



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO DE LULO (*Solanum quitoense* Lam) Y EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE SU ZUMO. POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS FUNCIONALES DE INTERÉS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ (COLOMBIA)

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNO/A:

Ana Luisa Martínez Andrade

TUTOR/A ACADEMICO:

Dra. Noelia Betoret Valls

COTUTOR/A:

Dra. Cristina Barrera Puigdollers

DIRECTOR/A EXPERIMENTAL:

Leidy Indira Hinestroza Córdoba

Curso Académico: 2016-2017

VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2017

CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO DE LULO (*Solanum quitoense* Lam) Y EFECTO DE LAS ALTAS PRESIONES DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE SU ZUMO. POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS FUNCIONALES DE INTERÉS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ (COLOMBIA).

Ana Luisa Martínez Andrade², Noelia Betoret Valls¹, Cristina Barrera Puigdollers¹, Leidy Indira Hinestroza Córdoba²

RESUMEN

El fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) se presenta como una alternativa de aprovechamiento para el desarrollo de nuevos productos con propiedades funcionales y que aporten valor agregado a los recursos existentes en la región del departamento del Chocó - Colombia. En ese sentido, se determinaron los parámetros de impregnación característicos del fruto (X , X_1 , γ , γ_1 y ϵ_e) y las propiedades fisicoquímicas (a_w , °Brix, humedad, pH, densidad, tamaño de partícula, color, propiedades reológicas y actividad antioxidante por los métodos ABTS⁺ y DPPH· y el contenido en fenoles totales y flavonoides) tanto del fruto como del zumo sin homogeneizar y sometido a presiones de homogeneización de 50, 100 y 150 MPa. Los resultados revelaron una buena capacidad de impregnación y disponibilidad de los poros presentes en la matriz del fruto. Adicionalmente, la aplicación de presiones de homogeneización tuvo un efecto significativo fundamentalmente sobre el tamaño de partícula, las propiedades reológicas y el contenido en fenoles y flavonoides, ejerciendo en este último caso un efecto positivo con respecto al zumo sin homogeneizar.

PALABRAS CLAVE: *Solanum quitoense*, lulo, homogeneización, impregnación a vacío, tamaño de partícula

RESUM

El fruit del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) es presenta com una alternariva d'aprofitament per al desenvolupament de nous productes amb propietats funcionals y que aporten valor afegit als recursos existents en la regió del departament del Chocó – Colombia. En aquest sentit, es van determinar els paràmetres d'impregnació característics del fruit (X , X_1 , γ , γ_1 y ϵ_e) i les propietats fisicoquímiques (a_w , °Brix, humitat, pH, densitat, tamany de partícula, color, propietats reològiques i activitat antioxidant pels mètodes ABTS⁺ i DPPH·, així com el contingut en fenols totals i flavonoids) tant del fruit

¹Universidad Politécnica de Valencia, Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD), Departamento Tecnología de Alimentos, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España.

²Universidad Tecnológica del Chocó, Grupo de Investigación en Valoración y Aprovechamiento de la Biodiversidad, Carrera 22, No. 18 B–10 Quibdó, Colombia

com del suc sense homogeneitzar i sotmés a pressions d'homogenització de 50, 100 i 150 MPa. Els resultats van mostrar una bona capacitat d'impregnació i disponibilitat dels porus presents en la matriu del fruit. Adicionalment, l'aplicació de pressions d'homogenització va tindre un efecte significatiu fonamentalment sobre el tamany de partícula, les propietats reològiques, y el contingut en fenols i flavonoids, exercint en este últim cas un efecte positiu respecte al suc sense homogeneitzar

PALABRAS CLAVE: *Solanum quitoense*, lulo, homogenització, impregnació a buit, tamany de partícula.

ABSTRACT

The fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) is an alternative to take advantage and develop new products with functional properties, which contribute value added to the existing resources in the region of the department of Chocó - Colombia.

In that sense, the impregnation parameters of the fruit (X , X_1 , γ , γ_1 y ϵ_e) and physicochemical properties (a_w , ° Brix, humidity, pH, density, particle size, color, antioxidant activity by ABTS⁺ y DPPH· methods and total phenols and flavonoids content) of both fruit and juice without homogenize and homogenized to pressures of 50, 100 and 150 MPa were determinate.

The results showed a good impregnation capacity and availability of the pores that the fruit matrix has.

In addition, the application of homogenization pressures had significant effect principally on particle size, rheological properties and phenols and flavonoids content; moreover, the homogenization had a positive effect on phenols and flavonoids content in relation to juice without homogenize.

KEY WORDS: *Solanum quitoense*, lulo, homogenization, vacuum impregnation, particle size.

INTRODUCCIÓN

Dentro del creciente interés mundial por alimentos saludables, diversos, novedosos y con propiedades funcionales, las frutas tropicales o “exóticas” emergen como una nueva expectativa, prometedora, para el desarrollo de nuevos mercados y aplicaciones en sectores como alimentos, cosmética, nutracéutica, farmacéutica, colorantes, entre otros. Además de su delicioso y refrescante sabor y aroma, las frutas juegan un papel significativo en la dieta humana, teniendo en cuenta que constituyen una fuente natural de vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, fibra y otros compuestos bioactivos. Se ha demostrado, mediante estudios epidemiológicos, que su consumo está correlacionado con el bajo riesgo de incidencia de enfermedades crónicas (Vasco et al., 2008; Kuskoski et al., 2005); por ejemplo, menores índices de incidencias y mortalidad por enfermedades coronaria y de cáncer (Kuskoski et al., 2005).

Colombia posee una gran diversidad en cuanto a frutas, bayas y plantas, lo que supone una ventaja competitiva que permite plantear estudios sobre especies silvestres que crecen en el territorio, con posibilidades para el desarrollo de productos beneficiosos para la salud humana (Santacruz, 2011). Uno de los departamentos colombianos que cuenta con esa gran riqueza natural es el Chocó, que se caracteriza por su mega diversidad y complejidad en ecosistemas. Esta situación contrasta con los problemas de malnutrición presentes en la población infantil y los problemas de hipertensión que presenta alrededor del 23,71% de la población adulta, según la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional de Colombia (2010) y el Análisis de Situación de Salud (2014) respectivamente, ambas llevadas a cabo y publicadas por el Ministerio de Salud y Protección Social (MINSALUD). La solución a estos problemas requiere, de una alimentación sana, balanceada y de calidad a través de los recursos naturales autóctonos.

En la búsqueda de desarrollar productos novedosos a partir de frutas, los procesos tecnológicos de transformación juegan un papel importante, debido a que el producto debe tener una vida útil larga y al mismo tiempo mantener al máximo sus características químicas, físicas y sensoriales, así como sus atributos funcionales. Es por esto que, la implementación de operaciones unitarias que permitan mejorar o mantener esas propiedades “intactas” es relevante. Por ejemplo, la aplicación de presiones de homogeneización altas y/o moderadas sobre zumos de frutas, en comparación con los otros tratamientos térmicos tradicionales, ha demostrado ser menos destructiva para los compuestos alimenticios de bajo peso molecular que pueden estar relacionados con las cualidades sensoriales y nutricionales, suficientemente efectivas en la inactivación de diferentes microorganismos y que pueden aplicarse como pretratamiento en otros procesos en los que el tamaño de partícula afecta la eficiencia y el rendimiento del proceso (Betoret et al., 2012). Por otra parte, la aplicación de una presión de vacío (IV) sobre matrices alimentarias, en este caso frutas, permitiría incorporar compuestos fisiológicamente activos y obtener alimentos funcionales frescos (Fito et al., 2001).

El Lulo (*Solanum quitoense* Lam.), también conocido como "naranjilla" pertenece a la enorme familia de las *Solanáceas*. La planta produce una fruta esférica con un diámetro que oscila entre 3 y 8 cm. Su piel (epicarpio) es naranja y, por lo general, está cubierta de pelos cortos (o "espinas"), espinosos y rígidos. La estructura interna del fruto es similar a la del tomate: la pulpa verde-amarillenta (mesocarpio y endocarpio) forma cuatro compartimentos separados por particiones membranosas y rellenos de pulpa translúcida verde o amarillenta, muy jugosa y ácida (Igual et al., 2014). El secado de esta fruta se ha utilizado como estrategia para prolongar su vida útil, preservando sus propiedades nutricionales y funcionales (Forero et al., 2016). El jugo fresco también es procesado en concentrados congelados y puede ser fermentado. La fruta parece tener un potencial nutricional considerable debido a su alto contenido en vitaminas, proteínas y minerales (Igual et al., 2014; Gancel et al., 2008).

Un estudio reciente, como el de Forero et al. (2016), ha demostrado el uso potencial del lulo como antihipertensivo, debido a que se identificaron por primera vez como compuestos activos amargos en la fruta y también como aminas bioactivas la *N1, N4, N8*-tris (Dihidrocafeoil) espermidina y *N1, N8*-bis-(Dihidrocafeoil) espermidina; las cuales le otorgan al lulo características funcionales para el control de la hipertensión. Estos mismos autores, mediante ensayos *in vitro*, confirmaron la actividad inhibitoria del fruto fresco y seco contra la enzima convertidora angiotensina (ACE-1), asociada a la presión arterial, obteniendo una concentración inhibitoria media (IC_{50}) para la pulpa de $1,1 \pm 0,30$ ppm y para el fruto seco de $83,5 \pm 4,1$ ppm.

El objetivo de este estudio fue determinar las características de impregnación de la matriz de lulo; las características fisicoquímicas del fruto (humedad, a_w , °Brix, pH, densidad aparente, actividad antioxidante, contenido en fenoles totales y flavonoides), así como, evaluar el efecto de las presiones de homogeneización sobre las características fisicoquímicas del zumo de lulo (a_w , °Brix, pH, densidad, tamaño de partícula, propiedades reológicas, color, actividad antioxidante y contenido en fenoles totales y flavonoides), todo en aras de poder desarrollar alimentos funcionales que permitan el aprovechamiento de los recursos agroalimentarios autóctonos de la región del Chocó-Colombia y, así, contribuir a la mejora del estado nutricional y de salud, tanto de la población infantil como adulta de la región.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materia prima

Los frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) frescos, necesarios para el presente estudio, provenientes de Ecuador, fueron adquiridos en el Mercado Central de la ciudad de Valencia. La materia prima fue almacenada a 4 °C hasta su posterior análisis.

A los frutos enteros se les retiró el pedúnculo, se lavaron, y se cortaron en trozos que se trituraron en un mortero para su posterior análisis. Este triturado

será llamado "fruto" en los diferentes análisis y resultados presentes en este estudio.

Para la obtención del zumo, a los frutos se les retiró el pedúnculo, se lavaron y licuaron (Phillips Avance Collection Standmixer, 800W 2L) durante 10 minutos. A continuación, el licuado se filtró y tamizó con un tamiz de acero inoxidable de 500 μm de apertura nominal (200/50) marca CISA. El zumo fue homogeneizado y analizado inmediatamente.

Ensayos de impregnación a vacío (IV)

Los ensayos para evaluar la capacidad y determinar los parámetros de impregnación del lulo (X , fracción volumétrica de líquido que impregna la muestra en m^3 líquido/ m^3 muestra a $t=0$; γ , deformación neta por unidad de volumen de muestra m^3 de variación de volumen/ m^3 muestra a $t=0$; X_1 , fracción volumétrica de líquido incorporado a la muestra durante la etapa a vacío en m^3 líquido/ m^3 muestra; γ_1 , deformación volumétrica de muestra durante la etapa a vacío en m^3 de variación de volumen/ m^3 y ϵ_e , porosidad efectiva en m^3 gas a $t=0$ / m^3 muestra inicial) (Martínez-Navarrete et al., 2011; Betoret, 2002; Fito et al., 1996) se llevaron a cabo sobre rodajas de 5 mm de espesor, cortadas con un cortafiambres (FAGOR CF-150).

En todos los ensayos de IV se emplearon disoluciones isotónicas (sacarosa en agua destilada) con la fruta ($a_w = 0,994 \pm 0,003$).

La IV se llevó a cabo en un equipo a nivel de planta piloto (Fito et al., 1996) instalado en el Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (Figura 1). El equipo está compuesto por una cámara de vacío en acero inoxidable, la cual contiene una balanza electrónica (METTLER PJ3600 Delta Range con sensibilidad de 0,01 g) donde se sitúa el recipiente con el líquido de impregnación y las muestras se sumergen en él mediante un brazo neumático alimentado por un compresor (COMBA, 1,5 HP de 25 L). Mediante una bomba de anillo líquido (SIHI LOHE-25007 BN 131,010) se suministra el vacío al sistema y un panel de control junto con una válvula de escape manual permiten regular la presión de trabajo.



FIGURA 1. Equipo empleado en pruebas IV.

Las rodajas sumergidas en la disolución de impregnación fueron sometidas a una presión subatmosférica de 50 mbar durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo, se restauró la presión atmosférica (alrededor de 1013,2 mbar), manteniendo las muestras sumergidas en el medio durante 10 minutos. Durante cada ensayo, se registró el cambio de peso de las muestras de acuerdo al procedimiento descrito por Fito et al (1996); donde las diferentes pesadas de la muestra permiten determinar los parámetros de impregnación de la matriz del lulo.

Homogeneización a altas presiones

El zumo obtenido fue sometido a un tratamiento de homogeneización a presiones de 50, 100 y 150 MPa y envasado en tarros de vidrio hasta su posterior análisis. El equipo empleado fue un homogeneizador modelo PandaPLUS 2000 marca GEA Niro Soavi.

Determinaciones analíticas

En el fruto de lulo se determinaron la humedad, actividad del agua (a_w), sólidos solubles (°Brix), pH, densidad aparente, actividad antioxidante y contenido en fenoles totales y flavonoides. En el zumo homogeneizado y sin homogeneizar se determinó la actividad del agua (a_w), sólidos solubles (°Brix), pH, densidad, tamaño de partícula, propiedades reológicas, propiedades ópticas, actividad antioxidante y contenido en fenoles totales y flavonoides. Los análisis se realizaron al menos por triplicado.

HUMEDAD

Se midió sobre el fruto siguiendo el método oficial AOAC 20.013 (1980) para frutas ricas en azúcares que consiste en cuantificar la pérdida de peso que experimenta la muestra cuando se coloca en una estufa bajo condiciones de vacío (inferior a 133 mbar) a 60 °C hasta alcanzar peso constante.

ACTIVIDAD DEL AGUA (a_w)

Se midió utilizando un higrómetro de punto de rocío (DECAGÓN Aqualab 4TE con sensibilidad $\pm 0,003$).

SÓLIDOS SOLUBLES (°Brix)

Tanto para el fruto como para el zumo (homogeneizado y sin homogeneizar) se determinaron a partir de la lectura directa de los °Brix, mediante un refractómetro ABBE ATAGO 3-T termostatado a 20 °C.

DETERMINACIÓN DE pH

Se valoró con un pH-metro digital (Mettler Toledo Inlab), previamente calibrado con disoluciones tampón a pH 7 y 4.

DENSIDAD

La densidad aparente del fruto se obtuvo mediante el método de desplazamiento de volumen, utilizando un picnómetro de sólidos y agua destilada como líquido de referencia; expresada a partir de la siguiente ecuación 1:

$$\rho_a = \frac{m_2 \cdot \rho_w}{m_1 + m_2 - m_3} \quad (1)$$

Para el zumo homogeneizado y sin homogeneizar la densidad se determinó mediante el método del picnómetro a temperatura ambiente. Se utilizó un picnómetro para líquidos y agua destilada como líquido de referencia, obteniéndose el valor mediante la ecuación 2:

$$\rho = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot \rho_w \quad (2)$$

donde: m_0 = masa del picnómetro vacío (g); m_1 = masa del picnómetro enrasado con agua (g); m_2 = masa de la cantidad del fruto (g); m_3 = masa del picnómetro, el trozo de fruta y el agua en la ec. (1) y masa del picnómetro enrasado con zumo en la ec. (2) (g); ρ_a = densidad aparente (g/cm³); ρ_w = densidad del agua (g/cm³).

TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula del zumo de lulo (homogeneizado y sin homogeneizar) se determinó empleando el equipo Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Limited, Worcestershire, UK) equipado con fuente de luz azul de 470 nm de longitud de onda y un rango de medida entre 0,02-200 micras.

Una pequeña cantidad de muestra fue diluida en agua desionizada en la celda del difractómetro bajo agitación moderada hasta una obscuración de 8-9%. El índice de refracción del zumo (nube) y del dispersante (agua) fue 1,5 y 1,33 respectivamente. La absorbancia de las partículas de la nube se tomó como 0,01. Cada dilución fue analizada 10 veces.

La distribución de tamaño de partícula del zumo se caracterizó por los diámetros basados en el volumen ($d_{4,3}$) y en el área ($d_{3,2}$) y por los percentiles d10, d50 y d90, los cuales representan los diámetros característicos por debajo de los cuales el 10%, 50% y 90% de las partículas se encuentran dentro de la distribución. Las ecuaciones 3 y 4 definen los diámetros en función del volumen y área respectivamente:

$$(D[4,3]) = \sum_i n_i d_i^4 / \sum_i n_i d_i^3 \quad (3)$$

$$(D[3,2]) = \sum_i n_i d_i^3 / \sum_i n_i d_i^2 \quad (4)$$

donde n_i es el número de partículas de diámetro d_i .

PROPIEDADES REOLÓGICAS

El comportamiento reológico del zumo (homogeneizado y sin homogeneizar) se caracterizó a partir de la obtención de las curvas de flujo, mediante un reómetro rotatorio HAKKE RheoStress 1 (RS1), utilizando un sensor Z34 DIN Ti de geometría cilindros concéntricos y un baño control de temperatura a 20 °C (HAKKE Phoenix 2). Las muestras fueron sometidas a seis barridos (tres ascendentes y tres descendentes) con gradiente de velocidad de 0 a 300 s⁻¹.

Dado que todas las muestras exhibieron un comportamiento no newtoniano pseudoplástico, los datos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (Ley de Potencia) de acuerdo con la ecuación 5:

$$\sigma = K\gamma^n \quad (5)$$

donde: σ = esfuerzo cortante (Pa); n = índice de comportamiento al flujo; K = índice de consistencia; γ = gradiente de velocidad (s⁻¹).

PROPIEDADES ÓPTICAS

El color del zumo homogeneizado y sin homogeneizar se obtuvo a partir del espectro de reflexión, utilizando un espectrocolorímetro marca MINOLTA (modelo CM-3600D) y como referencia el iluminante D65 y el observador de 10°. Previamente se calibró el equipo sobre fondo negro y fondo blanco. Las muestras fueron colocadas en cubetas de plástico de 25 mL y 2 mm de espesor. Las medidas tomadas son las que excluyen el brillo de la cubeta (SCE100).

Las coordenadas de color CIE- $L^*a^*b^*$ obtenidas permitieron estimar las coordenadas psicométricas: tono (h^*_{ab}) y croma (C^*_{ab}) (ecuaciones 6 y 7):

$$h^*_{ab} = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (6)$$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

Con el fin de calcular las diferencias de color existentes entre las muestras de zumo y el zumo sin homogeneizar (referencia) se utilizó la ecuación 8:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

donde: ΔE = es la diferencia de color total; L^* = luminosidad; a^* = componente rojo-verde y b^* = componente amarillo-azul.

EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Tras varias pruebas, la extracción de los antioxidantes presentes tanto en el fruto como en el zumo se llevó a cabo con una mezcla de metanol-agua 80:20 (v/v) en una proporción 1:5 (m/m). Tras 1 hora en agitación magnética,

se centrifugó la mezcla a 1000 rpm durante 5 minutos y a 20 °C (marca Selecta modelo "Medrifriger BL-S"). Las determinaciones se realizaron sobre el sobrenadante obtenido.

FENOLES TOTALES

El contenido en fenoles totales se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Wolfe et al., 2003; Singleton et al., 1999). Este método espectrofotométrico se fundamenta en la reducción del reactivo por compuestos fenólicos presentes en la muestra con la formación concomitante de un complejo azulado (Moraga, et al., 2012).

Para ello, un volumen de 0,125 mL de extracto, 0,125 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich) y 0,5 mL de agua bidestilada se hicieron reaccionar durante 6 minutos en una cubeta de espectrofotómetro. Transcurrido este tiempo, se adicionaron 1,25 mL de carbonato de sodio (7% m/v) y 1 mL de agua bidestilada. Como referencia se utilizó un blanco en donde la muestra se reemplazó por la misma cantidad de agua bidestilada. Transcurridos 90 minutos, la absorbancia fue medida a una longitud de onda de 760 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta U/Vis Thermo Scientific.

Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de ácido gálico (pureza mayor o igual al 98%, Sigma-Aldrich) comprendida entre 0 y 500 mg/L y expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico (mg GAE) por gramo de muestra.

FLAVONOIDES TOTALES

El contenido en flavonoides fue determinado usando el método colorimétrico del cloruro de aluminio ($\text{AlCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) adaptado y descrito por Luximon-Ramma et al. (2005). Para ello, se hicieron reaccionar en una cubeta de espectrofotómetro una alícuota de 1,5 mL de extracto y 1,5 mL de una disolución de cloruro de aluminio al 2% (m/v) en metanol y se dejó en oscuridad durante 10 minutos. Como referencia se utilizó un blanco en donde la muestra se reemplazó por la misma cantidad de agua bidestilada. Transcurrido el tiempo, la absorbancia fue medida a una longitud de onda de 368 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta U/Vis Thermo Scientific.

Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de quercetina (pureza mayor o igual al 95%, Sigma-Aldrich) comprendida entre 0 y 350 mg/L y expresados en miligramos equivalentes de quercetina (mg EQ) por gramo de muestra.

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO DPPH•

Este método se basa en la reducción del radical DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) por los antioxidantes presentes en la muestra, cambiando de color morado a amarillo pálido (Brand-Williams et al., 1995; Santacruz, 2011). En este caso, se partió de la metodología descrita por Stratil et al. (2006) y Kuskoski et al. (2005) pero con algunas modificaciones. Utilizando una disolución de DPPH• 100 μM (39,4 $\mu\text{g/mL}$) en metanol (pureza mayor o igual

al 99,9%, Sigma-Aldrich), se hicieron reaccionar en una cubeta de espectrofotómetro 0,1 mL de extracto, 0,9 mL de metanol y 2 mL de la disolución metanol-DPPH*. Como referencia se utilizó un blanco en donde la muestra se reemplazó por la misma cantidad de agua bidestilada.

La absorbancia fue medida tras 0, 30 y 60 minutos de reacción a 517 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo Scientific. Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de trólox, C₁₄H₁₈O₄, (pureza mayor o igual al 97%, Sigma-Aldrich) comprendida entre 0 y 500 mg/L y expresados en miligramos equivalentes de trólox (mg TE) por gramo de muestra.

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR EL MÉTODO ABTS⁺

Mediante este método se mide la decoloración que experimenta el catión ABTS⁺ tras secuestrar los componentes antioxidantes presentes en la muestra, cambiando de color verde-azulado a incoloro. Para generar el catión ABTS⁺ (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazoline-6-sulfónico) se siguió la metodología propuesta por Re et al., (1999). Se preparó una disolución del ácido (7 mM, pureza igual o superior al 99%) con persulfato potásico (2,45 mM, pureza 99,99%) en agua bidestilada y se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas. Una vez liberado el catión, éste se diluyó en tampón fosfato hasta obtener una absorbancia de $0,70 \pm 0,02$ leída a 734 nm. Inmediatamente, se hicieron reaccionar 0,1 mL de extracto con 2,9 mL de disolución ABTS⁺. Como referencia se utilizó un blanco en donde la muestra se reemplazó por la misma cantidad de agua bidestilada. La absorbancia fue medida tras 0, 3 y 7 minutos de reacción a 734 nm en un espectrofotómetro Helios Zeta UV/Vis Thermo Scientific. El tampón fosfato fue preparado a partir de dos disoluciones stock: disolución A, fosfato sódico monobásico 0,2 M (NaH₂PO₄) y disolución B, fosfato sódico dibásico (Na₂HPO₄) (pureza del 99%, Sigma-Aldrich).

Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva patrón de trólox, C₁₄H₁₈O₄, (pureza mayor o igual al 97%, Sigma-Aldrich), comprendida entre 0 y 500 mg/L y expresados en miligramos equivalentes de trólox (mg TE) por gramo de muestra.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico de los datos mediante el software Statgraphics Centurion XVII utilizando análisis de varianza (ANOVA) y el test Tukey HSD, con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad de impregnación

La determinación de los parámetros de impregnación del fruto de lulo proporciona información sobre el volumen de líquido externo que puede ser

incorporado al tejido de una forma controlada, y, en consecuencia, sobre la viabilidad de incorporar compuestos fisiológicamente activos en su estructura porosa para la formulación de nuevos productos con propiedades funcionales (Fito et al., 2001).

La Tabla 1 muestra los promedios y la desviación estándar de los parámetros de impregnación correspondientes a 5 lotes de lulo diferentes impregnados con una disolución isotónica de sacarosa.

TABLA 1. Parámetros característicos de impregnación de rodajas de lulo.

LOTE	a_w	°Brix	X_1	γ_1	X	γ	ϵ_e
1	0,995 ± 0,003 ^a	8,73 ± 0,06 ^a	5 ± 7 ^a	5 ± 4 ^a	8,8 ± 1,6 ^a	3 ± 3 ^a	6 ± 4 ^a
2	0,995 ± 0,003 ^a	8,23 ± 0,06 ^b	2,1 ± 1,8 ^a	6 ± 5 ^a	10 ± 3 ^a	5 ± 4 ^a	6 ± 5 ^a
3	0,996 ± 0,003 ^a	8,93 ± 0,06 ^a	2 ± 4 ^a	5 ± 2 ^a	11 ± 2 ^{a,b}	3,7 ± 0,9 ^a	8 ± 2 ^a
4	0,994 ± 0,003 ^a	8,77 ± 0,06 ^a	1 ± 14 ^a	3,9 ± 0,9 ^a	16 ± 6 ^b	6,6 ± 1,0 ^a	9 ± 6 ^a
5	0,994 ± 0,002 ^a	8,70 ± 0,17 ^a	2,5 ± 1,3 ^a	7,1 ± 1,0 ^a	8,6 ± 0,9 ^a	2,9 ± 0,8 ^a	6,3 ± 1,2 ^a

a_w actividad del agua; X_1 , X, fracción volumétrica inicial de la muestra impregnada al final de la etapa de vacío y al final de la etapa atmosférica, respectivamente (en %); γ_1 , γ , volumen de deformación relativa inicial de la muestra impregnada al final de la etapa de vacío y al final de la etapa atmosférica, respectivamente (en %); ϵ_e , porosidad efectiva (en %). ^{a,b,c}...Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Los valores obtenidos permiten afirmar la factibilidad técnica de poder llevar a cabo este tipo de operación unitaria sobre este fruto. Se puede observar que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en los parámetros X_1 , γ_1 , γ y ϵ_e , pero si en X; diferencias que se deben fundamentalmente a la variabilidad morfológica y estructural que presenta el fruto y que merecen tenerse en cuenta en la aplicación del proceso de impregnación. Los valores promedios positivos para los parámetros X_1 (1 – 5%) y X (8,6 – 16%) en todos los lotes indican entrada del líquido de impregnación a la estructura porosa en la etapa de vacío y en la etapa de presión atmosférica, respectivamente. Asimismo, el volumen de deformación en la etapa de vacío γ_1 (3,9 – 7,1%) y en la etapa atmosférica γ (2,9 – 6,6%) son positivos, lo cual indica una expansión volumétrica de la matriz del lulo en ambas etapas del proceso, afectado principalmente por el vacío aplicado (Morantes, 2014).

La porosidad eficaz (ϵ_e) muestra valores favorables comprendidos entre el 6–9%, lo que hace a la matriz de lulo adecuada para el proceso de IV. Al comparar estos resultados con los valores para frutas y verduras descritos por Betoret (2002) y Fito et al. (2001) se trata de un valor muy inferior al de la manzana *Granny Smith* (21 ± 0,9) y la berenjena *Soraya* (64,1 ± 2), pero superior al de la fresa *Chandler* (6,4 ± 0,3), el kiwi *Hayward* (0,7 ± 0,5) o el albaricoque *Bulida* (2,2 ± 0,2). Estas diferencias responden a diversos factores, pero sobre todo, a la estructura del tejido vegetal, el cual juega un papel determinante en este proceso, la viscosidad del líquido de impregnación e interacciones entre el líquido y la matriz alimentaria (Martínez-Navarrete et al., 2011).

En cuanto al posible efecto significativo del lote (a_w y °Brix) sobre los parámetros analizados, se observa que no hay diferencias significativas debidas a la aparente homogeneidad entre los frutos estudiados. De esta manera, seleccionar frutos con el mismo estado de madurez permitiría obtener frutos con una respuesta muy homogénea al proceso de impregnación.

Determinaciones analíticas

HUMEDAD, °BRIX, a_w , pH y DENSIDAD DEL FRUTO Y DEL ZUMO DE LULO HOMOGENEIZADO Y SIN HOMOGENEIZAR

La Tabla 2 recoge ciertas propiedades analizadas sobre el fruto y su zumo homogeneizado y sin homogeneizar de lulo. Los resultados del fruto son similares a los valores obtenidos por Igual et al. (2014), Mejía et al. (2012), Gancel et al. (2008) y Vasco et al. (2008). La alta actividad de agua del lulo resulta lógica de acuerdo a su elevado contenido en humedad ($91,2 \pm 0,4$ g agua/ 100 g fruta).

TABLA 2. Determinaciones analíticas realizadas sobre el fruto de lulo y su zumo homogeneizado y sin homogeneizar.

Tratamiento	x_w (g/100g)	a_w	°Brix	pH	ρ
Fruto	$91,2 \pm 0,4$	$0,994 \pm 0,003^a$	$8,88 \pm 0,17^a$	$3,13 \pm 0,16^a$	$1,16 \pm 0,07^a$
Sin Homogeneizar		$0,994 \pm 0,003^a$	$6,57 \pm 0,12^b$	$3,310 \pm 0,010^a$	$1,036 \pm 0,018^b$
50 MPa		$0,997 \pm 0,003^a$	$6,4 \pm 0,4^b$	$3,12 \pm 0,02^a$	$1,06 \pm 0,04^{a,b}$
100 MPa		$0,995 \pm 0,003^a$	$6,33 \pm 0,15^b$	$3,18 \pm 0,03^a$	$1,07 \pm 0,02^{a,b}$
150 MPa		$0,996 \pm 0,003^a$	$6,4 \pm 0,4^b$	$3,150 \pm 0,010^a$	$1,090 \pm 0,013^{a,b}$

x_w humedad del fruto, a_w actividad del agua, ρ densidad (g/cm³). ^{a,b,c...}Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

De acuerdo al análisis estadístico realizado con un nivel de confianza del 95%, existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los valores de °Brix y densidad, pero no en cuanto a la actividad del agua (a_w) y pH. Observando los valores de °Brix hay diferencias entre el fruto y los diferentes zumos, siendo el valor del fruto mayor. Lo anterior puede deberse a que cuando se obtiene el zumo, al momento de tamizar, la parte sólida que se elimina arrastra con ella muchos sólidos solubles, disminuyendo así los °Brix del zumo preparado. Por otro lado, al comparar los valores de densidad obtenidos para el zumo homogeneizado y sin homogeneizar se nota un ligero aumento de esta variable al incrementar la presión de homogeneización, lo cual puede explicarse teniendo en cuenta que esta operación (homogeneización) mejora la estabilidad de los sólidos en suspensión. En cuanto a la actividad del agua y el pH, no se observan diferencias significativas entre el fruto y los zumos ni entre los mismos zumos sometidos a diferentes presiones de homogeneización.

EFFECTO DE LA PRESIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE EL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL ZUMO DE LULO

La distribución del tamaño de partícula del zumo homogeneizado y sin homogeneizar se presenta en la Figura 2. En ella se puede observar una distribución de tamaño mono modal por parte de todos los zumos entre 1-1000 μm , con un pequeño pico irregular en el zumo sin homogeneizar entre 10 y 50 μm . Además, se observa que el patrón de distribución de las curvas es el mismo a pesar de que hay una visible reducción del tamaño de partícula como consecuencia de la homogeneización.

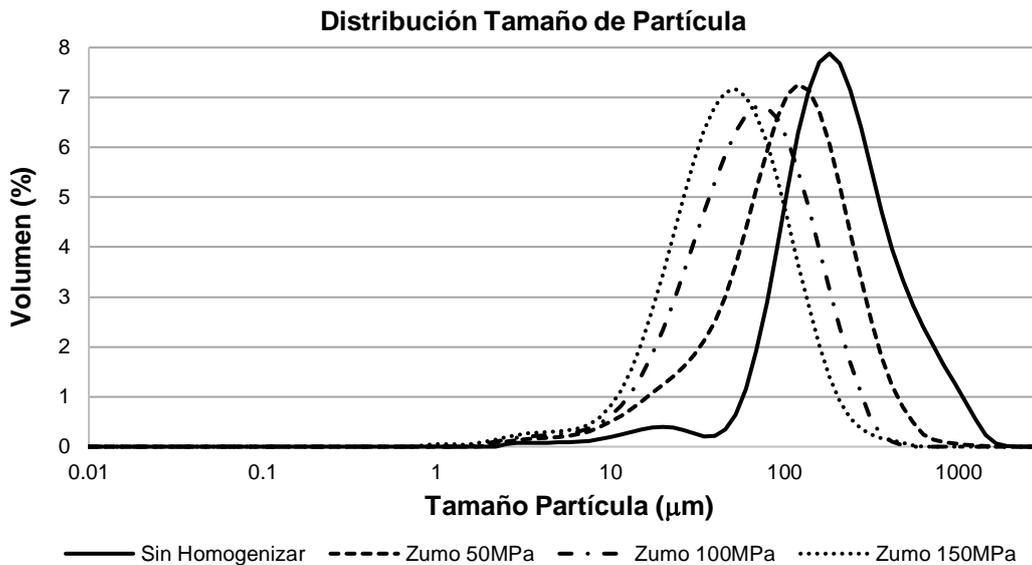


FIGURA 2. Distribución del tamaño de partícula del zumo de lulo homogeneizado y sin homogeneizar.

Lo anterior se corrobora mediante el análisis estadístico sobre los diámetros basados en el volumen, D[4,3], y el área, D[3,2], el cual muestra una influencia significativa de la presión de homogeneización, disminuyendo el tamaño a medida que aumenta la presión de homogeneización (Tabla 3). Siendo el tamaño máximo, en cuanto al diámetro D[4,3], para el zumo sin homogeneizar ($251 \pm 5 \mu\text{m}$) y el mínimo para el zumo homogeneizado a 150 MPa ($57,94 \pm 0,14 \mu\text{m}$); de igual manera, para el diámetro D[3,2] el mayor valor es para el zumo sin homogeneizar ($102,3 \pm 0,5 \mu\text{m}$) y el menor para el zumo homogeneizado a 150 MPa ($26,83 \pm 0,19 \mu\text{m}$).

TABLA 3. Efecto de la presión de homogeneización sobre el tamaño de partícula del zumo de lulo.

Tratamiento	D[4,3]	D[3,2]	d ₁₀	d ₅₀	d ₉₀
Sin Homogeneizar	251 ± 5^a	$102,3 \pm 0,5^a$	$75,8 \pm 0,3^a$	$184,2 \pm 1,6^a$	524 ± 16^a
50 MPa	124 ± 3^b	$49,9 \pm 1,5^b$	$25,7 \pm 1,1^b$	$99,82 \pm 0,09^b$	247 ± 3^b
100 MPa	$75,5 \pm 1,2^c$	$35,28 \pm 0,07^c$	$18,94 \pm 0,11^c$	$60,01 \pm 0,11^c$	154 ± 2^c
150 MPa	$57,94 \pm 0,14^d$	$26,83 \pm 0,19^d$	$15,63 \pm 0,03^d$	$45,02 \pm 0,19^d$	$114,2 \pm 0,5^d$

Todos los valores están en μm . ^{a,b,c...} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Al comparar estos resultados con los reportados por Betoret et al. (2009), para el diámetro D[4,3], el zumo de naranja *Salustiana* ($150 \pm 5 - 108 \pm 4 \mu\text{m}$) y de mandarina *Ortanique* ($372,1 \pm 1,9 - 123 \pm 2 \mu\text{m}$) poseen valores ligeramente parecidos a los obtenidos en este estudio. Sin embargo, los valores hallados para los diámetros D[4,3] y D[3,2] por Castagnini (2014) para el zumo de arándano son mucho menores. Ambos autores afirman reducción del tamaño de partículas debido a la aplicación de presiones de homogeneización sobre los zumos; esto indica que, a tamaño de partículas

más pequeñas, la nube es más estable (Castagnini, 2014), lo cual es coherente con el ligero aumento de la densidad en los zumos.

En cuanto al tamaño por debajo del cual se encuentra el 10%, el 50% y el 90% de las partículas presentes en los zumos de lulo, son mucho mayores a los reportados por Picard (2015) para zumo de naranja *Ortanique* homogeneizado con diferentes porcentajes de trehalosa y por Castagnini (2014) para zumo de arándano homogeneizado.

EFECTO DE LA PRESIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE LA REOLOGÍA DEL ZUMO DE LULO

Los parámetros que caracterizan el comportamiento pseudoplástico del zumo de lulo sin homogeneizar y homogeneizado se presentan en la Tabla 4. En general, los zumos presentan un bajo índice de consistencia (K) y un valor del índice de comportamiento al flujo (n) entre $0,34 \pm 0,04$ y $0,44 \pm 0,06$.

TABLA 4. Parámetros del modelo Ostwald de Waele linealizado a 20°C

Tratamiento	K (Pa.s ⁿ)	n
Sin Homogeneizar	$0,39 \pm 0,12^a$	$0,44 \pm 0,06^a$
50 MPa	$0,9 \pm 0,4^b$	$0,37 \pm 0,04^b$
100 MPa	$0,79 \pm 0,02^{a,b}$	$0,37 \pm 0,03^b$
150 MPa	$1,3 \pm 0,5^b$	$0,34 \pm 0,04^b$

n , índice de comportamiento al flujo (adimensional); K , índice de consistencia. ^{a,b,c...} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$)

De acuerdo a la tabla anterior, se puede observar una influencia significativa de la presión de homogeneización sobre la reología del zumo de lulo sin homogeneizar y homogeneizado a 50 y 150 MPa, pero entre los zumos homogeneizados no existen tales diferencias. Igualmente se puede notar que no hay una tendencia clara de disminución o aumento del índice de consistencia (K) al aumentar la presión de homogeneización.

Castagnini (2014) obtuvo para el zumo de arándano un índice de consistencia igual a $0,57 \pm 0,03$ Pa.sⁿ y $0,33 \pm 0,02$ para el índice de comportamiento al flujo; Chiralt et al. (2012) para el zumo de tomate con 12,8% de sólidos menciona un valor para K igual a 2 Pa.sⁿ y 0,43 para n y Soares et al. (2014) reporta para el zumo de naranja concentrado y homogeneizado a altas presiones un valor para K igual a 6,48 Pa.sⁿ y un valor para n igual a 0,74. De acuerdo a estos datos reportados, la consistencia del zumo de lulo homogeneizado y sin homogeneizar es más familiar a la del zumo de arándano, el cual es un zumo aceptado y comercializado.

EFECTO DE LA PRESIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DEL ZUMO DE LULO

El efecto de la presión de homogeneización sobre los parámetros CIE- $L^*a^*b^*$, y sobre las coordenadas psicométricas cromo (Cab^*) y tonalidad (hab^*) son mostradas en la Tabla 5, donde se puede observar una ligera reducción en todos los parámetros al aumentar la presión de homogeneización.

TABLA 5. Efecto de la presión de homogeneización sobre los parámetros CIE-L*a*b* del zumo de lulo.

Tratamiento	L*	a*	b*	Cab*	hab*	ΔE
Sin Homogeneizar	40,4 ± 0,4 ^a	9,5 ± 0,2 ^a	34,9 ± 1,4 ^a	36,2 ± 1,3 ^a	74,7 ± 0,2 ^a	-
50 MPa	40,16 ± 0,11 ^{a,b}	9,08 ± 0,07 ^b	35,4 ± 0,5 ^a	36,5 ± 0,5 ^a	75,61 ± 0,09 ^b	0,8 ± 0,2 ^a
100 MPa	39,409 ± 0,012 ^b	9,150 ± 0,011 ^{a,b}	34,540 ± 0,011 ^a	35,730 ± 0,011 ^a	75,16 ± 0,011 ^{a,b}	1,250 ± 0,014 ^{a,b}
150 MPa	39,44 ± 0,08 ^b	8,829 ± 0,011 ^b	33,8 ± 0,2 ^a	34,9 ± 0,2 ^a	75,37 ± 0,13 ^{a,b}	1,74 ± 0,13 ^b

^{a,b,c...} Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Para determinar las diferencias significativas sobre los parámetros y coordenadas de color en función de la presión de homogeneización se llevó a cabo un análisis de varianza, concluyendo un efecto significativo de la presión de homogeneización sobre todas las variables excepto b* y Cab*.

Los valores para la luminosidad (L*) muestran diferencia significativa entre el zumo sin homogeneizar y los zumos homogeneizados a 100 y 150 MPa, siendo el primero ligeramente más luminoso que los dos últimos. En cuanto al parámetro a* el zumo sin homogeneizar presenta el valor más alto que todos los demás. Por otra parte, la tonalidad (hab*) exhibe diferencias entre el zumo sin homogeneizar y el homogeneizado a 50 MPa, donde el zumo sin homogeneizar posee una coloración menos anaranjada. Comparando los valores de los parámetros entre los zumos homogeneizados y, al no encontrarse diferencias significativas entre ellos, se puede decir que el color de los zumos no se vio afectado por el nivel de presión aplicado.

Al ser el zumo sin homogeneizar la referencia, existen diferencias de color global entre éste y el zumo homogeneizado a 150 MPa. Sin embargo, la percepción visual de los cambios de color en los zumos analizados en cuanto a los valores de las diferencias globales de color (ΔE) obtenidas no fueron apreciadas.

EFFECTO DE LA PRESIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE EL CONTENIDO EN FENOLES Y FLAVONOIDES DEL ZUMO DE LULO

Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados obtenidos para fenoles totales y flavonoides. Al comparar estos valores mediante un análisis estadístico se pueden apreciar diferencias significativas entre el zumo sin homogeneizar y el zumo homogeneizado a 150 MPa en cuanto a fenoles totales. De igual manera, el contenido en flavonoides presenta diferencias significativas entre todas las muestras excepto los zumos homogeneizados a 50 y 100 MPa, lo cual evidencia un efecto de la presión homogeneización sobre estos compuestos. Debido a lo anterior, es posible observar un ligero aumento en el contenido en fenoles y flavonoides a medida que aumenta la presión de homogeneización, desde un valor mínimo de $1,03 \pm 0,16$ mg GAE/g hasta un máximo de $1,28 \pm 0,07$ mg GAE/g para fenoles y desde $0,35 \pm 0,24$ mg QE/g hasta $0,570 \pm 0,011$ mg QE/g para flavonoides.

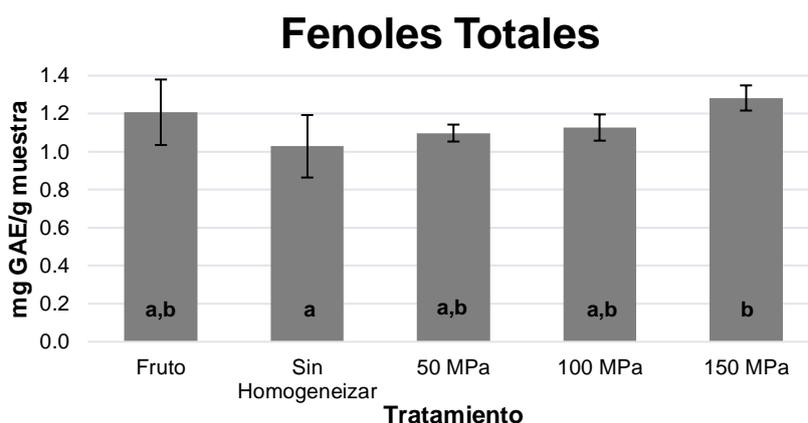


FIGURA 3. Efecto de la presión de homogeneización sobre el contenido en fenoles totales en el fruto y zumo de lulo. GAE: ácido gálico equivalente. ^{a,b,c...}Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

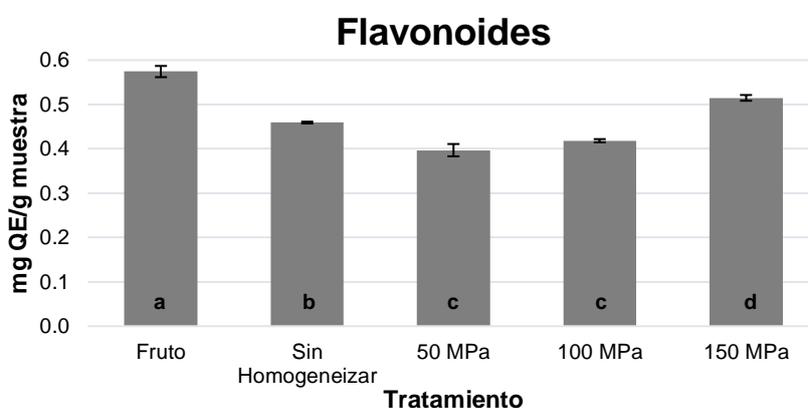


FIGURA 4. Efecto de la presión de homogeneización sobre el contenido en flavonoides en el fruto y zumo de lulo. QE: quercetina equivalente. ^{a,b,c...}Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos en cuanto a fenoles totales son mucho menores a los reportados por Gancel et al. (2008) quienes encontraron valores de $5,05 \pm 0,63$ mg GAE/g en muestra fresca. Los valores hallados para el fruto no difieren mucho a los obtenidos por Contreras-Calderon et al. (2011), $0,58 \pm 0,02$ mg GAE/g muestra fresca; por Igual et al. (2014), $0,811 \pm 0,016$ mg GAE/g muestra fresca y por Vasco et al. (2008), $0,91 \pm 0,17$ mg GAE/g muestra fresca.

Por otra parte, los valores reportados por Igual et al. (2014) para el contenido en flavonoides para esta fruta fue de $0,16 \pm 0,02$ mg rutina equivalente/g, un valor pequeño en comparación a los obtenidos en este estudio en términos de miligramos de quercetina equivalente.

Asimismo, se puede observar que la transformación del fruto en zumo redujo el contenido en fenoles totales y flavonoides, lo cual puede deberse a la eliminación de compuestos fenólicos durante el tamizado del zumo; sin embargo, la aplicación de moderadas presiones de homogeneización favoreció de forma positiva, mediante un ligero aumento, el contenido en fenoles totales y flavonoides presentes en las muestras, debido a la

disminución del tamaño de partícula y al consecuente aumento en la estabilidad de la pulpa en suspensión.

EFFECTO DE LA PRESIÓN DE HOMOGENEIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL LULO

Tanto para el fruto como para el zumo homogeneizado y sin homogeneizar de lulo los resultados se muestran en las Figuras 5 y 6. De todas las muestras ensayadas, los valores encontrados varían entre máximos y mínimos de $1,44 \pm 0,02$ mg TE/g ($82,4 \pm 1,4$ %Inhibición) y $1,34 \pm$ mg TE/g ($76,8 \pm 0,8$ %) para los ensayos por DPPH· y $1,88 \pm 0,03$ mg TE/g ($88,9 \pm 1,5$ %) y $1,860 \pm 0,011$ mg TE/g ($87,9 \pm 0,3$ %) para los ensayos por ABTS⁺.

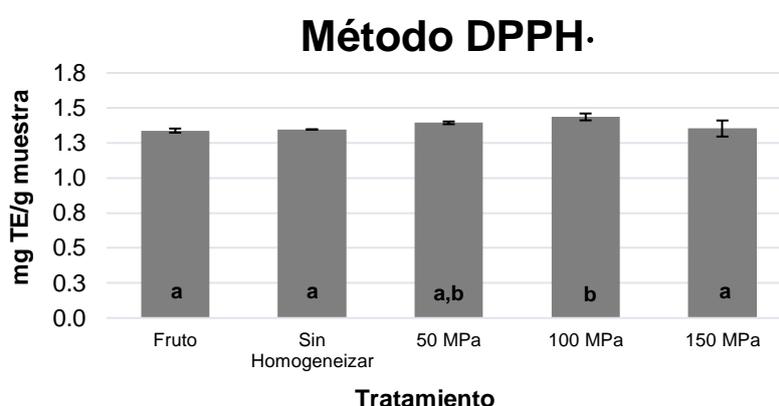


FIGURA 5. Efecto de la presión de homogeneización sobre la actividad antioxidante del fruto y zumo de lulo por el método DPPH· a 60 minutos TE: Trólox equivalente. Barras con letras diferentes superpuestas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

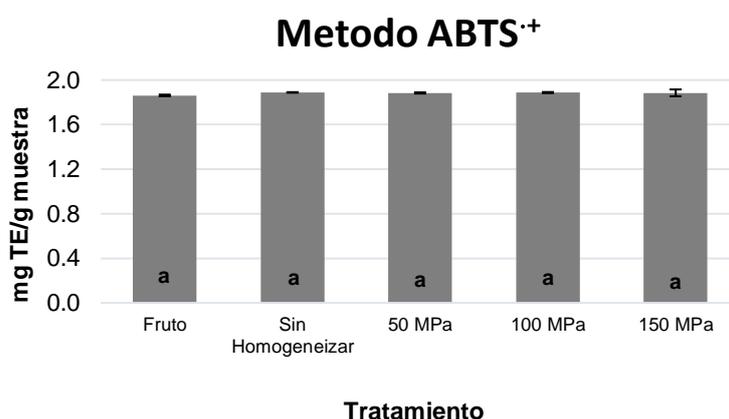


FIGURA 6. Efecto de la presión de homogeneización sobre la actividad antioxidante del fruto y zumo de lulo por el método ABTS⁺ a 7 minutos. TE: Trólox equivalente. Barras con letras diferentes superpuestas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Los valores obtenidos para el fruto y los zumos por el método ABTS⁺ no presentan diferencia significativa alguna, en cambio, por el método DPPH· el zumo homogeneizado a 100 MPa muestra diferencias significativas con todas las demás muestras, excepto con el zumo homogeneizado a 50 MPa.

Igualmente, los valores revelan un elevado valor antioxidante tanto para el fruto como para los zumos, mostrando un ligero aumento debido a la aplicación de presiones de homogeneización hasta los 100 MPa. Al parecer los compuestos fenólicos son los responsables de la actividad antioxidante del fruto *S. quitoense* (Forero et al., 2015).

En relación a los valores reportados para el lulo por el método ABTS⁺ por autores como Forero et al. (2015), 71 ± 2 mg TE/g sólido y Contreras-Calderon et al. (2011), $3,1 \pm 0,2$ mg TE/g peso fresco, el primero obtuvo un valor bastante alto y el segundo un valor mayor al hallado en este estudio para el fruto y zumo homogeneizado y sin homogeneizar. Por el contrario, mediante el método DPPH· Vasco et al. (2008) encontró $0,8 \pm 0,2$ mg TE/g muestra peso fresco, siendo este valor menor al reportado en este estudio para las distintas muestras que comprenden valores entre 1,3 -1,4 mg TE/g muestra.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que el fruto del lulo posee una estructura adecuada para la incorporación de compuestos fisiológicamente activos mediante la operación unitaria de IV. Lo anterior permitiría la producción de nuevos productos a base de frutos frescos autóctonos de la región del pacífico colombiano, lo cual sería una excelente oportunidad.

La obtención del zumo supuso de forma global una pérdida de parte del poder antioxidante del fruto. Sin embargo, la aplicación de una presión de homogeneización del orden de 100-150 MPa permitió recuperar prácticamente la totalidad del poder antioxidante del fruto. Este efecto se asoció a la disminución del tamaño de partícula observada en todos los casos y a un posible aumento en la estabilidad de la nube del zumo.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema General de Regalías que con recursos del Departamento del Chocó ha financiado esta investigación. A la Dra. Alicia Ríos Hurtado, líder del Grupo de Investigación en Valoración y Aprovechamiento de la Biodiversidad de la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba (Colombia), por su colaboración y apoyo.

REFERENCIAS

- A.O.A.C. (1980). Official methods of analysis (13th edition) Washington DC: Association of official analytical chemists.
- Betoret, N. 2002. Aplicación de algunas técnicas de ingeniería de alimentos en el desarrollo de alimentos naturales enriquecidos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Betoret, E.; Sentandreu, E.; Betoret, N.; Fito, P. 2012. Homogenization pressures applied to citrus juice manufacturing. Functional properties and application. *Journal of Food Engineering*, 111:28–33.
- Betoret, E., Betoret, N., Carbonell, J. V.; Fito, P. 2009. Effects of pressure homogenization on particle size and the functional properties of citrus juices. *Journal of Food Engineering*, 92:18-23.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E.; Berset, C. 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1):25-30.
- Castagnini, J.M. 2014. Estudio del proceso de obtención de zumo de arándanos y su utilización como ingrediente para la obtención de un alimento funcional por impregnación a vacío. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., González, Ch., Talens, P., Moraga, G. 2012. Propiedades reológicas de alimentos. Reología de alimentos fluidos. En: *Propiedades Físicas de los Alimentos*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, 131-155
- Contreras-Calderon, J.; Calderón-Jaimes, L.; Guerra-Hernández, E.; Belén García-Villanova. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia, *Food Research International*, 44:2047–2053.
- Fito, P.; Chiralt, A.; Barat, J.M.; Andrés, A.; Martínez-Monzó, J.; Martínez-Navarrete, N. 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49:297-302.
- Fito, P.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Pardo, P. 1996. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27:229-240.
- Forero, D.P.; Masatani, C.; Fujimoto, Y.; Coy-Barrera, E.; Peterson, D.; Osorio, C. 2016. Spermidine Derivatives in Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Fruit: Sensory (Taste) versus Biofunctional (ACE-Inhibition) Properties, *Journal Agric. Food Chem*, 64:5375–5383
- Forero, D.P.; Carriazo, J.G.; Coralía, O. 2015. Effect of Different Drying Methods on Morphological, Thermal, and Biofunctional Properties of Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Fruit Powders, *Drying Technology*, 34(9):1085-1094.
- Gancel, A.L.; Alter, P.; Dhuique-Mayer, C.; Ruales, J.; Vaillant, F. 2008. Identifying carotenoids and phenolic compounds in naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. var. puyo hybrid), an andean fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:11890–11899.
- Igual, M.; Ramires, S.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256:233–238.
- Kuskoski, E.M., Asuero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J. y Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology (Campinas)* 25(4):726-732.
- Luximon-Ramma, A., Bahorun, T.; Crozier, A., Zbarsky, V.; Datla, K.; Dexter, D.; Aruoma, O. 2005. Characterization of the antioxidant functions of flavonoids and proanthocyanicins in Mauritian black teas. *Food Research International*, 38:357-367.
- Martínez-Navarrete, N.; Andrés, A.M.; Chiralt, A.; Fito, P. 2011. El mecanismo hidrodinámico en alimentos porosos. En: *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, 319-338.
- Morantes, P.C. 2014. Proceso de obtención de mango biofortificado con microorganismos probióticos mediante la técnica de impregnación a vacío. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Mejía, C.M.; Gaviria, D.; Duque, A.L.; Rengifo, L.; Aguilar, E.; Alegría, A.H. 2012. Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) castilla variety in six ripening stages. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 19(2): 157-165.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (MINSALUD). 2014. *Análisis de Situación de Salud (ASIS) de Colombia 2014*. Dirección URL: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/ASIS_2014_v11.pdf>. [Consultada: 1 de Agos. 2017].
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (MINSALUD). 2010. *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) de Colombia 2010*. Dirección URL: <http://www.javeriana.edu.co/documents/245769/3025871/Resumen_Ejecutivo_ENSIN_2010.pdf/160e9856-006d-4a60-9da3-d71606703609>. [Consultada: 22 de Ene. 2017].

- Moraga, G.; Igual, M.; García-Martínez, E.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*, 112(3):191-199.
- Picard, C. 2015. Efecto de la trehalosa y de las altas presiones de homogeneización sobre las propiedades físico-químicas y funcionales del zumo de mandarina. Trabajo Fin de Grado, Universitat Politècnica de València. Valencia.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical action decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10):1231-1237.
- Santacruz, L.A. 2011. Análisis químico de antocianinas en frutos silvestres colombianos. Tesis de Maestría en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299:152-178.
- Soares, T., Augustu, P., Cristianini, M. 2014. The use of high pressure homogenization (HPH) to reduce consistency of concentrated orange juice (COJ). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26:124-133.
- Stratil, P.; Klejdus, B.; Kubán, V. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables- evaluation of spectrophotometric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:607-616.
- Vasco, C.; Ruales, J.; Kamal-Eldin, A. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4):816–823.
- Wolfe, K., Wu, X., Liu, R.H. 2003. Antioxidant activity of Apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:609-614.