

DRYING AND EXTRACTION PROCESS OF LEMONGRASS (*Cymbopogon citratus*)

PROCESO DE SECADO Y EXTRACCIÓN DE HOJAS DE ZACATE LIMÓN (*Cymbopogon citratus*)

Guadalupe Luna-Solano¹, Diana G. Vilorio-Perez¹, Juliana Villegas-Santiago¹,
Marco A. Salgado-Cervantes², Alfredo Domínguez-Niño^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Oriente 9 No. 852, 94320, Orizaba, Veracruz, México. (alfredo148@hotmail.com). ²Instituto Tecnológico de Veracruz, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Av. Miguel Ángel de Quevedo No. 2779, 91897, Veracruz, Veracruz, México.

ABSTRACT

Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) is one of the most used plants in Mexico folk medicine for treating nervous and gastrointestinal disturbances. Tray drying is an efficient alternative to preserve perishable food as lemongrass; however, the choice of drying conditions is determinant in order to provide plants with better quality after harvesting. The objective of this study was to show the effect of different drying conditions on the performance of extracts and quality attributes of extract of *C. citratus*. A randomized experimental design 3² with three replications was used, the factors studied were surface areas (2, 4 and 6 cm²) and drying air temperature (40, 60 and 80 °C), the experimental unit was lemongrass leaves with a length of 60 ± 3 cm, and the results were analyzed using ANOVA (p ≤ 0.05). The results indicated that the drying kinetics of lemongrass were affected (p ≤ 0.05) by the air temperature and surface area during drying, while color parameters (L, Hue, Chroma, DE) increased with drying time. As size increase from 2 to 6 cm², luminosity of lemongrass samples increased slightly, whereas Hue and Chroma value increased for all temperatures. However, the greatest color difference (from 5.2 to 6.9) was observed in dehydrated lemongrass samples at 40 °C. The statistical analysis of drying results showed significant effect (p ≤ 0.05) on extraction degree of lemongrass. The extract color and pH were influenced significantly (p ≤ 0.05) by solvent and sample type of extraction process. The experimental values of the antioxidant activity (DPPH method) were 87.29 % and 63.6 % for the aqueous and ethanolic extract, respectively. Moreover, the lemongrass extract had no significant antimicrobial effect on yeast (*Saccharomyces cerevisiae*).

RESUMEN

El zacate limón (*Cymbopogon citratus*) es una de las plantas más utilizadas en la medicina tradicional mexicana para tratar enfermedades del sistema nervioso y gastrointestinal. El secado en bandeja es una alternativa eficiente para conservar alimentos perecederos, como el zacate limón; sin embargo, las condiciones de secado son determinantes para proporcionar plantas de mejor calidad postcosecha. El objetivo de este estudio fue estudiar el efecto de diferentes condiciones de secado en el desempeño y la calidad de extractos de *C. citratus*. El diseño experimental fue aleatorizado 3² con tres repeticiones, los factores evaluados fueron el área superficial (2, 4 y 6 cm²) y la temperatura del aire de secado (40, 60 y 80 °C); la unidad experimental consistió en hojas de zacate limón con una longitud de 60 ± 3 cm y los resultados se analizaron con ANOVA (p ≤ 0.05). Los resultados indican que las cinéticas de secado del zacate limón son susceptibles (p ≤ 0.05) a la temperatura del aire y al área superficial durante el secado, mientras que los parámetros colorimétricos (L, tono, croma, E) aumentan con el tiempo de secado. En las muestras de zacate limón, la luminosidad incrementó ligeramente conforme aumentó el tamaño de 2 a 6 cm²; mientras que los valores de tono y croma aumentaron con todas las temperaturas. Sin embargo, la mayor diferencia de color (de 5.2 a 6.9) se observó en las muestras de zacate limón deshidratadas a 40 °C. El análisis estadístico de los resultados del secado demuestra un efecto significativo (p ≤ 0.05) en el grado de extracción del zacate limón. El disolvente y el tipo de muestra utilizados en el proceso de extracción afectan significativamente (p ≤ 0.05) el color y pH del extracto. Los valores experimentales de la actividad antioxidante (Método del DPPH) fueron 87.29 % y 63.6 % para el extracto acuoso y etanólico, respectivamente. Además, el extracto de zacate limón no presentó un efecto antimicrobiano significativo en levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Las muestras de zacate limón alcanzaron un alto

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2017. Aprobado: febrero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 447-464. 2019.

Lemongrass samples achieved high degree of microbiological and chemical stability; therefore, not only can be used as food additive but also for preparing antioxidant drinks.

Key words: *Cymbopogon citratus*, drying, extraction, color, antioxidant activity.

INTRODUCTION

Cymbopogon citratus, commonly known as Lemongrass, belongs to *Poaceae* family and it is a perennial herb that grows worldwide especially in the tropics and subtropics. It is tall, coarse grass with a strong lemon taste (Naik *et al.*, 2010; Ekpenyong and Akpan, 2015). Lemongrass contains high levels of phenolic compounds including phenolic acids, flavonoids and condensed tannins; therefore, the consumption of lemongrass is associated with many health benefits (Figueirinha *et al.*, 2008; Tavares *et al.*, 2015). In Mexico, it is used as folk medicine for the treatment of nervous and gastrointestinal disturbances by ingesting infusions or decoctions of dry or fresh leaves. The lemongrass extract and essential oil are products of great value because they are applied in the perfumery, cosmetic, pharmaceutical and food industries (Hanaa *et al.*, 2012; Ekpenyong and Akpan, 2015; Tavares *et al.*, 2015). Its major application lies mainly in that lemongrass oil has antioxidant and antimicrobial properties studied by Owolabi *et al.* (2008), Tchinda *et al.* (2009), Vazirian *et al.* (2012) and Ekpenyong and Akpan (2015). However, Coradi *et al.* (2014) and Ekpenyong and Akpan (2015) concluded that its chemical composition can vary widely, depending on genetic diversity, habitat, and cultivation practices. Additionally, the postharvest process of lemongrass has great importance in the production chain, because of its direct influence on the quality and quantity of the extract (Rocha *et al.*, 2011). Therefore, the choice of drying system, definition of the drying air conditions, height of layers of leaves in the dryer, temperature and relative humidity of the room air, can provide plants with better quality after harvesting (Coradi *et al.*, 2014). The influence of drying on the active ingredients, phytochemical contents and quality of fruits, vegetables, and herbs and medicinal plants was evaluated by Buchaillot *et al.* (2009), Villegas-Santiago *et al.* (2011), Naidu *et al.* (2012), Kyriakopoulou *et al.* (2013), Alean *et al.*

grado de estabilidad microbiológica y química, por lo cual se pueden usar como aditivo alimentario y para preparar bebidas antioxidantes.

Palabras clave: *Cymbopogon citratus*, secado, extracción, color, actividad antioxidante.

INTRODUCCIÓN

Cymbopogon citratus, comúnmente conocido como Zacate limón, pertenece a la familia *Poaceae* y es una hierba perenne que crece en todo el mundo, especialmente en el trópico y subtropical. Es un pasto alto y grueso con un fuerte sabor a limón (Naik *et al.*, 2010; Ekpenyong y Akpan, 2015). El zacate limón contiene altas concentraciones de compuestos fenólicos, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados, por lo cual el consumo de zacate limón está asociado con numerosos beneficios a la salud (Figueirinha *et al.*, 2008; Tavares *et al.*, 2015). En México, el zacate limón se emplea como medicina tradicional para tratar enfermedades del sistema nervioso y gastrointestinal mediante la ingesta de infusiones o decocciones de hojas secas o frescas. El extracto y aceite esencial del zacate limón son productos de gran valor, y se utilizan en la industria perfumera, cosmética, farmacéutica y alimentaria (Hanaa *et al.*, 2012; Ekpenyong y Akpan, 2015; Tavares *et al.*, 2015). Su uso principal radica en las propiedades antioxidantes y antimicrobianas del aceite de zacate limón estudiadas por Owolabi *et al.* (2008), Tchinda *et al.* (2009), Vazirian *et al.* (2012) y Ekpenyong y Akpan (2015). Sin embargo, Coradi *et al.* (2014) y Ekpenyong y Akpan (2015) concluyeron que su composición química varía ampliamente dependiendo de la diversidad genética, el hábitat y las prácticas de cultivo. Aunado a esto, el proceso postcosecha del zacate limón es de gran importancia en la cadena de producción, ya que afecta directamente la calidad y la cantidad del extracto (Rocha *et al.*, 2011). Por lo tanto, la elección del sistema de secado, la definición de las condiciones del aire de secado, la altura de las capas de hojas en el secador, la temperatura y la humedad relativa del aire del cuarto pueden proporcionar plantas de una mejor calidad postcosecha (Coradi *et al.*, 2014). Buchaillot *et al.* (2009), Villegas-Santiago *et al.* (2011), Naidu *et al.* (2012), Kyriakopoulou *et al.* (2013), Alean *et al.* (2016) y

(2016) and Demiray and Tulek (2016), who point out that the temperature range at which the higher retention of volatiles is obtained is between 40 and 60 °C; however, a higher degradation of color was observed at higher temperature (Buchailot *et al.*, 2009; Villegas-Santiago *et al.*, 2011). Therefore, it is important to remember that the drying temperature limits are determined according to the sensitivity of each interest compound.

With respect to *C. citratus*, Hanaa *et al.* (2012) and Kumar *et al.* (2015) studied the effect of drying by sun, shade, convective and drying microwaves on yield and chemical composition of lemongrass oil, and found all drying treatments showed no significant difference for the main components (Citral) as compared to the fresh sample, whereas the convective drying was more suitable and recommended for obtaining higher essential oil content (Hanaa *et al.*, 2012).

In the reviewed literature, no studies were found concerning the effect of the drying process on the quality of lemongrass extract, because the studies assessed the chemical characteristics and properties, specifically lemongrass oil. Tray drying is an efficient alternative to preserve perishable food as lemongrass; however, the choice of drying conditions is determinant in order to provide plants with better quality after harvesting. Therefore, the aim of this research was to determine the influence of drying conditions on the physical chemical characteristic of lemongrass and extraction process, as well as to evaluate the antioxidant and antimicrobial activity of the extracts.

MATERIAL AND METHODS

Raw material

The specie *C. citratus* utilized in this study was obtained from the Orizaba growing area, Veracruz, Mexico. The harvest period was from February to November 2016. Samples for preparation was done by cutting the Lemongrass leaves in small parts (Figure 1), about 2, 4 and 6 cm² surface area.

Drying process

A pilot plant dryer was used to carry out the tray drying of lemongrass samples. The effect of operating conditions on lemongrass drying was determined using a randomized

Demiray y Tulek (2016) evaluaron el efecto del secado en los ingredientes activos, el contenido de fitoquímicos y la calidad de los frutos, vegetales, hierbas y plantas medicinales, y observaron que el intervalo de temperatura en el cual se obtiene la mayor retención de volátiles es entre 40 y 60 °C; sin embargo, se observó una mayor degradación del color con temperaturas más elevadas (Buchailot *et al.*, 2009; Villegas-Santiago *et al.*, 2011). Por lo tanto, es importante recordar que los límites de la temperatura de secado se determinan con base en la sensibilidad de cada compuesto de interés.

Con respecto a *C. citratus*, Hanaa *et al.* (2012) y Kumar *et al.* (2015) estudiaron el efecto del secado bajo el sol, bajo la sombra, por convección y por microondas en el rendimiento y la composición química del aceite de zacate limón, y no encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos de secado para los componentes principales (Citral) en comparación con una muestra fresca, mientras que el secado por convección fue más apto y se recomienda para obtener un mayor contenido de aceite esencial (Hanaa *et al.*, 2012).

En la literatura revisada, no se encontró ningún estudio sobre el efecto del proceso de secado en la calidad del extracto de zacate limón, ya que los estudios evaluaron las características y propiedades químicas, específicamente del aceite de zacate limón. El secado en bandeja es una alternativa eficiente para conservar alimentos percederos, como el zacate limón; sin embargo, las condiciones de secado son determinantes para proporcionar plantas de una mejor calidad postcosecha. Entonces, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de las condiciones de secado en las características fisicoquímicas del zacate limón y el proceso de extracción, así como evaluar la actividad antioxidante y antimicrobiana de los extractos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

La especie *C. citratus* utilizada en este estudio se obtuvo de cultivos provenientes de Orizaba, Veracruz, México. El periodo de cosecha abarco de febrero a noviembre de 2016. La preparación de las muestras consistió en cortar las hojas del zacate limón en pedazos pequeños (Figura 1), de un área superficial aproximada de 2, 4 y 6 cm².



Figure 1. Lemongrass samples cut at different surface areas: A) 2 cm², B) 4 cm², and C) 6 cm².
Figura 1. Muestras de zacate limón cortadas a diferentes tamaños: A) 2 cm², B) 4 cm², y C) 6 cm².

experimental design 3^2 with three replications. The factors studied were surface area (2, 4 and 6 cm²) and drying air temperature (40, 60 and 80 °C), the experimental unit was lemongrass leaves with length of 60 ± 3 cm, and the results were analyzed using ANOVA ($p \leq 0.05$). Initial moisture content of the lemongrass samples was $0.70 \text{ kg water (kg dry matter)}^{-1}$ and they were dried until a steady weight was reached.

Moisture content (X)

The moisture content was measured with an infrared moisture balance (MB35 HALOGEN, OHAUS) at 65 °C containing approximately 1 g lemongrass sample. This moisture determination method was used by Hoon and Joong (2009) and Villegas-Santiago *et al.* (2011), and results were expressed in terms of dry solid (d.s.).

Water activity (a_w)

Water activity (a_w) of the lemongrass samples during drying process was determined at 25 ± 1 °C using an Aqualab water activity meter, series 3 TE (DECAGON, Washington). Samples of approximately 1 g were taken out from the dryer for each measurement of a_w .

Color evaluation

The samples color was measured by a colorimeter HunterLab (model MiniScan XE plus) and the equipment was calibrated with white and black standards tiles. The color was determined by reflectance mode and expressed by L (Luminosity), a (green-red) and b (blue-yellow) parameters. During each run of drying, samples were taken for color measurements. Hue and Chroma were calculated using the following equations:

Proceso de secado

El secador de una planta piloto se usó para realizar el secado en bandeja de las muestras de zacate limón. El efecto de las condiciones de operación en el secado del zacate limón se determinó mediante un diseño experimental aleatorizado 3^2 con tres repeticiones. Se estudió el área superficial (2, 4 y 6 cm²) y la temperatura del aire de secado (40, 60 y 80 °C); la unidad experimental consistió en hojas de zacate limón con una longitud de 60 ± 3 cm y los resultados se analizaron con ANDEVA ($p \leq 0.05$). El contenido de humedad inicial de las muestras de zacate limón fue $0.70 \text{ kg agua (kg materia seca)}^{-1}$ y las muestras se mantuvieron en el secador hasta alcanzar un peso estable.

Contenido de humedad (X)

El contenido de humedad se determinó con un analizador de humedad por infrarrojo (MB35 HALOGEN, OHAUS) a 65 °C con aproximadamente 1 g de muestra de zacate limón. Hoon y Joong (2009) y Villegas-Santiago *et al.* (2011) utilizaron este método para determinar la humedad y expresaron los resultados en términos de sólidos secos (d.s.).

Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua (a_w) de las muestras de zacate limón se determinó durante el proceso de secado a 25 ± 1 °C usando un medidor de actividad de agua Aqualab, serie 3 TE (DECAGON, Washington). Para cada medición de la a_w se tomaron muestras de aproximadamente 1 g del secador.

Evaluación colorimétrica

El color de las muestras se midió con un colorímetro HunterLab (modelo MiniScan XE plus) y el equipo se calibró

$$\text{Hue} = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Color difference (DE) between the dried and fresh samples was calculated using the equation described by Lozano *et al.* (2011):

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

where, $\Delta L = L$ of dried sample - L of fresh sample, $\Delta a = a$ of dried sample - a fresh sample, $\Delta b = b$ of dried sample - b fresh sample.

Extraction process

The lemongrass samples were soaked in water or ethanol with a liquid/solid ratio 10:1. The mixture was kept at 25 °C with continuous stirring for 24 h, and then was filtered. During the extraction process, the color and pH were measured to show the effect of different operating conditions of the drying process on the quality of extract of *C. citratus*. In order to concentrate the obtained extract, a hydro-distillation and alcohol-distillation during 3 h was conducted, respectively. To determine antioxidant and antimicrobial activity, the concentrated extract obtained was used.

Antioxidant activity

The analysis was made following the method proposed by Duan *et al.* (2007). Three concentrations (0.5, 0.25 and 0.125 mg mL⁻¹) of each extract (aqueous or ethanolic) were prepared; 1.5 mL of each solution was mixed with 0.5 mL of 0.1mM DPPH in methanol. Each mixture was kept for 30 min at room temperature in the dark. After this time the decrease in absorbance was measured. The percentage of DPPH was calculated using following equation:

$$\%DDPH = 1 - \left[\frac{abs_{sample} - (abs_{extract})(abs_{control})}{abs_{control}} \right] * 100$$

Antimicrobial activity

The antimicrobial effect of aqueous and ethanolic extracts was assessed by the disc diffusion method. Subsequently, the antimicrobial potential of lemongrass extracts was screened against yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by the disc diffusion method.

con estándares de color blanco y negro. El color se determinó con el modo de reflectancia y se expresó mediante los parámetros de L (Luminosidad), a (verde-rojo) y b (azul-amarillo). Durante cada corrida de secado se tomaron muestras para realizar las mediciones colorimétricas. El tono y croma se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Tono} = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

La diferencia de color (E) entre las muestras secas y frescas se calculó con la ecuación descrita por Lozano *et al.* (2011):

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

donde, $\Delta L = L$ de la muestra seca - L de la muestra fresca, $\Delta a = a$ de la muestra seca - a de la muestra fresca, $\Delta b = b$ de la muestra seca - b de la muestra fresca.

Proceso de extracción

Las muestras de zacate limón se sumergieron en agua o etanol con una proporción líquido/sólido de 10:1. La mezcla se mantuvo a 25 °C con agitación continua durante 24 h y después se filtró. Durante el proceso de extracción se midió el color y el pH para estudiar el efecto de las diferentes condiciones de operación del proceso de secado en la calidad del extracto de *C. citratus*. Para concentrar el extracto obtenido se realizó una hidrodestilación y una destilación alcohólica durante 3 h, respectivamente. Para determinar la actividad antioxidante y antimicrobiana se usó el extracto concentrado obtenido.

Actividad antioxidante

Este análisis se realizó con base en el método propuesto por Duan *et al.* (2007). Tres concentraciones (0.5, 0.25 y 0.125 mg mL⁻¹) de cada extracto (acuoso o etanólico) se prepararon, y se mezclaron 1.5 mL de cada solución con 0.5 mL de DPPH 0.1 mM en metanol. Las mezclas se mantuvieron en la oscuridad durante 30 min a temperatura ambiente. Después de este tiempo se determinó la disminución de la absorbancia. El porcentaje de DPPH se calculó con la siguiente ecuación:

$$\%DDPH = 1 - \left[\frac{abs_{muestra} - (abs_{extracto})(abs_{control})}{abs_{control}} \right] * 100$$

For the disc diffusion assay, Petri dishes with YPD (yeast extract peptone dextrose agar) were seeded with a test strain suspension using a sterile cotton swab. Then, filter paper discs (1 y 2 cm in diameter) were impregnated with lemongrass extracts and placed on the inoculated plates, which were incubated at 25 °C for 24 h. Inhibition was detected by measuring clear zones around the discs in millimeters. The formation of halos ≥ 8 mm of diameter, indicate that the extract has proven antimicrobial activity.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Moisture content (X)

According to Figure 2A, dehydrated samples at 40 °C had a higher final moisture content (0.10, 0.19, 0.15 g H₂O g.d.s⁻¹) than lemongrass samples at 60 °C (0.04, 0.05, 0.03 g H₂O g.d.s⁻¹; Figure 2B) and 80 °C (0.01, 0.03, 0.01 g H₂O g d.s⁻¹; Figure 2C). Therefore, product stability was not guaranteed due to the fact that moisture content was up to 10 % (Tasirin *et al.*, 2014). The greatest loss of water was observed in samples with particle size of 2 cm² (Figure 2A) because the particle surface area increases and the moisture transport distance is shorter with a decreasing particle size (Si *et al.*, 2015). Therefore, the drying rate increased as the particle size decreased from 6 cm² to 2 cm². Our findings are consistent with the results obtained during convective drying in carrot slices by Demiray and Tulek (2016), who showed that moisture content decreased, from 8.98 ± 0.06 to 0.34 ± 0.04 kg water kg⁻¹ (d.s), with the increment in drying time and drying temperature. In addition, Kumar *et al.* (2015) observed the lowest moisture content in lemongrass leaves during the first 3 h of drying time when the drying temperature increased from 40 °C to 60 °C. Reyes *et al.* (2012), Feng *et al.* (2014), Mujumdar (2014), Kumar *et al.* (2015), and Díaz *et al.* (2015) reported that the drying rate depends strongly of the air conditions, drying time and size of the material, because a temperature increase causes a significant reduction of moisture content, whereas larger particle size results in significantly higher moisture content, due to a lower specific surface area for a larger particle size. This latter observation is in line with a decrease in moisture content during the first 80 and 40 min at 60 and 80 °C, respectively, showing the greatest loss of water in samples with particle size of 2 cm² (Figure

Actividad antimicrobiana

El efecto antimicrobiano de los extractos acuosos y etanólicos se evaluó mediante el método de difusión con discos. Después, el potencial antimicrobiano de los extractos de zacate limón se evaluó frente a levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) mediante el método de difusión con discos.

Para el método de difusión con discos se inocularon cajas de Petri con agar YPD (extracto de levadura, peptona y dextrosa) con una suspensión de la cepa de prueba empleando un hisopo estéril. Después, se impregnaron discos de papel filtro (1 y 2 cm de diámetro) con los extractos de zacate limón y se colocaron en las cajas inoculadas, las cuales se incubaron a 25 °C durante 24 h. La inhibición se evaluó mediante la medición en milímetros de las zonas claras alrededor de los discos. La formación de halos ≥ 8 mm de diámetro indica que el extracto presenta actividad antimicrobiana.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Contenido de humedad (X)

En la Figura 2A se observa que el contenido de humedad final de las muestras deshidratadas a 40 °C fue mayor (0.10, 0.19, 0.15 g de H₂O g de d.s⁻¹) que las muestras de zacate limón a 60 °C (0.04, 0.05, 0.03 g de H₂O g.d.s⁻¹; Figura 2B) y 80 °C (0.01, 0.03, 0.01 g de H₂O g.d.s⁻¹; Figura 2C). Por lo tanto, no se garantiza la estabilidad del producto porque el contenido de humedad fue de hasta 10 % (Tasirin *et al.*, 2014). La mayor pérdida de agua se observó en las muestras con un tamaño de partícula de 2 cm² (Figura 2A), esto se debe a que el área superficial de la partícula aumenta y la distancia de transporte de la humedad disminuye con menores tamaños de partícula (Si *et al.*, 2015). Por lo tanto, la velocidad de secado aumenta conforme disminuye el tamaño de partícula de 6 cm² a 2 cm². Nuestros resultados coinciden con los obtenidos durante el secado por convección de rodajas de zanahoria por Demiray y Tulek (2016), quienes demostraron que el contenido de humedad disminuía, de 8.98 ± 0.06 a 0.34 ± 0.04 kg agua kg⁻¹ (d.s), con el aumento del tiempo y la temperatura de secado. Además, Kumar *et al.* (2015) observaron el menor contenido de humedad en hojas de zacate limón durante las primeras 3 h del tiempo de secado, cuando la temperatura de secado aumentó de 40 °C a 60 °C. Reyes *et al.* (2012), Feng *et al.* (2014),

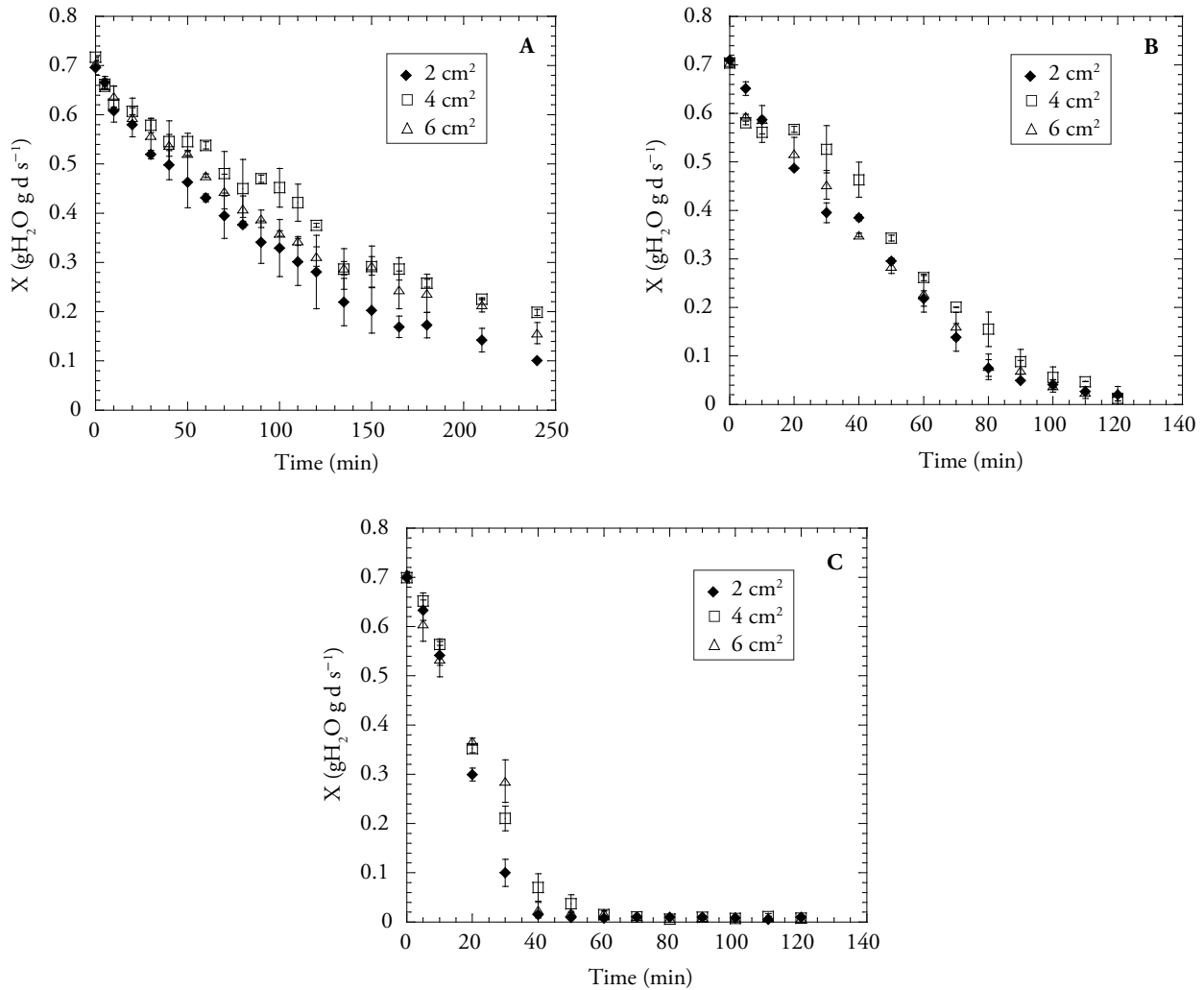


Figure 2. Drying kinetics of lemongrass samples dehydrated by tray drying: A) 40 °C, B) 60 °C, and C) 80 °C.
Figura 2. Cinéticas de secado de las muestras de zacate limón deshidratadas mediante secado en bandeja: A) 40 °C, B) 60 °C, y C) 80 °C.

2B and 2C). Finally, drying at 60 and 80 °C took shorter time to achieve desired moisture content (Figure 2B and Figure 2C).

Water activity (a_w)

Drying of foods, including fruits and vegetables, is used for removing and lowering water activity to reduce the risk of microbial development and to decrease enzymatic reactions and chemical degradations (Naidu *et al.*, 2012; Aktas *et al.*, 2013). Therefore, effect of tray drying conditions on the water activity of lemongrass samples during the drying process is shown in Figure 3. As expected, the increment in drying temperature from 40 to

Mujumdar (2014), Kumar *et al.* (2015) y Díaz *et al.* (2015) reportaron que la velocidad de secado depende en gran medida de las condiciones del aire, el tiempo de secado y el tamaño del material, porque un aumento en la temperatura disminuye significativamente el contenido de humedad, mientras que tamaños de partícula más grandes aumentan significativamente el contenido de humedad, debido a una menor área superficial específica para un tamaño de partícula mayor. Esto coincide con la disminución del contenido de humedad durante los primeros 80 y 40 min a 60 y 80 °C, respectivamente, lo cual demuestra una mayor pérdida de agua en las muestras con un tamaño de partícula de 2 cm^2 (Figura 2B y 2C). Finalmente, el contenido de humedad deseado

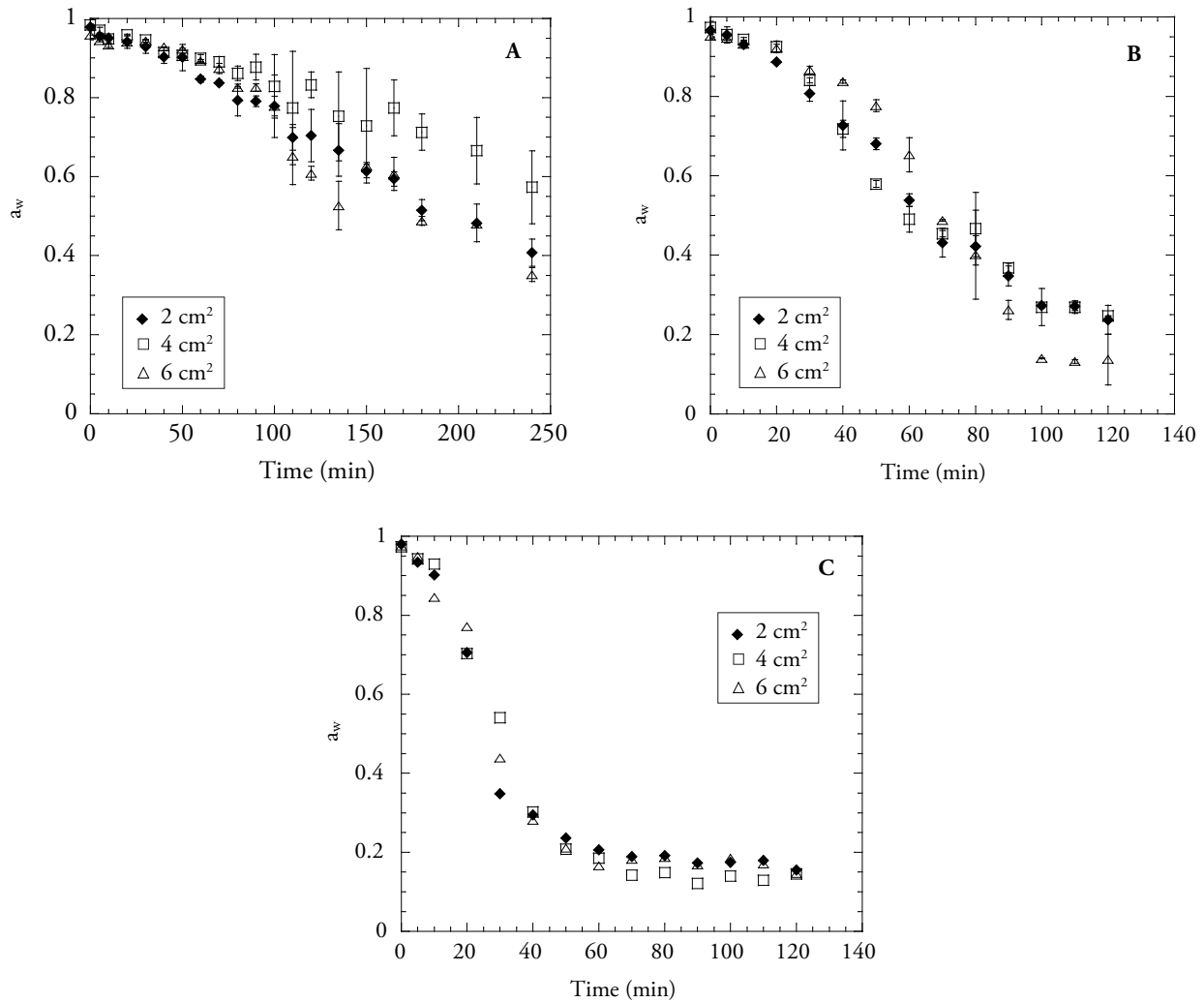


Figure 3. a_w of lemongrass samples during the tray drying: A) 40 °C, B) 60 °C, and C) 80 °C.
Figura 3. a_w de las muestras de zacate limón durante el secado en bandeja: A) 40 °C, B) 60 °C y C) 80 °C.

80 °C decreased water activity (from 0.98 to 0.21). At higher temperature the water evaporation rate is higher, influencing the moisture content and consequently water activity in the product (Villegas-Santiago *et al.*, 2011; Vahidhosseini *et al.*, 2016). In our experiment, water activity values were below 0.60 after 180 min of drying time in samples with particle size of 2 and 4 cm², whilst samples with particle size of 6 cm² achieved stability at 240 min (Figure 3A). Changes in moisture content results in changes in water activity levels; for this reason, as particle size increase from 2 to 6 cm² moisture content and water activity increase, because particle surface area decrease and the moisture transport distance is larger (Si *et al.*, 2015). In our study, water activity values were below to 0.60 after 75 and 40

se obtuvo a 60 y 80 °C durante un menor tiempo de secado (Figura 2B y Figura 2C).

Actividad de agua (a_w)

El secado de alimentos, incluyendo frutas y vegetales, se utiliza para eliminar y disminuir la actividad de agua y así reducir el riesgo de crecimiento microbiano, reacciones enzimáticas y degradación química (Naidu *et al.*, 2012; Aktas *et al.*, 2013). En la Figura 3 se presenta el efecto de las condiciones de secado en bandeja en la actividad de agua de las muestras de zacate limón durante el proceso de secado. Como se esperaba, el aumento de la temperatura de secado de 40 a 80 °C disminuyó la actividad de agua (de 0.98 a 0.21). La velocidad de evaporación del agua es mayor

min of drying, respectively (Figure 3B and 3C). Therefore, dehydrated samples can be considered free of microorganism growth (Correa *et al.*, 2011; Cantalejo *et al.*, 2016) and, due to that, xerophilic molds and osmophilic yeasts typically grow between 0.60 and 0.65 a_w (Troller (1980). Similar results were found for drying kinetics of other vegetables and fruits (Argyropoulos *et al.* 2011; Lozano *et al.* 2011; Ahmad *et al.* 2013; Jaworska *et al.* 2015).

Influence of drying temperature on color parameters

The color of all herbs is very important for their commercial acceptability. Initial values of color parameters *L*, Hue and Chroma of fresh lemongrass leaves were *L*=20.36, Hue=60.27 and Chroma=7.3. At the end of drying process, *L*, Hue and Chroma increased regarding initial values (Table 1); however, as temperature increased from 40 to 80 °C, the *L* of lemongrass samples decreased slightly, while Hue (yellowness) and Chroma (color saturation) value increased.

The increasing value of *L* indicates that lemongrass samples turned lighter. The loss of greenness is due to chlorophyll degradation by photodegradation when light and oxygen are present during heating (Attokaran 2011; Naidu *et al.*, 2012). A similar behavior was observed by Buchailot *et al.* (2009) during drying of lemon myrtle, and they reported that the higher the temperature of drying, the larger the color degradation observed (*L* and *a* increased, and *b* decreased). The visual color degradation (from

conforme aumenta la temperatura, esto afecta el contenido de humedad y, en consecuencia, la actividad de agua del producto (Villegas-Santiago *et al.*, 2011; Vahidhosseini *et al.*, 2016). En nuestro experimento, los valores de actividad de agua fueron menores a 0.60 después de un tiempo de secado de 180 min en muestras con tamaño de partícula de 2 y 4 cm^2 , mientras que las muestras con tamaños de partícula de 6 cm^2 alcanzaron la estabilidad a los 240 min (Figura 3A). Los cambios en el contenido de humedad modifican los niveles de actividad de agua; es decir, conforme aumenta el tamaño de partícula de 2 a 6 cm^2 el contenido de humedad y la actividad de agua aumentan, ya que el área superficial de la partícula disminuye y la distancia de transporte de la humedad aumenta (Si *et al.*, 2015). En nuestro estudio, los valores de actividad de agua son menores a 0.60 después de 75 y 40 min de secado, respectivamente (Figura 3B y 3C). Por lo tanto, las muestras deshidratadas se pueden considerar libres del crecimiento de microorganismos (Correa *et al.*, 2011; Cantalejo *et al.*, 2016) y, por ello, libres de mohos xerófilos y levaduras osmofílicas que crecen generalmente entre 0.60 y 0.65 de a_w (Troller (1980). Resultados similares se obtuvieron con las cinéticas de secado de otras frutas y vegetales (Argyropoulos *et al.* 2011; Lozano *et al.* 2011; Ahmad *et al.* 2013; Jaworska *et al.* 2015).

Efecto de la temperatura de secado en los parámetros colorimétricos

El color de las hierbas es muy importante para su aceptabilidad comercial. Los valores iniciales de

Table 1. Results of color parameters of lemongrass at the end of try drying process. Cuadro 1. Resultados de los parámetros colorimétricos del zacate limón al término del proceso de secado en bandeja.

Exp.	Temperature (°C)	Surface area (cm ²)	Color			
			L	Hue	Chroma	DE
1	40	2	26.980 ^{1.810}	68.997 ^{2.687}	7.345 ^{0.405}	6.250 ^{1.442}
2	40	4	23.980 ^{2.970}	70.951 ^{6.489}	6.986 ^{2.007}	5.250 ^{0.537}
3	40	6	26.715 ^{1.407}	69.936 ^{0.773}	6.805 ^{0.862}	6.995 ^{1.365}
4	60	2	26.870 ^{0.919}	73.128 ^{2.689}	8.247 ^{0.326}	4.560 ^{1.725}
5	60	4	26.165 ^{0.827}	68.672 ^{1.795}	8.061 ^{0.433}	6.615 ^{4.759}
6	60	6	26.130 ^{2.348}	72.588 ^{8.43}	8.881 ^{0.975}	3.720 ^{0.354}
7	80	2	21.135 ^{1.902}	73.486 ^{5.212}	7.477 ^{0.320}	4.465 ^{2.213}
8	80	4	24.100 ^{6.095}	74.953 ^{3.137}	8.427 ^{1.663}	8.180 ^{3.041}
9	80	6	21.550 ^{0.537}	74.378 ^{1.003}	7.671 ^{0.074}	2.760 ^{0.990}

green to dull green-yellow) was obvious during the lemongrass drying process. The fresh leaves were the greenest, and this green color was lost during drying (a values increased) and involved gradual development of dull yellowness of the product (a combined effect of changes in a and b values) as the drying progressed. A decrease of brightness (from 54.43 to 26.69) were also observed by Alibas (2009) during the air drying of collard leaves; their results demonstrated that the loss of greenest is due to the reduction in a values (from -9.41 to -3.49) and by the reduction in hue angle (from 126.66 to 111.34).

Color difference (ΔE) is a parameter extensively used to evaluate the overall color variation between the fresh and dried samples (Argyropoulos *et al.*, 2011; Villegas-Santiago *et al.*, 2011). The individual color parameters were taken as a reference in order to assess the extent of color change. Statistical analysis of ΔE revealed that no significant difference was found among samples dehydrated at 60 and 80 °C. The greater DE values were observed in dehydrated lemongrass samples at 40 °C because then drying time was the highest. This latter observation is consistent with results obtained for Da Cunha *et al.* (2006), who demonstrated that higher operational times, during the fluidized bed drying of Mango pulp, affected the original color. Therefore, color degradation during drying is associated with pigment degradation. In addition, Krokida *et al.* (1998) observed an increase in color parameters for potato, apple and banana when subjected to conventional hot air drying. This change in color could be ascribed to non-enzymatic Maillard browning reactions and the formation of brown pigments that took place during drying (Martynenko and Zheng, 2016).

Color difference values of dehydrated lemongrass were from 2.76 to 8.18. Low values in total color difference have been considered acceptable in drying process of some vegetables. Lozano-Acevedo *et al.* (2011) reported that color closest to the original color fresh potato, was obtained at lower drying temperature.

Influence of extraction process on color parameters

Extraction was performed from fresh and dry lemongrass samples at 60 and 80 °C, and due to these drying conditions it obtained the best

los parámetros colorimétricos L , tono y croma de las hojas frescas de zacate limón fueron $L=20.36$, Tono= 60.27 y Croma= 7.3 . Al final del proceso de secado, la L , el tono y el croma aumentaron con respecto a los valores iniciales (Cuadro 1); sin embargo, conforme la temperatura aumentó de 40 a 80 °C, la L de las muestras de zacate limón disminuyó ligeramente, mientras que los valores del tono (tonalidad amarilla) y croma (saturación del color) aumentaron.

El aumento de la L indica que las muestras de zacate limón se aclararon. La pérdida del color verde se debe a la fotodegradación de la clorofila, debido a la combinación de luz y oxígeno durante el calentamiento (Attokaran 2011; Naidu *et al.*, 2012). Buchaillot *et al.* (2009) observaron un comportamiento similar durante el secado del mirto limón y reportaron que a mayores temperaturas de secado la degradación del color era mayor (L y a aumentaron, b disminuyó). La degradación visual del color (de verde a verde-amarillo opaco) fue evidente durante el proceso de secado del zacate limón. Las hojas frescas fueron las más verdes y su color se perdió durante el secado (aumentaron los valores de a), esto involucró el desarrollo gradual de un tono amarillo opaco del producto (un efecto combinado de cambios en los valores de a y b) conforme avanzaba el proceso de secado. Alibas (2009) también observó una disminución en la luminosidad (de 54.43 a 26.69) durante el secado al aire de hojas de berza; sus resultados demuestran que la pérdida del color verde se debe a la reducción de los valores de a (de -9.41 a -3.49) y a la disminución del ángulo de tono (de 126.66 a 111.34).

La diferencia de color (E) es un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la variación general del color entre las muestras frescas y secas (Argyropoulos *et al.*, 2011; Villegas-Santiago *et al.*, 2011). Los parámetros colorimétricos individuales se tomaron como referencia para evaluar el grado del cambio de color. El análisis estadístico de la E no reveló ninguna diferencia significativa entre las muestras deshidratadas a 60 y 80 °C. Los valores más altos de E se observaron en las muestras de zacate limón deshidratadas a 40 °C debido a que el tiempo de secado fue el más prolongado. Esto coincide con los resultados obtenidos por Da Cunha *et al.* (2006), quienes demostraron que los tiempos de operación más prolongados, durante el secado por lecho fluidizado de pulpa de mango, afectaban el color original. Por lo tanto, la degradación

physicochemical properties (X , a_w and DE). Table 2 shows experimental results of color difference at the end of aqueous and ethanolic extraction.

Statistical analysis showed significant difference among extract brightness for all experiments. As it can be seen from Figure 4B, brightness decreases significantly during alcoholic extraction; therefore, dark green color was observed (Figure 5). However, brightness values decreased slowly during aqueous extraction (Figure 4A); therefore dark brown color was observed (Figure 5). A decrease in brightness was observed by Bechtold *et al.* (2007) during extraction of anthocyanin dyes from grape; an increment in anthocyanin content resulted in a decrease in brightness, and as a consequence, there was an increase in dyestuff. In addition, Mohd-Adnan *et al.*

del color durante el secado está relacionada con la degradación del pigmento. Aunado a esto, Krokida *et al.* (1998) observaron un aumento en los parámetros colorimétricos de la papa, la manzana y el plátano secados con aire caliente convencional. Este cambio en el color se puede atribuir a las reacciones de oscurecimiento no enzimático de Maillard y la formación de pigmentos marrones durante el secado (Martynenko y Zheng, 2016).

Los valores de la diferencia de color del zacate limón deshidratado variaron de 2.76 a 8.18. Los bajos valores de la diferencia de color total se consideran aceptables en el proceso de secado de algunos vegetales. Lozano-Acevedo *et al.* (2011) reportaron un color más parecido al color original de la papa fresca con menores temperaturas de secado.

Table 2. Color parameters of lemongrass extract.
Cuadro 2. Parámetros colorimétricos del extracto de zacate limón.

Experiment	Sample	Solvent	Color			
			L	Hue	Chroma	DE
1	Fresh	Water	15.4 ^{2.40}	83.5 ^{1.22}	6.61 ^{1.32}	33.7 ^{4.4}
2	Fresh	Ethanol	1.2 ^{0.13}	-50.8 ^{8.19}	0.80 ^{0.28}	40.1 ^{0.2}
3	Dried (60°C)	Water	13.1 ^{4.73}	69.3 ^{5.19}	7.53 ^{3.09}	30.6 ^{0.7}
4	Dried (60°C)	Ethanol	0.72 ^{0.18}	-45.9 ^{24.6}	0.64 ^{0.59}	34.4 ^{7.6}
5	Dried (80°C)	Water	17.4 ^{9.56}	64.8 ^{4.54}	10.9 ^{0.58}	37.6 ^{10.}
6	Dried (80°C)	Ethanol	1.60 ^{0.80}	-63.6 ^{0.21}	0.85 ^{0.02}	39.6 ^{2.9}

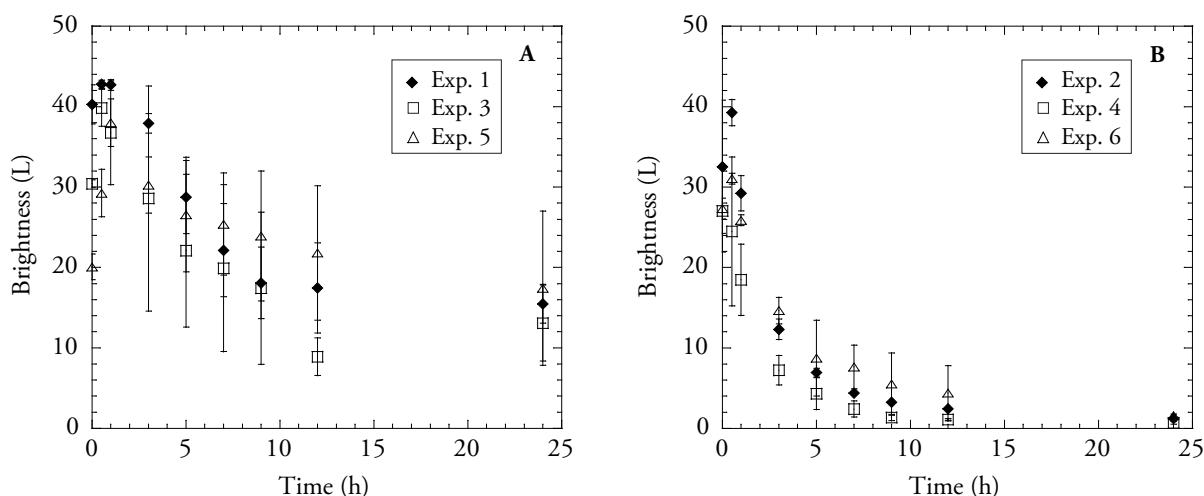


Figure 4. Brightness evolution of lemongrass samples during extraction process: A) aqueous, and B) ethanolic.
Figura 4. Evolución de la luminosidad de muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: A) acuosa y B) etanólica.

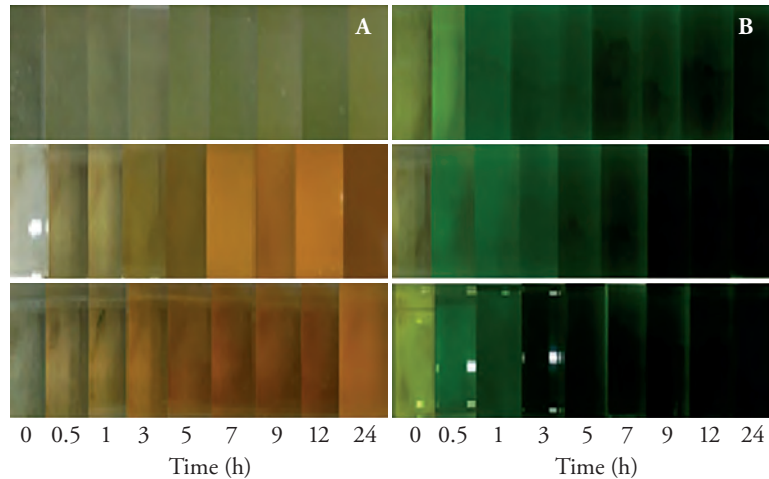


Figure 5. Extract color during the extraction process of lemongrass samples: A) aqueous, and B) ethanolic.

Figura 5. Color del extracto de muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: A) acuosa y B) etanólica.

(2011) reported that, as the pH was increased, the color was spreading because of an important loss of saturation and an increase in lightness together with hue shifts (to blue or yellow tonalities). Furthermore, whatever the pH, it resulted in darker colors (lower L) and in an enhanced saturation level (higher Chroma) in most solutions.

The extract was more dark green through time in most of our experiments. The Figure 6A clearly shows that parameter Hue changed, during the first five hours, from negative (green) to positive (red) values; this behavior could be ascribed to the loss

Efecto del proceso de extracción en los parámetros colorimétricos

La extracción se realizó a partir de muestras de zacate limón frescas y deshidratadas a 60 y 80 °C, ya que con estas condiciones de secado obtuvimos las mejores propiedades fisicoquímicas (X , a_w y E). El Cuadro 2 muestra los resultados experimentales de la diferencia de color al término de la extracción acuosa y etanólica.

En todos los experimentos se observó una diferencia estadísticamente significativa entre la lumino-

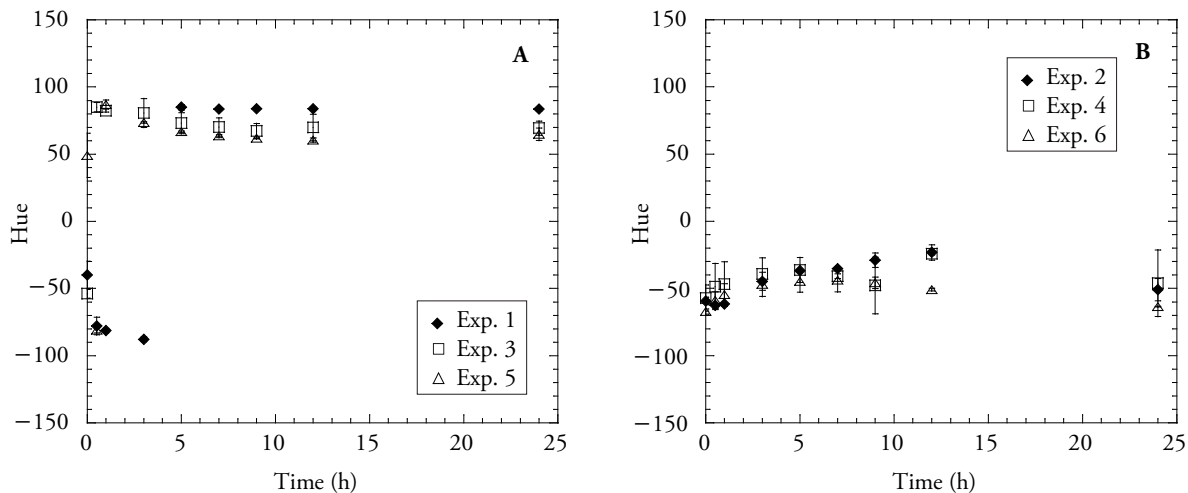


Figure 6. Hue evolution of lemongrass samples during extraction process: A) aqueous, and B) ethanolic.

Figura 6. Evolución de la tonalidad (tono) de muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: A) acuosa, y B) etanólica.

in color purity. Moreover, Hue values were negative (green) during alcoholic extraction.

Finally, as shown in Figure 7A, an increase in color saturation (Chroma) was observed during aqueous extraction. However, the opposite effect (a decrease in color intensity) was found during alcoholic extraction.

The Figure 8A shows that the highest color difference results with dried lemongrass samples at 80 °C; however, a greatest color difference was observed with fresh lemongrass samples during alcoholic extraction (Figure 8B). This latter observation could be explained by the increment in

sidad de los extractos. Como se observa en la Figura 4B, la luminosidad disminuyó de forma significativa durante la extracción alcohólica; por lo que se observó un color verde oscuro (Figura 5). Sin embargo, los valores de luminosidad disminuyeron lentamente durante la extracción acuosa (Figura 4A); por lo que se observó un color marrón oscuro (Figura 5). Bechtold *et al.* (2007) observaron la disminución de la luminosidad durante la extracción de antocianinas a partir de la uva; el aumento del contenido de antocianina disminuía la luminosidad y, en consecuencia, aumentaba el colorante. Además, Mohd-Adnan *et al.* (2011) reportaron que, conforme aumenta el pH, el

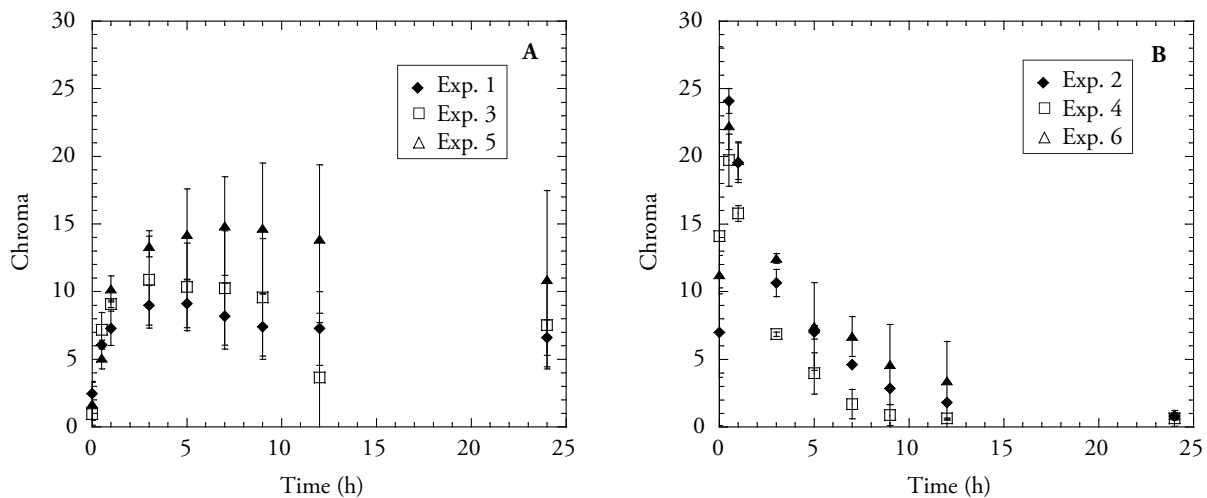


Figure 7. Chroma evolution of lemongrass samples during extraction process: a) aqueous, and b) ethanolic.
 Figura 7. Evolución del cromade muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: a) acuosa, y b) etanólica.

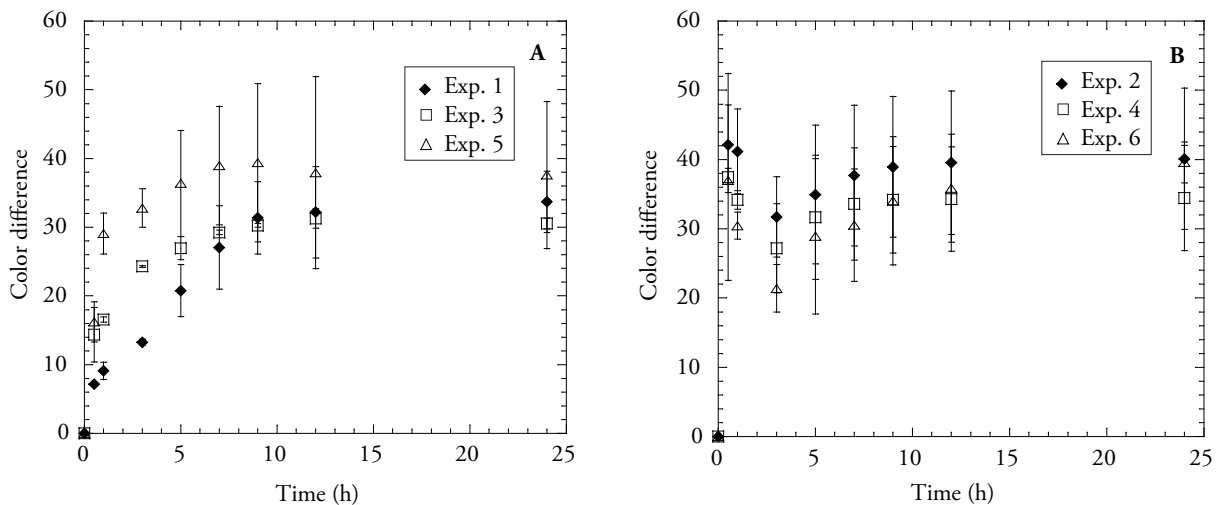


Figure 8. Color difference evolution of lemongrass samples during extraction process: A) aqueous, and B) ethanolic.
 Figura 8. Evolución de la diferencia de color de muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: A) acuosa, y B) alcohólica.

pigment concentration during extractions (Pop *et al.*, 2010).

pH

Statistical analysis showed no significant difference among pH values during fresh and dry samples; however, pH was influenced significantly by solvent and sample type during extraction process. The lowest pH values were observed in aqueous extraction: from 6.07 to 5.79 for fresh sample, from 6.1 to 5.4 for dried samples at 60 °C and from 6.5 to 5.4 for dried samples at 80 °C (Figure 9A). There was a decrease in pH values from 7.03 to 6.4 for fresh samples, from 6.68 to 6.1 for dried samples at 60 °C and from 7.01 to 6.03 for dried samples at 80 °C (Figure 9B).

Antioxidant activity

The results revealed that the ethanolic extract contained a significant quantity of polyphenolic compounds (147 mg L^{-1}) as compared to the aqueous extract (98 mg L^{-1}); however, the highest antioxidant activity (DPPH method) was observed in aqueous extract (87.29 %) than ethanolic extract (63.6 %). This behaviour could be ascribed to the thermal treatment; then, deactivate polyphenol is obtained by exposure to a temperature between 70 and 90 °C (Shi *et al.*, 2005). During the cocoa drying process, Alean *et al.* (2016) demonstrated

color se extiende debido a una importante pérdida en la saturación y un aumento en la luminosidad junto con cambios en el tono (de tonalidades azules o amarillas). Además, independientemente del pH, se observaron colores más oscuros (menor L) y aumentos del nivel de saturación (mayor Croma) en la mayoría de las soluciones.

En la mayoría de nuestros experimentos, el color del extracto adquirió un color verde más oscuro con el transcurso del tiempo. La Figura 6A demuestra claramente el cambio del parámetro de tonalidad (Tono) durante las primeras cinco horas, de valores negativos (verde) a positivos (rojo); este comportamiento se puede atribuir a la pérdida de la pureza del color. Además, los valores de la tonalidad (Tono) fueron negativos (verde) durante la extracción alcohólica.

Finalmente, en la Figura 7A se observa un aumento en la saturación del color (Croma) durante el proceso de extracción. Sin embargo, se encontró el efecto opuesto durante la extracción alcohólica (disminución en la intensidad del color).

La Figura 8A muestra que los resultados de diferencia de color más elevados se obtuvieron con las muestras de zacate limón a 80 °C; sin embargo, durante la extracción alcohólica se observó la mayor diferencia de color con muestras de zacate limón frescas durante la extracción alcohólica (Figura 8B). Es posible que esto se deba al aumento de la concentración del pigmento durante las extracciones (Pop *et al.*, 2010).

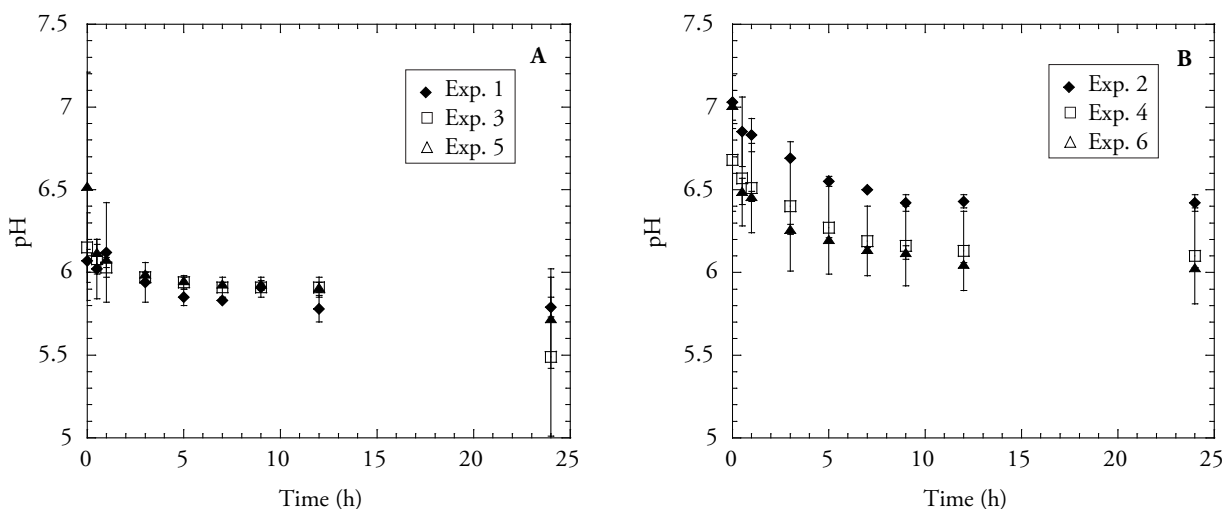


Figure 9. pH evolution of lemongrass samples during extraction process: A) aqueous, and B) ethanolic.

Figura 9. Evolución del pH de muestras de zacate limón durante el proceso de extracción: A) acuosa, y B) etanólica.

that the phenol degradation increases with temperature. If temperature increases from 40 to 60 °C, polyphenols content decreases from 6292.37 to 6171.04 mg acid Gallic 100 g⁻¹ dried fruit. Another factor affecting the polyphenols content is moisture, which may be associated, first to the volatility of these compounds and, second, to the synergy of polyphenols with water due to the polarity. Thus, water plays an important role since it allows polyphenols to dissolve and then to be dragged to the surface. According to Bitis *et al.* (2010), Maisuthisakul and Changchub (2014), Reyes-Luengas *et al.* (2015) and Qu *et al.* (2016), the antioxidant activity of plants is due to phenolic and flavonoid compounds present in them. Naidu *et al.* (2012) reported that the extracts of dried fenugreek greens exhibited highest antioxidant activity in DPPH assay with higher polyphenol content (PC): total PC of extracts from extraction of dried fenugreek greens with methanol, ethanol and isopropanol solvents was 48, 44 and 28 mg 100 g⁻¹, respectively; besides, PC of extracts improved to 68 mg 100 g⁻¹ when methanol plus water (60:40) was used for extraction. Reyes-Luengas *et al.* (2015) during analysis of phenolic acids and antioxidant activity of aqueous extracts of Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) reported that the highest contents of total phenolic acids were detected in Sudan and Alma Blanca (10.71±0.29 and 8.22±0.30 mg GAE g⁻¹ dry mater, respectively); therefore, the highest antioxidant activity was found in the Sudan extract (CI₅₀=113.3 μg mL⁻¹).

Antimicrobial activity

The antimicrobial effect of aqueous and ethanolic extracts was assessed by disc diffusion method. Lemongrass extracts did not show antimicrobial activity against *Saccharomyces cerevisiae*. Mean yeast count was 7.99^{0.05} log CFU g⁻¹ for aqueous extract, while mean yeast count was 8.06^{0.02} log CFU g⁻¹ for ethanolic extract. Inhibition was not detected around the discs (Figure 10), and there was a clear yeast growth around and inside the discs (Figure 10A and 10B). The results suggest that it is necessary to purify aqueous and ethanolic extracts by column chromatography in order to identify and assess antimicrobial activity of lemongrass components.

pH

En el análisis estadístico no se observaron diferencias significativas entre los valores de pH de muestras frescas y secas; sin embargo, durante el proceso de extracción, el tipo de disolvente y de muestra afectaron significativamente el pH. Los valores más bajos de pH se observaron en la extracción acuosa: de 6.07 a 5.79 en muestras frescas, de 6.1 a 5.4 en muestras deshidratadas a 60 °C y de 6.5 a 5.4 en muestras deshidratadas a 80 °C (Figura 9A). Los valores de pH disminuyeron de 7.03 a 6.4 en las muestras frescas, de 6.68 a 6.1 en muestras deshidratadas a 60 °C y de 7.6 a 6.03 en muestras deshidratadas a 80 °C (Figura 9B).

Actividad antioxidante

Los resultados mostraron que el extracto etanólico contiene una cantidad significativa de compuestos polifenólicos (147 mg L⁻¹) en comparación con el extracto acuoso (98 mg L⁻¹); sin embargo, la actividad antioxidante (método del DPPH) fue mayor en el extracto acuoso (87.29 %) en comparación con el extracto etanólico (63.6 %). Este comportamiento se puede atribuir al tratamiento térmico, en el cual se obtienen polifenoles desactivados por la exposición a temperaturas entre 70 y 90 °C (Shi *et al.*, 2005). Durante el proceso de secado de la cocoa, Alean *et al.* (2016) demostraron que la degradación fenólica aumenta con la temperatura. Si la temperatura aumenta de 40 a 60 °C, el contenido de polifenoles disminuye de 6292.37 a 6171.04 mg de ácido gálico 100 g⁻¹ de fruta seca. Otro factor que afecta el contenido de polifenoles es la humedad, la cual podría estar relacionada, primero, con la volatilidad de estos compuestos y, segundo, con la sinergia de los polifenoles y el agua debido a su polaridad. Por lo tanto, el agua desempeña una función importante, ya que permite la disolución de los polifenoles y su arrastre a la superficie. Según Bitis *et al.* (2010), Maisuthisakul y Changchub (2014), Reyes-Luengas *et al.* (2015) y Qu *et al.* (2016), los compuestos fenólicos y flavonoides de las plantas son los responsables de la actividad antioxidante. Naidu *et al.* (2012) reportaron que los extractos de fenogreco seco exhibieron la actividad antioxidante más elevada en el ensayo del DPPH, con el mayor contenido de polifenoles (CP): el CP de los extractos obtenidos de la extracción de

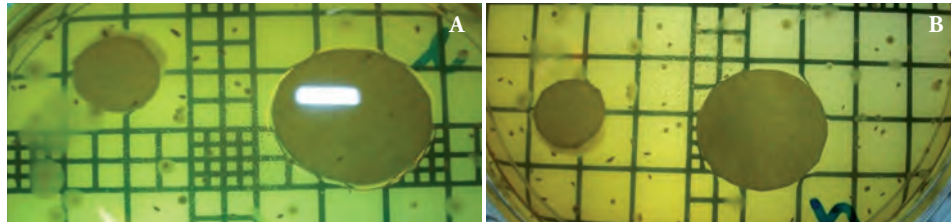


Figure 10. Antimicrobial effect of lemongrass extracts by disc diffusion: A) aqueous, and B) ethanolic.

Figura 10. Efecto antimicrobiano de los extractos de zacate limón mediante el método de difusión con disco: A) extracto acuoso, y B) extracto etanólico.

According to Tchinda *et al.* (2009) essential oil of *C. citratus* (Poaceae) has antifungal activity against *Phaeoramularia angolensis*, and citral was very active against *P. angolensis* with a minimal inhibitory concentration of 400 ppm. Also, neral and geranial presented efficacy with a minimal inhibitory of 500 ppm. Besides, Saleem *et al.* (2003), Naik *et al.* (2010), Vazirian *et al.* (2012), Tavares *et al.* (2015) and Ekpenyong and Akpan (2016) reported antimicrobial activity of lemongrass essential oil as a natural preservative in food products. However, the antimicrobial effect of extracts is overlooked.

CONCLUSIONS

During the tray drying process, lemongrass samples achieved high degree of microbiological and chemical stability. Although the visual color degradation was obvious during the drying process, color closest to the original color fresh lemongrass was obtained at a higher drying temperature, which results desired for their commercial acceptability. The tray drying process improved the components during extraction of lemongrass; however, antioxidant activity decreased because of the thermal treatment.

Our study suggested that lemongrass extract can be used as an antioxidant agent and their natural pigments might be utilized as food additive or to enhance flavor in antioxidant drinks.

LITERATURE CITED

- Ahmad Q., M., E. Barrajon C., V. Micol., J. A. Cárcel., and J. V. Garcia P. 2013. Influence of air temperature on drying kinetics and antioxidant potential of olive pomace. *J. Food Eng.* 119: 516-524.
- Aktas, T., P. Ulger, F. Daglioglu, and F. Hasturk. 2013. Changes of nutritional and physical quality characteristics during

fenogreco seco con metanol, etanol e isopropanol fue de 48, 44 y 28 mg 100 g⁻¹, respectivamente; además, el CP de los extractos aumentó a 68 mg 100 g⁻¹ cuando se utilizó metanol más agua (60:40) en la extracción. Reyes-Luengas *et al.* (2015) detectaron, durante el análisis de los ácidos fenólicos y la actividad antioxidante de extractos acuosos de la Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), una mayor concentración de ácidos fenólicos totales en Sudan y Alma Blanca (10.71±0.29 y 8.22±0.30 mg de GAE g⁻¹ materia seca, respectivamente); es decir, la mayor actividad antioxidante se encontró en el extracto Sudan (IC₅₀=113.3 μg mL⁻¹).

Actividad antimicrobiana

El efecto antimicrobiano de los extractos acuosos y etanólicos se evaluó mediante el método de difusión con disco. Los extractos de zacate limón no presentaron actividad antimicrobiana contra *Saccharomyces cerevisiae*. El recuento promedio de levaduras fue 7.99^{0.05} log UFC g⁻¹ con el extracto acuoso, mientras que el recuento promedio de levaduras con el extracto etanólico fue 8.06^{0.02} log UFC g⁻¹. No hubo inhibición del crecimiento microbiano alrededor de los discos (Figura 10) y se observó crecimiento de levaduras alrededor y dentro de los discos (Figura 10A y 10B). Estos resultados sugieren que es necesario purificar los extractos acuosos y etanólicos mediante cromatografía por columna para identificar y evaluar la actividad antimicrobiana de los componentes del zacate limón.

Según Tchinda *et al.* (2009) el aceite esencial de *C. citratus* (Poaceae) presenta actividad antimicótica frente a *Phaeoramularia angolensis*, y citral fue muy activo frente a *P. angolensis* con una concentración inhibitoria mínima de 400 ppm. También, neral y

- storage of osmotic pretreated apple before hot air drying and sensory evaluation. *J. Food Quality*. 36: 411-425.
- Alean, J., F. Chejne, and B. Rojano. 2016. Degradation of polyphenols during the cocoa drying process. *J. Food Eng.* 189: 99-105.
- Alibas I. 2009. Microwave, vacuum, and air drying characteristics of collard leaves. *Dry. Technol.* 27: 1266-1273.
- Argyropoulos D., M. Tahir K., and J. Müller. 2011. Effect of air temperature and pre-treatment on color changes and texture of dried *Boletus edulis mushroom*. *Dry. Technol.* 29: 1890-1900.
- Attokaran, M. 2011. Lemongrass. In: Attokaran, M. (ed). *Natural Food Flavors and Colorants*. IFT PRESS, Cochin, India. pp: 267-270.
- Bechtold, T., A. Mahmud-Ali, and R. Mussak. 2007. Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2589-2595.
- Bitis, L., S. Kultur, G. Melikoglu N. Ozsoy, and A. Can. 2010. Flavonoids and antioxidant activity of *Rosa agrestis* leaves. *Nat. Prod. Res.* 24: 580-589.
- Buchaillot, A., N. Caffin, and B. Bhandari. 2009. Drying of lemon myrtle (*Backhousiacitriodora*) leaves: retention of volatiles and color. *Dry Technol.* 27: 445-450.
- Cantalejo, M. J., F. Zouaghi, and I. Pérez-Arnedo. 2016. Combined effects of ozone and freeze drying on the shelf life of Broiler chicken meat. *LWT-Food Sci. Technol.* 68: 400-407.
- Coradi C., P., E. Melo C., and R. Rocha P. 2014. Evaluation of electrical conductivity as a quality parameter of lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus Stapf*). *Dry Technol.* 32: 969-980.
- Correa, S. C., M. T. P. S. Clerici, J. S. García, E. B. Ferreira, M. N. Eberlin, and L. Azevedo. 2011. Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze-drying and convective hot-air drying. *Food Res. Int.* 44: 2385-2390.
- Da Cunha L., R., A. de la Cruz G., and F. Menegalli C. 2006. Effects of operation conditions on the quality of mango pulp dried in a spout fluidized bed. *Dry. Technol.* 24: 423-432.
- Demiray, E., and Y. Tulek. 2016. Degradation kinetics of b-carotene in carrot slices during convective drying. *Int. J. Food Prop.* DOI:10.1080/10942912.2016.1147460.
- Díaz A. F., G. A. García G., and E. Simá M. 2015. Drying kinetics of slices of nopal (*Opuntia ficus indica*) cladodes in a convective transversal flow dryer. *Agrociencia* 49: 845-857.
- Duan X., Y. Jiang, X. Su, Z. Zhang, and J. Shi. 2007. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis Sonn.*) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chem.* 101: 1365-1371.
- Ekpenyong, C. E., and E. E. Akpan. 2015. Use of cymbopogon citratus essential oil in food preservation: recent advances and future perspectives. *Crit. Rev. Food Sci.* DOI: 10.1080/10408398.2015.1016140.
- Feng, L., M. Zhang, and B. Adhikari. 2014. Effect of water on the quality of dehydrated products: a review of novel characterization methods and hybrid drying technologies. *Dry. Technol.* 32: 1872-1884.
- Figueirinha, A., A. Paranhos, J. J. Pérez-Alonso, C. Santos-Buelga, and M. T. Batista. 2008. *Cymbopogon citratus* leaves: Characterisation of flavonoids by HPLC-PDA-ESI/geranial fueron eficaces con una concentración mínima inhibitoria de 500 ppm. Aunado a esto, Saleem *et al.* (2003), Naik *et al.* (2010), Vazirian *et al.* (2012), Tavares *et al.* (2015) y Ekpenyong y Akpan (2016) reportaron la actividad antimicrobiana del aceite esencial del zacate limón como un conservador natural de productos alimentarios. Sin embargo, se tiende a omitir el efecto antimicrobiano de los extractos.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de secado en bandeja, las muestras de zacate limón alcanzaron un alto grado de estabilidad microbiológica y química. Aunque la degradación visual del color fue evidente durante el proceso de secado, el color más parecido al color original del zacate limón fresco se obtuvo con las temperaturas de secado más elevadas, característica deseable para la aceptabilidad comercial. El proceso de secado en bandeja mejoró los componentes durante la extracción del zacate limón; sin embargo, la actividad antioxidante disminuyó como consecuencia del tratamiento térmico.

Nuestro estudio sugiere el uso del extracto de zacate limón como agente antioxidante y sus pigmentos naturales se pueden utilizar como aditivos alimentarios o para exacerbar el sabor en las bebidas antioxidantes.

—Fin de la versión en Español—



- MS/MS and an approach to their potential as a source of bioactive polyphenols. *Food Chem.* 110: 718-728.
- Hanaa A. R. M., Y. I. Sallam, A. S. El-Leithy, and S. E. Aly. 2012. Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as affected by drying methods. *Ann. Agric. Sci.* 57: 113-116.
- Hoon, L. K., and K. O. Joong. 2009. Investigation on Drying performance and energy saving of the batch-type heat pump dryer. *Dry Technol.* 27, 565-573.
- Jaworska, G., K. Pogón, E. Bernas, and A. Duda-Chodak. 2015. Nutraceuticals and antioxidant activity of prepared for consumption commercial mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*. *J. Food Quality*. 38: 111-122.
- Krokida, M. K., E. Tsami, and Z. B. Maroulis. 1998. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *Dry. Technol.* 16: 677-685.
- Kumar, V., R. Tewari, and K. Singh. 2015 Comparative studies of drying methods on yield and composition of the essential oil of *Cymbopogon citratus*. *J. Essent. Oil Bear. Pl.* 18: 744-750.
- Kyriakopoulou, K., A. Pappa, M. Krokida, A. Detsi, and P. Kefalas. 2013. Effects of drying and extraction methods

- on the quality and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries and leaves. *Dry. Technol.* 31: 1063-1076.
- Lozano A., A., M. Jimenez F., A. Ragazzo S., G. Urrea G., and G. Luna S. 2011. Fluidized bed drying process of thinly sliced potato (*Solanum tuberosum*). *Am. J. Potato Res.* 88: 360-366.
- Maisuthisakul, P., and L. Changchub. 2014. Effect of extraction on phenolic antioxidant of different thai rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Int. J. Food Prop.* 17: 855-865.
- Martynenko, A., and W. Zheng. 2016. Electrohydrodynamic drying of apple slices: energy and quality aspects. *J. Food Eng.* 168: 215-222.
- Mohd-Adnan, A. F., N. A. Mat N., N. Aziz, and R. M. Taha. 2011. Colour analysis of potential natural colourant from ixorasiensis and melastoma malabathricum. *Mater. Res. Innov.* 15: 176-183.
- Mujumdar A. S. 2014. Principles, classification, and selection of dryers. *In: Mujumdar, A. S. (ed). Handbook of Industrial Drying.* CRC Press, Boca Raton, FL. pp: 4-30.
- Naidu, M. M., H. Khanum, G. Sulochanamma, H. B. Sowbhagya, U. H. Hebbar, M. Prakash, and P. Srinivas. 2012. Effect of drying methods on the quality characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) greens. *Dry Technol.* 30: 808-816.
- Naik, M. I., B. A. Fomda, E. Jaykumar, and J. A. Bhat. 2010. Antibacterial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against some selected pathogenic bacteria. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 3: 535-538.
- Owolabi, M. S., M. O. Oladimeji, L. Lajide, G. Singh, P. Marimuthu, and V. A. Isidorov. 2008. *Cymbopogon citratus* (DC) stapf volatile oil from South - West, Nigeria. *J. Essent. Oil Bear. Pl.* 11: 335-341.
- Pop, M., A. X. Lupea., S. Popa, and C. Gruescu. 2010. Colour of bilberry (*Vaccinium Myrtilus*) extracts. *Int. J. Food. Prop.* 13: 771-777.
- Qu, Q., X. Yang, M. Fu, Q. Chen, X. Zhang, Z. He, and X. Qiao. 2016. Effects of three conventional drying methods on the lipid oxidation, fatty acids composition, and antioxidant activities of walnut (*Juglans regia* L.). *Dry. Technol.* 34: 822-829.
- Reyes, A., A. Mahn., C. Guzmán, and D. Antoniz. 2012. Analysis of the drying of broccoli florets in a fluidized pulsed bed. *Dry. Technol.* 30: 1368-1376.
- Reyes-Luengas, A., Y. Salinas-Moreno., M. E. Ovando-Cruz, R. I. Arteaga-Garibay, y M. D. Martínez-Peña. 2015. Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de colores diversos. *Agrociencia.* 49: 277-290.
- Rocha, R. P., E. Castro., A. Jacinto., L. Lourenço, and J. Bon. 2011. Influence of drying air velocity on the chemical composition of essential oil from lemon grass. *Afr. J. Food Sci. Technol.* 2: 132-139.
- Saleem, M., N. Afza, M. A. Anwar, S. M. A. Hai, and M. S. Ali. 2003. A comparative study of essential oils of *Cymbopogon citratus* and some members of the genus citrus. *Nat. Prod. Res.* 17: 369-373.
- Shi, J., H. Nawaz, J. Pohorly, G. Mittal, Y. Kakuda, and Y. Jiang. 2005. Extraction of polyphenolics from plant material for functional foods engineering and technology. *Food Rev. Int.* 21: 139-166.
- Si, C., J. Wu, Y. Wang, Y. Zhang, and X. Shang. 2015. Drying of low-rank coals: A review of fluidized bed technologies. *Dry. Technol.* 33: 277-518.
- Tasirin M. S., I. Purpasi, A. Z. Sahalan., M. Mokhtar., M. K. Abdul G., and Z. Yaakob. 2014. Drying of *Citrus sinensis* peels in an inert fluidized bed: kinetics, microbiological activity, vitamin C, and limonene determination. *Dry. Technol.* 32: 497-508.
- Tavares, F., G. Costa, V. Francisco, J. Liberal, A. Figueirinha, M. C. Lopes, M. T. Cruz, and M. T. Batista. 2015. *Cymbopogon citratus* industrial waste as a potential source of bioactive compounds. *J. Sci. Food Agric.* 95: 2652-2659.
- Tchinda, E. S., P. M. D. Jazet, L. N. Tatsadjieu, B. D. Ndongson, P. H. Z. Amvam, and C. Menut. 2009. Antifungal Activity of the Essential Oil of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) Against *Phaeoramularia angolensis*. *J. Essent. Oil Bear. Pl.* 12: 218-224.
- Troller, J. A., and J. H. B. Christian. 1980. *Water Activity and Food.* Academic press. London. pp: 243.
- Vahidhosseini, S. M., E. Barati, and J. A. Esfahani. 2016. Green's function method (GFM) and mathematical solution for coupled equations of transport problem during convective drying. *J. Food Eng.* 187: 24-36.
- Vazirian, M., S. T. Kashani, M. R. S. Ardekani, M. Khanavi, H. Jamalifar, M. R. Fazeli, and A. N. Toosi. 2012. Antimicrobial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* DC Stapf.) Essential oil against food borne pathogens added to cream-filled cakes and pastries. *J. Essent. Oil Res.* 24: 579-582.
- Villegas-Santiago, J., M. Calderón-Santoyo, A. Ragazzo-Sánchez, M. A. Salgado-Cervantes, and G. Luna-Solano. 2011. Fluidized bed and tray drying of thinly sliced mango (*Mangifera indica*) pretreated with ascorbic and citric acid. *Int. J. Food Sci. Tech.* 46: 1296-1302.