



## Aprovechamiento de los residuos del membrillo (*Cydonia oblonga* L.) como fuente de compuestos bioactivos

Exploitation of quince (*Cydonia oblonga* L.) waste as source of bioactive compounds

Mario Espinoza<sup>a</sup>; Elvia Gómez<sup>a</sup>; Julio Aguilar<sup>a</sup>; Jhonatan Cabanillas<sup>a</sup>; Miguel Santa Cruz<sup>a</sup>; Iris Rodríguez<sup>a</sup>; Raúl Ríos<sup>a</sup>; Ivette Zuta<sup>a</sup>; Raúl Siche<sup>b,\*</sup>

a. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.

b. Instituto Regional de Investigación Agraria, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n Trujillo Perú.

\*Autor para correspondencia: [rsiche@unitru.edu.pe](mailto:rsiche@unitru.edu.pe) (R. Siche)

Recibido 5 Junio 2015; Aceptado 12 Octubre 2015

### RESUMEN

Nuestras ciudades generan cada vez más cantidad de residuos cuya disposición final se realiza en botaderos a cielo abierto constituyendo un problema para la salud pública, además los elevados volúmenes suponen importantes costos de recolección. Pese a esto, los residuos orgánicos también son una fuente importante de compuestos bioactivos que pueden ser reutilizados debido a sus propiedades favorables, pudiendo tener un efecto benéfico para la salud humana. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la técnica del secado por aire convectivo (AC) combinado con variables de temperatura y tiempo sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano"). Fue utilizado un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) con temperatura entre 50 y 70 °C y tiempo entre 150 y 240 minutos. Se utilizó Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) para determinar el contenido de flavonoides totales en los ensayos. Se determinó que el secado por AC produjo una reducción del 35% aproximadamente en contenido de fenoles totales cuando se trabaja con temperaturas de 48 a 58 °C y tiempo de 140 a 220 minutos, con respecto a las muestras frescas. Mientras que, para el contenido de flavonoides totales, los análisis revelaron que las cáscaras de membrillo secadas con tratamientos que combinan temperaturas entre 54 y 64 °C y tiempo entre 160 y 220 minutos, producen un aumento considerable de hasta 5 veces más respecto a la muestra original. La técnica de secado por aire convectivo (AC) puede ser utilizada para darle valor agregado a la recuperación de compuestos bioactivos de residuos agroindustriales tales como las cáscaras del membrillo. La explotación de estos productos podría incrementar el valor de la agroindustria en países tropicales y favorecer el cuidado del medio ambiente.

**Palabras clave:** Residuos agroindustriales, membrillo, compuestos bioactivos, aire convectivo, HPLC.

### ABSTRACT

Our cities generate increasing amounts of waste whose disposal is carried out in open air dumps being a problem for public health, and the high volumes represent significant collection costs. Despite this, organic waste is also an important source of bioactive compounds that can be reused because of its favorable properties, which can have a beneficial effect on human health. This study aimed to evaluate the technique of convective air drying (CA) combined with varying temperature and time on the content of total phenols and flavonoids for agroindustrial waste of quince peels (*Cydonia oblonga* L. variety "Serrano"). It was used a Central Composite Rotatable Design (DCCR) with temperature between 50 and 70 °C and time between 150 and 240 minutes. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) was used to determine the content of total flavonoids in the trials. It was determined that the drying by CA resulted in reduced about 35% in total phenolic content when it works with temperatures of 48 to 58 °C and time 140 to 220 minutes, with respect to the fresh samples. While for the content of total flavonoids, analysis revealed that the dried quince peels treatments combining with temperatures between 54 and 64 °C and time between 160 and 220 minutes, produce a considerable increase of up to 5 times longer than the sample original. The drying technique convective air (CA) can be used to add value to the recovery of bioactive compounds from agroindustrial waste as quince peels. The exploitation of these products could increase the value of agribusiness in tropical countries and promote environmental care.

**Keywords:** Agroindustrial wastes, quince, bioactive compounds, convective air, HPLC.

## 1. Introducción

A nivel mundial, la preocupación por el aprovechamiento de residuos ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a nivel industrial, en donde los procesos de transformación generan subproductos que pueden ser útiles en otras actividades (Ricce, 2013). De hecho, estudios recientes han demostrado que las cáscaras de frutas contienen antioxidantes que podrían tener un efecto benéfico en la salud humana (Londoño-Londoño *et al.*, 2010). Sin embargo, los residuos generados en las transformaciones agroindustriales y por las pérdidas postcosecha en nuestro país aún no han sido aprovechados eficientemente, en parte, porque su valor es aún desconocido y, sobretudo, por la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la suficiente calidad e inocuidad como para ser usadas en los procesos de mayor valor agregado.

Específicamente, los costos de secado, almacenamiento y transporte de los subproductos son factores que limitan económicamente su aplicación industrial y por lo tanto son a menudo utilizados con un escaso tratamiento como alimento para animales, como fertilizantes o simplemente se convierten en focos de contaminación para las fuentes de agua, los mismos cultivos o peor aún son un problema de salud pública en centros de abastecimiento urbanos, en donde su disposición final genera costos cada vez más insostenibles. Por lo tanto, la utilización eficiente, de bajo costo y ecológicamente racional de estos materiales es cada vez más importante, sobre todo por las restricciones legales que ya empiezan a surtir efecto en muchos países (Anand y Maini, 1997; Wadhwa *et al.*, 2013).

Aunque los subproductos del procesamiento de alimentos como es el caso de las cáscaras del membrillo, representan un problema de disposición importante para la industria, también son fuentes prometedoras de compuestos bioactivos que pueden ser utilizados debido a sus propiedades favorables tecnológica o nutricionalmente. De hecho, existe un cuerpo creciente de literatura científica que demuestra la

función de los metabolitos secundarios de las plantas en los alimentos y sus efectos potenciales sobre la salud humana.

El membrillero es un árbol de tamaño pequeño a mediano, originario de la región del Cáucaso, en el sudoeste cálido de Asia (Segura y Torres, 2009). El fruto del membrillero es demasiado duro, astringente y agrio por lo que no se puede consumir en su estado crudo, siendo utilizado en la elaboración de mermelada, ate y pudín, o puede pelarse para posteriormente asarlo (Hernández *et al.*, 2013); sin embargo son reconocidos como buenos, baratos y una importante fuente dietética de compuestos promotores de salud, debido a sus componentes biológicamente activos tales como vitaminas, carotenoides, compuestos polifenólicos y flavonoides, los que se caracterizan por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y anti-ulcerativas (Nisarg *et al.*, 2011).

El secado es una de las formas más eficientes para preservar los alimentos. Reduce la actividad de agua del producto, lo que inhibe el crecimiento microbiano y disminuye las reacciones de degradación, resultando en una mayor estabilidad (Castañeda *et al.*, 2010). Un método de secado alternativo para aprovechar los compuestos bioactivos de los residuos agroindustriales del membrillo es el secado con aire convectivo (AC), el proceso consiste en soplar una corriente de aire caliente sobre el producto para eliminar la humedad. Aunque es muy común, el método implica altas temperaturas y largos tiempos de procesamiento, que causan pérdidas en los valores nutricionales y propiedades sensoriales de los alimentos (Ratti, 2001; Drouzas *et al.*, 1999; Lin *et al.*, 1998; Yongsawatdigul y Gunasekaran, 1996).

Este trabajo trata de sustentar metodológicamente la importancia de aprovechar los residuos orgánicos generados en la industria del membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano") mediante la técnica del secado por aire convectivo (AC) combinado con variables de temperatura y tiempo sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales como compuestos bioactivos de interés para la salud humana.

## 2. Materiales y métodos

### Preparación de la materia prima

Se utilizaron membrillos (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano") provenientes del distrito de Sinsicap, provincia de Otuzco, región La Libertad-Perú.

Se realizó una selección y lavado de la fruta, separando las impurezas o residuos como: polvo, daños mecánicos, etc. Los membrillos se escaldaron en agua a 90-95°C por 5 minutos, posteriormente se pelaron con la finalidad de obtener las cáscaras (láminas de 1-2 mm de espesor), para luego ser destinadas al sistema de secado (Figura 1).

### Secado por aire convectivo (AC)

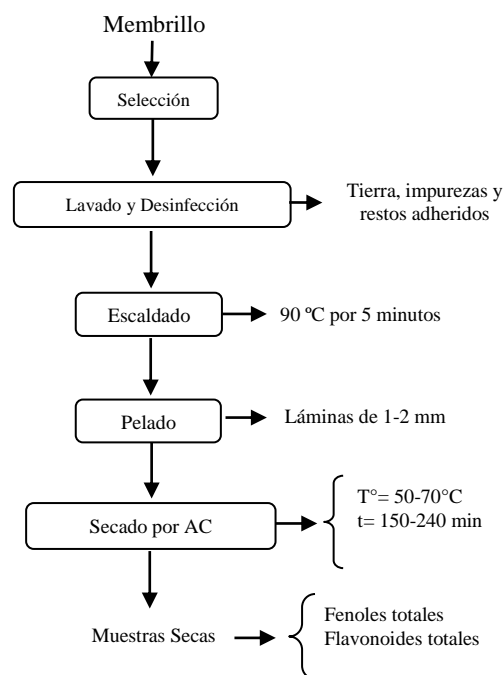
Para este método se utilizó una estufa (Memmert, UBN 400, USA). Las cáscaras de membrillo escaldado se pesaron y se acondicionaron en placas Petri, se introdujeron en la estufa entre rangos de temperatura de 50-70 °C y tiempo de 150-240 minutos de acuerdo con el diseño experimental. Terminado el proceso se determinó el contenido de humedad final de las muestras y se almacenaron en bolsas de PEAD para su posterior análisis.

### Análisis de compuestos bioactivos

#### Fenoles totales

Los fenoles totales se determinaron según Viuda-Martos *et al.* (2010); Holtung *et al.* (2011) y Waterhouse (2002) con algunas modificaciones. Los análisis se realizaron mediante espectrofotometría visible a 760 nm después de la reacción con el reactivo Folin-Ciocalteu. A cada muestra de cáscara de membrillo (2 g) se le adicionó alcohol etílico (80°) y se enrasó hasta 10 mL en una fiola, esta mezcla se agitó y centrifugó a 4200 rpm por 15 minutos, finalmente se filtró. A continuación, los extractos de las cáscaras (20 µL) se introdujeron en tubos de ensayo, añadiendo 1580 µL de agua destilada. Se agitó y se adicionó 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu y 300 µL de solución de carbonato de sodio (20%). La absorbancia de todas las muestras se midió a 760 nm después de incubarlas a 50 °C por 10 minutos. Los resultados fueron calculados mediante una curva de calibración obtenida a partir de un estándar de ácido gálico y se expresaron como

miligramos de ácido gálico por 100 g de muestra.



**Figura 1.** Flujograma del proceso de acondicionamiento y secado de las cáscaras del membrillo.

#### Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales fue cuantificado por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) de acuerdo con el método propuesto por Blasa *et al.* (2005) y Roldán-Marín *et al.* (2009) con modificaciones menores. La determinación de los flavonoides totales incluyó una hidrólisis ácida. Cada muestra de cáscara de membrillo (1,5 g) se homogenizó con 5 mL de ácido clorhídrico (6 M) y 10 mL de metanol dentro de un baño maría a reflujo a 90 °C por 2 horas. Inmediatamente después se enfriaron y centrifugaron las muestras a 4500 rpm durante 15 min. Se trasvasó el contenido y se enrasó con metanol en fiolas de 25 mL. Los extractos se filtraron a través de 0.45 µm filtro de membrana y se conservaron en frascos ámbar a 2 °C. La concentración de flavonoides totales fue calculada mediante una curva de calibración a partir de un estándar de quercetina y se expresaron como miligramos de quercetina por 100 g de muestra. Al igual que en la determinación de fenoles totales, todas las mediciones se efectuaron por triplicado.

### Análisis HPLC

El sistema de HPLC empleado consistió en un Agilent-Serie 1100, equipado con una bomba de suministro de disolvente (G13110A), muestreador automático (G1313A), desgasificador (GL379A), horno de columna (G1316A) y detector de matriz de fotodiodos UV-vis. (DAD-G1365B). La separación de los flavonoides se realizó en una columna de acero inoxidable Eclipse Zorbax C-18 de fase reversa (150 mm, 4,6 mm, 5  $\mu$ m). La fase móvil consistió en un gradiente isocrática con 30% de acetonitrilo (solución A) y 70% de buffer fosfato  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (0,025 M) (solución B) ajustada a un pH 2,4. El caudal se fijó en 0,9 mL/min con un volumen de inyección de 10  $\mu$ L a una temperatura de 30 °C y se leyó a una longitud de onda de 370 nm.

La identificación y cuantificación de quercetina en las muestras se llevó a cabo mediante la comparación del tiempo de retención registrados en los cromatogramas y el espectro de absorción UV-vis con la de los estándares.

### Análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) de segundo orden con resultados en Superficie de Respuesta. Este

diseño, incluye 2k factoriales (+1, -1), 2\*k puntos axiales (+1,41; -1,41) y cuatro puntos centrales (0,0) para evaluar el error experimental (k = 2 variables independientes: temperatura (50 – 70 °C) y tiempo (150 – 240 min) totalizando 12 ensayos (Tabla 1).

Se construyeron modelos del tipo:

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2;$$

donde:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  y  $\beta_{12}$ : Coeficientes de regresión; Y: Respuesta, en función de los coeficientes significativos para cada respuesta (mg ácido gálico/g de muestra y mg quercetina/g de muestra).

Luego, se realizó un ANVA para los modelos y el cálculo de los coeficientes de determinación ( $R^2$ ), pruebas que permiten validar estadísticamente los modelos. Finalmente, se generan superficies de respuesta en donde se buscaron regiones de interés.

### 3. Resultados y discusión

Luego de haber realizado los 12 ensayos, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Humedad final (%), contenido de fenoles y flavonoides totales de los 12 ensayos secados por aire convectivo (AC)

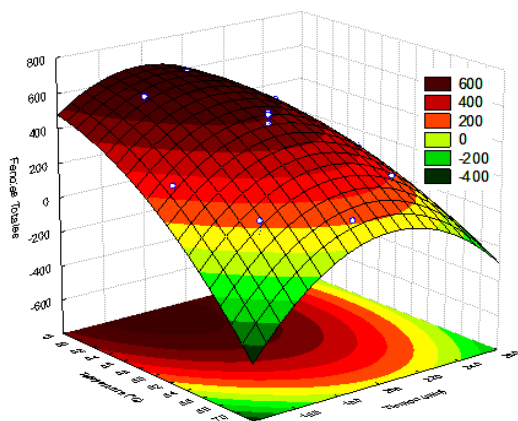
Ensayos	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Humedad Final (%)	Fenoles totales <sup>(a)</sup>	Flavonoides totales <sup>(b)</sup>
1	53	163	10,02 $\pm$ 0,03	600,11 $\pm$ 16,35	0,95 $\pm$ 0,01
2	67	163	6,03 $\pm$ 0,43	136,93 $\pm$ 9,91	0,64 $\pm$ 0,02
3	53	227	7,00 $\pm$ 0,10	429,86 $\pm$ 20,09	1,09 $\pm$ 0,20
4	67	227	5,36 $\pm$ 0,22	209,64 $\pm$ 24,38	1,24 $\pm$ 0,17
5	50	195	20,09 $\pm$ 0,17	614,82 $\pm$ 12,98	4,39 $\pm$ 0,33
6	70	195	3,44 $\pm$ 0,39	102,61 $\pm$ 11,18	1,00 $\pm$ 0,29
7	60	150	5,26 $\pm$ 0,04	243,11 $\pm$ 14,06	3,85 $\pm$ 0,78
8	60	240	2,67 $\pm$ 0,19	219,84 $\pm$ 25,17	0,84 $\pm$ 0,19
9	60	195	4,14 $\pm$ 0,12	476,74 $\pm$ 10,70	4,08 $\pm$ 0,07
10	60	195	5,51 $\pm$ 0,35	450,24 $\pm$ 15,10	5,15 $\pm$ 0,72
11	60	195	4,79 $\pm$ 0,29	540,94 $\pm$ 11,03	5,09 $\pm$ 0,82
12	60	195	4,52 $\pm$ 0,20	527,13 $\pm$ 12,89	5,24 $\pm$ 0,57

(a) mg ácido gálico/100 g de muestra (base seca).

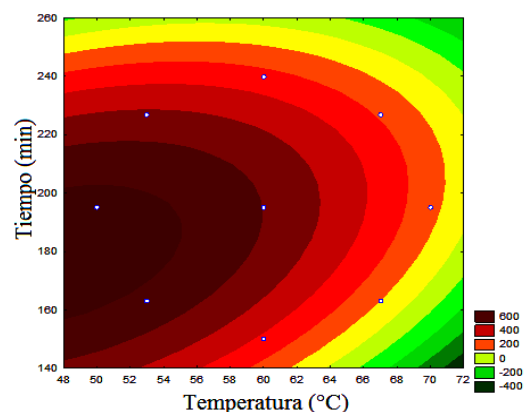
(b) mg quercetina/ 100 g muestra (base seca).

### Fenoles totales

Los fenoles son abundantes micronutrientes en la dieta, y previenen las enfermedades degenerativas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Los efectos en la salud de los polifenoles dependen de la cantidad consumida y en su bioaccesibilidad (Manach *et al.*, 2004).



**Figura 2.** Superficie de respuesta para el contenido de fenoles totales en cáscara de membrillo.



**Figura 3.** Superficie de contorno para el contenido de fenoles totales en cáscara de membrillo.

De las figuras 2 y 3 es posible observar regiones que permiten lograr valores de fenoles bajos y regiones con cantidades altas, en función de exponer al producto a mayor o menor temperatura y tiempo de secado. En base a los resultados obtenidos para fenoles totales comprobamos que, a una temperatura de 48 a 58 °C y tiempo de 140 a 220 minutos en el secado, la cantidad extraída de este principio activo será mayor. Según Rodríguez (2009), la naturaleza aromática de los fenoles nos indica que el extractante ideal ha de combinar la

capacidad para formar puente de hidrogeno y ciertas interacciones hidrofóbicas; se puede explicar que la extracción sea más efectiva en agua (o disoluciones con gran contenido de ella) que, en disolventes orgánicos, estas moléculas tienen un número elevado de grupos hidroxilo (OH), con gran afinidad con el agua debido a que son muy buenos formadores de puentes de hidrogeno. Además, los fenoles son levemente ácidos y esta condición los hace especialmente afines al agua. Por ello la muestra fresca posee el mayor valor de fenoles totales obtenidos en contraste con los ensayos, además que a tratamientos leves (temperaturas y tiempo bajos) los fenoles extraídos son mayores. Conforme la humedad final en las muestras disminuye y el tratamiento es más severo la extracción de fenoles es menor.

La exposición a temperaturas moderadas de secado en presencia de oxígeno puede influenciar la actividad de la enzima polifenoloxidasas, iniciando la oxidación fenólica y la pérdida de estos compuestos fenólicos (Shahidi y Naczki, 2004; Madrau *et al.*, 2009). El secado a temperaturas de 35-40 °C no es suficiente para inactivar a la peroxidasa, ya que se ha encontrado que esta enzima se inactiva después de calentamiento a 75-80 °C (Garrote *et al.*, 1985). Lin *et al.* (1998) indican que el proceso de secado frecuentemente afecta los compuestos fenólicos, ácido ascórbico y otros fitoquímicos específicos en las frutas y verduras. Al respecto Zanoni *et al.* (1999) mencionan que la temperatura de secado alta y por mucho tiempo está asociada a menudo con el daño que afecta adversamente la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos.

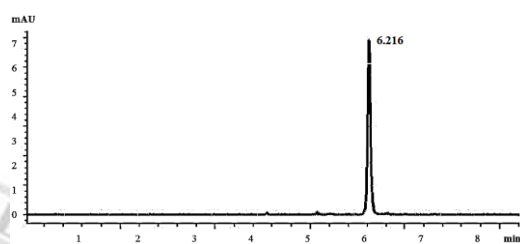
La concentración de los fenoles totales en la cáscara del membrillo fresco fue de  $226,36 \pm 5,25$  mg ácido gálico/100 g base húmeda y  $1013,72 \pm 23,51$  mg ácido gálico/100 g base seca, al comparar estos resultados con los obtenidos luego del proceso de secado, se aprecia una reducción del 35% respecto al ensayo 5 ( $T^\circ = 50$  °C,  $t = 190$  min) que fue el que más contenido de fenoles totales obtuvo. De acuerdo a Nicoli *et al.* (1999) y Nicoli *et al.* (2000), esta reducción podría ser atribuible a la oxidación y polimerización de los compuestos fenólicos

con propiedades antioxidantes, junto con el pardeamiento del tejido.

Kwok *et al.* (2004) secaron bayas variedad "Thiessen" a temperatura una de 75 °C, y determinaron que los compuestos fenólicos totales se reducían en 65,50% y la actividad antioxidante sufrió una pérdida de 73,7%. Toor y Savage (2006) sometieron tomates variedad "Tradiro" a un secado tipo bandeja a temperatura de 42 °C por 18 horas, encontrando que los compuestos fenólicos totales se reducían en 30%, flavonoides en 13,3%, ácido ascórbico en 28,34%, mientras que la actividad antioxidante sufrió una pérdida de 23,75%, mostrando que tiempos prolongados de secado afectan también estos compuestos. Para el presente estudio, se encontró un rango óptimo de secado con 48 a 58 °C y tiempo de 140 a 220 minutos para obtener una mayor cantidad de fenoles totales.

#### Flavonoides totales

La figura 4 muestra el cromatograma de Quercetina en una concentración de 25 ppm, el cual representa un punto de la curva de calibración al detectar el mayor pico al cabo de un tiempo de 6,216 minutos de lectura en el equipo HPLC; dicho tiempo fue el control para el resto de mediciones y que a través de la integración de áreas se determina la concentración del flavonoide (analito) en la muestra.



**Figura 4.** Cromatograma para el estándar de flavonoides totales (Quercetina) recogido a 370 nm a una concentración de 25 ppm.

En cuanto a la cantidad de flavonoides totales, se encontró  $0,35 \pm 0,002$  mg de quercetina/100 g base húmeda y  $1,58 \pm 0,01$  mg de quercetina/100 g base seca en cáscaras de membrillo fresco. Silva *et al.*, (2004) reportan contenidos de quercetina más altos (0,80 mg quercetina/100 g). Silva *et al.* (2005) mostraron que la pulpa de

membrillo presentó un perfil químico compuesto de 6 compuestos fenólicos principales y la cáscara de membrillo presenta, por lo general, hasta 13 compuestos fenólicos; 5-O-ácido-cafeoilquínico fue el compuesto fenólico más abundante en la pulpa, mientras que la quercetina-3-O-rutinósido predominó en la cáscara. Así mismo, la quercetina 3-galactósido, kaempferol 3-glucósido, y kaempferol-3 rutinósido son predominantes en la cáscara de membrillo (Silva *et al.*, 2002).

Al comparar estos resultados con los obtenidos luego del secado, se aprecia un aumento considerable (5 veces más) respecto a la muestra original, cuando se trabaja a temperaturas entre 54 y 64 °C y tiempo entre 160 y 220 minutos. Este aumento podría atribuirse a los productos de Maillard; reacciones tales como, melanoidinas y reductonas, entre otros, con una fuerte actividad antioxidante, así como los productos de la hidrólisis de polifenoles (Fennema, 2000; Manzocco *et al.*, 2001; Tuohy *et al.*, 2006; Torres *et al.*; 2015).

Resultados similares de mayores contenidos de compuestos bioactivos con temperaturas de secado de aire convectivo también se han reportado en el café (Nicoli *et al.*, 1997; Sanchez-Gonzalez *et al.*, 2005) y en polvos de semilla de mango (Soong y Barlow, 2004). Esto probablemente podría ser debido a la formación de sustancias fenólicas durante el proceso de secado a 60 °C en un horno de aire convectivo. Que *et al.* (2008) informaron que el contenido de compuestos fenólicos en harina de calabaza secada con aire caliente fue mayor que en harina de calabaza liofilizada. Lo que indica la formación de sustancias fenólicas durante el secado a 70 °C. Estos autores también reportaron que el grado de calentamiento podría ser un factor importante que contribuye al alto contenido de polifenoles totales de harina de calabaza. Piga *et al.*, (2003) reportaron resultados similares para las ciruelas pasas. Sin embargo, Joshi *et al.*, (2011) reportaron una mayor pérdida de epicatequina, floridzina, glicósidos de quercetina, ácido ascórbico, y cianidina-3-O-galactósido en rodajas de manzana deshidratadas cuando se secan a 70 °C (secado por horno) en comparación con 20 °C utilizados en el secado al vacío.

**Tabla 2.** Análisis de varianza (ANOVA) para el modelo de ambas variables dependientes

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p	R <sup>2</sup>
Fenoles Totales						
Modelo	366410,4	5	73282,08	40,21	0,00015	0,97
Residuos	10934,9	6	1822,48			
Total	377345,3	11				
Flavonoides Totales						
Modelo	31,11	5	6,22	3,25	0,092	0,73
Residuos	11,48	6	1,91			
Total	42,59	11				

### Modelación y análisis

Los efectos de las variables independientes sobre las respuestas relativas de Fenoles Totales y Flavonoides Totales para el secado por aire convectivo (AC) se probaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 2). Solo el modelo de fenoles totales fue significativo ( $p < 0,05$ ) para el secado, por lo que no se debe generar un modelo y superficie de respuesta para flavonoides totales.

El modelo matemático para la variable independiente del secado por AC sería:

$$\text{Fenoles Totales} = 498,87 - 175,10x_1 - 56,82x_1^2 - 16,38x_2 - 122,59x_2^2 + 60,74x_1x_2$$

Este modelo presenta un R<sup>2</sup> de 97,10, revelando que la temperatura y el tiempo de secado tienen una influencia del 97% en el contenido de fenoles totales en el secado por AC. Así mismo la temperatura (L y Q) ( $p < 0,05$ ) y el tiempo (Q) ( $p < 0,05$ ) fueron las variables que tuvieron efecto significativo sobre el contenido de fenoles.

El análisis de los coeficientes de regresión muestra que, solo la temperatura (Q) ( $p < 0,05$ ) y el tiempo (Q) ( $p < 0,05$ ) tuvieron efecto significativo sobre el contenido de flavonoides, por lo que no se generó una superficie para estos compuestos bioactivos, debido a que el modelo resultó ser no significativo ( $p > 0,05$ ).

### 4. Conclusiones

El contenido de fenoles y flavonoides totales se vieron afectados por las variables de temperatura y tiempo de los 12 tratamientos de secado seleccionados en este estudio. Se halló una reducción del 35% en el contenido de fenoles totales en

los tratamientos aplicados a las cáscaras de membrillo (*Cydonia oblonga* L. variedad "Serrano") con respecto al contenido de las muestras frescas.

Los resultados mostraron que las cáscaras de membrillo secadas con tratamientos que combinan temperaturas entre 48 a 58 °C y tiempo de 140 a 220 minutos en el secado, producen la mayor concentración de fenoles totales mientras que temperaturas de 54-64 °C y tiempo de 160-220 minutos producen un aumento de hasta 5 veces más en el contenido de flavonoides totales.

El estudio concluye que el secado por AC puede producir una mayor reducción en el contenido de fenoles totales pero un aumento significativo en el contenido de flavonoides totales.

La técnica de secado por aire convectivo (AC) puede ser utilizada para darle valor agregado a la recuperación de compuestos bioactivos de residuos agroindustriales tales como las cáscaras del membrillo. La explotación de estos productos podría incrementar el valor de la agroindustria en países tropicales, los cuales comúnmente manejan con gran dificultad la disposición de sus altos volúmenes de residuos. Así también demuestra el valor potencial de la obtención de extractos bioactivos para diferentes mercados (alimentos, farmacia y cosméticos), y su compromiso con el cuidado del medio ambiente.

### Referencias

- Anand, J. y Maini, S. 1997. Utilization of fruit and vegetable wastes. *Indian Food Packer* 51(2): 45-63.
- Blasa, M.; Candiracci, M.; Accorsi, A.; Piacentini, P. M.; Albertini, M. C.; Piatti, E. 2005. Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants. *Food Chemistry* 97: 217-222.

- Castañeda, J.; Arteaga, H.; Siche, R.; Rodríguez, G. 2010. Estudio comparativo de la pérdida de vitamina C en chalarina (*Casimiroa edulis*) por cuatro métodos de deshidratación. *Scientia Agropecuaria* 1: 75-80.
- Drouzas, A.; Tsami, E.; Saravacos, G. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering* 39(2): 117-122.
- Fennema, O. R. 2000. In Acibia Zaragoza (Ed.), *Química de los Alimentos* (2da. Edición). (p. 1258).
- Garrote, R.; Silva, E.; Bertone, R. 1985. Distribución e inactivación térmica de las enzimas peroxidasa y lipoxigenasa en el Choclo (*Zea mays*). *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* 25: 373-383.
- Hernández, O.; Arras, A.; López, J.; Navarro C. y Calderón, M. 2013. Diagnóstico del cultivo de membrillo en el municipio de Allende, Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios* 17(33): 496-503.
- Holtung, L.; Grimmer, S.; Aaby, K. 2011. Effect of processing of black currant press-residue on polyphenol composition and cell proliferation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(8): 3632-3640.
- Joshi, A.; Rupasinghe, H.; Khanizadeh, S. 2011. Impact of drying process on bioactive phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of red-fleshed Apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation* 35: 453-457.
- Kwok, I.; Durance, H.; Kitts, D. 2004. Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). *Journal of food science* 69(3): SNQ122-SNQ126.
- Lin, M.; Durance, D.; Scaman, H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrots slices. *Food Research International* 31(2): 111-117.
- Londoño-Londoño, J.; Lima, V.; Lara, O.; Gil, A.; Pasa, T.; Arango, G.; Pineda, J. 2010. Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel: Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. *Food Chemistry* 119(1): 81-87.
- Madrau, M.; Piscopo, A.; Sanguinetti, A; Caro, A.; Poiana, M.; Romeo, F.; Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology* 228: 441-448.
- Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Remesy, C.; Jimenez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition* 79: 727-747.
- Manzocco, L.; Calligaris, S.; Mastrocola, D.; Nicoli, M. C.; Lerici, C. R. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology* 11: 340-346.
- Nicoli, M. C.; Anese, M.; Manzocco, L.; Ferici, C. R. 1997. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *LWT - Food Science and Technology* 30: 292-297.
- Nicoli, M. C.; Anese, M.; Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 10: 94-100.
- Nicoli, M. C.; Calligaris, S.; Manzocco, L. 2000. Effect of enzymatic and chemical oxidation on the antioxidant capacity of catechin model systems and Apple derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 4576-4580.
- Nisarg, C.; P.; Vaishali, N.; Sh.; Ashok N.; Dushyant A., S. 2011. Isolation of Mucilage from *Cydonia vulgaris* Pers. seeds and its Evaluation as Superdisintegrant. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 1(4): 110-114.
- Piga, A.; Alessandra, D. C.; Giampaola, C. 2003. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3675-3681.
- Que, F.; Mao, L.; Fang, X.; Wu, T. 2008. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 1195-1201.
- Ratti, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49(4): 311-319.
- Ricce, C.; Leyva, M.; Medina, I.; Miranda, J.; Saldarriaga L, Rodríguez, J.; Siche, R. 2013. Uso de residuos agroindustriales de La Libertad en la elaboración de un pan integral. *Agroindustrial Science* 3(1): 41-46.
- Roldán-Marín, E.; Sánchez-Moreno, C.; Lloría, R.; Begoña de Ancos, M.; Cano, P. 2009. Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *Food Science and Technology* 42: 835-841.
- Rodríguez, M. 2009. Determinación de la actividad antioxidante de pétalos comestibles. Tesis para Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya. España.
- Sanchez-Gonzalez, I.; Jimenez-Escrig, A.; Saura-Calixto, F. 2005. In vitro antioxidant activity of coffees brewed using different procedures (Italian, espresso and filter). *Food Chemistry* 90: 133-139.
- Segura M.; Torres. R. 2009. Historia de las plantas en el Mundo Antiguo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad de Deusto. pp 480.
- Shahidi, F. y Naczk, M. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals. CRC Press: Boca Raton, FL.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Ferreres, F.; Domingues, A. L.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. A. 2002. Phenolic profile of quince fruit (*Cydonia oblonga* Miller) (pulp and peel). *J. Agric. Food Chem.* 50: 4615-4618.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. 2004. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp, peel, and seed) and jam: antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4405-4712.
- Silva, B. M.; Andrade, P. B.; Martins, R.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Ferreira, M. 2005. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit characterization using principal component analysis. *J. Agric. Food Chem.* 53: 111-122.



- Soong, Y. y Barlow, P. J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry* 88: 411-417.
- Toor, K y Savage, P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry* 94: 90-97.
- Torres, C.; Romero, L.; Díaz, R. 2015. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 62: 996-1003.
- Tuohy, K. M.; Hinton, D.; Davies, S. J.; Crabbe, J. C.; Gibson, G. R.; Ames, J. M. 2006. Metabolism of Maillard reaction products by the human gut microbiota e implications for health. *Molecular Nutrition & Food Research* 50: 847-857.
- Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Sánchez-Zapata, E.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J. 2010. Antioxidant activity of essential oils of five spice plants widely used in a Mediterranean diet. *Flavour and Fragrance Journal* 25: 13-19.
- Wadhwa, M.; Bakshi, M.; Makkar, H. 2013. Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products. (H. Makkar, Ed.) (p. 68). Roma.
- Waterhouse, A. 2002. Determination of total phenolics. In R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry*, Vol. Supplement 6 (pp. I.1.1.1eI.1.8). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Yongsawatdigul, J. y Gunasekaran, S. 1996. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation* 20(2): 121-143.
- Zanoni, B.; Peri, C.; Nani, R.; Lavelli, V. 1999. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International* 31(5): 395-401.

