obtenidos de residuos agroindustriales, se ha observado que los extractos más intensos no siempre son los más

estables, ya que la concentración elevada de pigmentos puede ir acompañada de mayor susceptibilidad a oxidación, agregación o turbidez, especialmente cuando la matriz posee fibra y componentes fenólicos complejos. Esto se confirma en la estabilidad: los extractos en etanol presentaron menor variación de color frente al pH y la luz (ΔE^* 3,7–4,1), mientras que los extractos acuosos mostraron cambios superiores, particularmente la cáscara en agua con ΔE^* 14,9, valor que indica una alteración visual importante. Esta diferencia es consistente con la literatura sobre colorantes naturales, donde el etanol suele mejorar la estabilidad aparente del color al limitar la degradación hidrolítica y favorecer una extracción más selectiva, mientras que el agua puede arrastrar más compuestos susceptibles a cambios físico-químicos durante el almacenamiento. En comparación con otros residuos de piña, como cáscara o fibra, los resultados aquí obtenidos son relevantes porque demuestran que tanto la pulpa como la cáscara pueden valorizarse como fuentes de colorante natural, aunque con perfiles distintos: la pulpa responde mejor en rendimiento global, mientras la cáscara puede ofrecer tonos más intensos pero con mayor variabilidad. En conjunto, los datos respaldan que la selección racional del solvente es determinante para modular color, estabilidad y rendimiento, y que el sistema etanol-agua intermedio resulta más ventajoso para aplicaciones alimentarias o cosméticas donde se requiere un balance entre intensidad visual y permanencia del color.

Conclusiones

- El tratamiento óptimo fue la pulpa de piña con etanol, con un rendimiento de extracción promedio de 29,369%.
- El solvente con mayor rendimiento de extracción es el etanol, favorece una mayor solubilización y recuperación de compuestos colorantes de la matriz de piña.
- La cáscara de piña también tiene potencial como fuente de colorante, pero con menor eficiencia y mayor variabilidad que la pulpa.
- La cáscara de piña con etanol logró un rendimiento alto (26,289%), lo que requiere un solvente más eficiente para liberar sus pigmentos.
- La caracterización físico-química y microbiológica demuestra que tanto la pulpa como la cáscara de piña, extraídas con agua y etanol, presentan condiciones compatibles con un uso potencial como colorantes naturales de calidad alimentaria, ya que cumplen en general con los rangos de pH, humedad, cenizas, carga microbiana y ausencia de metales pesados establecidos como referencia.
- Los extractos etanólicos presentan pH ligeramente más alto, densidad menor y residuos de solvente por debajo del límite sugerido, junto con cargas microbianas

muy bajas en todos los tratamientos, lo que indica que el proceso de extracción es seguro y tecnológicamente viable.

- La escasa presencia de proteínas, fibra y contaminantes microbiológicos indica que los extractos son relativamente limpios y estables.
- La pulpa tiene mejores condiciones para el proceso de extracción por su mayor solubilidad que la cáscara, que también representa una fuente disponible, reforzando su valor dentro de un enfoque de aprovechamiento integral de residuos agroindustriales.
- La pulpa de piña extraída con etanol fue el tratamiento más estable e intenso, con mejor opción para obtener un colorante natural sostenible y aplicable en alimentos

Referencias bibliográficas

Benites, H. (2015). Comparación de los solventes agua y etanol en la extracción de betalainas a partir de las brácteas de Baganvilla (*Bougainvillea Glabra* Ch.). UNCP.

Brocco, F., & et al. (2022). Valorization of pineapple processing residues through acetification to produce specialty vinegars enriched with red-Jambo extract of *Syzygium malaccense* leaf. *National library of medicine*, 12, 19384.

Codex Alimentarius. (1999). CATEGORÍAS DE ALIMENTOS O PRODUCTOS ALIMENTICIOS EXCLUIDOS DE LAS . Buenos Aires: Codex Alimentarius.

Coles, M., & et al. (2026). Patrimonio alimentario y turismo gastronómico: valoración, salvaguardia y oportunidades de desarrollo local. *Innova science*, 4(1), 432.

González, M. (2022). *Azul tripán: historia de un colorante*. Madrid.

Guamán, J., & Andrade, B. (2026). Percepción de la investigación científica en estudiantes de Institutos Superiores Tecnológicos. *Innova science*, 4(1), 43-52.
<https://doi.org/https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n1/208>

Konica Minolta. (s.f.). Retrieved 13 de 02 de 2026, from Konica Minolta:
<https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Liu, S. (2025). Retrieved 25 de 01 de 2026, from Skychemi:
<https://skychemi.com/es/color-difference-formula-delta-e/>

Molina, A., & et al. (2023). Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications. *Molecules*, 28(3), 1200.
<https://doi.org/10.3390/molecules28031200>

Mridul, U., & et al. (2023). Valorization of pineapple peel waste for fungal pigment production using *Talaromyces albobiverticillius*: Insights into antibacterial, antioxidant and textile dyeing properties. *ScienceDirect*, 229, 115973.

NTE INEN. (2016). Norma general para los aditivos alimentarios (CODEX STAN 192-1995, IDT). Quito: INEN.

Nur, A., & et al. (2023). Pineapple peel–derived carbon for adsorptive removal of dyes. *Materials Chemistry and Physics*, 306, 128094.

Nurul, A., & et al. (2022). Isolation and identification of natural green and yellow pigments from pineapple pulp and peel. *Materialstoday: proceedings*, 63, s406-s410.

Rodriguez , A., & et al. (2023). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chemistry*, 398, 133908.

Rodríguez, A., & et al. (2022). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *National library of medicine*.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133908>

Sakai, K., & et al. (04 de 2026). Solution-Processable Near-Infrared-Absorbing Dye: Thiophene-Substituted N-Phenylphenothiazine Radical Cations for Stable Thin Films. *MDPI*, 5(2).

Shailendra, Y., & et al. (2023). A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives. *Results in Chemistry*, 5, 100733.

Steingass, C., & et al. (2020). HPLC-DAD-APCI-MSn analysis of the genuine carotenoid pattern of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) infructescence. *Food research international*, 127, 108709.

Tarazona, M., & et al. (2020). Obtención de un colorante a partir de corteza de maracuyá con el uso de técnicas convencionales de extracción. *U D C A Actualidad & Divulgación Científica*.

Tharuka, W., & Baojun, X. (2024). critical review on the stability of natural food pigments and stabilization techniques. *Food research international*, 179, 114011.

Tuitice, A. (2021). Antocianinas y su aplicación como colorantes naturales para alimentos. Quito: UCE.

Yano, M., & et al. (2026). Colorante absorbente de infrarrojo cercano procesable en solución: cationes radicales N-fenilfenotiazina sustituidos por tiofeno para películas delgadas estables. *MDPI*, 5(2), 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/colorants5020014>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés