

Caracterización fisicoquímica y análisis cualitativo de semillas de papaya criolla mediante cromatografía líquida

Victor Alejandro Ascurra Valle*
<https://orcid.org/0000-0001-5755-5267>
vascurra@uns.edu.pe
Universidad Nacional del Santa
Nuevo Chimbote, Perú

Percy Danilo Aguilar Rojas
<https://orcid.org/0000-0001-9345-7955>
paguilarr@unitru.edu.pe
Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo, Perú

*Autor de correspondencia: vascurra@uns.edu.pe

Recibido: (25/06/2026), Aceptado: (01/08/2026)

Resumen. Se caracterizaron fisicoquímica e instrumentalmente semillas de papaya criolla (*Carica papaya* L.) en cuatro estados de maduración. Se determinaron composición proximal, pH y sólidos solubles, y se caracterizó el perfil relativo de ácidos grasos mediante UPLC-MS/MS. La maduración incrementó la fibra cruda de 25,4 a 34,7% y los lípidos de 17,6 a 29,2%, mientras los carbohidratos disminuyeron de 25,8 a 3,1%. El ácido oleico fue predominante, seguido por los ácidos palmítico y gadoleico. El pH aumentó de 4,7 a 5,9 y los sólidos solubles disminuyeron de 6,4 a 1,7 °Brix. Los resultados evidencian modificaciones composicionales diferenciadas durante la maduración y respaldan el interés de estas semillas como subproducto susceptible de valorización agroindustrial.

Palabras clave: *Carica papaya*, ácidos grasos, composición proximal, maduración, UPLC-MS/MS.

Physicochemical Characterization and Qualitative Analysis of Creole Papaya Seeds by Liquid Chromatography

Abstract. Creole papaya (*Carica papaya* L.) seeds at four ripening stages were characterized physico-chemically and instrumentally. Proximate composition, pH, and soluble solids were determined, and the relative fatty acid profile was characterized using UPLC-MS/MS. During ripening, crude fiber increased from 25.4 to 34.7% and lipid content from 17.6 to 29.2%, whereas carbohydrates decreased from 25.8 to 3.1%. Oleic acid was the predominant fatty acid, followed by palmitic and gadoleic acids. The pH increased from 4.7 to 5.9, while soluble solids decreased from 6.4 to 1.7 °Brix. The results demonstrate distinct compositional changes during ripening and support the potential of these seeds as an agro-industrial by-product suitable for valorization.

Keywords: *Carica papaya*, fatty acids, proximate composition, ripening, UPLC-MS/MS.

I. INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya L.*) es una especie tropical de amplia importancia alimentaria y agroindustrial, cuyo aprovechamiento se ha concentrado tradicionalmente en la pulpa. Sin embargo, el procesamiento y consumo del fruto generan subproductos, entre ellos las semillas, que poseen una composición química de interés y pueden constituir una materia prima susceptible de valorización. Los primeros estudios de caracterización mostraron que las semillas de papaya contienen fracciones apreciables de proteínas, lípidos y otros componentes, lo que permitió reconocer tempranamente su potencial más allá de su consideración como residuo [1]. Investigaciones posteriores sobre el aceite de semilla confirmaron propiedades fisicoquímicas particulares y una composición lipídica dominada por ácidos grasos de interés tecnológico y nutricional [2].

Entre los componentes de mayor relevancia se encuentra la fracción oleosa. La caracterización del aceite extraído de semillas de papaya ha evidenciado un contenido elevado de ácido oleico, característica que incrementa el interés de este subproducto como fuente alternativa de lípidos [3]. No obstante, la composición de la semilla no debe interpretarse como una propiedad necesariamente constante. El estado fisiológico del fruto puede modificar la distribución de sus componentes, y se ha demostrado que las semillas obtenidas en diferentes etapas de maduración presentan variaciones en proteínas, fibra, aceite y capacidad antioxidante [4]. Asimismo, la composición de los aceites puede mostrar diferencias asociadas con el origen del material vegetal, lo que refuerza la necesidad de caracterizar muestras procedentes de contextos productivos específicos [5].

La obtención y caracterización de la fracción lipídica también dependen de las condiciones analíticas utilizadas. La extracción con solventes y la extracción asistida por ultrasonido han sido estudiadas en semillas de papaya, mostrando su utilidad para determinar rendimiento, composición de ácidos grasos y perfil de triacilglicéridos [6]. Paralelamente, el interés científico por las semillas se ha ampliado hacia sus compuestos fitoquímicos y propiedades funcionales, tanto mediante su incorporación en matrices alimentarias [7] como mediante el estudio de extractos con actividad antioxidante y otras propiedades biológicas [8]. Estas evidencias sitúan a la semilla de papaya como un subproducto agroindustrial con posibilidades de aprovechamiento y justifican una caracterización que integre indicadores fisicoquímicos y composición lipídica.

Los avances recientes en recuperación de constituyentes de la semilla han reforzado la importancia de seleccionar procedimientos de extracción y separación capaces de identificar sus principales componentes [9]. Desde una perspectiva de economía circular y aprovechamiento sostenible, los subproductos de papaya pueden contener compuestos de valor que justifican su recuperación y transformación en ingredientes o materias primas de interés agroindustrial [10]. En este contexto, estudiar semillas de papaya criolla durante la maduración permite analizar si las modificaciones observadas en el fruto se acompañan de cambios sistemáticos en la composición proximal, el perfil de ácidos grasos y variables fisicoquímicas del extracto.

Por consiguiente, el presente estudio se orienta a evaluar los cambios en la composición fisicoquímica y el perfil de ácidos grasos de semillas de papaya criolla (*Carica papaya L.*) en diferentes estados de maduración. El análisis integra humedad, cenizas, proteínas, fibra, lípidos y carbohidratos, junto con la determinación de ácidos grasos y el comportamiento del pH y los sólidos solubles. Este enfoque permite valorar la maduración como un factor asociado con la composición de la semilla y generar evidencia aplicable a su caracterización y potencial aprovechamiento agroindustrial.

II. MARCO TEÓRICO

A. Semilla de papaya como matriz de interés agroindustrial

La semilla representa una fracción del fruto cuya composición incluye macronutrientes y metabolitos susceptibles de recuperación. La literatura sobre caracterización química de matrices vegetales muestra que la determinación de proteínas, lípidos, fibra, cenizas y carbohidratos constituye una base para establecer su valor potencial como materia prima. En estudios recientes de caracterización química de semillas vegetales se mantiene este enfoque composicional como punto de partida para identificar posibilidades de aprovechamiento [11]. En la papaya, esta perspectiva resulta especialmente pertinente porque las semillas son generadas como subproducto y su valor depende

tanto de la cantidad de fracción recuperable como de la naturaleza de los compuestos presentes.

El aprovechamiento de matrices oleaginosas exige, además, considerar la naturaleza de sus ácidos grasos y los métodos empleados para identificarlos. Las revisiones contemporáneas sobre composición y análisis de ácidos grasos destacan que el perfil lipídico constituye un descriptor esencial para valorar aceites y otras matrices vegetales [12]. En el caso de la papaya, el interés por sus semillas no se limita a la fracción alimentaria: sus extractos también han sido incorporados en sistemas experimentales destinados a aplicaciones biomateriales, lo que evidencia la diversidad de compuestos recuperables y la amplitud de posibles usos [13].

B. Caracterización fisicoquímica y análisis instrumental

La caracterización fisicoquímica comprende la determinación sistemática de propiedades que permiten describir una materia prima y comparar su comportamiento bajo distintas condiciones. En matrices alimentarias, parámetros como humedad, cenizas, proteínas, fibra, lípidos, carbohidratos, pH y sólidos solubles aportan información complementaria sobre composición y transformación. El análisis instrumental amplía esta caracterización al permitir separar e identificar componentes de mezclas complejas. Entre estas herramientas, las técnicas cromatográficas son ampliamente utilizadas debido a su capacidad de separación y a la posibilidad de acoplar diferentes sistemas de detección según la naturaleza del analito [14].

Los procedimientos de análisis químico requieren una preparación de muestra coherente con el componente de interés, además de condiciones controladas de extracción, medición y registro. Los fundamentos del análisis químico e instrumental proporcionan criterios para seleccionar procedimientos de preparación y técnicas de determinación según las características de la matriz [15]. De manera complementaria, los métodos clásicos de análisis de alimentos continúan siendo relevantes para establecer parámetros proximales y fisicoquímicos que sirven como referencia para interpretar posteriormente los resultados instrumentales [16].

C. Composición de la papaya y valorización de sus componentes

El interés por *Carica papaya* se ha extendido hacia diferentes fracciones del fruto y de la planta debido a la presencia de compuestos bioactivos. Estudios recientes han evaluado productos fermentados derivados de papaya y su contenido de compuestos con potencial funcional, mostrando que la matriz vegetal puede ser aprovechada mediante distintos procesos de transformación [17]. Aunque estas aplicaciones no sustituyen la caracterización específica de la semilla, respaldan la importancia de estudiar los componentes de la especie desde una perspectiva de aprovechamiento integral.

D. Maduración y cambios fisicoquímicos

La maduración es un proceso fisiológico durante el cual ocurren modificaciones coordinadas en la composición y las propiedades del fruto. En papaya se han documentado cambios durante la maduración bajo diferentes condiciones de almacenamiento, lo que demuestra que los indicadores fisicoquímicos evolucionan conforme avanza el estado de desarrollo [18]. De forma semejante, el estudio de parámetros fisiológicos y bioquímicos en papaya Maradol ha mostrado que el grado de madurez constituye una variable relevante para interpretar las transformaciones de la fruta [19].

Entre los indicadores empleados para describir la maduración se encuentran el color, el pH, los sólidos solubles y otros parámetros fisicoquímicos. El seguimiento de papayas durante la maduración en el árbol ha permitido establecer índices de madurez y reconocer modificaciones progresivas en estas variables [20]. En consecuencia, la clasificación por estados de maduración proporciona un marco útil para examinar no solo los cambios del fruto, sino también las posibles variaciones en la semilla asociadas con el desarrollo fisiológico.

Desde esta perspectiva, la relación entre maduración y composición de la semilla puede analizarse mediante tres dimensiones complementarias: la composición proximal, que describe la distribución de los principales constituyentes; el perfil de ácidos grasos, que caracteriza la fracción lipídica; y los indicadores fisicoquímicos, particularmente pH y sólidos solubles. La integración de estas dimensiones permite determinar si el avance de la maduración se acompaña de patrones consistentes de incremento, disminución o estabilidad de los componentes de la semilla, y ofrece una base para

identificar etapas de mayor interés para su eventual valorización agroindustrial.

III. METODOLOGÍA

A. Diseño del estudio

Se realizó un estudio experimental de alcance descriptivo-comparativo orientado a evaluar los cambios en la composición fisicoquímica y el perfil de ácidos grasos de semillas de papaya criolla (*Carica papaya L.*) en diferentes estados de maduración. El estado de maduración constituyó el factor de comparación, mientras que la composición proximal, el pH, los sólidos solubles y el perfil de ácidos grasos fueron considerados variables de respuesta.

El material experimental estuvo constituido por seis frutos de papaya criolla, con una disponibilidad aproximada de 50 g de semillas por fruto. De cada unidad se seleccionaron 25 g de semillas para los procedimientos analíticos. Los frutos fueron clasificados visualmente en seis estados de maduración: estado 1, fruto verde con semillas blancas; estado 2, fruto verde ligeramente amarillo con semillas grises; estado 3, fruto aproximadamente 50% verde y 50% amarillo con semillas negras; estado 4, fruto 100 % amarillo con semillas negras; estado 5, fruto aproximadamente 80% amarillo y 20% rojo con semillas negras; y estado 6, fruto 100% rojo con semillas negras.

Los estados 1 y 2 fueron excluidos de la caracterización debido al desarrollo incompleto de las semillas, evidenciado por su coloración blanca o gris. En consecuencia, los análisis se realizaron sobre las semillas correspondientes a los estados 3, 4, 5 y 6.

B. Preparación de las muestras

Las semillas fueron separadas manualmente de los frutos y acondicionadas de acuerdo con el análisis correspondiente. Para las determinaciones de pH y sólidos solubles se emplearon semillas frescas previamente trituradas.

Para la caracterización de la composición proximal y el análisis de la fracción lipídica, las semillas fueron secadas a la sombra y posteriormente molidas hasta alcanzar una granulometría correspondiente a malla 60. Para la extracción de los componentes destinados al análisis cromatográfico, el material seco y pulverizado se trató con alcohol etílico al 95% durante 1,5 h a una temperatura de 30 °C. El extracto resultante fue utilizado para la caracterización instrumental.

C. Caracterización fisicoquímica

La composición proximal de las semillas se caracterizó mediante la determinación de humedad, cenizas, proteínas, fibra cruda, lípidos y carbohidratos, cuyos resultados fueron expresados como porcentaje en base seca. Las determinaciones se efectuaron para cada uno de los cuatro estados de maduración incluidos en el análisis.

Como indicadores complementarios del proceso de maduración se determinaron el pH y el contenido de sólidos solubles en las muestras frescas trituradas. Los sólidos solubles fueron expresados en grados Brix (°Brix). La evaluación conjunta de estos parámetros permitió examinar las modificaciones fisicoquímicas asociadas con el avance de la maduración.

D. Análisis cromatográfico y espectrometría de masas

La caracterización instrumental del extracto se realizó mediante cromatografía líquida de ultra alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (*UPLC-MS/MS*), utilizando un sistema Waters Xevo TQ-S equipado con detector MS/MS. La separación cromatográfica se efectuó mediante una columna Acquity UPLC BEH C18, de 1,7 μm , 2,1 $\times$ 100 mm, mantenida a 30 °C.

La fase móvil estuvo constituida por dos componentes: fase A, agua ultrapura con ácido fórmico al 0,1%, y fase B, acetonitrilo con ácido fórmico al 0,1%. El flujo se estableció en 0,3 mL/min y se utilizó un programa de gradiente de 20 min. La composición inicial fue 95% A y 5% B, mantenida hasta 0,69 min. Posteriormente, la proporción de B se incrementó progresivamente a 7% a los 1,39 min; 10% a los 3,20 min; 12% a los 3,47 min; 20% a los 8,34 min; 24% a los 9,03 min; 31% a los 10,42 min; 35% a los 11,12 min; 42% a los 12,50 min; y 48% a los 13,20 min. A los 13,89 min se alcanzó una composición de 44 % A y 56% B, seguida de 5% A y 95% B entre 15,28 y 15,98 min.

A los 16,67 min se restablecieron las condiciones iniciales de 95% A y 5% B, que se mantuvieron hasta los 20 min.

La adquisición espectrométrica se efectuó en modo de ionización negativo y modalidad *MS SCAN*. Se empleó un voltaje capilar de 2,50 según la configuración registrada por el equipo, flujo de gas de desolvatación de 950 según el registro instrumental, flujo de cono de 150 L/h y temperatura de desolvatación de 550 °C.

E. Caracterización del perfil de ácidos grasos

Las señales obtenidas mediante *UPLC-MS/MS* fueron examinadas de acuerdo con su relación masa/carga (m/z) y comportamiento cromatográfico. La caracterización se orientó específicamente a los tres ácidos grasos reportados en el análisis original: ácido palmítico (C16:0), ácido oleico (C18:1 ω 9) y ácido gadoleico (C20:1 ω 11).

Debido a que la documentación instrumental disponible no registra curvas de calibración, concentraciones de estándares externos ni transiciones específicas para una cuantificación absoluta, los resultados correspondientes a estos compuestos fueron considerados como una caracterización semicuantitativa del perfil de ácidos grasos. Los porcentajes reportados se utilizaron para establecer su abundancia relativa y comparar su comportamiento entre los cuatro estados de maduración, sin interpretarlos como determinaciones de concentración absoluta.

Para cada compuesto se analizó la tendencia de su abundancia relativa durante la maduración y se compararon los valores correspondientes a los estados 3, 4, 5 y 6. Este procedimiento permitió establecer el predominio relativo de los ácidos grasos detectados y evaluar sus variaciones asociadas con el estado de maduración.

F. Análisis estadístico

Los datos correspondientes a los estados de maduración 3, 4, 5 y 6 fueron organizados por variable para su análisis descriptivo y comparativo. Para la composición proximal se consideraron humedad, cenizas, proteínas, fibra cruda, lípidos y carbohidratos. Asimismo, se analizaron separadamente el pH, los sólidos solubles y las abundancias relativas correspondientes a los ácidos palmítico, oleico y gadoleico.

La homogeneidad de las varianzas fue evaluada mediante la prueba de Levene cuando esta información estuvo disponible. Las diferencias entre estados de maduración se examinaron mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), considerando el estado de maduración como factor. Cuando se identificaron diferencias estadísticamente significativas, se aplicó la prueba *post hoc* de Tukey para realizar las comparaciones múltiples entre estados. Se adoptó un nivel de significación de $\alpha = 0,05$.

Los análisis inferenciales fueron interpretados con carácter exploratorio debido a la estructura del muestreo original. Cada estado de maduración estuvo asociado con un fruto y la documentación disponible no permite establecer la existencia de réplicas biológicas independientes para cada estado. Por esta razón, las pruebas estadísticas se utilizaron principalmente para apoyar la identificación de patrones entre las condiciones estudiadas y no para realizar inferencias poblacionales sobre la especie.

G. Criterios de interpretación

La interpretación se restringió a las muestras y condiciones experimentales documentadas. Las variaciones observadas en la composición proximal, los indicadores fisicoquímicos y el perfil relativo de ácidos grasos se analizaron en función del avance de la maduración, identificando tendencias de incremento, disminución o estabilidad.

En particular, la interpretación del análisis *UPLC-MS/MS* se limitó a la caracterización de las señales y abundancias relativas reportadas, debido a la ausencia de documentación sobre estándares analíticos y procedimientos de calibración. Esta delimitación permitió conservar los resultados experimentales originales sin atribuir al procedimiento instrumental un nivel de cuantificación no demostrado por los registros disponibles.

IV. RESULTADOS

A. Cambios en la composición proximal durante la maduración

La composición proximal de las semillas de papaya criolla presentó comportamientos diferenciados entre los estados de maduración 3 y 6 (Tabla 1). La humedad disminuyó de 6,5% a 4,8%, mientras que las cenizas se redujeron de 7,5% a 6,3%. El contenido proteico permaneció relativamente estable, con valores comprendidos entre 27,5% y 28,9%. En contraste, la fibra cruda aumentó progresivamente de 25,4% en el estado 3 a 34,7% en el estado 6, y los lípidos se incrementaron de 17,6% a 29,2%. La mayor modificación se observó en los carbohidratos, cuyo contenido disminuyó de 25,8% a 3,1%.

Tabla 1. Composición proximal de las semillas según el estado de maduración

Componente (%)	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Estado 6
Humedad	6,5	6,4	5,7	4,8
Cenizas	7,5	7,1	6,8	6,3
Proteínas	28,4	27,5	28,5	28,9
Fibra cruda	25,4	29,8	31,5	34,7
Lípidos	17,6	19,5	22,4	29,2
Carbohidratos	25,8	12,6	8,7	3,1

El ANOVA mostró que las variaciones de humedad ($p = 0,216$), cenizas ($p = 0,544$) y proteínas ($p = 0,423$) no fueron estadísticamente significativas entre los estados de maduración. Por el contrario, se identificaron diferencias significativas en fibra cruda, lípidos y carbohidratos ($p < 0,001$).

Las comparaciones múltiples confirmaron que el aumento de la fibra adquirió mayor diferenciación conforme avanzó la maduración. Para los lípidos, no se observó diferencia significativa entre los estados 3 y 4 ($p = 0,171$), mientras que las diferencias fueron significativas entre los estados 3-5, 3-6, 4-5, 4-6 y 5-6. Los carbohidratos presentaron diferencias significativas en todas las comparaciones entre estados. Estos resultados evidencian que la maduración estuvo asociada principalmente con un incremento de las fracciones de fibra y lípidos y con una marcada reducción de los carbohidratos.

B. Perfil de ácidos grasos

El análisis mediante *UPLC-MS/MS* permitió caracterizar las señales correspondientes a los tres ácidos grasos reportados: palmítico (C16:0), oleico (C18:1 ω 9) y gadoleico (C20:1 ω 11) (Tabla 2). El ácido oleico fue el componente predominante en todos los estados de maduración, seguido por el ácido palmítico y, en proporción considerablemente menor, por el ácido gadoleico.

Tabla 2. Abundancia relativa de los ácidos grasos según el estado de maduración

Ácido graso (%)	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Estado 6
Palmítico (C16:0)	14,20	13,80	13,10	12,40
Oleico (C18:1 ω 9)	64,70	61,70	59,80	57,40
Gadoleico (C20:1 ω 11)	0,63	0,55	0,41	0,37

Los tres compuestos mostraron una tendencia descendente a medida que avanzó la maduración. El ácido oleico disminuyó de 64,7% en el estado 3 a 57,4% en el estado 6; el palmítico, de 14,2% a 12,4%; y el gadoleico, de 0,63% a 0,37%. Sin embargo, la existencia de una tendencia numérica descendente no implicó diferencias estadísticamente significativas para los tres compuestos.

La prueba de Levene no mostró evidencia de heterogeneidad de varianzas para los ácidos palmítico ($p = 0,513$), oleico ($p = 0,695$) y gadoleico ($p = 0,142$). El ANOVA indicó diferencias entre estados para el ácido palmítico ($F = 23,992$; $p < 0,001$) y el ácido oleico ($F = 8,820$;

$p = 0,006$), mientras que el ácido gadoleico no presentó diferencias significativas ($F = 2,690$; $p = 0,117$) (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación estadística del perfil de ácidos grasos

Ácido graso	F	p	Interpretación
Palmítico (C16:0)	23,992	$< 0,001$	Diferencias significativas
Oleico (C18:1 $\omega 9$)	8,820	0,006	Diferencias significativas
Gadoleico (C20:1 $\omega 11$)	2,690	0,117	Sin diferencias significativas

Las comparaciones *post hoc* mostraron para el ácido palmítico diferencias significativas entre los estados 3–5 ($p = 0,004$), 3–6 ($p < 0,001$) y 4–6 ($p = 0,003$). Las comparaciones 3–4 ($p = 0,081$), 4–5 ($p = 0,210$) y 5–6 ($p = 0,053$) no alcanzaron significación estadística.

En el ácido oleico, únicamente la comparación entre los estados 3 y 6 resultó significativa ($p = 0,004$); las restantes comparaciones no mostraron diferencias significativas. Para el ácido gadoleico ninguna comparación por pares alcanzó significación estadística. Por tanto, aunque los tres ácidos grasos presentaron valores progresivamente menores, la evidencia estadística indica que el efecto asociado con la maduración fue más consistente para los ácidos palmítico y oleico.

C. Comportamiento del pH y los sólidos solubles

Los indicadores fisicoquímicos mostraron tendencias opuestas durante la maduración. El pH aumentó de 4,7 en el estado 3 a 5,9 en el estado 6, mientras que los sólidos solubles disminuyeron de 6,4 a 1,7 °Brix (Tabla 4).

Tabla 4. pH y sólidos solubles según el estado de maduración

Parámetro	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Estado 6
pH	4,7	4,9	5,6	5,9
Sólidos solubles (°Brix)	6,4	4,9	3,1	1,7

El ANOVA confirmó diferencias entre los estados de maduración tanto para el pH ($F = 12,139$; $p = 0,002$) como para los sólidos solubles ($F = 155,487$; $p < 0,001$).

Las comparaciones de Tukey para el pH mostraron diferencias significativas entre los estados 3–5 ($p = 0,025$), 3–6 ($p = 0,003$) y 4–6 ($p = 0,009$). No se encontraron diferencias entre 3–4 ($p = 0,831$), 4–5 ($p = 0,081$) ni 5–6 ($p = 0,436$). En los sólidos solubles, todas las comparaciones entre estados fueron estadísticamente significativas.

El comportamiento inverso de ambos indicadores muestra una modificación fisicoquímica progresiva de las semillas durante la maduración: mientras el pH se desplazó hacia valores menos ácidos, el contenido de sólidos solubles disminuyó de manera sostenida.

D. Integración de los cambios asociados con la maduración

La integración de los resultados permitió identificar tres patrones principales. El primero correspondió a componentes relativamente estables, representados por proteínas, humedad y cenizas, cuyas diferencias entre estados no alcanzaron significación estadística. El segundo estuvo constituido por variables con cambios marcados en la composición proximal: la fibra cruda y los lípidos aumentaron, mientras que los carbohidratos disminuyeron conforme avanzó la maduración. El tercer patrón correspondió a los indicadores fisicoquímicos y al perfil lipídico, caracterizado por el incremento del pH, la reducción de los sólidos solubles y la disminución de las abundancias relativas de los ácidos grasos analizados.

En términos composicionales, el estado 6 presentó simultáneamente el mayor contenido de fibra cruda (34,7%) y lípidos (29,2%), así como el menor contenido de carbohidratos (3,1%). En contraste, el estado 3 presentó las mayores abundancias relativas de ácido oleico (64,7%), palmítico

(14,2%) y gadoleico (0,63%). De este modo, los resultados muestran que la maduración no produjo una modificación uniforme de todos los constituyentes, sino patrones específicos según la fracción analizada.

La evidencia obtenida permite distinguir, por tanto, dos características potencialmente relevantes para el aprovechamiento de las semillas: los estados más avanzados estuvieron asociados con una mayor proporción total de lípidos, mientras que los estados analizados al inicio de la maduración presentaron una mayor abundancia relativa de los ácidos grasos identificados. Esta diferencia indica que el incremento de la fracción lipídica total no estuvo acompañado por un aumento proporcional de los tres ácidos grasos caracterizados mediante *UPLC-MS/MS*.

La Figura 1 presenta la evolución de la composición proximal de las semillas de papaya criolla en los estados de maduración analizados. Se representan las variaciones de humedad, cenizas, proteínas, fibra cruda, lípidos y carbohidratos, lo que permite identificar visualmente los principales cambios composicionales asociados con el avance de la maduración.

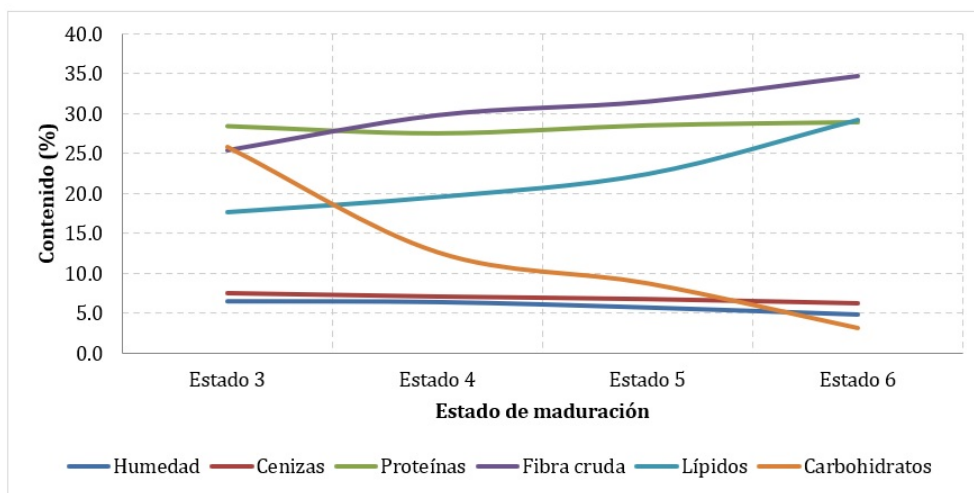


Fig. 1. Cambios en la composición proximal de las semillas de papaya criolla según el estado de maduración.

La Figura 2 muestra la variación del perfil relativo de los ácidos palmítico (C16:0), oleico (C18:1 ω 9) y gadoleico (C20:1 ω 11) entre los estados de maduración evaluados. La representación permite comparar el comportamiento de los tres componentes e identificar su tendencia a medida que progresa la maduración de la papaya.

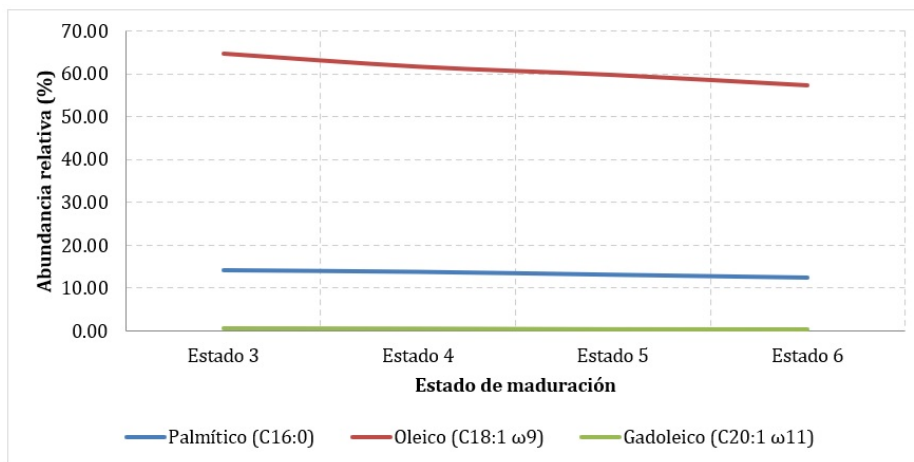


Fig. 2. Variación del perfil relativo de ácidos grasos de las semillas de papaya criolla durante la maduración.

CONCLUSIONES

La maduración estuvo asociada con cambios diferenciados en la composición de las semillas de papaya criolla (*Carica papaya* L.). Mientras la humedad, las cenizas y las proteínas permanecieron estadísticamente estables entre los estados evaluados, la fibra cruda y los lípidos aumentaron significativamente y los carbohidratos disminuyeron, evidenciando una reorganización de la composición proximal conforme avanzó la maduración.

El contenido lipídico aumentó de 17,6% en el estado 3 a 29,2% en el estado 6, mientras que la fibra cruda pasó de 25,4% a 34,7%. En sentido contrario, los carbohidratos disminuyeron de 25,8% a 3,1%. Estos resultados indican que los estados más avanzados de maduración presentaron una mayor proporción de las fracciones lipídica y fibrosa dentro de las condiciones estudiadas.

El perfil obtenido mediante *UPLC-MS/MS* estuvo dominado por el ácido oleico (C18:1 ω 9), seguido por el ácido palmítico (C16:0) y el ácido gadoleico (C20:1 ω 11). Los tres mostraron una tendencia numérica descendente durante la maduración; sin embargo, las diferencias fueron significativas para los ácidos palmítico y oleico, mientras que el gadoleico permaneció estadísticamente estable. El incremento de los lípidos totales, acompañado por la reducción relativa de estos tres componentes, evidencia que ambas determinaciones describen dimensiones diferentes de la fracción lipídica y no deben interpretarse como medidas equivalentes.

REFERENCIAS

- [1] E. K. Marfo, O. L. Oke, and O. A. Afolabi, “Chemical composition of papaya (*Carica papaya*) seeds,” *Food Chemistry*, vol. 22, no. 4, pp. 259–266, 1986.
- [2] N. A. M. Yanty, J. M. N. Marikkar, B. P. Nusantoro, K. Long, and H. M. Ghazali, “Physico-chemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.) seed oil of the Hong Kong/Sekaki variety,” *Journal of Oleo Science*, vol. 63, no. 9, pp. 885–892, 2014.
- [3] C. R. Malacrida, M. Kimura, and N. Jorge, “Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds,” *Food Science and Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 929–934, 2011.
- [4] M. D. S. Mesquita *et al.*, “Papaya seeds (*Carica papaya* L. var. Formosa) in different ripening stages: Unexplored agro-industrial residues as potential sources of proteins, fibers and oil as well as high antioxidant capacity,” *Food Science and Technology*, vol. 43, p. e105422, 2023.
- [5] S. Goriainov *et al.*, “Study of the chemical composition of *Carica papaya* L. seed oils of various geographic origins,” *Horticulturae*, vol. 9, no. 11, p. 1227, 2023.
- [6] S. Samaram, H. Mirhosseini, C. P. Tan, and H. M. Ghazali, “Ultrasound-assisted extraction (UAE) and solvent extraction of papaya seed oil: Yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile,” *Molecules*, vol. 18, no. 10, pp. 12 474–12 487, 2013.
- [7] S. Ávila, M. Kugo, P. S. Hornung, F. B. Apea-Bah, E. M. Songok, and T. Beta, “*Carica papaya* seed enhances phytochemicals and functional properties in cornmeal porridges,” *Food Chemistry*, vol. 323, p. 126808, 2020.
- [8] M. A. Younos and E. M. Akl, “Evaluation of phytochemical analysis for Chia (*Salvia hispanica* L.) and Papaya (*Carica papaya* L.) seed extracts as antioxidant, antifungal and anti-aflatoxins,” *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 67, no. 10, pp. 545–557, 2024.
- [9] A. Panusa, F. R. Mammone, P. Rotundo, G. Multari, G. Palazzino, and F. R. Gallo, “Papaya seed extract and recovery of some main constituents,” *Separations*, vol. 11, no. 9, p. 254, 2024.
- [10] A. F. Vinha *et al.*, “High-value compounds in papaya by-products (*Carica papaya* L. var. Formosa and Aliança): Potential sustainable use and exploitation,” *Plants*, vol. 13, no. 7, p. 1009, 2024.
- [11] J. F. Zamora Natera, M. F. González González, J. Vioque, J. Girón-Calle, and M. Alaiz, “Chemical characterization of Jarilla caudata seeds from Mexico,” *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, vol. 94, no. 5, pp. 1533–1544, 2025.

- [12] G. Alagbe, K. Urbanova, and O. Alagbe, “Overview of fatty acids and volatiles in selected nuts: Their composition and analysis,” *Processes*, vol. 13, no. 8, p. 2444, 2025.
- [13] I. Durvasha, A. Kumar, and S. Agarwal, “Preparation and evaluation of sodium alginate hydrogel sheet loaded with Carica papaya L. seed extract for wound healing,” *Acta Pharmaceutica Scientia*, vol. 63, no. 2, 2025.
- [14] K. Mayolo-Deloisa, L. Martínez, and M. Rito-Palomares, “Técnicas cromatográficas y su aplicación a estudios de cambios conformacionales, estabilidad y replegamiento de proteínas,” *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 11, no. 3, pp. 415–429, 2012.
- [15] Y. T. Caballero Hernández, S. R. Patiño Villamizar, A. Días Camargo, and H. L. Otálvaro Marín, *Manual de análisis químico e instrumental: Fundamentos de análisis químico*, 2018.
- [16] H. Zumbado Fernández, *Análisis químico de los alimentos: Métodos clásicos*. La Habana, Cuba: Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, 2004.
- [17] K. W. Chin, S. C. Khoo, V. Luang-In, S. H. Tan, and N. L. Ma, “Probiotic-fermented Carica papaya water kefir and chemopreventive potential,” *Food Bioscience*, p. 106343, 2025.
- [18] M. M. Cámara, C. Díez, and M. E. Torija, “Changes during ripening of papaya fruit in different storage systems,” *Food Chemistry*, vol. 46, no. 1, pp. 81–84, 1993.
- [19] M. G. Gayosso-García Sancho, E. M. Yahia, M. A. Martínez-Téllez, and G. A. González-Aguilar, “Effect of maturity stage of papaya Maradol on physiological and biochemical parameters,” *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 194–203, 2010.
- [20] A. Barragán-Iglesias *et al.*, “Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (Carica papaya L. cv. Maradol) during ripening on-tree,” *Scientia Horticulturae*, vol. 236, pp. 272–278, 2018.