

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ciencias Agroalimentarias  
Escuela de Tecnología de Alimentos

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Proyecto para optar por el Grado de Licenciatura  
en Tecnología de Alimentos

**“Evaluación del efecto de procesos clásicos de transformación sobre las propiedades  
antioxidantes de la mora costarricense variedad ‘Vino con espinas’ (*Rubus adenotrichus*  
Schltdl.)”**

Carla Calderón Ortiz  
A20974

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
Setiembre, 2009

Tribunal examinador

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos.



M.Sc. Ruth de la Asunción Romero

Presidenta del Tribunal



M.Sc. Marta Bustamante Mora

Profesora Designada



Lic. Óscar Acosta Montoya, MADE

Director del Proyecto



Dr. Ana Mercedes Pérez Carvajal

Asesora del Proyecto



Dr. Fabrice Vaillant Barka

Asesor del Proyecto

*A Dios y a mi familia porque han estado conmigo en todas las etapas  
de mi vida para alentarme a sobrepasar cada uno de los obstáculos.*

*A mi mamá porque de no ser por su esfuerzo y dedicación  
nada de esto sería posible.  
Te amo...*

## Agradecimientos

Al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) y al proyecto “Producing added value from under-utilised tropical fruit crops with high commercial potential” (PAVUC), por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo.

A los profesores que me acompañaron a lo largo de este proyecto: Oscar Acosta (gracias por tu apoyo durante todo el tiempo que nos dedicamos a realizar esta investigación, eres un gran director), Ana Mercedes Pérez (por todos los años de consejo y por ser una excelente asesora y profesora guía!!!), Fabrice Vaillant (por todas sus observaciones y apoyo), Eric Wong (porque su apoyo fue muy importante para poder finalizar este trabajo) y Carolina Rojas (por toda su ayuda en la coordinación de este proyecto).

A la Escuela de Agronomía de la Región Tropical Húmeda (EARTH), principalmente a Yanine Chan y a Mileidy Varela por permite realizar parte de mi proyecto en sus instalaciones y brindarme su consejo y ayuda.

A los compañeros del Laboratorio de Química del CITA: Doña Marielos y Jairol (por compartir su experiencia conmigo y brindarme su apoyo durante toda la organización y el desarrollo), Mariela, Ale, María y Deisy (gracias por toda su ayuda). Pero principalmente agradezco a Randall porque su experiencia, su apoyo, su compromiso y esfuerzo fueron imprescindibles para la elaboración de este proyecto.

A una gran asistente del proyecto PAVUC, Paula Valverde, por toda su cooperación y tiempo invertido. Gracias Pau!!!

A Anne-Laure porque sin su colaboración y apoyo técnico nada de esto sería posible.

A Alonso y a Camacho, porque se quedaron conmigo en todo el trayecto para realizar las labores más pesadas de este trabajo.

A Giovanni González y a todo el personal de la Escuela de Tecnología de Alimentos por su colaboración y generosidad.

A mi papá y a Pao porque aunque ya no estan conmigo desde el cielo me han acompañado y protegido en todo momento.

A mis compañeros y amigos Migue, Manu, Mariana, Pili, Curly, Lau, Naty, Mariajo, Gaba, Wattson y Dany, por muchos años de estudio pero principalmente por todo el tiempo de amistad y de historias que siempre llevaré conmigo. Por que lograron que nuestro tiempo juntos se encuentre lleno de grandes alegrías, son incomparables!

A todas las personas que he conocido durante este tiempo, porque de todas ellas aprendí algo y todo eso me ha servido para convertirme en lo que soy ahora.

**Gracias!**

# Índice general

|  | Página |
|--|--------|
| <i>Tribunal examinador</i> .....   | ii     |
| <i>Agradecimientos</i> .....   | iv     |
| <b>Índice de figuras</b> .....   | vii    |
| <b>Resumen</b> .....   | viii   |
| <b>I. Justificación</b> .....  | 1      |
| <b>II. Objetivos</b> .....   | 5      |
| 2.1 Objetivo general .....   | 5      |
| 2.2 Objetivos específicos.....   | 5      |
| <b>III. Marco teórico</b> .....  | 6      |
| <b>3.1 Generalidades de la mora</b> .....  | 6      |
| 3.1.1 Características químicas, botánicas y agronómicas de la mora.....  | 6      |
| 3.1.2 Producción y cultivo de la mora.....   | 8      |
| <b>3.2 Generalidades de los antioxidantes</b> .....  | 9      |
| 3.2.1 Definición y acción de los antioxidantes .....   | 9      |
| 3.2.2 Antioxidantes en la mora .....   | 11     |
| 3.2.3 Efecto de procesos clásicos de transformación sobre los antioxidantes .....  | 13     |
| <b>3.3 Secado</b> .....  | 15     |
| 3.3.1 Principios de secado.....  | 15     |
| 3.3.2 Métodos de secado.....   | 16     |
| <b>3.4 Escaldado</b> .....   | 20     |
| <b>3.5 Concentración por evaporación</b> .....   | 21     |
| <b>IV. Materiales y métodos</b> .....  | 22     |
| <b>4.1 Localización del proyecto</b> .....   | 22     |
| <b>4.2 Materia prima</b> .....   | 22     |
| <b>4.3 Pruebas definitivas</b> .....   | 22     |
| 4.3.1 Evaluación del efecto de la operación de escaldado de mora fresca y congelada, sobre el rendimiento del proceso de prensado, el contenido de compuestos antioxidantes y las características de calidad físico-químicas al elaborar un jugo de la fruta ..... | 22     |
| 4.3.2 Evaluación del efecto de los procesos de deshidratación con aire caliente, deshidratación osmótica y concentración a presión atmosférica sobre el contenido de compuestos antioxidantes de la mora.....  | 24     |
| 4.3.3 Evaluación del contenido de compuestos antioxidantes de tres productos deshidratados.....  | 27     |
| 4.3.4 Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de compuestos antioxidantes de los productos finales.....  | 29     |
| <b>4.4 Métodos de análisis</b> .....   | 30     |
| 4.4.1 Análisis físicos .....   | 30     |
| 4.4.2 Análisis químicos .....  | 30     |
| <b>V. Resultados y discusión</b> .....   | 33     |
| <b>VI. Conclusiones y recomendaciones</b> .....  | 56     |
| <b>VII. Referencias bibliográficas</b> .....   | 58     |
| <b>VIII. Anexos</b> .....  | 66     |

## Índice de cuadros

|   | Página |
|---|--------|
| Cuadro 1  | 7      |
| Contenido de los principales polifenoles identificados en las variedades de mora <i>R.adenotrichus</i> (Costa Rica) y <i>R. glaucus</i> (Ecuador)   |        |
| Cuadro 2  | 23     |
| Diseño para la evaluación del impacto de la operación de escaldado sobre mora fresca y congelada  |        |
| Cuadro 3  | 34     |
| Rendimiento de la operación de prensado en la elaboración de jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado  |        |
| Cuadro 4  | 35     |
| Características físico-químicas de la mora entera y del jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado   |        |
| Cuadro 5  | 35     |
| Porcentaje de sólidos en suspensión, turbidez y cantidad de oxígeno disuelto en el jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado  |        |
| Cuadro 6  | 37     |
| Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en el jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y al aplicar una operación de escaldado previa |        |
| Cuadro 7  | 48     |
| Comparación en base seca de mora del efecto de la operación de prensado y del despulpado sobre la conservación de compuestos antioxidante   |        |
| Cuadro 8  | 49     |
| Comparación en producto fresco del efecto de la operación de prensado y del despulpado sobre la conservación de compuestos antioxidantes  |        |
| Cuadro 9  | 50     |
| Valores de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en cuatro productos distintos a base de mora  |        |
| Cuadro 10   | 53     |
| Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en cuatro productos distintos a base de mora en producto fresco   |        |
| Cuadro 11   | 54     |
| Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en tres productos distintos a base de mora durante el almacenamiento a temperatura ambiente   |        |

## Índice de figuras

|   | Página |
|---|--------|
| Figura 1 Frutos de la mora tipo vino, Costa Rica  | 7      |
| Figura 2 Acción de los antioxidantes secuestrando radicales libres  | 10     |
| Figura 3 Estructura química de las antocianinas.  | 12     |
| Figura 4 Estructura química de los principales taninos del ácido elágico encontrados en dos especies de mora diferentes <i>R. glaucus</i> y <i>R. adenotrichus</i>  | 13     |
| Figura 5 Transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica  | 17     |
| Figura 6 Movimiento del agua durante el proceso de secado   | 19     |
| Figura 7 Flujo de proceso para la elaboración de las mermeladas con alto contenido de sacarosa, empleando pectina de alto metoxilo según Víquez (2002)  | 25     |
| Figura 8 Flujo de proceso para la elaboración de un refresco natural de mora en polvo, según Jiménez (2004)   | 26     |
| Figura 9 Flujo de proceso para la elaboración de un producto de mora deshidratado por el método combinado deshidratación osmótica – secado con aire caliente según Guzmán (2003)  | 27     |
| Figura 10 Primer análisis de contrastes ortogonales con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento) para los tres productos terminados tratados térmicamente  | 28     |
| Figura 11 Segundo análisis de contrastes ortogonales con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento) para los tres productos terminados tratados térmicamente   | 29     |
| Figura 12 Comportamiento en base seca de mora de la capacidad antioxidante total medida por el método ORAC, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elágico a lo largo del proceso de elaboración de un refresco natural de mora en polvo    | 40     |
| Figura 13 Comportamiento en base seca de mora de la capacidad antioxidante de la mora, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elágico a lo largo del proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótica-aire caliente | 44     |
| Figura 14 Comportamiento en base seca de la capacidad antioxidante de la mora, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elágico a lo largo del proceso de elaboración de mermelada de mora  | 47     |

## Resumen

Se caracterizó la mora costarricense variedad ‘Vino con espinas’ (*Rubus adenotrichus* Schltld.) en términos de su capacidad antioxidante y contenido de compuestos polifenólicos a través de diferentes procesos de industrialización, que incluyen tratamientos térmicos como el escaldado, la deshidratación osmótica, el secado con aire caliente y la concentración a presión atmosférica.

El escaldado produce un aumento significativo en el rendimiento de la operación de prensado y disminuye el porcentaje de oxígeno disuelto de los jugos de mora. Además, para algunas variables como la turbidez, el valor de ORAC (capacidad antioxidante) y el contenido de taninos del ácido elálgico, el efecto depende de la clase de materia prima sobre la cual se lleve a cabo la operación (mora fresca o congelada). Para evaluar el secado con aire caliente, se caracterizó el proceso de elaboración de un refresco natural de mora en polvo. Se destaca la disminución causada por la deshidratación con aire caliente sobre el contenido de taninos del ácido elálgico y antocianinas, sin presentar efecto alguno sobre el valor de ORAC. La operación de molienda en la elaboración de este producto no afecta el contenido de compuestos antioxidantes; sin embargo, causa un aumento en el valor de la capacidad antioxidante total. Se estudió también el efecto del procesamiento de mora en la elaboración de un producto deshidratado por el método mixto ósmosis-aire caliente. En este caso, la deshidratación osmótica y el secado con aire caliente causaron una disminución de las tres variables analizadas: valor de ORAC, contenido de antocianinas y contenido de taninos del ácido elálgico. Durante el proceso de elaboración de mermelada de mora, la operación de despulpado generó una disminución en el valor tanto de los compuestos antioxidantes (antocianinas y taninos del ácido elálgico) como en el valor de ORAC. En cuanto al tratamiento térmico de concentración, no se afecta la capacidad antioxidante de la mermelada, aunque disminuye el contenido de antocianinas y de taninos. Se encontró que el proceso de producción de un refresco natural de mora en polvo fue el que causó un menor daño en las características funcionales de la mora. Sin embargo, al considerar la porción de consumo, debido a las características de cada uno de los productos, la mora deshidratada por el método mixto ósmosis-aire caliente aporta la mayor cantidad de beneficios, en comparación con la fruta fresca.

Por último, durante el estudio de almacenamiento por tres meses a temperatura ambiente realizado para los tres productos, no se presentó ningún cambio en el contenido de antocianinas o elagitaninos, viéndose afectado únicamente el valor de ORAC. El comportamiento del alimento en el tiempo depende del producto que se evalúe, siendo el daño mayor en la mermelada de mora que en los productos deshidratados con aire caliente.

## I. Justificación

En los últimos años se ha puesto de manifiesto una tendencia hacia el consumo de alimentos que aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Los consumidores se muestran más preocupados por su salud y por comprar alimentos con un elevado valor nutricional; mientras las organizaciones mundiales, encargadas de velar por la salud pública, están reconociendo los beneficios de los llamados “alimentos funcionales”, dado que existe suficiente base científica que corrobora los beneficios para la salud que aportan estos productos (Kaur & Kapoor, 2001). Este término fue introducido en Japón en los años 80 y se refería a alimentos procesados que contienen ingredientes que ayudan en funciones específicas del cuerpo (Arvanitoyannis & van Houwelingen, 2005).

Existe un gran número de estudios epidemiológicos que proveen evidencia de los beneficios del consumo de frutas y vegetales en la dieta para el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades degenerativas. Dichos estudios indican que una dieta rica en productos vegetales produce una disminución en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (González *et al.*, 2003; Moyer *et al.*, 2002; Gil *et al.*, 2000).

La presencia de micro-nutrientes que se encuentran en las plantas juega un papel importante en la protección de los sistemas biológicos contra el daño que produce la oxidación, debido a su capacidad de reaccionar con los radicales libres. Según Sánchez-Moreno *et al.* (2003), la producción de radicales libres en los diferentes tejidos del cuerpo se encuentra ligada a una gran cantidad de enfermedades. Los micro-nutrientes son una mezcla de fitoquímicos como antioxidantes, fibra y otros compuestos biológicamente activos (González *et al.*, 2003). Dentro de estas sustancias, los principales responsables de la capacidad antioxidante que poseen los tejidos de las plantas son compuestos específicos como la vitamina C y E, carotenoides, flavonoides y otros compuestos fenólicos (Moyer *et al.*, 2002; Wang & Lin, 2000).

Las antocianinas (un tipo de flavonoide) son solubles en agua y brindan la mayoría de colores rojos, púrpuras y azules que exhiben frutas como las bayas. Su elevada presencia hace que algunas frutas tengan un alto contenido de polifenoles totales (Benvenuti *et al.*, 2004; Moyer *et al.*, 2002; Wang & Lin, 2000). Recientes estudios demuestran que las antocianinas presentan gran cantidad de beneficios para la salud dadas sus propiedades antioxidantes (Shahidi & Marian, 2003). Entre éstas se encuentran el control de la diabetes, el mejoramiento de la circulación, la prevención del cáncer y

el retardar los efectos del aumento de la edad, particularmente la pérdida de memoria y de las habilidades motoras (Wang *et al.*, 1997).

Los taninos del ácido elágico pertenecen a la clase de polifenoles denominada taninos hidrolizables, siendo complejos derivativos del ácido elágico. Estos compuestos se encuentran en pocos alimentos, principalmente en bayas, granada real y algunas especies de nueces. Varios autores han determinado que los taninos del ácido elágico son la clase de polifenoles que caracteriza a las frutas del género *Rubus*. Recientemente se ha mostrado un gran interés científico en estos compuestos, dadas sus potentes propiedades antioxidantes y otras actividades biológicas beneficiosas (Bakkalbasi *et al.*, 2009). Entre algunas actividades promotoras de la salud asociadas al ácido elágico destacan su actividad anticancerígena (Castonguay *et al.*, 1997) y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Aviram *et al.*, 2000).

Frutas como la mora, el arándano, la fresa y la frambuesa son ricas en flavonoides y ácidos fenólicos, compuestos con gran capacidad antioxidante (Heinonen *et al.*, 1998). Según Deuel (1996) la mora contiene compuestos fenólicos como la quercetina y el ácido elágico, los cuales tienen efectos anticancerígenos. Feng *et al.* (2004), Seeram *et al.* (2006) y Ding *et al.* (2006) han estudiado el efecto de extractos y derivados de mora sobre células cancerígenas, encontrando resultados positivos en la inhibición del crecimiento y propagación de estas células.

Al ser la mora una fruta de bajo valor calórico, especialmente rica en vitamina C, A y E, buena fuente de fibra y calcio, y de elevada capacidad antioxidante por su alto contenido de antocianinas y otros compuestos fenólicos (Castro & Cerdas, 2005), resulta importante investigar el efecto del procesamiento sobre estos componentes que la catalogan como un alimento funcional. Para este estudio se eligió la mora variedad 'Vino con espinas' (*Rubus adenotrichus* Schldl.), ya que en Costa Rica es la mora más cultivada y comercializada. Esta fruta crece en alturas de 1 500 m sobre el nivel del mar (msnm) y es característica de lugares como Zarcero en Alajuela y la zona del Guarco y Los Santos en Cartago (Mora, 2006).

En un estudio realizado por Mertz *et al.* (2007) se identifican las antocianinas, los taninos del ácido elágico y algunos flavonoides como los principales compuestos antioxidantes en la mora variedad 'Vino con espinas' cultivada en Costa Rica. Sin embargo, este estudio abarca únicamente la fruta fresca y no productos procesados, los cuales corresponden a las formas más populares de consumo,

dado que la mayoría de las frutas y vegetales necesitan ser procesados por seguridad, calidad y razones económicas (De Ancos *et al.*, 2000).

El procesamiento de las frutas y vegetales, por lo general, produce un efecto negativo en su capacidad de promover la salud ya que tiende a disminuir la concentración de diferentes compuestos (Nicoli *et al.*, 1999). Por ejemplo, en un estudio con arándanos se determinó que concentraciones altas de oxígeno producen un efecto negativo sobre la recuperación de antocianinas y sobre la capacidad antioxidante, mientras que mayores temperaturas de extracción y acidez implican una mayor recuperación de los compuestos (Kalt *et al.*, 2000). A diferencia de este resultado, según un estudio realizado por Rossi *et al.* (2003) se ha demostrado que al escaldar previo a la molienda de arándanos se logra obtener una mayor capacidad antioxidante durante el proceso de elaboración de jugos, si se compara con un proceso en el cual esta operación no se llevó a cabo.

Este comportamiento de los compuestos antioxidantes en distintos procesos hace que sea necesario analizar el efecto de los tratamientos u operaciones unitarias más comúnmente utilizadas en la industria sobre la capacidad antioxidante, y una vez logrado, propiciar el desarrollo de productos que se puedan catalogar como alimentos funcionales, con el fin de aumentar su valor agregado.

Normalmente, la mora se consume en Costa Rica en estado fresco a nivel doméstico (entera o licuada), sin que haya mediado ninguna transformación. Sin embargo, en busca de expandir el mercado de esta fruta y aumentar su vida útil, se han desarrollado productos a base de mora. En la agroindustria costarricense se ofrecen diversas opciones, como: pulpas, mermeladas, mermeladas, refrescos, vinos y lácteos (helados, malteadas) (Castro & Cerdas, 2005). Con el fin de conocer el efecto de distintos tratamientos tradicionales sobre la capacidad antioxidante de la mora, se eligieron productos ya optimizados en estudios anteriores a nivel de planta piloto, los cuales podrían contar con un importante nicho de mercado tanto a nivel nacional como internacional.

En el caso de la elaboración de mermeladas, además de producirse un alimento de buen sabor, es posible darle un uso a los excedentes de fruta fresca. Además, es una forma de conservar la fruta logrando un aumento importante en la vida de anaquel (Viquez, 2002). Según Kim & Padilla-Zakour (2004) la mermelada es uno de los productos de vida útil estable más populares a base de frutas, tanto a nivel casero como comercial. De igual forma, los productos deshidratados se elaboran con el fin de prolongar la vida útil de alimentos altamente perecederos, ya que se inactivan las enzimas y se evita el crecimiento bacteriano (Rababah *et al.*, 2005). Al deshidratar también se facilita el transporte

de los productos al reducir su peso y su volumen (Brennan *et al.*, 1998) y se aumenta la gama de productos disponibles en el mercado.

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de algunas de las principales operaciones unitarias que se llevan a cabo para disminuir el contenido de agua de los alimentos, utilizando una variedad 'Vino con espinas' (*R. adenotrichus* Schltdl.) y evaluando el efecto de las operaciones sobre los compuestos antioxidantes.

## **II. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el impacto de procesos tradicionales de transformación sobre los compuestos antioxidantes de la mora más cultivada y comercializada en Costa Rica, la variedad ‘Vino con espinas’ (*R. adenotrichus* Schltdl.).

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto de la operación de escaldado de mora fresca y congelada, sobre el rendimiento del proceso de prensado, el contenido de compuestos antioxidantes y las características de calidad físico-químicas al elaborar un jugo de la fruta.
2. Evaluar el efecto de los procesos de deshidratación con aire caliente, deshidratación osmótica y concentración a presión atmosférica sobre el contenido de compuestos antioxidantes de la mora.
3. Evaluar el contenido de compuestos antioxidantes de tres productos deshidratados con el fin de determinar el producto de mayor provecho para el consumo humano.
4. Evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de compuestos antioxidantes de los productos deshidratados finales.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1 Generalidades de la mora**

##### *3.1.1 Características químicas, botánicas y agronómicas de la mora*

La mora pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Rubus*. Este género se ha extendido en las partes altas de las zonas tropicales en gran cantidad de especies; sin embargo, algunas de éstas aún no se han caracterizado (Castro & Cerdas, 2005). Es una fruta oriunda de Asia y Europa pero en la actualidad varios países la cultivan con fines comerciales, por lo que es fácil encontrarlas en mercados especializados. Crece en terrenos húmedos y de bajas temperaturas y se puede encontrar en tierras altas, idealmente sobre los 1 500 msnm (Mora, 2006).

La planta de mora es arbustiva y perenne, de porte erecto a semierecto, que conforme crece se arquea y llega al suelo. Desarrolla raíces en los entrenudos y ápices o puntas. Estas raíces crecen horizontalmente y alcanzan una profundidad de entre 30-50 cm, dependiendo del tipo de suelo (arcilloso, arenoso, limoso), disponibilidad de nutrientes, humedad disponible y temperatura del suelo (Castro & Cerdas, 2005). Además, se puede describir como una planta con hojas de bordes dentados tri o pentafoliadas, dependiendo de la especie y estado de desarrollo (Flores *et al.*, 2003).

Cada glóbulo que se puede distinguir en un fruto de mora se llama drupa (ver figura 1). Esta drupa contiene su semilla y se une a un receptáculo carnosos del cual no se desprenden al momento de la cosecha (Flores & Argüello, 2005). Las polidrupas pueden presentar de 30 a 90 frutos cada una, pueden ser de forma redondeada o elipsoidal, de color rojo como la mora tipo “castilla” a morado oscuro como los frutos de las variedades “negrita”, “ratón”, “caballo” y “vino”. Su sabor puede ser más o menos ácido, y el peso puede variar en torno a los 3 g, dependiendo de la variedad y del estado de desarrollo (Castro & Cerdas, 2005; Flores & Argüello, 2005).



**Figura 1.** Frutos de la mora tipo vino, Costa Rica.

La mora es una importante fuente de fibra, vitaminas y minerales en la dieta. Además, contiene un gran número de otros fitonutrientes como antocianinas y taninos del ácido eláxico (Mertz *et al.*, 2007). Estudios recientes han demostrado que la mora posee una elevada capacidad antioxidante (Cozzano, 2007). Sin embargo, los factores genéticos y ambientales como el tipo de cultivo, la maduración, la exposición a los rayos UV y el método de cosecha juegan un papel muy importante en la composición de la fruta y su capacidad antioxidante (Siriwoharn *et al.*, 2004). En el cuadro 1 se muestra el contenido de los principales compuestos antioxidantes de las especies de mora más populares en Costa Rica y Ecuador, según un estudio realizado por Mertz *et al.* (2007).

Cuadro 1. Contenido de los principales polifenoles identificados en las especies de mora *R. adenotrichus* (Costa Rica) y *R. glaucus* (Ecuador).\*

| <b>Polifenoles</b>               | <i>R. adenotrichus</i><br>(mg/100g materia seca) | <i>R. glaucus</i><br>(mg/100g materia seca) |
|----------------------------------|--|---|
| <b>Antocianinas</b>              |  |   |
| Cianidina-3-glucósido            | 680 ± 20   | 380 ± 20                                    |
| Cianidina-3-rutinósido           | ND   | 630 ± 20                                    |
| Cianidina-3-malonil glucósido    | 40 ± 3   | ND  |
| <b>Taninos del ácido eláxico</b> |  |   |
| Lambertianina C                  | 598 ± 20   | 520 ± 30                                    |
| Sanguina H6                      | 420 ± 17   | 2450 ± 100                                  |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio ± la desviación estándar (n=3). ND = No detectado. Adaptado de Mertz *et al.* (2007).

### 3.1.2 Producción y cultivo de la mora

Para el 2005 se cultivaron aproximadamente 20 035 ha de mora a nivel mundial. Esto es un 45% más del área cultivada en 1995. La producción por otro lado se estimó en 140 292 Ton. Para Centroamérica, los únicos dos países que reportan cultivos comerciales son Costa Rica y Guatemala, contando con un total de 1 640 ha cultivadas. De este total 1 550 ha corresponden al área cultivada en Costa Rica, principalmente en las partes altas de San José y Cartago. Para el caso de Guatemala, el área disponible para este cultivo disminuyó un 63% de 1995 al 2005 (Strik *et al.*, 2007).

En Costa Rica la principal variedad de mora comercializada es la “Vino”. Esta fruta crece en alturas sobre 1 500 msnm, sus plantaciones son dispersas y las cosechas no son programadas. La producción generalmente es certificada como orgánica, ya que la mora siempre ha crecido de forma silvestre y los materiales más utilizados como abono por parte de algunos productores han sido la gallinaza y el carbonato de calcio. Sin embargo, dependiendo de la condición del suelo, se aplican otros derivados para una mejor nutrición. El cultivo de este producto en Costa Rica es familiar y la máxima producción se presenta de febrero a marzo (Mora, 2006).

Se estima que si todas las plantaciones dispersas de mora criolla en Costa Rica, distribuidas principalmente en las zonas altas de El Guarco, Los Santos, parte de Desamparados y Pérez Zeledón, fueran plantaciones compactas, el total del área sería aproximadamente de 600 a 800 ha. En general, todas las plantaciones de mora criolla fueron manejadas en forma artesanal hasta mediados del decenio pasado, cuando se inició la validación, adopción y adaptación de nuevas técnicas en el manejo del cultivo de mora, como son: podas, producción de semilla *in vitro*, fertilización, distancias de siembra y adecuado manejo poscosecha (Cerdas & Montero, 1992).

El mercado de mora en el país vive desde hace varios años una crisis por falta de organización, y aunque existen algunas organizaciones, no han logrado producir y comercializar con resultados satisfactorios ni para los productores ni para los comercializadores y exportadores. Por parte de la Dirección de Calidad Agrícola del CNP (Consejo Nacional de la Producción), se ha creado un Reglamento Técnico para comercializar el producto fresco, reglamento aplicado en la actualidad únicamente al producto de exportación, pero es necesario y se recomienda aplicarlo por igual en todo el país (Mora, 2006).

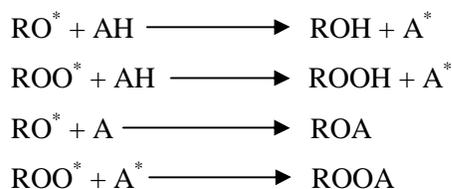
El ciclo de vida del cultivo de mora es perenne, lo que permite que exista producción casi todo el año (Castro & Cerdas, 2005; Flores & Argüello, 2005; Flores *et al.*, 2003). La producción nacional se comercializa en su mayoría en el mercado nacional (aproximadamente el 90%), estimándose a la vez que un 36% se comercializa en el CENADA, cerca de un 10% se exporta y más del 50% se comercializa entre ferias del agricultor y ventas informales. Para el mercado local (según datos del CENADA), su mayor oferta se da en los meses de mayo a julio y de octubre a enero; sin embargo, en términos generales la oferta se aproxima a la oferta promedio anual. Los mayores precios de mora se dan de julio a octubre (Mora, 2006).

Para el 2006, los principales mercados de exportación de mora de Costa Rica fueron: Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Puerto Rico, Francia e incluso Centroamérica. El volumen de la exportación de mora en Costa Rica muestra una caída muy importante a través de los años, esto evidencia la salida de los productores de las organizaciones dedicadas a la exportación como APROCAM, ya que su participación ha disminuido debido a la aplicación del Reglamento Técnico para comercializar el producto fresco por parte de la Dirección de Calidad Agrícola del CNP (Mora, 2006).

### **3.2 Generalidades de los antioxidantes**

#### *3.2.1 Definición y acción de los antioxidantes*

La capacidad antioxidante celular está dada por mecanismos a través de los cuales la célula anula la reactividad y/o inhibe la generación de radicales libres (Thornalley & Vasak, 1985; Greenwald, 1990; Palamada & Kehrer, 1992). Estos mecanismos son adecuados para la corta vida media de los radicales libres y comprenden moléculas pequeñas, endógenas y exógenas con capacidad antioxidante. Según Belitz & Grosch (1997), los mecanismos a través de los cuales los antioxidantes (AH) secuestran los radicales libres (como los radicales oxi y peroxi), se dan durante las etapas de iniciación, propagación y multiplicación en cadena (figura 2).



**Figura 2.** Acción secuestrante de los antioxidantes contra los radicales libres.

El esquema de reacción de la figura 2 muestra que una molécula antioxidante puede interrumpir dos reacciones en cadena. Los antioxidantes no actúan sólo como secuestradores de radicales, sino que disminuyen los hidroperóxidos formados a compuestos hidroxilados (Belitz & Grosch, 1997). Los antioxidantes exógenos provienen de la dieta, y dentro de este grupo se incluyen la vitamina E, la vitamina C y los carotenoides como los grupos de antioxidantes más conocidos debido a sus propósitos nutricionales (Avello & Suwalsky, 2006).

Se han descubierto en algunos alimentos otros antioxidantes no nutrientes como los compuestos fenólicos. Algunas fuentes son los frijoles (isoflavonas), cítricos y bayas (flavonoides), cebollas (quercetina) y aceitunas, todas con una cantidad elevada de polifenoles. También se han encontrado algunos antioxidantes fenólicos en el café, vino tinto y té (Avello & Suwalsky, 2006). Los compuestos fenólicos se encuentran en la mayoría de las frutas y en un gran número de casos contribuyen al color y sabor de las mismas (Belitz & Grosch, 1997).

De acuerdo con algunos estudios epidemiológicos, una dieta rica en productos vegetales produce una disminución en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (González *et al.*, 2003; Moyer *et al.*, 2002; Gil *et al.*, 2000), generando evidencia sobre la asociación entre el consumo de estos productos y los beneficios para el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades degenerativas. La causa de estos beneficios es el mayor consumo de antioxidantes, incluyendo carotenoides, ascorbato, tocoferoles y polifenoles (Wang *et al.*, 1997). Dentro de la familia de los polifenoles, los flavonoides tienen un elevado poder antioxidante y se incluyen dentro de este grupo compuestos como flavonas, isoflavonas, catequinas y antocianinas (Moyer *et al.*, 2002).

Estos micro-nutrientes presentes en las plantas juegan un papel importante en la protección de los sistemas biológicos contra el daño que produce la oxidación por su capacidad de reaccionar con los radicales libres. Según Sánchez-Moreno *et al.* (2003), la producción de radicales libres en los diferentes tejidos del cuerpo se encuentra ligado a una gran cantidad de enfermedades. Estos micro-

nutrientes son una mezcla de fitoquímicos como antioxidantes, fibra y otros compuestos biológicamente activos (González *et al.*, 2003).

### 3.2.2 Antioxidantes en la mora

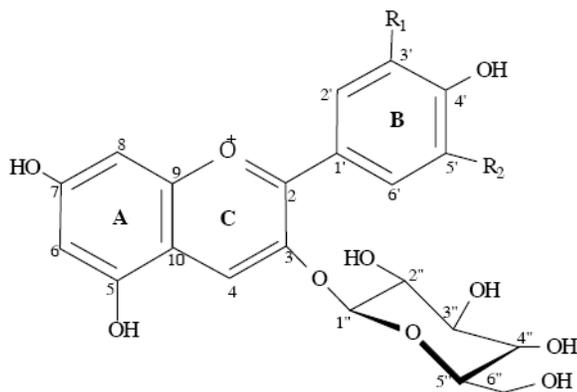
Las bayas como el arándano y la mora son frutas ricas en antocianinas y otros antioxidantes (Lohachoompol *et al.*, 2007). Algunos cultivos y especies nativas de estas frutas existentes cuentan con un mayor contenido de antioxidantes, puesto que la concentración de estos compuestos varía de acuerdo con la estación y el lugar en el cual se desarrollan (Wang *et al.*, 1996).

Uno de los grupos mayoritarios de antioxidantes son los polifenoles, compuestos que son efectivos donadores de hidrógenos. Su potencial antioxidante es dependiente del número y de la posición de los grupos hidroxilos y su conjugación, así como de la presencia de electrones donadores en el anillo estructural, como resultado de la capacidad que posee el grupo aromático de soportar el desapareamiento de electrones por desplazamiento del sistema de electrones- $\pi$  (Kuskoski *et al.*, 2004). Dependiendo de su estructura química puntual, estos metabolitos actúan como antioxidantes donadores de hidrógeno y también como quelantes de iones metálicos, previniendo la formación de metales catalizadores, o inhibiendo las especies radicales (Kaur & Kapoor, 2001). Su funcionalidad es también expresada por su acción inhibitoria o activadora de una amplia variedad de sistemas enzimáticos (Sánchez-Moreno *et al.*, 1999).

Los polifenoles incluyen distintas clases de compuestos tales como los ácidos hidroxibenzoicos, los ácidos hidroxicinámicos y los flavonoides (Siriwoharn *et al.*, 2004). El término flavonoide es el nombre colectivo que se utiliza para mencionar a los pigmentos de las plantas que son generalmente derivados de benzo- $\gamma$ -pirona (Havsteen, 2002). Más de 4 000 variedades de flavonoides ya han sido identificados (Nijveldt *et al.*, 2001). Dentro de este grupo de compuestos se encuentran las flavonas, isoflavonas, catequinas y las antocianinas (Moyer *et al.*, 2002).

Las antocianinas tienen una estructura química adecuada para actuar como antioxidantes, pueden donar hidrógenos o electrones a los radicales libres o bien atraparlos y desplazarlos en su estructura aromática (figura 3). Una actividad antioxidante óptima se relaciona con la presencia de grupos hidroxilos en las posiciones 3' y 4' del anillo B, los cuales confieren una elevada estabilidad al radical formado. Los grupos hidroxilos libres en la posición 3 del anillo C y en la posición 5 del

anillo A, junto con el grupo carbonilo en la posición 4 son donadores de electrones. La diversidad estructural contribuye favorablemente a la existencia natural de unas 300 antocianinas con diferentes sustituciones glucosídicas, en la estructura básica del ion fenil-2-benzopirilio o flavilio, representado en la figura 3 para las principales antocianinas (Kuskoski *et al.*, 2004).

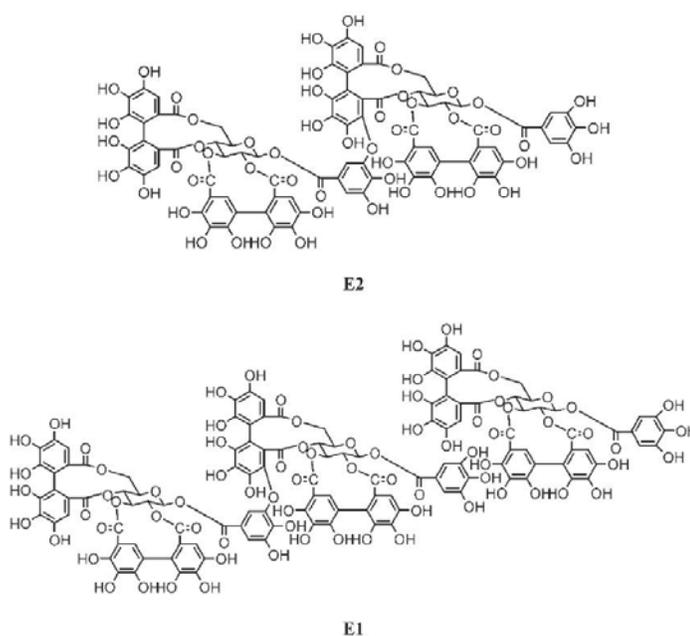


**Figura 3.** Estructura química de las antocianinas. Delfinidina (1,  $R_1=OH$ ,  $R_2=OH$ ); Cianidina 3-glucósido (3,  $R_1=OH$ ,  $R_2=H$ ); Malvidina 3-glucósido (7,  $R_1=OCH_3$ ,  $R_2=OCH_3$ ). Tomada de Kuskoski *et al.* (2004).

Estas estructuras que se muestran en la figura 3 hacen que no todas las diferentes clases de antocianinas presenten la misma reactividad, siendo aquellas con mayor cantidad de grupos OH las que se ven afectadas más rápidamente en presencia de un radical libre o de una situación de *stress* como un elevado contenido de oxígeno o un tratamiento térmico de las muestras (Kuskoski *et al.*, 2004).

Gran cantidad de estudios se han dedicado a identificar y caracterizar los diferentes tipos de antocianinas en la mora. En general se han identificaron cinco tipos diferentes de antocianinas en diferentes especies de mora, como lo son la cianidina-3-glucósido (antocianina principal), cianidina 3-rutinósido, ácido malónico acetilado, xilosa-cianidina derivado y cianidina 3-dioxaly1-glucósido (Siriwoharn *et al.*, 2004). Wada & Ou (2002) también reportan la presencia de la cianidina 3-(6'-*p*-coumaril)-glucósido en las bayas Marion y la cianidina-3-arabinósido en moras Evergreen. Otro estudio realizado por Dugo *et al.* (2001) reportó la presencia de la cianidina-3-galactósido, cianidina-3-arabinósido, pelargonidina-3-glucósido y malvidina-3-glucósido en una mora comercial italiana. Para la variedad *R. adenotrichus*, se identificaron la cianidina-3-glucósido y la cianidina-3-malonil glucósido como las principales antocianinas (Mertz *et al.*, 2007).

Por otro lado, los taninos son compuestos fenólicos hidrosolubles con un peso molecular comprendido entre 500 y 3 000 Da. Estos compuestos contienen un gran número de grupos hidroxilo, entre otros grupos funcionales, siendo por tanto capaces de unirse a proteínas y a otras macromoléculas (Martínez *et al.*, 2000). Pueden clasificarse en dos grupos: taninos hidrolizables (taninos del ácido elágico y del ácido gálico) y no hidrolizables o taninos condensados (proantocianidinas) (Williamson & Manach, 2005). Los taninos del ácido elágico son compuestos bioactivos que se encuentran en algunas frutas como frambuesa, fresa y en algunas nueces. Algunos taninos y derivados del ácido elágico han sido detectados en algunas especies de *Rubus* (figura 4), pero la cantidad reportada depende del análisis utilizado (Mertz *et al.*, 2007).



**Figura 4.** Estructura química de los principales taninos del ácido elágico encontrados en dos especies de mora diferentes *R. glaucus* y *R. adenotrichus*. E1 = Lambertianina C y E2 = Sanguina H-6. Tomada de Mertz *et al.* (2007).

### 3.2.3 Efecto de procesos clásicos de transformación sobre los antioxidantes

Existe una gran cantidad de estudios que muestran el efecto de diferentes procesos sobre los antioxidantes; según estas investigaciones a medida que aumenta el tiempo de exposición a algunos tratamientos térmicos y al oxígeno, aumenta la degradación de los compuestos antioxidantes. Sin embargo, se observan numerosas contradicciones acerca del comportamiento de los diferentes compuestos antioxidantes. Por ejemplo, en cuanto a procesos como la elaboración de mermeladas, se

han reportado distintos resultados; en algunos casos no se reportan reducciones significativas en el contenido de compuestos fenólicos (Amakura *et al.*, 2000), mientras que otros autores han encontrado pérdidas apreciables en antocianinas (89%), polifenoles totales (73%) y capacidad antioxidante (65%) (Kim & Padilla-Zakour, 2004).

El procesamiento de frutas puede tener distintos efectos, y no todos terminan en pérdidas de calidad y de las propiedades nutricionales de un alimento. Por ejemplo, recientemente se encontró que la biodisponibilidad del  $\beta$ -caroteno en melocotón enlatado se incrementa como consecuencia de un calentamiento moderado, debido al efecto que tiene el tratamiento térmico sobre las enzimas y la pared celular de los vegetales (Nicoli *et al.*, 1999).

Otro ejemplo importante es el escaldado. Esta técnica es una de las más utilizadas en la prevención de la oxidación enzimática, y la mayoría de los estudios reporta que los vegetales escaldados retienen la mayoría de sus propiedades antioxidantes (Nicoli *et al.*, 1999). Un ejemplo de lo anterior es un estudio realizado por Ewald *et al.* (1999), en donde al medir el contenido de flavonoides en cebolla aplicando distintos tratamientos térmicos, se observó que la mayor pérdida de estos compuestos antioxidantes se llevó a cabo durante los pre-tratamientos de pelado y troceado previos al escaldado. De acuerdo con este estudio, la cocción y la fritura llevadas a cabo sobre la cebolla escaldada mantienen la mayoría de flavonoides en el alimento, convirtiéndolo en una buena fuente de antioxidantes para los humanos.

A diferencia de lo anterior, Skrede *et al.* (2000) mostraron que una sustancial pérdida de antocianinas y polifenoles ocurre cuando los arándanos se procesan para la elaboración de un jugo o concentrado debido a la susceptibilidad de los componentes. Igualmente, en otros productos como jugo y puré de fresas y jugo de frambuesas se han reportado las pérdidas de antocianinas como efecto del proceso, mientras que durante la elaboración de jugo de manzana se reportó una degradación de los polifenoles totales (Heinonen *et al.*, 1998).

En el caso de productos como la leche se presentan diferentes resultados de acuerdo con el tipo de pasteurización utilizado. Estas diferencias de comportamiento durante el calentamiento se encuentran asociadas a los cambios que se presentan en los alimentos durante la reacción de Maillard, ya que un alimento -dependiendo del tiempo y la intensidad del tratamiento térmico aplicado y de los compuestos que lo conforman- puede formar moléculas prooxidantes o antioxidantes (Calligaris *et al.*, 2004).

Esta diferencia de resultados según la relación tiempo/temperatura de proceso se presenta también al analizar procesos de deshidratación. Según Del Caro *et al.* (2004), al evaluar el efecto de diferentes temperaturas de deshidratación sobre los compuestos antioxidantes de la ciruela se determinó que la temperatura más baja (60 °C) fue la que preservó la mayor cantidad de ácido ascórbico. Sin embargo, no todas las clases de polifenoles se comportan de la misma manera y el almacenamiento de la fruta deshidratada tiende a causar una disminución importante de los compuestos a través del tiempo.

Otra variable estudiada en los alimentos es la concentración de oxígeno. Según Kalt *et al.* (2000), concentraciones altas de oxígeno producen un efecto negativo sobre la recuperación de antocianinas y sobre la capacidad antioxidante, mientras que mayores temperaturas de extracción y acidez implican una mayor recuperación de los compuestos cuando se trabaja con arándanos.

Generalizando, las consecuencias del procesamiento de las frutas y vegetales sobre la capacidad antioxidante son el resultado de diferentes eventos que pueden llevarse a cabo consecutiva o simultáneamente, y no de un proceso en específico. Esto se debe a que la composición de los alimentos define el efecto que los diferentes tratamientos térmicos y variables analizadas durante este apartado puedan tener sobre un determinado alimento (Nicoli *et al.*, 1999).

### **3.3 Secado**

#### *3.3.1 Principios de secado*

La presencia de agua a ciertas concentraciones en los alimentos, facilita su deterioro por acción de los microorganismos y enzimas, o a través de reacciones químicas. El secado es un método que se utiliza frecuentemente para reducir la actividad del agua (cantidad de agua disponible) y poder prolongar la vida útil de los alimentos. Una disminución en la actividad del agua además de facilitar la conservación del producto, reduce el peso y facilita el transporte del mismo (Brennan *et al.*, 1998).

Fellows (1994) define deshidratación como la operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua presente en un alimento por evaporación, aplicando calor bajo condiciones controladas (a excepción de la liofilización, proceso en el cual se elimina el agua por sublimación).

Las principales ventajas de la deshidratación son: reducción de peso y del volumen de los alimentos, inhibición del crecimiento microbiano y de la actividad enzimática por la disminución de la actividad del agua, y la facilidad de manejo para los procesadores de alimentos. Además de lo anterior, la deshidratación pone al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos fáciles de utilizar. La principal desventaja que se presenta durante este proceso es la alteración en cierto grado tanto las características sensoriales como el valor nutritivo de los alimentos (Fellows, 1994).

### 3.3.2 Métodos de secado

Los métodos empleados en el secado de alimentos pueden clasificarse de acuerdo con Brennan *et al.* (1998) de la siguiente manera:

- Secado por aire caliente: El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se aporta al producto principalmente por convección.
- Secado por contacto directo con una superficie caliente: El calor se aporta al producto principalmente por conducción.
- Secado mediante el aporte de energía por una fuente radiante, de microondas o dieléctrica.
- Liofilización: El agua de los alimentos se congela y se sublima, generalmente aportando calor a una presión muy baja.

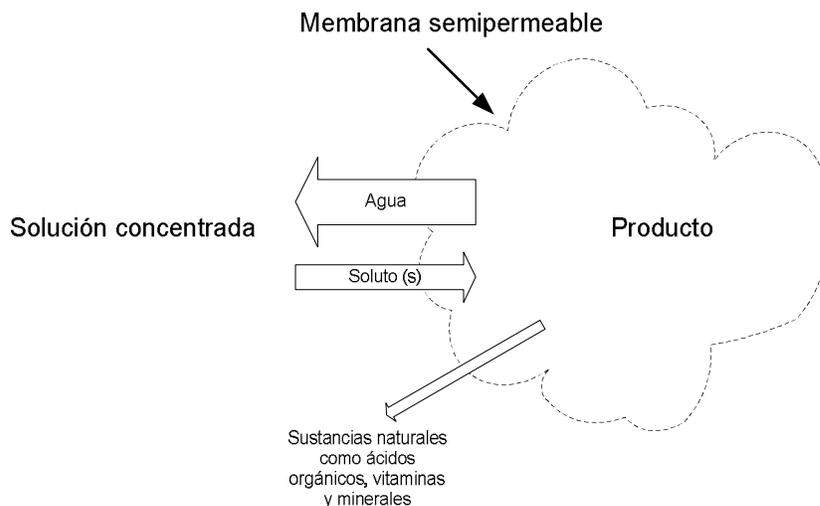
El proceso de secado de frutas como uvas y ciruelas es muy lento debido a la estructura de su cáscara, la cual está cubierta con ceras y cutículas que limitan la pérdida de agua y por lo tanto la disminución del porcentaje de humedad. El uso de pretratamientos químicos previos al secado no es de uso muy común dado el alto costo del proceso. Es por ello que pretratamientos como la deshidratación osmótica y la abrasión se desarrollaron, y se vuelven cada vez más populares con el fin de disminuir el tiempo de secado (Lohachoopol, 2007).

De acuerdo con Vega-Mercado *et al.* (2001) se puede hablar de cuatro generaciones en el desarrollo de la tecnología de secado. La primera generación son los secadores cama (como es el caso del horno), el secador de bandeja, el secador de banda transportadora y el secador de túnel. La segunda generación de secado está dedicada al secado de lodos y purés (como el secador por atomización o en *spray* y el secador de tambor). La liofilización y la deshidratación osmótica caen dentro de la tercera generación, mientras que, la última generación está dedicada a los equipos que utilizan alto vacío, lecho fluidizado, las microondas y frecuencias de radio.

### 3.3.2.1 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión de un alimento sólido, entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos (hipertónica) a temperaturas y tiempos específicos. Las membranas de los alimentos son semipermeables, por lo que esta técnica provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contracorriente (Corzo & Centeno, 2003). De acuerdo a Sharma *et al.* (2003), la deshidratación osmótica es un proceso de extracción de agua basado en el gradiente de actividad entre el agua del alimento y el soluto del medio que lo rodea (jarabe) a través de la membrana semipermeable de la célula del alimento.

Durante el proceso, un importante flujo de agua migra del interior de la fruta hacia el exterior para tratar de equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas. Simultáneamente, se presenta en menor cantidad la entrada de soluto desde la parte externa hacia el interior del producto a deshidratar (figura 5). Además hay otro flujo que se debe considerar, el cual consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y otros) que aunque cuantitativamente es bajo, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y sensorial (Corzo & Centeno, 2003).



**Figura 5.** Transferencia de masa durante el proceso de deshidratación osmótica. Adaptada de Raoult-Wack *et al.* (1992).

Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas son de bajo costo. Algunos de estos solutos pueden ser sacarosa, glucosa, fructosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de éstos que presentan efecto sinérgico como es el caso de la mezcla sacarosa-cloruro de sodio (Lerici, 1985). La sal es un soluto más fuerte que la sacarosa, lo cual resulta en una mayor eliminación de agua a la misma concentración. Sin embargo, la aplicación está limitada a productos donde el sabor salado puede ser tolerado por los consumidores (Sharma *et al.*, 2003). Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales. Ambas transferencias de masa continúan hasta que ambos ambientes son isotónicos (Raoult-Wack *et al.*, 1992).

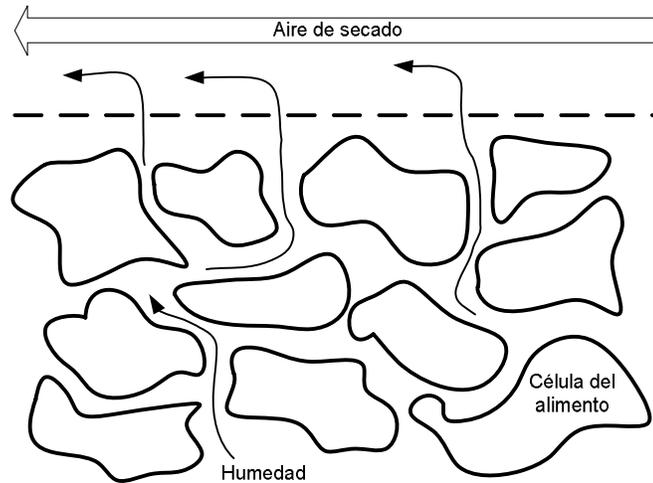
Los azúcares utilizados en la deshidratación osmótica afectan la cinética de extracción de agua, la ganancia de sólidos y el equilibrio del agua dentro del alimento (Panagiotou *et al.*, 1999; Sharma *et al.*, 2003; Torreggiani, 1993). Con solutos de bajo peso molecular, como la glucosa, la ganancia de sólidos es el principal efecto del proceso en lugar de la deshidratación (Torreggiani, 1993). La agitación en este proceso es de vital importancia ya que asegura un contacto directo del alimento con la solución osmótica. También, la ganancia de sólidos en muestras sujetas a agitación es mayor que en aquellas muestras sobre las que no se aplica agitación.

La principal limitación de la deshidratación osmótica es la pérdida de componentes valiosos como vitaminas y minerales durante el proceso de remojo y el tratamiento térmico que se realiza con el fin de extender la vida útil del producto (Raoult-Wack *et al.*, 1992). Existen estudios de las variables que producen efecto sobre la cinética de transferencia de materia, entre ellas destacan las características propias del producto como composición, tamaño, forma, presencia de piel, pretratamientos previos, y características de la solución osmótica como temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, razón alimento-solución, tiempo y agitación (Gaspareto *et al.*, 2004). La deshidratación osmótica también puede ser utilizada en conjunto con otros métodos de preservación como la congelación para extender la vida útil (Panagiotou *et al.*, 1999).

### 3.3.2.2 Deshidratación por aire caliente

Cuando se seca un sólido con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de vaporización del agua y actúa también como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma alrededor de la superficie de evaporación (Brennan *et al.*, 1998). Cuando el aire caliente entra en contacto con el alimento húmedo su superficie se calienta, y el calor transmitido actúa como calor

latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa a estado de vapor. El vapor de agua atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento para luego ser arrastrado por el aire como se muestra en la figura 6.



**Figura 6.** Movimiento del agua durante el proceso de secado. Adaptado de Fellows (1994).

Las condiciones del aire que ayudan a tener una alta tasa de secado en alimentos de alta humedad son: temperatura de bulbo seco elevada, humedad relativa baja y alta velocidad de aire (Brennan *et al.*, 1998). La tasa de secado según Fellows (1994) puede ser dividida en tres períodos. Al introducir un alimento en el secador se da un período inicial de estabilización al final del cual la superficie del alimento alcanza la temperatura de bulbo húmedo. Seguidamente continúa el período de velocidad constante en el cual el agua migra a la superficie a la misma velocidad que se produce la evaporación hasta que el alimento alcanza la humedad crítica. Sin embargo, en la práctica, las distintas partes del alimento no se deshidratan a la misma velocidad, por lo que la velocidad de deshidratación global va descendiendo gradualmente en esta etapa. Finalmente, cuando el contenido de agua de un alimento desciende por debajo de la humedad crítica, la velocidad de deshidratación se va haciendo más lenta hasta que el contenido de agua alcanza un equilibrio. A este período se le denomina período de velocidad decreciente.

Los factores que afectan la velocidad de secado con aire caliente se pueden agrupar en las siguientes categorías:

1. Factores relacionados con las condiciones de procesamiento: temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del aire.

2. Factores relacionados con la naturaleza de los alimentos: composición y estructura del alimento.
3. Diseño del secador: cantidad de alimento con respecto a la capacidad del secador.

### **3.4 Escaldado**

El escaldado es un calentamiento de corta duración, que tiene como objetivo inactivar las enzimas, de modo que éstas detengan su actividad metabólica y cese la degradación del alimento (Jiménez *et al.*, 2004; Fernández, 2007). Normalmente es un pretratamiento de ciertas operaciones de manipulación de alimentos como esterilización por calor, deshidratación y congelación (Brennan *et al.*, 1998). Es típico el escaldado de productos vegetales antes de su congelación, ya que de esta forma se impide el desarrollo de olores y sabores extraños durante el almacenamiento en congelación, prolongando la vida del alimento (Fernández, 2007).

Si el alimento no se escalda, se producen durante su almacenamiento cambios no deseados sobre su valor nutritivo y sus características sensoriales, por lo que debe de alcanzarse la temperatura indicada y mantenerla por el tiempo suficiente para lograr la inactivación de enzimas causantes de los problemas anteriores (Sánchez, 2003). Algunos de los factores que determinan el tiempo de escaldado son: el tipo de fruta, su tamaño, la temperatura de escaldado, y el sistema de calentamiento (Brennan *et al.*, 1998).

Según Sánchez (2003), algunas de las ventajas que se logran con la aplicación de la operación de escaldado son:

- Facilitar el pelado y la limpieza.
- Facilitar el envasado (homogenización del producto).
- Eliminación de gas ocluido en los tejidos.
- Reducción de la carga microbiana.
- Inactivación de enzimas causantes de alteraciones de aroma y color en frutas y hortalizas.

Durante el proceso se pueden presentar algunas desventajas. Por ejemplo, si el escaldado no se lleva a cabo de manera correcta se producen cambios en el aroma. Además, para proteger el color se suelen añadir aditivos como carbonato sódico u óxido de calcio al agua de escaldado, mientras que para evitar pérdida de textura se añade  $\text{CaCl}_2$ , que se combina con la pectina del alimento dando lugar a complejos que mantienen la textura (Sánchez, 2003). Los principales métodos de escaldado

son por inmersión en agua o por contacto con vapor de agua. De estos dos métodos el utilizar inmersión con agua presenta ventajas como una inversión menor en maquinaria.

### **3.5 Concentración por evaporación**

Según Singh & Heldman (1991), la evaporación es una operación unitaria empleada para remover agua en forma de vapor de los alimentos líquidos para obtener un producto concentrado por aumento de sus grados Brix. Este método contrasta con otras formas de concentración como la concentración por membranas, donde el agua se elimina haciendo uso de las diferencias existentes entre las velocidades de difusión a temperatura ambiente, o la concentración por congelación, donde se aprovecha la diferencia en el punto de congelación, consiguiendo la evaporación del agua al aprovechar las diferencias existentes entre la volatilidad de ésta y la de los solutos (Fellows, 1994).

Según Fellows (1994), los principales objetivos de la evaporación son los siguientes:

- Concentrar los alimentos con el fin de disminuir su peso y su volumen para facilitar el transporte.
- Aumentar el contenido de sólidos totales y mejorar la conservación por reducción de la actividad del agua.
- Aumentar la comodidad de uso para el consumidor y el fabricante.
- Generar cambios en el aroma y el color de algunos alimentos.

En el proceso de concentración por evaporación, el calor latente de un medio de calentamiento se transmite al alimento para aumentar su temperatura hasta el punto de ebullición. Algunos factores como la temperatura de ebullición del alimento en concentración, los depósitos de residuos en las superficies de intercambio y la viscosidad del alimento afectan la velocidad de transferencia de calor, y por lo tanto, determinan los tiempos necesarios de evaporación (Fellows, 1994). El agua tiene el punto de ebullición en 100 °C a presión atmosférica (101,325 Pa), en tanto que los solutos contenidos en ella tienen un punto de ebullición superior (Lewis, 1993); por consiguiente, al someter al alimento a temperaturas por encima del punto de ebullición del agua y por debajo del punto de ebullición de los solutos, se consigue disminuir el contenido de agua del alimento y concentrarlo. Un incremento en el tiempo de contacto con la superficie calefactora disminuye la calidad del producto, ya que se pierden la mayoría de los compuestos nutricionalmente importantes y se generan cambios tanto de color como de sabor (Brennan *et al.*, 1998).

## **IV. Materiales y métodos**

### **4.1 Localización del proyecto**

El estudio se realizó en la planta piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) y en la Escuela de Agronomía de la Región Tropical Húmeda (EARTH). Las determinaciones físicas y químicas se realizaron en los laboratorios de química del CITA y de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica.

### **4.2 Materia prima**

Para la elaboración de los diferentes productos, la materia prima utilizada fue mora (*R. adenotrichus*) de la variedad “vino con espinas” totalmente madura, de color morado oscuro uniforme y sin cáliz. Esta fruta fue suministrada tanto en estado fresco como congelado por la Asociación de Productores y Exportadores de Mora y Frutales de Altura (APROCAM), la cual se ubica en Tejar del Guarco, Cartago. La fruta congelada fue transportada en ese estado hasta las cámaras de materia prima de la planta piloto del CITA, donde se almacenó a -18 °C hasta su uso.

Además se utilizaron otras materias primas como agua potable, pectina de alto metoxilo GRINDSTED® pectin MRS 351 y sacarosa grado alimentario.

### **4.3 Pruebas definitivas**

#### **4.3.1 Evaluación del efecto de la operación de escaldado de mora fresca y congelada, sobre el rendimiento del proceso de prensado, el contenido de compuestos antioxidantes y las características de calidad físico-químicas al elaborar un jugo de la fruta**

Para evaluar el impacto de la operación de escaldado y congelación previa de la materia prima sobre la calidad del jugo de mora, se empleó el diseño factorial  $2^2$  (con 3 repeticiones) que se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Diseño factorial para la evaluación del impacto de la operación de escaldado sobre mora fresca y congelada.

|                            |                            | Factor B: Operación de escaldado               |   |
|----------------------------|----------------------------|--|---|
|                            |                            | Nivel 1:<br>Escaldado                          | Nivel 2:<br>Sin escaldar                          |
| Factor A:<br>Materia prima | Nivel 1:<br>Mora congelada | Mora congelada<br>Escaldada<br>(Tratamiento 1) | Mora congelada<br>Sin escaldar<br>(Tratamiento 2) |
|                            | Nivel 2:<br>Mora fresca    | Mora fresca<br>Escaldada<br>(Tratamiento 3)    | Mora fresca<br>Sin escaldar<br>(Tratamiento 4)    |

Para llevar a cabo este experimento, la mora congelada se descongeló durante un tiempo de 16 h a temperatura de refrigeración, mientras que la mora fresca se mantuvo siempre a temperatura de refrigeración (4 a 5 °C durante dos días) antes de llevar a cabo el estudio de la operación de escaldado y el proceso de prensado. La operación de escaldado se realizó tanto sobre la mora fresca como sobre la mora previamente congelada, utilizando vapor a una temperatura de 95 °C por un tiempo de 3 min, el cual de acuerdo con Hager *et al.* (2008) es el tiempo suficiente para lograr la inactivación de la polifenoloxidasas en mora congelada (PPO). Posteriormente, el producto obtenido de cada uno de los cuatro tratamientos fue prensado en tandas de 5 kg de mora por un tiempo de 10 min, dentro de una bolsa de manta, empleando una prensa hidráulica marca OTC Hydraulic Shop Press, modelo A. A las materias primas y los jugos producidos por los tratamientos mostrados en el cuadro 2 se les realizaron los siguientes análisis: concentración de antocianinas y taninos del ácido elálgico por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC-DAD), capacidad antioxidante por el método ORAC, color, pH, contenido de sólidos solubles (grados Brix) y humedad. Además de los análisis mencionados, sobre los jugos prensados se evaluó el rendimiento de la operación de prensado y se aplicaron análisis de turbidez, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto. Todos los análisis mencionados anteriormente se describen en el apartado 4.4 de esta sección.

Se utilizaron 3 lotes independientes de materia prima en cada tratamiento (cada uno corresponde a una repetición), dadas las restricciones de materia prima y a la complejidad de los procesos. Los resultados de cada respuesta medida fueron evaluados mediante un ANDEVA para arreglo factorial con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento). Además se realizó una prueba de t-student para comparar los valores de humedad, grados Brix y pH de las materias primas utilizadas (mora fresca y mora congelada) con el fin de mostrar el efecto de la operación de congelación sobre las características físico-químicas de la materia prima.

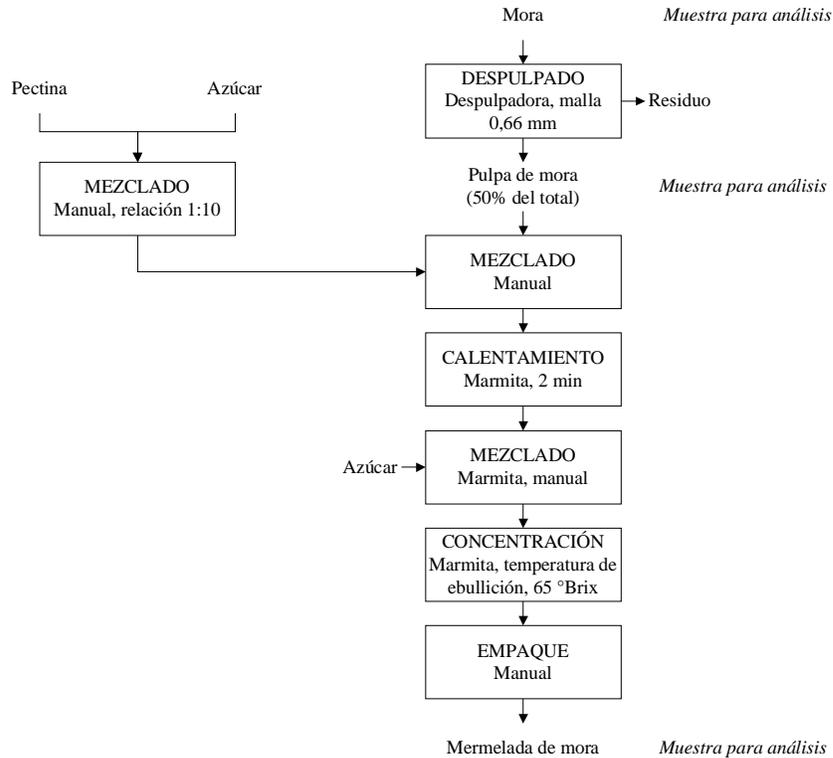
#### 4.3.2 Evaluación del efecto de los procesos de deshidratación con aire caliente, deshidratación osmótica y concentración a presión atmosférica sobre el contenido de compuestos antioxidantes de la mora

Para evaluar las operaciones unitarias de concentración a presión atmosférica, deshidratación con aire caliente y deshidratación osmótica sobre el contenido de compuestos antioxidantes y características de calidad físico-químicas de la mora, se utilizó mora fresca que se mantuvo a temperatura de refrigeración (4 a 5 °C durante dos días) antes de elaborar los productos. Para lo anterior se tomaron muestras a lo largo de los procesos (como se mostrará a continuación) para llevar a cabo las pruebas necesarias. A las materias primas y a las muestras tomadas se les realizaron los siguientes análisis: concentración de antocianinas y taninos del ácido elágico por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC-DAD), capacidad antioxidante por el método ORAC, color, pH, contenido de sólidos solubles (grados Brix) y humedad. Todos los análisis mencionados anteriormente se describen en el apartado 4.4 de esta sección.

Se utilizaron 3 lotes independientes de materia prima en cada tratamiento (cada uno corresponde a una repetición), debido a las restricciones de materia prima y a la complejidad de los procesos. Los resultados de cada respuesta medida fueron evaluados mediante una prueba de t-student para determinar diferencias significativas entre las medias de las respuestas obtenidas en evaluaciones sucesivas a lo largo de cada proceso, con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento).

##### 1. Evaluación del efecto de la operación unitaria de concentración a presión atmosférica

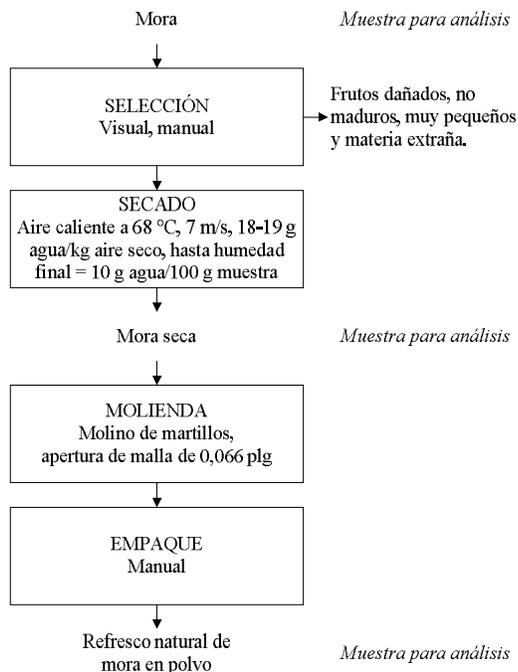
Para la evaluación de la operación de concentración a presión atmosférica se elaboró una mermelada empleando pectina de alto metoxilo de acuerdo al diagrama de flujo que se muestra en la figura 7, siguiendo el procedimiento recomendado por Viquez (2002).



**Figura 7.** Flujo de proceso para la elaboración de las mermeladas con alto contenido de sacarosa, empleando pectina de alto metoxilo, según Viquez (2002).

## 2. Evaluación del efecto de la operación de secado por aire caliente

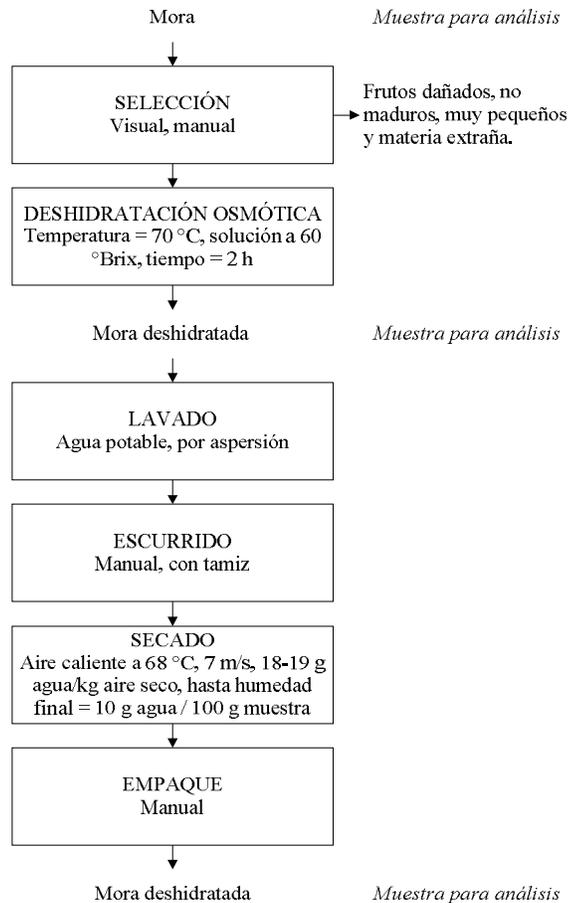
Para la evaluación del efecto de la operación de deshidratación con aire caliente se elaboró un refresco natural de mora en polvo de acuerdo el flujo de proceso que se muestra en la figura 8. Las condiciones descritas en este proceso se basaron en un estudio realizado por Jiménez (2004), el cual fue modificado a partir de diferentes pruebas realizadas para secado de frutas por la EARTH en piña, mango, papaya y banano.



**Figura 8.** Flujo de proceso para la elaboración de un refresco natural de mora en polvo, según Jiménez (2004).

3. Evaluación de la operación unitaria de deshidratación osmótica en combinación con la operación de secado por aire caliente

Como una variación para el estudio del efecto que tiene la operación de deshidratación sobre la capacidad antioxidante de la mora, se elaboró un tercer producto que consiste en mora deshidratada mediante el método mixto de deshidratación osmótica - secado con aire caliente, de acuerdo con el flujo de proceso que se muestra en la figura 9. Las condiciones del proceso se basaron en un estudio realizado por Guzmán (2003), variando la cantidad de solución osmótica. En el presente trabajo, la solución de deshidratación con sacarosa se utilizó en una relación 6:1 con respecto a la cantidad de fruta, mientras que las condiciones de secado con aire caliente fueron las mismas aplicadas para la elaboración del refresco natural de mora en polvo, descritas en el apartado anterior.



**Figura 9.** Flujo de proceso para la elaboración de un producto de mora deshidratado por el método mixto deshidratación osmótica - secado con aire caliente, según Guzmán (2003).

#### 4.3.3 Evaluación del contenido de compuestos antioxidantes de tres productos deshidratados.

A los productos finales obtenidos con base en la metodología del punto 4.3 se les aplicó un análisis de contrastes ortogonales con un nivel de confianza del 95% ( $n = 3$  lotes para cada tratamiento) para determinar el producto con el mejor resultado, tanto para la capacidad antioxidante como para el contenido de antocianinas y taninos del ácido elágico. Se realizaron dos pruebas de contraste diferentes agrupando de distintas formas los productos elaborados. Los contrastes realizados se llevaron a cabo de la siguiente manera (figura 10 y figura 11):

Prueba #1 (figura 10):

- A. Productos tratados térmicamente vs. materia prima sin tratamiento térmico
- B. Producto con tratamiento térmico húmedo (mermelada) vs. productos tratados con aire caliente (mora deshidratada mediante deshidratación osmótica - secado con aire caliente y refresco natural de mora en polvo)
- C. Producto elaborado por deshidratación osmótica - aire caliente (mora deshidratada mediante deshidratación osmótica - secado con aire caliente) vs. producto obtenido por deshidratación con aire caliente (refresco natural de mora en polvo)

|                                  |                                     |  |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| Productos tratados térmicamente* |                                     | Productos no tratados térmicamente (materias primas) |
| Tratamiento húmedo (jalea)       | Tratamiento con aire caliente*      |  |
|                                  | Secado por método mixto (mora pasa) | Secado con aire caliente (mora en polvo)*            |

**Figura 10.** Primer análisis de contrastes ortogonales con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento) para los tres productos terminados tratados térmicamente.

Prueba #2 (figura 11):

- A. Productos tratados térmicamente vs. materia prima sin tratamiento térmico
- B. Producto con tratamiento térmico en presencia de azúcar (mermelada y mora deshidratada mediante deshidratación osmótica - secado con aire caliente) vs. producto sin azúcar añadido (refresco natural de mora en polvo)
- C. Producto con azúcar tratado con aire caliente (mora deshidratada mediante deshidratación osmótica - secado con aire caliente) vs. producto con azúcar con tratamiento térmico húmedo (mermelada)

|   |                                     |  |
|---|-------------------------------------|--|
| Productos tratados térmicamente*        |                                     | Productos no tratados térmicamente (materias primas) |
| Tratamiento sin azúcar (mora en polvo)* | Tratamiento con azúcar              |  |
|   | Secado por método mixto (mora pasa) | Tratamiento húmedo (jalea)*                          |

**Figura 11.** Segundo análisis de contrastes ortogonales con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento) para los tres productos terminados tratados térmicamente.

Además, se realizó un análisis de los resultados obtenidos en base húmeda, contemplando los aportes nutricionales de cada uno de los productos mencionados anteriormente de acuerdo a sus niveles y forma de consumo. Para esto se repitieron las pruebas anteriores (análisis de contraste ortogonal) con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento) para los valores obtenidos en base húmeda para cada uno de los productos. Esto con el fin de determinar el producto que presente el mejor resultado tanto para la capacidad antioxidante como para el contenido de antocianinas y taninos del ácido elágico.

#### 4.3.4 Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de compuestos antioxidantes de los productos finales

Una vez producidos los tres alimentos, una muestra de cada uno de los tres lotes producidos se mantuvo por períodos de 2 y 3 meses en las condiciones recomendadas de almacenamiento, siendo éstas en empaque laminado (polipropileno transparente con polipropileno metalizado) y a temperatura ambiente, ya que según Wicklund *et al.* (2005), a un tiempo de almacenamiento de 3 meses se logran ver cambios significativos en el contenido de antocianinas, la capacidad antioxidante y el color de la mermelada de fresa a temperaturas de almacenamiento de 20°C.

Finalizado el tiempo de almacenamiento, se realizaron las determinaciones físicas y químicas que se aplicaron al producto terminado, con el fin de conocer el comportamiento de los productos durante el tiempo de almacenamiento. Para evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento y el proceso aplicado sobre cada respuesta medida se empleó un diseño factorial  $3^2$ . Los factores fueron tiempo de almacenamiento y procedimiento elaboración, mientras que los niveles fueron: para el tiempo de almacenamiento: 0, 2 y 3 meses, y para los procedimientos: mermelada, deshidratación osmótica - secado con aire caliente y secado con aire caliente. Los resultados de cada respuesta medida fueron evaluados mediante un ANDEVA para arreglo factorial con un nivel de confianza del 95% (n = 3 lotes para cada tratamiento).

#### **4.4 Métodos de análisis**

##### *4.4.1 Análisis físicos*

- Determinación del color: La medición se llevó a cabo utilizando el Colorímetro Hunter Lab ColorFlex; utilizando los parámetros L\*, a\* y b\* de color del sistema CieLab.

##### *4.4.2 Análisis químicos*

- Determinación del contenido de humedad (sólidos totales): Se determinó la humedad siguiendo el método 934.06 de la AOAC para el caso de los productos deshidratados y el 920.151 para las frutas frescas, pulpas y jugos (AOAC, 1999) y se expresará como g agua/ 100g de muestra. Ambos métodos acreditados por el laboratorio del CITA.
- Determinación de sólidos solubles (grados Brix): Se determinó utilizando un refractómetro de Abbé con control de temperatura según el método 932.12 descrito por la AOAC (AOAC, 1999).
- Determinación de pH: Se utilizó un pHmetro Corning Modelo 430, según el método 981.12 de AOAC (1999).
- Determinación de sólidos en suspensión: Se estimaron por centrifugación siguiendo el procedimiento utilizado por Padilla-Zakour & McLellan (1993) aumentando la cantidad de muestra (de 15 mL a 40 mL), las revoluciones por minuto (de 3700 rpm a 6000 rpm) y el

tiempo de centrifugación (de 15 min a 25 min) y el resultado se expresó en porcentaje de sólidos insolubles (% m/m).

- Determinación de la turbidez: Se midió la turbidez de las muestras con un turbidímetro Hach 2100AN, agitando la muestra levemente y tomando la lectura a los 30 segundos. Los valores se expresaron en NTU (*Nephelometric Turbidity Units*).
- Determinación del oxígeno disuelto: Se utilizó el medidor de oxígeno disuelto portátil DO 300 OAKTON. Se introdujo la membrana en la muestra a 20 °C y se tomó el primer valor en mg/L que se estabilice.
- Determinación del contenido de antocianinas y taninos del ácido elágico por HPLC-DAD: Se llevó a cabo la determinación de las antocianinas siguiendo el método descrito por Mertz *et al.* (2007). Se utilizó el HPLC marca Shimadzu, el cual se compone de un detector de arreglo de diodos modelo SPD-M20A, un desgasificador modelo DGU-20A5 y un cromatógrafo modelo LC-20At. El extracto se hizo pasar a través de una columna ACE-3-C18 de 125 x 21 mm, a una temperatura de 30 °C utilizando dos fases móviles: la fase móvil A era una solución de ácido fórmico en agua al 2 % a un flujo constante de 300 mL/min y la fase móvil B una solución al 2 % de ácido fórmico, 18 % agua y 80 % acetonitrilo, cuya concentración varió a través del análisis de la siguiente forma: de 5 a 25 % B en 20 min y de 25 a 100 % B en 5 min; entre 25 y 30 min baja de 100 a 10 % y de 30 a 35 min baja de 10 a 0 % para un tiempo total de 35min.
- Determinación de capacidad antioxidante por el método ORAC (del inglés, Oxygen Radical Absorbance Capacity): La capacidad antioxidante de la fracción hidrosoluble fue determinada según el método AQCITA-M037 (CITA, 2008), empleando espectrofotometría de fluorescencia (Ou *et al.*, 2001; Vaillant *et al.*, 2005). Para el análisis se utilizó un espectrofluorómetro marca Biotek modelo Synergy HT 208841 y placas de fondo negro. La determinación consistió en la adición de una solución de fluoresceína de sodio (reactivo Sigma F6377) de concentración 81,87 nmol/L y de 25 µL de muestra o solución patrón en cada uno de los pozos de la placa. Se dio un tiempo de espera de 30 min a 37 °C para asegurar la reacción de la fluoresceína con las muestras y los patrones. Se inyectó en cada pozo una solución de AAPH (2,2'-azobis(2-aminopropano) dihidrocloruro 2,2'-azobis(2 metilpropionamida) dihidrocloruro; reactivo Aldrich 440914)) de concentración de 345 mmol/L como fuente de radical libre que inhibe la intensidad de la fluorescencia de las muestras y los patrones. La cuantificación consistió en

medir la intensidad de la fluorescencia de cada muestra en un período de 45 min, la cual se comparó contra la intensidad de la fluorescencia emitida por soluciones patrón de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico; reactivo Aldrich 238813) de concentración 0, 4, 8, 16, 24 y 32  $\mu\text{mol/L}$  durante el mismo tiempo de análisis. El resultado se expresó en  $\mu\text{mol}$  de Trolox equivalentes por gramo de muestra.

## **V. Resultados y discusión**

### **5.1 Evaluación del efecto de la operación de escaldado de mora fresca y congelada, sobre el rendimiento del proceso de prensado, el contenido de compuestos antioxidantes y las características de calidad físico-químicas al elaborar un jugo de la fruta.**

En la producción de jugos de frutas, la extracción del líquido se puede realizar mediante una operación de prensado que logra mediante la ruptura celular la extracción del agua, la mayoría de los componentes solubles y algunos otros sólidos en suspensión (Brennan *et al.*, 1998). La operación de escaldado como tratamiento previo ha sido uno de los métodos con mejores resultados para aumentar el rendimiento de este proceso a nivel industrial debido al reblandecimiento de las frutas y vegetales (Brennan *et al.*, 1998). Sin embargo, no existen muchos estudios del efecto de esta operación sobre los nutrientes específicos de la mora (particularmente sus propiedades antioxidantes) y las características de calidad del producto final.

A pesar de lo expuesto anteriormente, la operación de escaldado, en la mayoría de las ocasiones, se realiza para inactivar las enzimas presentes en ciertos alimentos que luego van a ser enlatados, congelados o deshidratados. De no proceder de esta forma, la actividad enzimática residual en los alimentos podría dar lugar a la aparición de colores, olores y sabores no naturales. Además, el escaldado posee otras ventajas adicionales, pues es un sistema eficaz de lavado y limpieza de los alimentos al tiempo que reblandece algunos de ellos, mejorando su textura (Fellows, 1994).

Al evaluar el efecto del escaldado y de la congelación en el proceso de elaboración de jugo prensado de mora, como se mencionó anteriormente, una característica importante es el rendimiento obtenido (cuadro 3). Esta variable indica la cantidad de producto que se obtendrá en relación con la materia prima utilizada, lo cual es uno de los principales determinantes de factibilidad económica a nivel industrial, ya que se relaciona directamente con los costos del producto terminado.

Cuadro 3. Rendimiento de la operación de prensado en la elaboración de jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado.

| Materia prima  | Tratamiento térmico | Rendimiento de la operación de prensado (%) |
|----------------|---------------------|---|
| Mora fresca    | Sin escaldar        | 37 ± 3                                      |
|                | Escaldada           | 39 ± 5                                      |
| Mora congelada | Sin escaldar        | 54 ± 4                                      |
|                | Escaldada           | 62 ± 4                                      |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio ± el intervalo de confianza (n=3).

Según los resultados obtenidos, el rendimiento de la operación de prensado se ve afectado de manera significativa según la mora sea congelada previamente o no ( $P < 0,0001$ ), aumentando el rendimiento al utilizar mora congelada. Además, se presenta un aumento significativo en el rendimiento al escaldar la fruta previamente al prensado ( $P = 0,0320$ ), presentándose un aumento de más del 15% al escaldar mora congelada, y de poco más del 5% al escaldar mora fresca.

El efecto de la congelación sobre los rendimientos obtenidos se debe a las consecuencias de las operaciones de congelación y descongelación sobre la pared celular de las frutas. Durante la solidificación del agua contenida en los alimentos, se forman cristales cuya forma y tamaño dependen de la velocidad con la cual se lleve a cabo la operación: a altas velocidades se producen cristales pequeños mientras que a bajas velocidades los cristales son de mayor tamaño y causan un deterioro de los tejidos que conforman la pared celular de las frutas (Brennan *et al.*, 1998). A la fruta utilizada fue aplicada una operación de congelación lenta por lo que se propicia la formación de cristales de mayor tamaño. El daño causado por la congelación lenta, evidenciado durante la descongelación, permite que durante el prensado se favorezca la liberación de agua y compuestos solubles e insolubles, aumentando el rendimiento. El reblandecimiento de los tejidos causado por el escaldado incrementa el efecto del daño causado por la congelación, facilitando durante el prensado el rompimiento de las estructuras y la liberación de los componentes contenidos en la fruta. Sin embargo, se debe considerar que después de ciertos minutos de aplicación de este tratamiento térmico, se puede afectar la textura y consistencia del alimento, su aroma y sus propiedades nutricionales, por la presencia de componentes sensibles al calor (Fellows, 1994).

El cuadro 4 muestra las principales características físico-químicas de las materias primas y productos terminados. En el caso de las variables de humedad, grados Brix y pH para las materias primas, no se encontró diferencia significativa (al aplicar una prueba de t-student) entre los resultados obtenidos.

Este comportamiento es de esperarse, ya que durante este proceso no se generan pérdidas importantes de algún componente como agua, azúcares o ácidos orgánicos, y por lo tanto la variación debería de ser mínima.

Cuadro 4. Características físico-químicas de la mora entera y del jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado.

| Materia prima  | Tratamiento              | Humedad<br>(g agua/100g muestra) | °Brix      | pH        |
|----------------|--------------------------|----------------------------------|------------|-----------|
| Mora fresca    | Mora entera              | 76 ± 1                           | 11,4 ± 0,9 | 2,8 ± 0,1 |
|                | Jugo mora (sin escaldar) | 90,83 ± 0,06                     | 10 ± 1     | 2,9 ± 0,1 |
|                | Jugo mora (escaldada)    | 90 ± 2                           | 8,9 ± 0,9  | 2,9 ± 0,1 |
| Mora congelada | Mora entera              | 76 ± 1                           | 11,2 ± 0,9 | 2,7 ± 0,1 |
|                | Jugo mora (sin escaldar) | 88 ± 3                           | 10,6 ± 0,7 | 2,9 ± 0,1 |
|                | Jugo mora (escaldada)    | 91 ± 2                           | 10 ± 1     | 2,9 ± 0,1 |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio ± el intervalo de confianza (n=3).

Otras variables de calidad que se analizaron en los jugos fueron el porcentaje de sólidos en suspensión, la turbidez y la concentración de oxígeno disuelto (cuadro 5). No se encontró evidencia que indique que el porcentaje de sólidos insolubles en suspensión fue afectado de manera significativa por el escaldado ni por la congelación. A diferencia de lo anterior, la turbidez fue afectada de manera significativa, dado que la operación de escaldado previa al prensado presenta resultados diferentes con respecto a turbidez, si se utiliza mora fresca o congelada ( $P < 0,0001$ ). En este caso, la mora fresca sin escaldar presentó el menor valor de turbidez, mientras que la mora congelada escaldada presentó el mayor valor (además del mayor rendimiento, como fue discutido anteriormente).

Cuadro 5. Porcentaje de sólidos en suspensión, turbidez y cantidad de oxígeno disuelto en el jugo de mora al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y la aplicación de la operación de escaldado.

| Materia prima  | Tratamiento<br>térmico | Sólidos insolubles<br>en suspensión<br>(%) | Turbidez<br>(NTU) | Oxígeno disuelto<br>(mg/L) |
|----------------|------------------------|--|-------------------|----------------------------|
| Mora fresca    | Sin escaldar           | 0,8 ± 0,3                                  | 308 ± 48          | 7,9 ± 0,6                  |
|                | Escaldado              | 1,2 ± 0,4                                  | 906 ± 42          | 6,6 ± 0,6                  |
| Mora congelada | Sin escaldar           | 0,9 ± 0,3                                  | 119 ± 21          | 8,2 ± 0,7                  |
|                | Escaldado              | 1,1 ± 0,2                                  | 1173 ± 91         | 5,8 ± 0,8                  |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio ± el intervalo de confianza (n=3).

Brennan *et al.* (1998) clasifican el prensado o estrujado como una operación de separación sólido - líquido. Según Montero (2008), el porcentaje de sólidos en suspensión en productos de mora es menor al aplicar una operación de prensado, que al utilizar otros procedimientos como el despulpado o la combinación del despulpado con el centrifugado. La mayor cantidad de sólidos insolubles en un jugo tiene un efecto marcado en características como la turbidez, la viscosidad y la densidad respecto a los otros jugos, que pueden afectar negativamente el procesamiento si estos jugos van a sufrir operaciones posteriores como la microfiltración tangencial (Montero, 2008).

La cantidad de sólidos en suspensión en una muestra se encuentra relacionada con la medida de turbidez en la misma. Esto debido a que la turbidez es una medida de la dispersión de la luz en un medio (en este caso el jugo de mora). La dispersión se da cuando la luz choca con partículas en suspensión (sólidos insolubles), las cuales reflejan, absorben o disipan dicha luz (Montero, 2008). De acuerdo con los resultados obtenidos para la turbidez, en donde sí es posible notar diferencias significativas en los productos, el jugo menos turbio corresponde a la muestra obtenida a partir de mora congelada sin escaldar. Si se desean aplicar operaciones posteriores como la clarificación por microfiltración tangencial utilizando los jugos producidos y sus resultados con respecto a turbidez, es posible decir que lo mejor es partir de mora congelada y no realizar un escaldado previo. Este resultado concuerda con lo expuesto anteriormente, en donde se ha indicado que el ablandamiento de la pared celular con el escaldado tiende a favorecer la mayor liberación de sólidos durante el prensado, creando un efecto sinérgico al daño que se produce sobre la pared celular de la fruta por la congelación, presentando valores altos de turbidez. A su vez, este resultado se encuentra apoyado por un alto rendimiento en comparación con el uso de mora fresca, obviando que al escaldar mora congelada podría obtenerse un mayor rendimiento.

Aunque la congelación de la materia prima no presentó un efecto significativo sobre la concentración de oxígeno disuelto en los productos, el tratamiento previo de la fruta mediante escaldado sí lo presenta ( $P=0,0008$ ). El oxígeno disuelto afecta la conservación de la calidad nutricional, funcional y sensorial de los jugos de frutas. Según Solomon *et al.* (1995) y de acuerdo con los resultados encontrados por Ros-Chumilla *et al.* (2007) el oxígeno disuelto tiene un gran efecto en la degradación de la vitamina C y en el oscurecimiento del jugo de naranja. La disminución causada en la cantidad de oxígeno disuelto al aplicar el escaldado, según Fellows (1994), se debe a que el aumento de temperatura provoca el desprendimiento de los gases ocluidos en el alimento, y esta desgasificación favorece las operaciones posteriores, disminuyendo principalmente la pérdida de los compuestos antioxidantes por la reacción con el oxígeno o por acción enzimática.

La aplicación de las operaciones de escaldado y congelación sobre la materia prima pueden presentar algún efecto sobre los compuestos antioxidantes que contenga el producto, y por lo tanto, variar su valor como alimento funcional (cuadro 6). En el caso de la mora *R. adenotrichus*, de acuerdo a un estudio realizado por Mertz *et al.* (2007), los principales grupos de compuestos antioxidantes identificados son las antocianinas, los taninos del ácido elágico y los flavonoides en orden decreciente de concentración.

Cuadro 6. Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elágico en el jugo de mora prensado al utilizar diferentes materias primas (mora fresca y mora congelada) y aplicar la operación de escaldado.

| Materia prima  | Tratamiento térmico | Valor ORAC<br>( $\mu\text{mol TE/g}$ materia seca mora) | Antocianinas<br>(mg eqs. Cy-3-glc/100g materia seca de mora) | Taninos del ácido elágico<br>(mg eqs. ácido elágico/100g materia seca de mora) |
|----------------|---------------------|---|--|--|
| Mora fresca    | Sin escaldar        | 378 $\pm$ 28  | 1228 $\pm$ 245   | 1385 $\pm$ 86  |
|                | Escaldado           | 343 $\pm$ 54  | 1178 $\pm$ 68  | 688 $\pm$ 58   |
| Mora congelada | Sin escaldar        | 266 $\pm$ 47  | 839 $\pm$ 277  | 550 $\pm$ 164  |
|                | Escaldado           | 460 $\pm$ 43  | 1199 $\pm$ 249   | 755 $\pm$ 123  |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio  $\pm$  el intervalo de confianza (n=3).

Para la producción de jugo prensado de mora, al evaluar el contenido de taninos del ácido elágico y la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, se presenta interacción entre las variables al aplicar el escaldado sobre mora congelada o sobre mora fresca ( $P < 0,0001$  y  $P = 0,0010$ , respectivamente). La concentración de taninos del ácido elágico presentes en la mora, al escaldar fruta congelada, aumentan en el jugo resultante en más de un 37% (al comparar con el jugo sin proceso de escaldado), mientras que disminuyen en el jugo en casi un 50% si se escalda la mora fresca. La capacidad antioxidante, por otro lado, sufre un aumento mayor al 72% al tratar térmicamente la mora congelada, mientras que el escaldado no presenta un efecto importante si la materia prima en estudio es mora fresca.

El comportamiento de las antocianinas en los jugos prensados de mora difiere de lo anterior, ya que ni la operación de escaldado ni la congelación de la materia prima tienen un efecto significativo sobre la cantidad de antocianinas en el jugo obtenido. Este resultado no concuerda con lo encontrado por Rossi *et al.* (2003) para el comportamiento de las antocianinas durante el escaldado de arándano. Al escaldar el arándano en un escaldador de vapor tipo túnel por un tiempo de 3 min, el tratamiento induce a una mayor retención de las antocianinas (23%) cuando se utiliza para el procesamiento del

jugo, dando como resultado que el contenido total de antocianinas en un jugo que proviene de fruta escaldada sea el doble del que proviene de la fruta no escaldada (12%). Según Lee *et al.* (2002), los dos factores que generan este comportamiento son la reducción de la degradación de las antocianinas, lo cual es un resultado de la inactivación de la polifenoloxidasas (PPO) y una mayor extracción de los diferentes componentes. Esto último se debe al aumento de la permeabilidad de la pared celular de la piel del arándano causado por el tratamiento térmico (Kalt *et al.*, 2000). Sin embargo, Lee *et al.* (2002) en su estudio observaron que no todas las antocianinas presentan la misma resistencia ante el tratamiento por escaldado, obteniendo que las que mostraron la mayor estabilidad ante la operación son en orden decreciente: delfinidina glucósido, petunidina glucósido y cianidina glucósido con excepción de la cianidina-3-glucósido que muestra un nivel bajo de rendimiento. Esta antocianina es la mayoritaria en el caso de la mora utilizada en este estudio (Mertz *et al.*, 2007). Considerando el número y la posición de los grupos hidroxilo (-OH) en el anillo benzoico de las antocianinas, el orden establecido anteriormente de reactividad corresponde con su actividad antioxidante. Actualmente, se conoce que la actividad antioxidante de los grupos fenólicos depende de la cantidad y de la posición de los grupos hidroxilo, siendo los que se encuentran en la posición orto particularmente activos. La malvidina y peonidina glucósido tienen un único grupo hidroxilo en el anillo fenólico, siendo los menos reactivos y por lo tanto los menos afectados por el tratamiento de inactivación de la PPO (Lee *et al.*, 2002).

De acuerdo con Kalt *et al.* (2000) en un estudio realizado con arándanos azules, al realizar una extracción de los cinamatos de la pulpa, éstos se ven menos afectados por el tratamiento térmico que al intentar llevar a cabo la extracción de las antocianinas de la cáscara. Sin embargo, en el estudio realizado, los taninos del ácido elálgico se ven más afectados por el tratamiento térmico que las antocianinas.

La inestabilidad del color y la degradación de los polifenoles en los jugos de algunos frutos como el de *Myrica rubra* (“bayberry”) reciben gran interés por parte de los científicos e industriales. Estudios realizados indican que la PPO causa una degradación significativa de antocianinas y polifenoles cuando la fruta es procesada, lo cual puede sugerir que la disminución en el contenido de taninos del ácido elálgico podría deberse a la actividad de la PPO que no se logró inactivar del todo. El mecanismo de degradación se propuso bajo el principio de que la PPO oxida los polifenoles (como el ácido clorogénico) a quinonas que seguidamente reaccionan con la cianidina-3-glucósido para producir los pigmentos pardos (Fang *et al.*, 2006). Este mecanismo, además del posible daño por hidrólisis producido por el tratamiento térmico, se presume puede ser el causante de la disminución

de los taninos del ácido elálgico en la mora fresca, mientras que un aumento en la concentración al escaldar mora congelada (al comparar con el jugo de mora sin proceso de escaldado) puede suponer entonces que bajo estas condiciones se logró una disminución eficiente en la actividad de la PPO, haciendo que sea mayor el daño causado sobre la muestra no escaldada que sobre la que se escaldó.

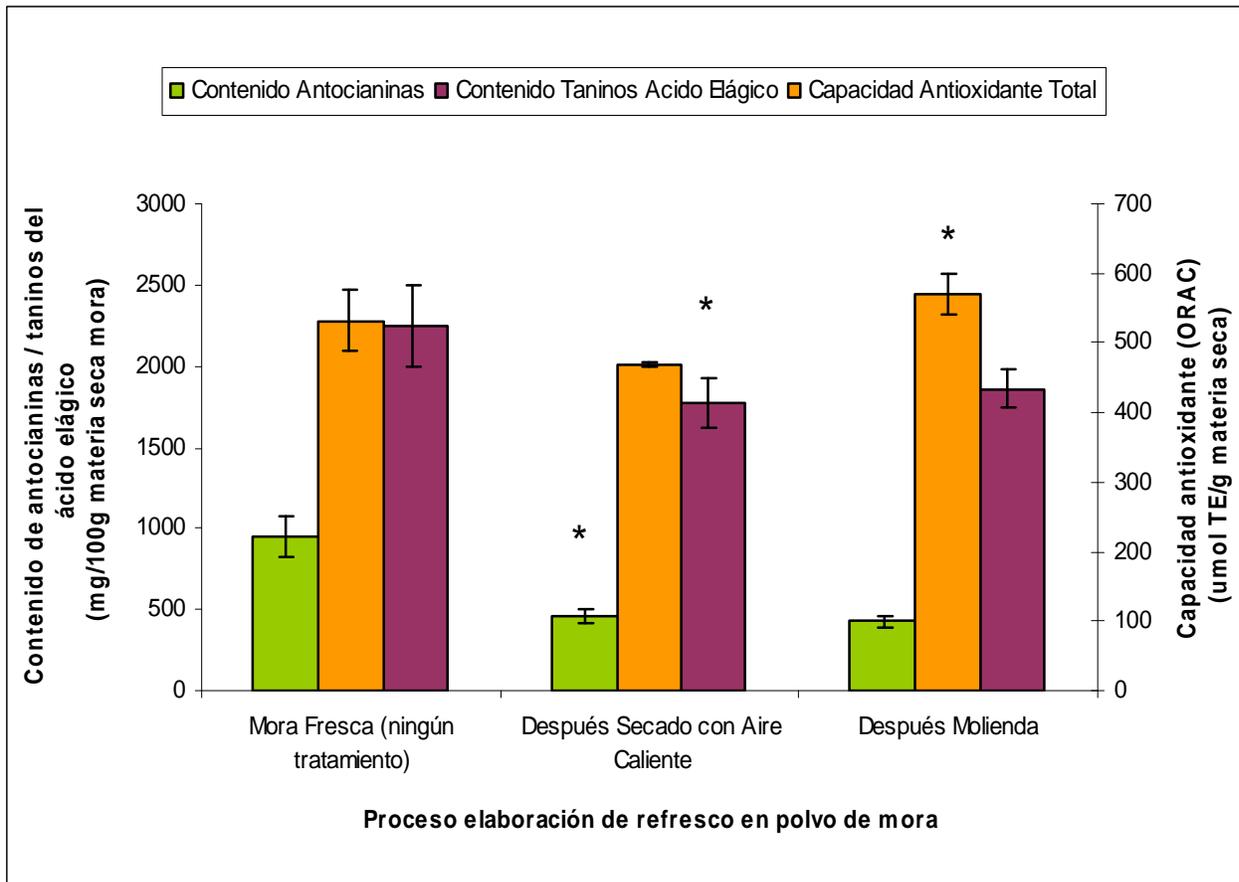
Como se ha discutido a lo largo del análisis de los resultados obtenidos, el tratamiento térmico daña los tejidos e incrementa la cantidad de antocianinas durante la extracción en la etapa de prensado, sin embargo, visualmente es posible apreciar que todavía se mantienen una gran cantidad de estos componentes en la torta de prensado. Esta afirmación es apoyada por un estudio realizado por Lee *et al.* (2002), quien demostró que la torta de prensado obtenida al elaborar jugo de arándano retiene una importante cantidad de antocianinas. Este elevado contenido de antocianinas convierte a la torta de prensado en un rico recurso para la elaboración de otros productos con fines nutraceuticos o para la obtención de pigmentos naturales.

La capacidad antioxidante de la mora fresca se mantiene a pesar de la disminución del contenido de taninos del ácido elálgico, gracias a la posible formación de nuevos compuestos durante reacciones que se aceleran con el tratamiento térmico. A diferencia de lo anterior, para el caso de mora congelada, el aumento en el contenido de taninos del ácido elálgico (al comparar con el jugo de mora sin proceso de escaldado) directamente genera un aumento en la capacidad antioxidante al ser medida por el método ORAC.

## **5.2 Evaluación del efecto de los procesos de deshidratación con aire caliente, deshidratación osmótica y concentración a presión atmosférica sobre el contenido de compuestos antioxidantes de la mora.**

### **5.2.1 Elaboración de un refresco natural de mora en polvo**

A lo largo del proceso de elaboración de un refresco natural de mora en polvo, al evaluar el comportamiento de la mora en base seca después de la aplicación de diferentes operaciones en comparación con la materia prima (figura 12), es posible observar que, aunque no hay evidencia que indique que la operación de secado con aire caliente tiene un efecto significativo con respecto a la capacidad antioxidante (ORAC), provoca una disminución significativa tanto para la concentración de los taninos del ácido elálgico ( $P=0,0476$ ), compuestos que disminuyen en más del 20%, como para el contenido de antocianinas ( $P=0,0033$ ), cuya disminución es de aproximadamente un 51%.



**Figura 12.** Comportamiento de la capacidad antioxidante total medida por el método ORAC, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elágico (expresados en base seca de mora), a lo largo del proceso de elaboración de un refresco natural de mora en polvo.

\*Asteriscos en columnas del mismo color muestran diferencias significativas para una prueba t student, al comparar el valor obtenido con el inmediato anterior para una misma característica (P=0,05).

Similares resultados obtuvieron Vinson *et al.* (2005) en seis diferentes frutas: albaricoque, arándano rojo, dátiles, higos, uvas y ciruelas. Al medir la concentración de polifenoles en base seca de estas frutas deshidratadas, en comparación con la concentración en las frutas frescas, se observó que después del secado, las frutas tuvieron una pérdida promedio del 84% de los polifenoles totales como resultado del proceso, probablemente porque durante el tratamiento térmico, algunos de los polifenoles que se encuentran en la fruta fresca son destruidos o modificados.

Esta disminución en los compuestos antioxidantes se presenta durante el tratamiento térmico, dado que los compuestos pueden presentar diferentes mecanismos de comportamiento. Maillard & Berset (1995) proponen tres hipótesis para explicar la reducción en los enlaces de los ácidos fenólicos

durante el tratamiento térmico o la deshidratación a altas temperaturas: liberación de los enlaces que unen los polifenoles, degradación parcial de la lignina que puede finalizar en la liberación de compuestos derivados de los ácidos fenólicos y la degradación de los polifenoles por tratamiento térmico. En la mayoría de los casos, el agotamiento de los antioxidantes durante el tratamiento térmico de las frutas y los vegetales se debe a que el ácido ascórbico y los polifenoles se consumen como reactivos de la reacción de Maillard.

Otros autores han demostrado que en la degradación de los distintos compuestos antioxidantes se pueden ver involucrados otros mecanismos como: (i) la oxidación de los grupos sulfidrilos de las proteínas (ii) el desarrollo de la oxidación lipídica, que es la responsable de la formación de los radicales (por ejemplo: radical peróxido), favoreciendo una reacción o la otra la composición del alimento (Tong *et al.*, 2000). Debe de considerarse al mismo tiempo que un alto número de radicales puede formarse durante las etapas tempranas de la reacción de Maillard, justo antes del rearrreglo de Amadori (Hofman *et al.*, 1999). Previamente se ha sugerido que estos radicales formados durante la reacción de Maillard pueden contribuir a cambios en las propiedades antioxidantes en algunos alimentos como es el caso del puré de tomate o de la pasta deshidratada de esa fruta (Anese *et al.*, 1999).

En otro estudio realizado por Larrauri *et al.* (1997) se definió que los polifenoles extraíbles y los taninos condensados (proantocianidinas) no presentan un cambio significativo durante el proceso de secado con aire caliente de cáscara de uva roja a una temperatura de deshidratación de 60 °C. A diferencia del resultado anterior, en este mismo estudio, cuando se lleva a cabo el mismo proceso de secado a una temperatura de 100 °C se da una disminución significativa de los polifenoles extraíbles si se compara con la fruta fresca y la fruta deshidratada a 60 °C, aumentando la pérdida conforme aumenta la temperatura de secado. Por otra parte, los taninos condensados presentan un comportamiento un poco diferente, ya que no se presenta diferencia entre utilizar una temperatura de secado de 100 °C o de 60 °C; pero, al aumentar la temperatura a 140 °C se presenta una disminución significativa de estos compuestos (Larrauri *et al.*, 1997). El resultado anterior sugiere que los polifenoles son más sensibles al tratamiento térmico que los taninos condensados.

Esta similitud entre el comportamiento de la mora con otras frutas como albaricoque, arándano rojo, dátiles, higos, uvas y ciruelas, pero completamente diferente al de la uva se debe, según Nicoli *et al.* (1999), a que no todos los antioxidantes presentan la misma resistencia al tratamiento térmico. Aunque la mayoría de los compuestos son inestables, el ejemplo que más se ha estudiado es el ácido

ascórbico, el cual se degrada como consecuencia del escaldado, la cocción, la pasteurización, la esterilización, la deshidratación y la refrigeración. Algunas excepciones son el licopeno y el  $\beta$ -caroteno, ya que soportan tratamientos térmicos intensos o prolongados como la esterilización o la cocción.

Estas características hacen que no todas las frutas tengan un mismo comportamiento ante un tratamiento, dependiendo de la clase de compuestos antioxidantes en la muestra y la resistencia que presenten. Además, de acuerdo con lo indicado anteriormente, el comportamiento también depende de la relación tiempo/temperatura que se utiliza para llevar a cabo la deshidratación de las diferentes frutas, donde una baja temperatura pocas veces afecta los antioxidantes, mientras que temperaturas superiores disminuyen su concentración abruptamente en la mayoría de ocasiones.

Esta diferencia ha sido muy estudiada en el caso de alimentos como la leche, ya que cuando la misma se somete al proceso de pasteurización, presenta tanto actividad prooxidante como antioxidante a las distintas temperaturas por diferentes lapsos de tiempo, generando diferencias en el potencial REDOX del alimento. Según Calligaris *et al.* (2004), muestras de leche calentadas a 120 °C presentan un incremento en la capacidad antioxidante, contrastando con las muestras calentadas a 80 y 90 °C, las cuales muestran una ligera reducción durante las primeras etapas del calentamiento. Para algunos autores, el aumento de las propiedades antioxidantes durante etapas avanzadas del tratamiento térmico puede ser atribuido a la formación de los productos de la reacción de Maillard cuyas propiedades antioxidantes ya se encuentran bien documentadas (Bressa *et al.*, 1996; Nicoli *et al.*, 1997).

Es precisamente este efecto anterior la mejor explicación a lo sucedido durante el proceso de deshidratación del presente estudio, ya que aunque los antioxidantes naturales que se encuentran en el alimento disminuyen su concentración, el valor de la capacidad antioxidante se mantiene a lo largo del proceso gracias a la formación de compuestos durante las etapas tardías de la reacción de Maillard, los cuales también generan un aumento de los colores pardos, o la creación de nuevas formas antioxidantes como es la obtención de antocianinas poliméricas a partir de las monoméricas (Hager *et al.*, 2008).

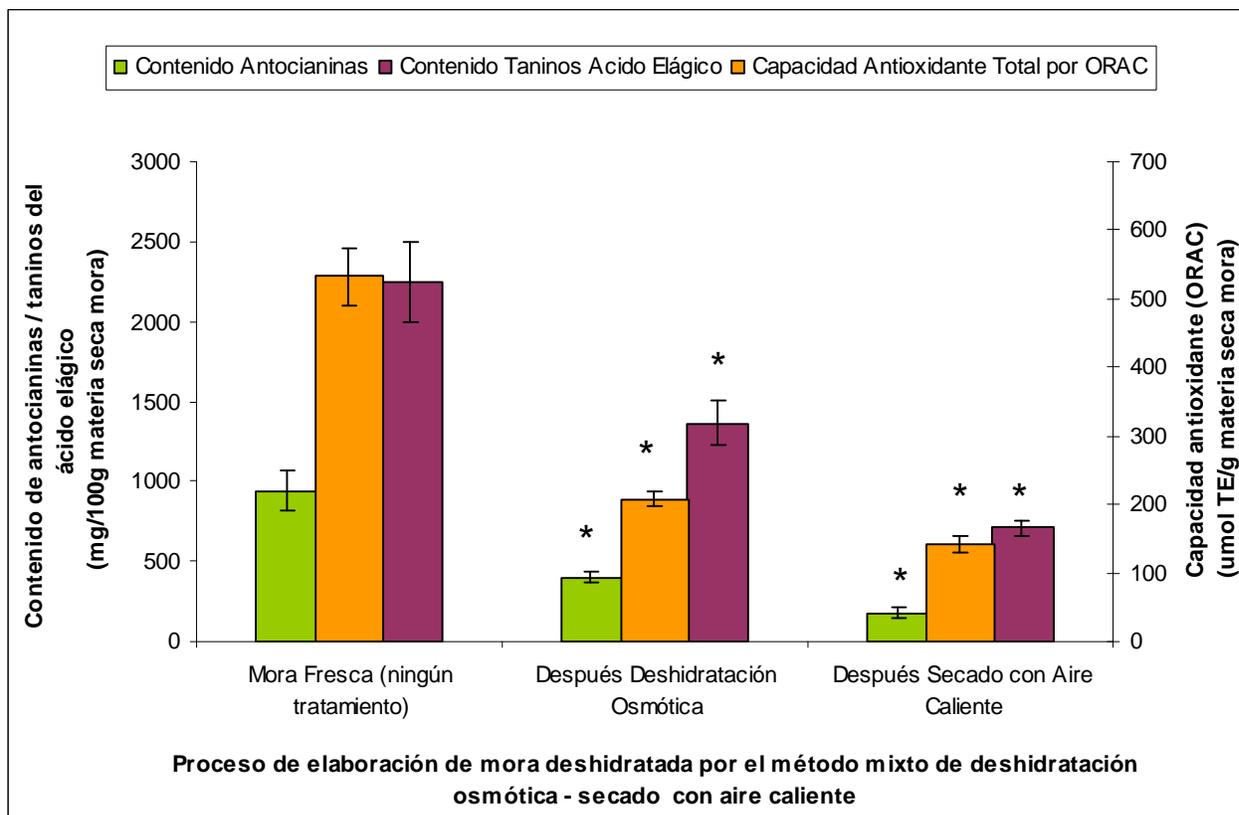
En cuanto a la operación de molienda, la misma no presenta ningún efecto significativo sobre el contenido de antocianinas o taninos del ácido elálgico, pero genera un cambio significativo en la capacidad antioxidante ( $P=0,0040$ ), con un aumento de aproximadamente un 22%. Este

comportamiento se debe probablemente a la mayor exposición de los compuestos que se encuentran en las semillas por el rompimiento de las mismas, sitio de la fruta donde se albergan gran cantidad de compuestos antioxidantes (Guo *et al.*, 2003). Este rompimiento facilita la extracción de los compuestos generados durante el tratamiento térmico, y de los que originalmente poseía la muestra pero no eran fácilmente extraíbles.

### 5.2.2 Elaboración de una mora deshidratada por el método mixto deshidratación osmótica-secado aire caliente.

En el proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto (figura 13), ambos procesos de deshidratación (deshidratación osmótica y con aire caliente) producen una disminución significativa en el contenido de antocianinas ( $P=0,0021$  y  $P=0,0011$  respectivamente), taninos del ácido eláxico ( $P=0,0059$  y  $P=0,0017$  respectivamente) y del valor obtenido de ORAC ( $P=0,0002$  y  $P=0,0027$ ), al evaluar los valores en base seca de mora corregidos por el contenido de azúcar agregado a la muestra durante la deshidratación osmótica.

Lohachoopol *et al.* (2004) encontraron para arándano que el contenido de antocianinas, tanto en la muestra deshidratada sin pretratamiento como en la que tuvo pretratamiento osmótico, es menor en comparación con la fruta fresca. El porcentaje de pérdida en el arándano deshidratado sin pretratamiento es de un 41%, mientras que la muestra pre-tratada por deshidratación osmótica presenta una pérdida del 49%. Sin embargo, estos porcentajes no muestran una diferencia significativa para nuestro estudio y en este caso el pretratamiento no genera cambio alguno. A diferencia de la situación anterior, en la mora el pre-tratamiento presenta diferencia y causa una disminución del 61% de las antocianinas que se encuentran en la fruta fresca, contra una pérdida de aproximadamente el 12% al secar la fruta sin pretratamiento osmótico.



**Figura 13.** Comportamiento de la capacidad antioxidante total medida por el método ORAC, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elálgico (expresados en base seca de mora), a lo largo del proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótica-aire caliente.

\*Asteriscos en columnas del mismo color muestran diferencias significativas para una prueba t student, al comparar el valor obtenido con el inmediato anterior para una misma característica (P=0,05).

La pérdida generada por la operación de deshidratación osmótica puede ser afectada por varios factores: 1) el tiempo que la fruta pasa en remojo, 2) el proceso de agitación, 3) el tratamiento térmico (relación tiempo/temperatura) y 4) el efecto de inmersión de la fruta en una solución azucarada en presencia de calor. Sapers & Phillips (1985), encontraron que el proceso de remojo y agitación puede dañar la cutícula de la baya y romper la cáscara de la misma, generando la pérdida de algunos componentes durante la deshidratación osmótica, principalmente las antocianinas.

La deshidratación de la fruta en presencia de azúcar aumenta la probabilidad de que se lleve a cabo la reacción de Maillard, efecto causado por ser la glucosa y fructosa reactantes de la reacción anterior (Belitz & Grosch, 1997). Los azúcares en presencia de los aminoácidos con la aplicación de calor

dan comienzo a la reacción de pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard, la cual en las reacciones tempranas da como resultado productos con actividad prooxidante que pueden disminuir el contenido de los compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante total de un producto. Aparte de este fenómeno, la polimerización oxidativa de compuestos fenólicos (taninos) también da como resultado sustancias precursoras de coloraciones pardas en los alimentos y la disminución de estos compuestos que cuentan con una elevada capacidad antioxidante. Esta reacción se intensifica con la temperatura y humedad del ambiente (Ananías, 2000).

A pesar del resultado obtenido, en otro estudio realizado por Hager *et al.* (2008) donde se compara la mora enlatada en sirope con la mora enlatada en agua, la disminución en los valores de ORAC que sufrieron las muestras con el tratamiento térmico no fue significativa. Este fenómeno se puede explicar considerando la actividad antioxidante de las antocianinas poliméricas y los productos obtenidos de las reacciones tardías de la reacción de Maillard, suponiendo que estos compuestos compensan la pérdida de las antocianinas monoméricas debido al tratamiento térmico (Hager *et al.*, 2008). En el caso de la deshidratación osmótica de mora, la disminución de antocianinas y polifenoles, o la creación de nuevas sustancias prooxidantes (intermedios de la reacción de Maillard) supera la generación de antocianinas poliméricas o algunos otros productos antioxidantes durante el tratamiento térmico, generando una disminución importante del valor de la capacidad antioxidante.

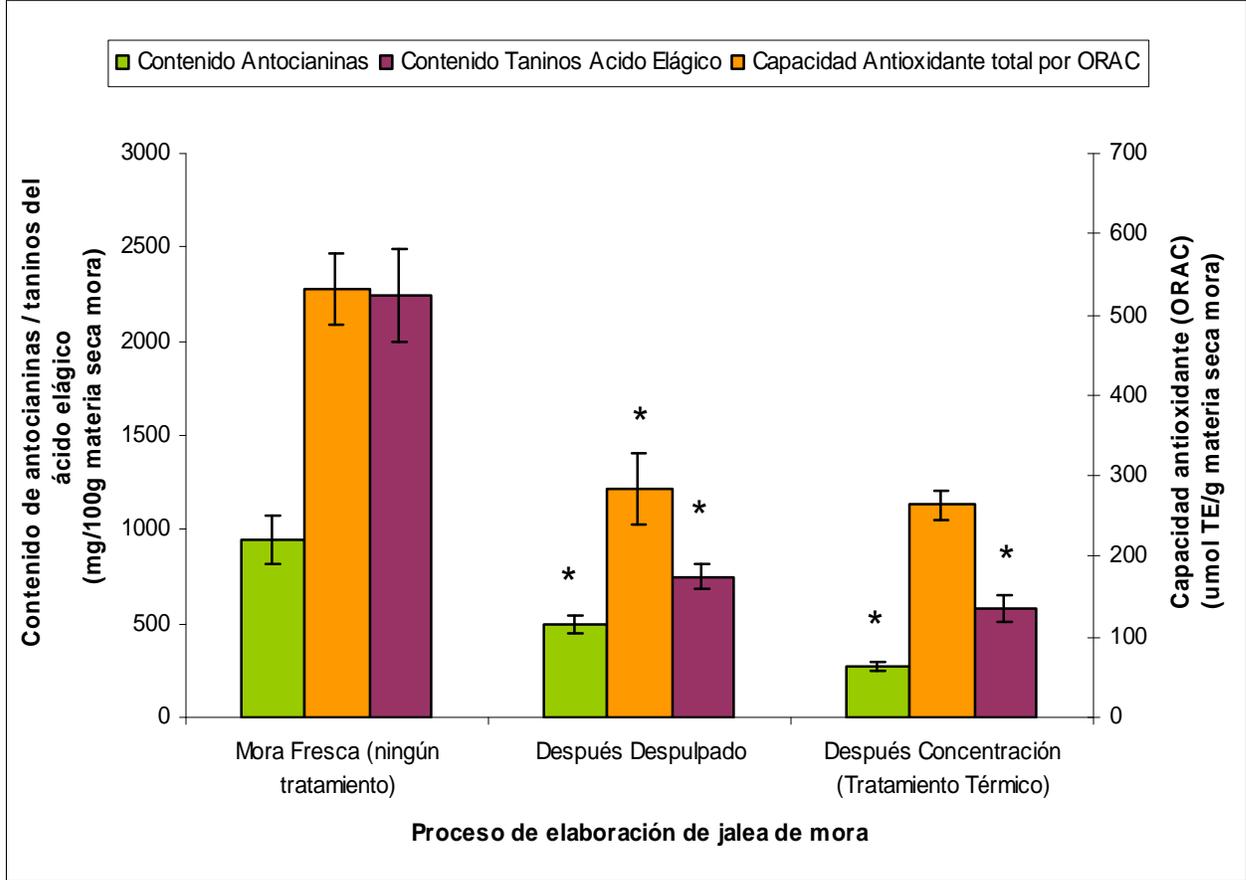
Con el fin de disminuir la pérdida de compuestos antioxidantes que se generan durante la deshidratación osmótica, se utilizan varias técnicas para incrementar la tasa a la cual se lleva a cabo la liberación de agua. La tasa de ósmosis se incrementa principalmente con el aumento de la temperatura, pero a una temperatura muy elevada da inicio el pardeamiento y el deterioro del sabor. Algunos pretratamientos como la exposición al dióxido de sulfuro, el escaldado y la congelación mejoran la permeabilidad del tejido y agilizan el proceso, sin embargo, los resultados obtenidos indican que afectan la concentración de las antocianinas (Lohachoompol *et al.*, 2007). Además, estos pretratamientos favorecen la ganancia de sólidos en comparación con la pérdida de humedad, debido al incremento de la permeabilidad y el decrecimiento de la selectividad de las células. Por ejemplo, Pointing (1973) encontró que la congelación como pretratamiento antes de la deshidratación osmótica da como resultado una ósmosis pobre, lo cual es similar al efecto de escaldado. Por estos posibles efectos, a pesar del resultado obtenido con los procesos de escaldado y congelación previo a la elaboración de jugo prensado de mora, no es recomendable su aplicación en la elaboración de productos que serán deshidratados osmóticamente.

En cuanto al resultado del secado con aire caliente, se da una disminución significativa de un 56% en el contenido de antocianinas ( $P=0,0011$ ), de un 48% en la cantidad de taninos del ácido elálgico ( $P=0,0017$ ) y de un 32% en el valor de ORAC ( $P=0,0027$ ). Según lo mencionado anteriormente, aparte del efecto del tratamiento térmico sobre las antocianinas y los polifenoles, se puede presentar una disminución mayor por el daño causado por la agitación y el tiempo de remojo sobre la pared celular de las frutas. Estas prácticas permiten que luego durante el tratamiento con aire caliente se favorezca la degradación de los compuestos antioxidantes expuestos por estas operaciones, y que por lo tanto, la pérdida de estos compuestos sea mayor a la formación de compuestos resultante de la reacción de Maillard que se puede tener durante el tratamiento térmico de la fruta.

### 5.2.3 Elaboración de una mermelada de mora

En cuanto a procesos relacionados con la elaboración de mermeladas, se han reportado resultados contradictorios. En algunos casos no se reportan reducciones significativas en el contenido de compuestos fenólicos (Amakura *et al.*, 2000), mientras que otros autores han encontrado pérdidas apreciables en antocianinas (89%), polifenoles totales (73%) y capacidad antioxidante (65%) para frutas como cereza, ciruela y frambuesa (Kim & Padilla-Zakour, 2004).

En la elaboración de mermelada de mora los resultados obtenidos (figura 14) muestran que la operación de despulpado produce una disminución significativa en el contenido de antocianinas ( $P=0,0045$ ), el contenido de taninos del ácido elálgico ( $P=0,0005$ ) y el valor de ORAC ( $P=0,0022$ ) al realizar un análisis en base seca de mora. Igualmente, el tratamiento térmico aplicado durante la concentración tiene un efecto negativo tanto sobre el contenido de antocianinas como de taninos del ácido elálgico ( $P=0,0023$  y  $P=0,0426$  respectivamente), sin embargo, no presenta efecto significativo sobre el valor de la capacidad antioxidante determinada por el método de ORAC, al analizar los valores en materia seca de mora.



**Figura 14.** Comportamiento de la capacidad antioxidante total medida por el método ORAC, el contenido de antocianinas y el contenido de taninos del ácido elálgico (expresados en base seca de mora), a lo largo del proceso de elaboración de mermelada de mora.

\*Asteriscos en columnas del mismo color muestran diferencias significativas para una prueba t student, al comparar el valor obtenido con el inmediato anterior para una misma característica (P=0,05).

### 5.3 Evaluación del efecto de las operaciones de extracción sobre la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, el contenido de compuestos del ácido elálgico y el contenido de antocianinas.

Operaciones como el pelado, el cortado y en su mayoría aquellas que implican una reducción de tamaño, normalmente inducen una rápida reducción enzimática de los diferentes antioxidantes naturales como el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos (Nicoli *et al.*, 1999). Dentro de estas operaciones se encuentra el despulpado, en donde se reduce la cantidad de antioxidantes debido a la eliminación de la cáscara y las semillas, las cuales contienen una elevada cantidad de antioxidantes, en algunos casos mayor a la cantidad de compuestos antioxidantes en la pulpa (Guo *et al.*, 2003).

Además, esta operación puede producir pérdidas por la cantidad de oxígeno introducido al producto, favoreciendo la acción de la PPO y la disminución de los antioxidantes que logran permanecer en la pulpa de acuerdo a los mecanismos explicados anteriormente.

Si se analizan las operaciones de extracción aplicadas, por un lado el despulpado aplicado previo a la elaboración de mermelada y por otro el prensado para la elaboración de jugos (cuadro 7), es posible observar que en ambos casos se presentan cambios significativos (al comparar las medias mediante una prueba de t-student, con un nivel de confianza del 95%) en los valores de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC ( $P=0,0022$  y  $P=0,0149$  respectivamente), el contenido de antocianinas ( $P=0,0045$  y  $P=0,0273$ ) y de taninos del ácido elágico ( $P=0,0063$  y  $P=0,0003$ ), si se comparan en base seca los valores obtenidos en los productos terminados con respecto a las respectivas materias primas. Este efecto es probablemente causado por la retención de partes importantes de la fruta que contienen compuestos antioxidantes (semillas y cáscara) durante las operaciones de extracción que afectan además el cálculo de la materia seca, exhibiendo la pulpa una mayor cantidad de materia seca en comparación con el jugo prensado.

Cuadro 7. Comparación en base seca de mora del efecto de la operación de prensado y del despulpado sobre la conservación de compuestos antioxidantes.

| Variable   | Elaboración de mermelada |                                |                        | Elaboración de jugo |                                  |                        |
|--|--------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|
|  | Mora fresca              | Mora despulpada                | Porcentaje pérdida (%) | Mora fresca         | Mora prensada                    | Porcentaje pérdida (%) |
| Valor de ORAC ( $\mu\text{mol TE/g}$ materia seca mora)                | $532 \pm 48$             | <b><math>283 \pm 50</math></b> | 47                     | $519 \pm 61$        | <b><math>378 \pm 28</math></b>   | 27                     |
| Antocianinas ( $\text{mg}/100\text{g}$ materia seca mora)              | $944 \pm 144$            | <b><math>492 \pm 54</math></b> | 48                     | $792 \pm 52$        | <b><math>1228 \pm 245</math></b> | Aumento 55             |
| Taninos del ácido elágico ( $\text{mg}/100\text{g}$ materia seca mora) | $2248 \pm 280$           | <b><math>749 \pm 75</math></b> | 67                     | $2138 \pm 268$      | <b><math>1385 \pm 86</math></b>  | 35                     |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio  $\pm$  el intervalo de confianza ( $n=3$ ). Valores en negrita representan una diferencia significativa con respecto al valor mostrado en la columna inmediata anterior para una prueba t-student ( $P=0,05$ ).

Durante la operación de prensado se observa un aumento del 55% en el contenido de antocianinas (cuadro 7) con relación a la materia prima. Este resultado se debe a las diferencias de humedad entre la mora fresca y el jugo de mora, ya que al analizar los resultados obtenidos en base fresca para las diferentes variables (cuadro 8), se observa que la mora fresca contiene  $188 \text{ mg}/100 \text{ g}$  en base fresca

de mora y el jugo prensado 113 mg/100 g, por lo que en realidad se produce una reducción, pero debido al cambio de humedad (de 76 a 90%), el resultado en base seca se percibe como un aumento.

Cuadro 8. Comparación en producto fresco del efecto de la operación de prensado y del despulpado sobre la conservación de compuestos antioxidantes.

| Variable  | Elaboración de mermelada |                 |                        | Elaboración de jugo |                 |                        |
|---|--------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------------|
|   | Mora fresca              | Mora despulpada | Porcentaje pérdida (%) | Mora fresca         | Mora prensada   | Porcentaje pérdida (%) |
| Valor ORAC (umoles TE/g producto fresco)            | 119 ± 5                  | <b>59 ± 6</b>   | 50                     | 116 ± 8             | <b>35 ± 2</b>   | 70                     |
| Antocianinas (mg/100g producto fresco)              | 211 ± 29                 | <b>103 ± 3</b>  | 51                     | 188 ± 22            | <b>113 ± 23</b> | 40                     |
| Taninos del ácido elágico (mg/100g producto fresco) | 504 ± 68                 | <b>157 ± 2</b>  | 69                     | 507 ± 87            | <b>127 ± 7</b>  | 75                     |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio ± el intervalo de confianza (n=3). Valores en negrita representan una diferencia significativa con respecto al valor mostrado en la columna inmediata anterior para una prueba t-student (P=0,05).

En un estudio sobre la evolución de la concentración de antocianinas durante la elaboración de mermelada de frambuesa se indica que entre el 17 y el 41% de estos compuestos se perdieron en el proceso al aplicar calor (Kim & Padilla-Zakour, 2004). El tratamiento térmico en sí, al igual que en los casos mencionados anteriormente, puede tener distintos efectos en los compuestos antioxidantes de la fruta y en el valor de capacidad antioxidante. Normalmente, en la mayoría de estudios se presenta una disminución de las antocianinas monoméricas, y en el caso de la mora también de los taninos del ácido elágico, que se encuentran naturalmente en la fruta, como resultado de la acción del calor. Esta pérdida de componentes en la fruta se ve compensada por la formación de antocianinas poliméricas y de los productos de la reacción de Maillard que tienen una capacidad antioxidante demostrada anteriormente en otros estudios (Hager *et al.*, 2008), dando como resultado, que no se vea afectada la capacidad antioxidante del producto final en comparación con la pulpa de mora.

Algunos métodos utilizados que pueden disminuir el efecto negativo del proceso es el uso de una menor presión para llevar a cabo el tratamiento térmico. De este modo, el agua de los alimentos sensibles al calor puede ser evaporada a menores temperaturas o a una mayor velocidad, comparado con los productos concentrados a presión atmosférica (Potter y Hotchkiss, 1998).

El azúcar, según Wrolstad *et al.*, (1990) tiene un efecto protector sobre los pigmentos de las antocianinas durante la congelación y la descongelación. Esta protección se mantiene durante la preparación de la muestra, la extracción y el análisis. Además, también tiene un efecto protector contra el pardeamiento y el desarrollo de color polimérico. La degradación puede ser de carácter enzimática o no enzimática y una explicación para el efecto positivo de la sacarosa puede ser que logra la inhibición de la PPO, y que presenta un efecto estérico, sirviendo como una interferencia a las reacciones de condensación que pueden contribuir con la polimerización de los pigmentos como antocianinas y polifenoles, dando lugar al pardeamiento de las frutas.

A pesar de este resultado, en el presente estudio el azúcar no produjo efecto protector apreciable, presentándose una disminución tanto de antocianinas como de taninos del ácido elágico, que puede ser causado por la condensación de estos compuestos, la presencia de subproductos de la reacción de Maillard con actividad prooxidante o por la degradación de los compuestos por calor.

#### **5.4 Evaluación del contenido de compuestos antioxidantes de tres productos deshidratados con el fin de determinar el mejor producto para el consumo humano.**

Según los resultados obtenidos al realizar una prueba de contrastes entre los productos finales (cuadro 9), se puede afirmar que las muestras que recibieron tratamiento térmico son significativamente diferentes a la mora fresca sin ningún tratamiento en su concentración de taninos del ácido elágico ( $P=1,6 \times 10^{-06}$ ), antocianinas ( $P=6,3 \times 10^{-07}$ ) y en el valor de ORAC ( $P=4,0 \times 10^{-06}$ ), siendo los valores obtenidos para la mora fresca mayores en todos los casos evaluados.

Cuadro 9. Valores de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elágico en cuatro productos distintos a base de mora.

| Producto   | Valor de ORAC<br>( $\mu\text{mol TE/g}$ materia<br>seca mora) | Antocianinas<br>( $\text{mg}/100\text{g}$ materia<br>seca mora) | Taninos del ácido<br>elágico<br>( $\text{mg}/100\text{g}$ materia<br>seca mora) |
|--|---|---|---|
| Mora fresca (sin tratamiento térmico)                  | 532 $\pm$ 48  | 944 $\pm$ 144   | 2248 $\pm$ 280  |
| Mora deshidratada por aire caliente                    | 469 $\pm$ 3   | 461 $\pm$ 43  | 1770 $\pm$ 178  |
| Mermelada de mora                                      | 264 $\pm$ 20  | 271 $\pm$ 32  | 579 $\pm$ 85  |
| Mora deshidratada osmóticamente y por<br>aire caliente | 141 $\pm$ 14  | 175 $\pm$ 36  | 711 $\pm$ 54  |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio  $\pm$  el intervalo de confianza ( $n=3$ ).

Este resultado coincide con el comportamiento observado en otros estudios para diferentes frutas. Un ejemplo es el resultado obtenido por Lohachoompol *et al.* (2007), en donde se afirma que tanto el secado con aire caliente, como el secado con aire sumado a un pretratamiento de deshidratación osmótica, generan una disminución en la capacidad antioxidante y el contenido de antocianinas en el arándano. Además Vinson *et al.* (2005) demostraron que el secado en seis frutas distintas de la mora, también ocasiona una disminución significativa en el contenido de antocianinas y polifenoles si se compara con la fruta fresca.

En cuanto al tratamiento térmico aplicado para la producción de mermeladas y mermeladas, los estudios presentan resultados diferentes, mostrándose en su mayoría una disminución de las antocianinas en los productos (Kim & Padilla-Zakour, 2004). Aunque a su vez, Amakura *et al.* (2000) demostraron que este tratamiento térmico no tiene ningún efecto sobre los compuestos antioxidantes presentes en las bayas. La capacidad antioxidante en este último caso no se midió utilizando el método ORAC sino por el método de barrido del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), lo que puede influir en la diferencia de resultados.

A pesar de que esta prueba indica que existe diferencia entre aplicar el tratamiento térmico o no a la mora, por el resultado obtenido en los objetivos anteriores se puede afirmar que esto se debe a la pérdida que se tiene al generar productos deshidratados osmóticamente o por el tratamiento térmico necesario para realizar la mermelada. Esto porque el secado con aire caliente de acuerdo al análisis realizado en el apartado 5.2.1 no tiene ningún efecto sobre la capacidad antioxidante de la muestra.

Entre las muestras que reciben un tratamiento térmico con aire caliente (mora pasa y mora en polvo) y la que recibe un tratamiento térmico en medio acuoso como es el caso de la mermelada, se observó que existe diferencia entre los tratamientos para el contenido de taninos del ácido elágico ( $P=0,0001$ ) y el valor de ORAC ( $P=0,0016$ ). Para el caso del contenido de antocianinas no se encontró ninguna diferencia significativa entre los promedios comparados. Este resultado supone que la elaboración de mermelada causa una disminución mayor en las características evaluadas si se compara con los otros dos tratamientos de secado. Este resultado de acuerdo con lo explicado anteriormente, se debe a la pérdida causada durante el proceso por operaciones como el despulpado y un tratamiento térmico a temperaturas elevadas en presencia de azúcar, favoreciendo reacciones de degradación de compuestos antioxidantes y la formación de compuestos con propiedades prooxidantes.

En cuanto a la diferencia obtenida entre la aplicación de un tratamiento previo de deshidratación osmótica al secado con aire caliente, la muestra con tratamiento previo presenta diferencias significativas en el contenido de antocianinas ( $P=0,0019$ ), taninos del ácido elágico ( $P=9,8 \times 10^{-06}$ ) y el valor de ORAC ( $P=6,8 \times 10^{-08}$ ) con respecto a la deshidratada sin tratamiento previo, evidenciando el efecto explicado anteriormente de la presencia de azúcar durante la operación de deshidratación sobre la pérdida de compuestos antioxidantes en la mora.

Si se realiza un segundo contraste, al agrupar los productos obtenidos cuando se agrega azúcar (mora pasa y mermelada) contra el secado con aire caliente, se observa que la presencia extra de azúcar durante el tratamiento térmico tiene un efecto significativo sobre el valor de ORAC ( $P=7,3 \times 10^{-08}$ ), el contenido de antocianinas ( $P=0,0028$ ) y el contenido de taninos del ácido elágico ( $P=2,2 \times 10^{-06}$ ). Se obtuvo como resultado que el secado con aire caliente preserva de mejor forma los compuestos antioxidantes que los procesos donde se añade azúcar extra durante la deshidratación, reforzando lo analizado en el punto 5.2.

La influencia de la sacarosa sobre las antocianinas se presenta con resultados contradictorios en la literatura, desde no tener influencia hasta tener efectos estabilizantes o desestabilizantes como es el caso de este estudio. Duhard *et al.* (1997), por ejemplo, muestran que no se encuentra diferencia en la estabilidad de las antocianinas al tratamiento térmico, si se comparan modelos para bebidas azucaradas y no azucaradas creados con colorantes comerciales de antocianinas. Calvi & Francis (1978) reportan estabilidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente de las antocianinas de la uva variedad Concord en un modelo de jugo de fruta con la adición ya sea de un 15% de glucosa o de sacarosa. Sin embargo, con el tratamiento térmico (85-95 °C) la adición de un 15% de sacarosa reduce la estabilidad, en contraste con la adición de un 15% de glucosa, que aumenta la estabilidad de los compuestos.

A su vez, si se comparan los valores obtenidos para la mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente y la mermelada de mora se demuestra que entre estos dos productos no se encontró diferencia significativa en el contenido de antocianinas ni en el de taninos del ácido elágico ( $P=0,1301$  y  $P=0,2943$  respectivamente). Sin embargo, se presenta una diferencia significativa en el valor de ORAC ( $P=0,0007$ ), dando el proceso de elaboración de mermelada un valor mayor que en la elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente, donde se expone la fruta a dos procesos de secado continuos y de larga duración. Este resultado, de acuerdo con la relación tiempo/temperatura de cada uno de los procesos, evidencia que durante la concentración a

presión atmosférica se da la formación de nuevos compuestos, lo que permite que a pesar de la disminución sufrida de los compuestos originales, se tenga una mayor capacidad antioxidante en comparación con un proceso de deshidratación mixta.

El análisis del contenido de los compuestos y capacidad antioxidante expresados en base fresca, permiten informar al consumidor sobre las características de los productos elaborados y sobre el beneficio que se aportaría según el consumo de porciones específicas de estos alimentos (cuadro 10). Desde el punto de vista de compuestos antioxidantes, la mejor opción corresponde al consumo de fruta fresca o de mora pasa, ya que las tres variables analizadas presentan valores muy similares para ambos productos. Esta conclusión se basa en el hecho de que aunque la mora en polvo tenga mayores valores, por la eliminación de gran cantidad de agua, el uso normal por parte del consumidor implica la dilución de una porción del producto (100 g) en al menos 5 L de agua, generando una disminución de sus valores. Finalmente, el consumo de mermelada de mora aporta la menor cantidad de compuestos antioxidantes al consumidor.

Cuadro 10. Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en cuatro productos distintos a base de mora en producto fresco.\*

| Producto   | Valor ORAC<br>( $\mu\text{mol TE/g}$<br>producto fresco) | Antocianinas<br>( $\text{mg/100g}$<br>producto fresco) | Taninos del ácido<br>elálgico<br>( $\text{mg/100g}$ producto<br>fresco) |
|--|--|--|---|
| Mora fresca (sin tratamiento térmico)                  | $119 \pm 5$  | $211 \pm 29$   | $504 \pm 68$  |
| Mora seca aire caliente                                | $527 \pm 2$  | $399 \pm 43$   | $1721 \pm 149$  |
| Mermelada de mora                                      | $32 \pm 2$   | $33 \pm 2$   | $71 \pm 6$  |
| Mora deshidratada osmóticamente y por<br>aire caliente | $136 \pm 11$   | $168 \pm 29$   | $683 \pm 28$  |

\* Los resultados mostrados son el promedio  $\pm$  el intervalo de confianza (n=3).

Esta recomendación se basa únicamente en el valor de ORAC, así como en el contenido de antocianinas y taninos del ácido elálgico, ya que de tomar en cuenta algunas otras variables como el contenido de azúcares y la cantidad de calorías contenidas por el producto, el orden recomendado de consumo podría variar al mostrado anteriormente. Sin embargo, debido al valor elevado de capacidad antioxidante que posee la mora, aún después de ser procesada cuenta con un valor de ORAC mayor que si se compara con otras frutas frescas como la fresa y la frambuesa (20,6 y 21,4  $\mu\text{mol TE / g}$  producto fresco respectivamente), por lo que aún así el consumo de esta fruta procesada podría aportar beneficios al organismo (Kalt *et al.*, 1999).

## 5.5 Evaluación del efecto del tiempo de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante de los productos deshidratados finales.

Una vez que se obtienen productos que poseen una cantidad importante de compuestos antioxidantes, se debe procurar que éstos se conserven durante el almacenamiento. El mercado demanda productos naturales como jugos y pulpas libres de aditivos, lo cual obliga a los científicos a dar una respuesta pronta sobre el deterioro que sufren los alimentos durante el proceso y el almacenamiento (Ochoa *et al.*, 1999). Para el estudio de la estabilidad de los compuestos antioxidantes en los productos deshidratados, se mantuvieron los tres alimentos elaborados a temperatura ambiente durante tres meses, para observar sus variaciones (cuadro 11).

Cuadro 11. Valor de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC, contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico en tres productos distintos a base de mora durante el almacenamiento a temperatura ambiente.\*

| Producto  | Tiempo almacenamiento (meses) | Valor ORAC ( $\mu\text{mol TE/g}$ materia seca mora) | Antocianinas ( $\text{mg/100g}$ materia seca mora) | Taninos del ácido elálgico ( $\text{mg/100g}$ materia seca mora) |
|---|-------------------------------|--|--|--|
| Refresco natural de mora en polvo                   | 0                             | $571 \pm 33$   | $432 \pm 39$                                       | $1862 \pm 132$   |
|   | 2                             | $442 \pm 47$   | $430 \pm 50$                                       | $1759 \pm 118$   |
|   | 3                             | $451 \pm 45$   | $422 \pm 44$                                       | $1647 \pm 110$   |
| Mora deshidratada osmóticamente y por aire caliente | 0                             | $141 \pm 14$   | $175 \pm 36$                                       | $711 \pm 54$   |
|   | 2                             | $146 \pm 30$   | $151 \pm 11$                                       | $740 \pm 74$   |
|   | 3                             | $146 \pm 10$   | $141 \pm 9$  | $668 \pm 107$  |
| Mermelada de mora                                   | 0                             | $264 \pm 20$   | $271 \pm 32$                                       | $579 \pm 85$   |
|   | 2                             | $146 \pm 17$   | $260 \pm 35$                                       | $527 \pm 94$   |
|   | 3                             | $191 \pm 34$   | $226 \pm 45$                                       | $654 \pm 152$  |

\* Los resultados mostrados corresponden al promedio en base seca  $\pm$  el intervalo de confianza ( $n=3$ ).

A partir del análisis factorial realizado, el valor de ORAC presenta comportamientos diferentes de acuerdo con el producto en el que se evalúa su valor ( $P=0,0015$ ). Se observa que la pérdida es mayor durante el almacenamiento en la mermelada de mora que en la mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente o en el refresco de mora en polvo. A diferencia de lo anterior, no se presentan cambios significativos durante el almacenamiento con respecto al contenido de antocianinas y de taninos del ácido elálgico, en ninguno de los productos elaborados.

Este resultado no concuerda con lo encontrado por Hager *et al.* (2008) para el jugo clarificado y no clarificado de arándano, el puré de arándano y los arándanos enlatados en agua y en sirope, en donde después de seis meses de almacenamiento su valor de ORAC no se ve disminuido

significativamente. Este comportamiento, según los autores, se debe a la capacidad antioxidante de los polímeros formados durante el almacenamiento, compensando la pérdida de antocianinas monoméricas y minimizando los cambios que se presentan.

Esta diferencia entre los distintos productos puede generarse por el tiempo en el cual se llevó a cabo al estudio, ya que para el caso de arándanos enlatados en una solución azucarada se ve una disminución en el contenido de antocianinas monoméricas durante los primeros tres meses; sin embargo, se observa un aumento al final del estudio para finalmente no presentar ninguna variación al comparar la muestra inicial con la muestra final, después de seis meses de almacenamiento (Hager *et al.*, 2008).

En otro estudio, donde se mantuvieron ciruelas pasas durante un año de almacenamiento a una temperatura de 20 °C, se observó a los cuatro meses una disminución significativa en el contenido de antocianinas y a los ocho meses, una pérdida total. Este comportamiento se explicó por el proceso de oxidación de los compuestos, ya que aunque los flavonoides no son sustratos de la PPO (porque ésta es incapaz de actuar sobre los glucósidos directamente), igualmente se degradan por la combinación de diferentes reacciones de oxidación (Del Caro *et al.*, 2004).

Según otro estudio, el procesamiento y el almacenamiento de la mermelada de frambuesa produce un incremento en el contenido de ácido elágico, lo cual se encuentra asociado con el rompimiento de los taninos del mismo ácido, causado por el tratamiento térmico y el almacenamiento (Zafrilla *et al.*, 2001). En contraste con este comportamiento, en este estudio no se distingue ninguna reducción significativa en el contenido de estos compuestos.

## VI. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- § Durante la elaboración de jugo de mora, se obtiene un rendimiento de prensado significativamente mayor si se utiliza mora previamente congelada a la cual se le aplica un escaldado antes del prensado. Este procedimiento también logra un contenido significativamente mayor de compuestos antioxidantes y el mayor valor de ORAC al comparar distintos procesos para la obtención de jugos prensados de mora, para un nivel de significancia de 0,05.
- § En el caso de que posteriormente se deseen aplicar operaciones como la microfiltración tangencial, se debe tomar en cuenta que al partir de mora congelada sin escaldar se presentan los niveles más bajos de turbidez y de oxígeno disuelto, al comparar con la mora congelada previamente escaldada o con el uso de materia prima fresca.
- § El escaldado y la congelación como pre-tratamientos no presentaron ningún efecto significativo sobre el contenido de antocianinas de la mora, para un nivel de significancia de 0,05.
- § En el proceso de elaboración de un refresco natural de mora en polvo, la operación de secado con aire caliente causa una disminución significativa en el contenido de antocianinas y taninos del ácido elágico, sin causar ningún cambio en la capacidad antioxidante (ORAC) con respecto a la fruta fresca, para un nivel de significancia de 0,05.
- § La operación de molienda logra una mayor exposición de compuestos con actividad antioxidante ya que el contenido de taninos del ácido elágico y la capacidad antioxidante total aumentan significativamente, para un nivel de significancia de 0,05.
- § La deshidratación osmótica de mora causa una disminución significativa en el contenido de antocianinas, taninos del ácido elágico y del valor de ORAC para un nivel de significancia de 0,05. Además, logra una variación en la composición de la fruta que puede favorecer la pérdida de antioxidantes al aplicar un tratamiento térmico posterior como el secado con aire caliente.
- § En el proceso de elaboración de mermelada de mora, la operación de despulpado presenta efectos negativos sobre los compuestos antioxidantes y el valor de ORAC de la mora,

mientras que el tratamiento térmico preserva la capacidad antioxidante, a pesar de la pérdida de antocianinas y elagitaninos.

- § El deshidratar con aire caliente es el tratamiento térmico que menos deterioro causa a los compuestos antioxidantes de la mora, presentando un producto final con valores mayores en las diferentes variables estudiadas. A pesar de esto, por su forma de consumo, en base húmeda, el producto que suministra por porción de consumo un contenido de antioxidantes similar a la mora fresca es la mora deshidratada por el método mixto ósmosis-aire caliente.
- § El almacenamiento a temperatura ambiente de muestras deshidratadas tiene por efecto una disminución en la capacidad antioxidante total, la cual depende del producto que se encuentre en estudio. Se presentan disminuciones mayores en la elaboración de mermelada y de refresco de mora en polvo.

## **6.2 Recomendaciones**

- § Analizar el efecto de los tratamientos térmicos analizados bajo diferentes condiciones de operación tales como relación tiempo / temperatura, así como la humedad y la velocidad del aire caliente durante el secado.
- § Propiciar el uso de nuevas tecnologías en la elaboración de productos a partir de mora, con el fin de disminuir el daño realizado a los compuestos antioxidantes con los tratamientos térmicos comunes utilizados para la conservación de la fruta fresca.
- § Evaluar el efecto de la operación previa de escaldado a largo plazo, en la elaboración de algunos productos con procedimientos extensos de elaboración como el secado con aire caliente.
- § Estudiar el comportamiento de muestras durante el almacenamiento, por períodos más extensos. Esto debido a que algunos productos deshidratados ofrecen al consumidor una vida útil hasta de 12 meses.
- § Evaluar un empaque que permita la conservación de la mayor cantidad de compuestos antioxidantes en los diferentes productos elaborados a base de mora.

## VII. Referencias bibliográficas

AMAKURA, Y.; UMINO, Y.; TSUJI, S.; TONOGAI, Y. 2000. Influence of Jam Processing on the Radical Scavenging Activity and Phenolic Content in Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 6292-6297

ANANIAS, R.A. 2000. Modelisation de la Vitesse de Séchage et Discoloration du Hetre au Cours de Séchage. Tesis doctoral UHP Nancy 1, Francia.

ANESE, M.; MANZOCO, L.; NICOLI, M.; LERICI, C. 1999. Antioxidant Properties of Tomato Juice as Affected by Heating. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 79(5): 750-754.

Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1999. *Official Methods of Analysis*, 16 ed, rev 5. Maryland, USA

ARVANITTOYANNIS, I. S.; VAN HOUWELINGEN, H. 2005. Functional Foods: A Survey of Health Claims, Pros and Cons, and Current Legislation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 385-404.

AVELLO, M.; SUWALSKY, M. 2006. Radicales libres, Antioxidantes Naturales y Mecanismos de Protección. *Atenea (Concepc.)*. 494:161-172.

AVIRAM, M.; DORNFELD, L.; ROSENBLAT, M.; VOLKOVA, N.; KAPLAN, M.; COLEMAN, R.; HAYEK, T.; PRESSER, D.; FUHRMöN, B. 2000. Pomegranate Juice Consumption Reduces Oxidative Stress, Atherogenic Modifications to LDL, and Platelet Aggregation: Studies in Humans and in Atherosclerotic Apolipoprotein E-deficient Mice. *American Society for Clinical Nutrition*. 71:1062-1076.

BAKKALBASI, E.; MENTES, Ö.; ARTIK, N. 2009. Food Ellagitannins: Occurrence, Effects of Processing and Storage. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 49(3): 283-298.

BELITZ, H.; GROSCH, W. 1997. *Química de los Alimentos*. Segunda edición. Acribia. España.

BENVENUTI, S.; PELLATI, F.; MELEGARI, M.; BERTELLI, D. 2004. Polyphenols, Anthocyanins, Ascorbic Acid, and Radical Scavenging Activity of *Rubus*, *Ribes* and *Aronia*. *Journal of Food Science*. 69(3): 164-169.

BRENNAN, J.G.; BUTTERS, J.R.; COWELL, N.D.; LILLEY, A.E. 1998. *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. Acribia. Zaragoza.

BRESSA, F.; TESSON, N.; DALLA ROSA, M.; SENSIDONI, A.; TUBARO, F. SENSIDONI, A.; TUBARO, F. 1996. Antioxidant Effect of Maillard Reaction Products: Application to a Butter Cookie of a Competition Kinetics Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44(3): 692-695.

CALLIGARIS, S.; MANZOCCO, L.; ANESE, M.; NICOLI, M.C. 2004. Effect of Heat-Treatment on the Antioxidant and Pro-oxidant Activity of Milk. *International Dairy Journal*. 14: 421-427.

- CALVI, P.; FRANCIS, F. 1978. Stability of Concord Grape (*V. labrusca*) Anthocyanins in Model Systems. *Journal of Food Science*. 43: 1448–1456.
- CASTONGUAY, A.; GALI, H.U.; PERCHELLET, E.M.; GAO, X.M.; BOUKHARTA, M.; JALBERT, G.; OKUDA, T.; YOSHIDA, T.; HATANO, T.; PERCHELLET, J.P. 1997. Antitumorigenic and Antipromoting Activities of Ellagic Acid, Ellagitannins, and Oligomeric Anthocyanin, and Proanthocyanin. *International Journal of Oncology*. 10:367-373.
- CASTRO, J.J.; CERDAS, M.M. 2005. Mora (*Rubus sp*): Cultivo y Manejo Poscosecha. Ministerio de Agricultura y Ganadería UCR CNP, San José, Costa Rica. INTERNET [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/manual\\_mora\\_indice.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/manual_mora_indice.html)
- CERDAS, M.; MONTERO, M. 1992. Diagnóstico Preliminar del Manejo Postcosecha de la Mora (*Rubus sp.*) en Santa María de Dota y el Guarco. *Agronomía Costarricense*, 16(2):257-263.
- CITA. 2008. Determinación de Capacidad Antioxidante. Método ORAC con el Espectrofluorímetro Biotek, AQCITA-M037. Emisión N° 3. San José Costa Rica
- CORZO, O.; CENTENO, A. E. 2003. Superficies de Respuesta de la Transferencia de Masa durante la Deshidratación Osmótica del Melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto). *Revista de la Facultad de Farmacia*. 45(1): 54-60.
- COZZANO, S. 2007. Impacto del Proceso de Microfiltración Tangencial sobre el Valor de la Mora (*Rubus spp*) como Alimento Funcional. Tesis Maestría en Ciencia de los Alimentos. Escuela Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica.
- DE ANCOS, B.; GONZÁLEZ, E.M.; CANO, M.P. 2000. Ellagic Acid, Vitamin C, and Total Phenolic Contents and Radical Scavenging Capacity Affected by Freezing and Frozen Storage in Raspberry Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 4565-4570.
- DEL CARO, A.; PIGA, A.; PINNA, I.; FENU, P.; AGABBIO, M. 2004. Effect of Drying Conditions and Storage Period on Polyphenolic Content, Antioxidant Capacity, and Ascorbic Acid of Prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 4780-4784.
- DEUEL, C. L. 1996. *Processing Fruits: Science and Technology*. Volumen II. Thecnomic, Pennsylvania.
- DING, M.; FENG, R.; WANG, S. Y.; BOWMAN, L.; LU, Y.; QIAN, Y.; CASTRONOVA, V.; JIANG, B.H. & SHI, X. 2006. Cyanidin-3-glucoside, a Natural Product Derived from Blackberry, Exhibits Chemopreventive and Chemotherapeutic Activity. *Journal of Biological Chemistry*. 281 (25): 17359–17368.
- DUGO, P.; MONDELLO, L.; ERRANTE, G.; ZAPPIA, G.; DUGO, G. 2001. Identification of Anthocyanins in Berries by Narrow-bore Highperformance Liquid Chromatography with Electrospray Ionization Detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* . 49: 3987-3992.
- DUHARD, V.; GARNIER, J.; MEGARD, D. 1997. Comparison of the Stability of Selected Anthocyanins Colorants in Drink Model Systems. *Agro Food Industry Hi-Technology*. 8: 28-34.

- EWALD, C.; FJELKNER-MODIG, S.; JOHANSSON, K.; SJOHOLM, I.; AKESSON, B. 1999. Effect of Processing on Major Flavonoids in Processed Onions, Green Beans, and Peas. *Food Chemistry* 64:231-235.
- FANG, Z.; ZHANG, M.; SUN, Y.; SUN, J. 2006. How To Improve Bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) Juice Color Quality: Effect of Juice Processing on Bayberry Anthocyanins and Polyphenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 99-106
- FELLOWS, P. 1994. *Food Processing Technology*. New York: CRC Press. 575p.
- FENG, R.; BOWMAN, LL.; LU, Y.; LEONARD, S.S.; SHI, X.; JIANG, B. H.; CASTRANOVA, V.; VALLYATHAN, V. & DING, M. 2004. Blackberry Extracts Inhibit Activating Protein 1 Activation and Cell Transformation by Perturbing the Mitogenic Signaling Pathway. *Nutrition and Cancer*. 50(1):80-90
- FERNÁNDEZ, J.M. 2007. Tecnología de los Alimentos, Escaldado y Pelado al Vapor. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Almería. INTERNET. <http://www.ual.es/~jfernand/TA/Tema6/Tema6-EscaldadoyPV.pdf>.
- FLORES, D.; ARGÜELLO, F. (eds). 2005. Cultivo de la Mora: Innovaciones tecnológicas. Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- FLORES, D.; MONTERO, A.; OROZCO, R.; ARGÜELLO, F. (eds). 2003. Memoria: Primer foro Taller Nacional sobre Cultivo de Mora (*Rubus* spp.). El Empalme. COSTA RICA
- GASPARETO, O.; OLIVEIRA, E.; DA SILVA, P.; MAGALHAES, M. 2004. Influencia del Tratamiento Osmótico en el Secado de la Banana "Nanica" (*Musa cavendishii*, L.) en Secador de Lecho Fijo. *Información Tecnológica*. 15(6): 9-15.
- GIL, M.I.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; HESS-PIERCE, B.; HOLCROFT, D.M.; KADER, A.A. 2000. Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 4581-4589.
- GONZÁLEZ, E. M.; DE ANCOS, B.; CANO, M. P. 2003. Relation between Bioactive Compounds and Free Radical-Scavenging Capacity in Berry Fruits during Frozen Storage. *Journal of Science Food and Agriculture*. 83:722-726
- GREENWALD, R. 1990. Current Approaches to the Development of Oxygen Radical Scavengers. *Drugs of Today*. 26: 299-307.
- GUO, C.; YANG, J.; WEI, Y.; LI, Y.; XU, J.; JIANG, Y. 2003. Antioxidant Activities of Peel, Pulp, and Seed Fractions of Common Fruits as Determined by FRAP assay. *Nutrition Research*. 23: 1719-1726.
- GUZMÁN, L. 2003. Determinación de las Condiciones de Deshidratación Osmótica para la Obtención de un Producto de Mora (*Rubus* sp) Deshidratado por el Método Mixto Ósmosis-Aire Caliente. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. San José, Universidad de Costa Rica.
- HAGER, T.; HOWARD, L.; PRIOR, R. 2008. Processing and Storage Effects on Monomeric Anthocyanins, Percent Polymeric Color, and Antioxidant Capacity of Processed Blackberry Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3): 689-695.

- HAVSTEEN, B.H. 2002. The Biochemistry and Medical Significance of the Flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*. 96: 67-202.
- HEINONEN, I.M.; LEHTONEN, P.J.; HOPIA, A.I. 1998. Antioxidant Activity of Berry and Fruit Wines and Liquors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 25-31.
- HOFMANN, T.; BORS, W.; STETTMAIER, K. 1999. Studies on the Radical Intermediates in the Early Stage of the Nonenzymatic Browning Reaction of Carbohydrates and Aminoacids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 379-390.
- JIMENEZ, J.M. 2004. Determinación de las Condiciones de Deshidratación de Mora (*Rubus sp*) Empleando Aire Caliente para la Elaboración de una Bebida Natural en Polvo. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. San José, Universidad de Costa Rica.
- JIMÉNEZ, M.; ZAMBRANO, M.; AGUILAR, M. 2004. Estabilidad de Pigmentos en Frutas Sometidas a Tratamiento con Energía de Microondas. *Información Tecnológica* 15(3):61-66.
- KALT, W.; FORNEY, C.F.; MARTIN, A.; PRIOR, R.L. 1999. Antioxidant Capacity, Vitamin C, Phenolics, and Anthocyanins after Fresh Storage of Small Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 4: 4638-4644.
- KALT, W.; MCDONALD, J.E.; DONNER, H. 2000. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity of Processed Lowbush Blueberry Products. *Food Chemistry and Toxicology*, 65(3): 390-393.
- KAUR, C.; KAPOOR, H. 2001. Antioxidants in Fruit and Vegetables- the millenium's health. *Journal of Food Science and Nutrition*. 36:703-725.
- KIM, D.O.; PADILLA-ZAKOUR, O.I. 2004. Jam Processing Effect on Phenolics and Antioxidant Capacity in Anthocyanin-rich Fruits: Cherry, Plum, and Raspberry. *Journal of Food Science*, 69 (9): S395-S400.
- KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; TRONCOSO, A.M.; GARCIA-PARILLA, M.C.; FETT, R. 2004. Actividad Antioxidante de Pigmentos Antocianicos. *Revista Brasileña de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 24(4): 691-693.
- LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. 1997. Effect of Drying Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1390-1393.
- LEE, J.; DURST, R.; WROLSTAD, R. 2002. Impact of Juice Processing on Blueberry Anthocyanins and Polyphenolics: Comparison of two Pretreatments. *Journal of Food Science*. 67: 1660-1667.
- LERICI, C.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*. 50(1): 1217-1219.
- LEWIS, M.J. 1993. *Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado*. Acribia. Zaragoza. 494p

- LOHACHOOMPOL, V.; SRZEDNICKI, G.; CRASKE, J. 2004. The Change of Total Anthocyanins in Blueberries and Their Antioxidant Effect After Drying and Freezing. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* (5): 248–252.
- LOHACHOOMPOL, V.; MULHOLLAND, M.; SRZEDNICKI, G.; GERMANN, N.; CRASKE, J. 2007. Effect of Pre-treatments and Drying Temperatures on Anthocyanins in Blueberries. Tesis PhD. Food Science and Technology. University of New South Wales.
- MAILLARD, M.; BERSET, C. 1995. Evolution of Antioxidant Activity during Kilning: Role of Insoluble Bound Phenolic Acids of Barley and Malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 1789-1793.
- MARTINEZ, I.; PERIAGO, M.J., ROS, G. 2000. Significado Nutricional de los Compuestos Fenólicos de la Dieta. *ALAN*, 50(1): 5-18.
- MERTZ, C.; CHEYNIER, V.; GUNATA, Z.; BRAT, P. 2007. Analysis of Phenolic Compounds in Two Blackberry Species (*Rubus glaucus* and *Rubus adenotrichus*) by High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection and Electrospray Ion Trap Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(21): 8816-8824
- MONTERO, M. 2008. Estudio del Proceso para la Elaboración de Jugo Clarificado de Mora por Microfiltración Tangencial. Tesis Lic. Tecnología de Alimentos. San José, Universidad de Costa Rica.
- MORA, F. M. 2006. Análisis del Mercado de Mora Fresca. Consejo Nacional de la Producción: Servicio de información de mercados. Boletín no. 1. INTERNET: <http://www.mercanet.cnp.go.cr>
- MOYER, R. A.; HUMMER, K. E.; FINN, C. E.; FREI, B.; WROLSTAD, R. E. 2002. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 519-525.
- NICOLI, M.; ANESE, M.; PARPINEL, M.; FRANCESCHI, S.; LERICI, C. 1997. Study on Loss and/or Formation of Antioxidants during Processing and Storage. *Cancer Letters*. 114: 71-74.
- NICOLI, M.; ANESE, M.; PARPINEL, M. 1999. Influence of Processing on the Antioxidant Properties of Fruit and Vegetable. *Food Science and Technology*, 10:94-100.
- NIJVELDT, R.; VAN NOOD, E.; VAN HOORN, D.; BOELEN, P.; VAN NORREN, K.; VAN LEEUWEN, P. 2001. Flavonoids: a Review of Probable Mechanism of Action Potential Applications. *Journal of Clinical Nutrition*, 74:418-425.
- OCHOA, M.R.; KESSELER, A.G.; VULLIOUD, M.B.; LOZANO, J.E. 1999. Physical and Chemical Characteristics of Raspberry Pulp: Storage Effect on Composition and Color. *Lebensmittel Wissenschaft-und Technologie – Food Science and Technology*, 32: 149-153.
- OU, B.; HAMPSCH-WOODILL, M.; PRIOR, R. 2001. Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay using Fluorescein as the Fluorescent Probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 4619-4626.
- PADILLA-ZAKOUR, O.; MCLELLAN, M. R. 1993. Optimization and Modeling of Apple Juice Cross-flow Microfiltration with Ceramic Membrane. *Journal of Food Science*. 58(2): 369-374.

- PALAMADA, J.; KEHRER, J. 1992. Inhibition of Protein Carbonyl Formation and Lipid Peroxidation by Glutathione in Rat Liver Microsomes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 293: 103-109.
- PANAGIOTOU, N.; KARATHANOS, V.; MAROULIS, Z. 1999. Effect of Osmotic Agent on Osmotic Dehydration of Fruits. *Drying Technology*. 17(1-2): 175-189.
- POINTING, J. 1973. Osmotic Dehydration of Fruits-Recent Modifications and Applications. *Process Biochemistry*. 8(12): 18-20.
- POTTER, N.; HOTCHKISS, J. 1998. *Food Science*. D.R. Heldman, 5<sup>th</sup> ed. Gaithersburg: An Aspen Publication. 608p.
- RABABAH, T.M.; EREIFEJ, K.I.; HOWARD, L. 2005. Effect of Ascorbic Acid and Dehydration on Concentrations of Total Phenolics, Antioxidant Capacity, Anthocyanins, and Color in Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 4444-4447.
- RAOULT-WACK, A.; LENART, A.; GUITBER, S. 1992. Recent Advances in dewatering through Immersion in Concentrated Solutions (Osmotic dehydration). *Drying of solids*. International Science Publisher, New York.
- ROS-CHUMILLAS, M.; BELISSARIO, Y.; IGUAZ, A.; LÓPEZ, A. 2007. Quality and Shelf Life of Orange Juice Aseptically Packaged in PET Bottles. *Journal of Food Engineering*. 79: 234–242.
- ROSSI, M.; GIUSSANI, E.; MORELLI, R.; LO SCALZO, R.; NANI, R.C.; TORREGGIANI, D. 2003. Effect of Fruit Blanching on Phenolics and Radical Scavenging Activity of Highbush Blueberry Juice. *Food Research International*. 36: 999–1005.
- SANCHEZ, M.T. 2003 . *Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas*. Mundi-Prensa. 518p.
- SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J.; SAURA-CALIXTO, F. 1999. Free Radical Scavenging Capacity and Inhibition of Lipid Oxidation of Wines, Grape Juices and Related Polyphenolic Constituents. *Food Research International*. 32: 407-412.
- SÁNCHEZ-MORENO, C.; CAO, G.; OU, B.; PRIOR, R.L. 2003. Anthocyanin and Proanthocyanidin Content in Selected White and Red Wines. Oxygen Radical Absorbance Capacity Comparison with Nontraditional Wines Obtained from Highbush Blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 4889-4896
- SAPERS, G.; PHILLIPS, J. 1985. Leakage of Anthocyanins from Skin of Raw and Cooked Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Food Science*. 50(2): 437-439, 443.
- SEERAM, N. P.; ADAMS, L. S.; ZHANG, Y.; LEE, R.; SAND, D.; SCHEULLER, H. S. & HEBER, D. 2006. Blackberry, Black Raspberry, Blueberry, Cranberry, Red Raspberry, and Strawberry Extracts Inhibit Growth and Stimulate Apoptosis of Human Cancer Cells in Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(25): 9329-9339.
- SHAHIDI, F.; MARIAN, N. 2003. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. CRC Press: Boca Raton, FL

SHARMA, S.; MULVANEY, S.; RIZVI, S. 2003. Ingeniería de Alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de Laboratorio. México: LIMUSA WILEY.

SINGH R.; HELDMAN D. 1991. Introduction to Food Engineering. 2<sup>nd</sup> edition, Academic Press, California.

SIRIWOHARN, T.; WROLSTAD, R.E.; FINN, C.E.; PEREIRA, C.B. 2004. Influence of Cultivar, Maturity, and Sampling on Blackberry (*Rubus L. Hybrids*) Anthocyanins, Polyphenolics, and Antioxidant Properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 8021-8030.

SKREDE, G.; WROLSTAD, R. E.; DURST, R. W. 2000. Changes in Anthocyanins and Polyphenolics during Juice Processing of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*). Journal of Food Science. 65: 357–364.

SOLOMON, O.; SVANBERG, U.; SAHLSTRÖM, A. 1995. Effect of Oxygen and Fluorescent Light on the Quality of Orange Juice during Storage at 8 °C. Food Chemistry. 53: 363-368.

STRIK, B.; CLARK, J.; FINN, CH.; BAÑADOS, M.P. 2007. Blackberry Worldwide Production. Hortechology, 17(2): 205-213.

THORNALLEY, P.; VASAK, M. 1985. Possible Role for Metallothionein in Protection against Radiation-induced Oxidative Stress. Kinetics and Mechanism of its Reaction with Superoxide and Hydroxyl Radicals. Biochimia et Biophysica Acta. 827: 36-44.

TONG, L. M.; SASAKI, S.; MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. 2000. Mechanism of Antioxidant Activity of a High Molecular Weight Fraction of Whey. Journal of Agricultural and Food Science. 48: 1473–1478.

TORREGIANI, D. 1993. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. Food research International. 26(1): 59-68.

VAILLANT, F.; PEREZ, A.; DAVILA, I.; DORNIER, M.; REYNES, M. 2005. Colorant and Antioxidant Properties of Red-Purple Pitahaya (*Hylocereus, sp.*). Fruits. 60(1): 1-10.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M.; BARBOSA-CANOVAS, G. 2001. Advances in Dehydration of Foods. Journal of Food Engineering. 49(4): 271-289.

VÍQUEZ, F. 2002. Elaboración de Jaleas y Mermeladas. Escuela de Tecnología de Alimentos. UCR, San José.

VINSON, J.; ZUBIK, L.; BOSE, P.; SAMMAN, N.; PROCH, J. 2005. Dried Fruits: Excellent *in Vitro* and *in Vivo* Antioxidants. Journal of the American College of Nutrition. 24(1): 44-50.

WADA, L.; OU, B. 2002. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oregon Cranberries. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 3495-3500.

WANG, H.; CAO, G.; PRIOR, R. L. 1997. Oxygen Radical Absorbing Capacity of Anthocyanins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45: 304-309.

- WANG, H.; CAO, G.; PRIOR, R. L. 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44: 701-705.
- WANG, S. Y.; LIN, H. S. 2000. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 140-146.
- WICKLUND, T.; ROSENFELD, H.; MARTINSEN, B.; SUNDFOR, M.; LEA, P.; BRUUN, T.; BLOMHOFF, R.; HAFFNER, K. 2005. Antioxidant Capacity and Colour of Strawberry Jam as Influenced by Cultivar and Storage Conditions. *Lebensmittel Wissenschaft-und Technologie – Food Science and Technology*. 38: 387-391.
- WILLIAMSON, G; MANACH, C. 2005. Bioavailability and Bioefficacy of Polyphenols in Humans. II Review of 93 intervention studies. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81 Suppl 1:S243–55
- WROLSTAD, R.; SKREDE, G.; LEA, P.; ENERSEN, G. 1990. Influence of Sugar on Anthocyanin Pigment Stability in Frozen Strawberries. *Journal of Food Science*. 55(4): 1064-1065, 1072.
- ZAFRILLA, P.; FERRERES, F.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. 2001. Effect of Processing and Storage on the antioxidant ellagic acid derivatives and flavonoids of red raspberry (*Rubus idaeus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(8): 3651-3655.

## VIII. Anexos

- A. Resultados de la prueba factorial 2<sup>2</sup> realizada para evaluar el efecto de la operación de escaldado de mora fresca y congelada, sobre el rendimiento del proceso de prensado, el contenido de compuestos antioxidantes y las características de calidad físico-químicas al elaborar jugo de mora.

Cuadro A.1 Análisis factorial del rendimiento del proceso de prensado al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 1141,3351      | 99,3482 | <,0001   |
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 77,1654        | 6,7169  | 0,0320   |
| Materia Prima*Tratamiento térmico | 1     | 1  | 27,6337        | 2,4054  | 0,1595   |

Cuadro A.2 Análisis factorial del porcentaje de sólidos en suspensión en el jugo de mora al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 0,1857         | 2,9204  | 0,1258   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 0,0001         | 0,0013  | 0,9721   |
| Tratamiento térmico*Materia Prima | 1     | 1  | 0,0106         | 0,1667  | 0,6938   |

Cuadro A.3 Análisis factorial de la turbidez del jugo de mora al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio  | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|----------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 2047431        | 812,5845 | <,0001   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 4560,3         | 1,8099   | 0,2154   |
| Tratamiento térmico*Materia Prima | 1     | 1  | 155207,3       | 61,5987  | <,0001   |

Cuadro A.4 Análisis factorial del porcentaje de oxígeno disuelto en jugo de mora al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 9,9554         | 27,1018 | 0,0008   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 0,2791         | 0,7597  | 0,4088   |
| Tratamiento térmico*Materia Prima | 1     | 1  | 0,8911         | 2,4258  | 0,158    |

Cuadro A.5 Análisis factorial de la capacidad antioxidante medida por el método ORAC en jugo de mora al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 18913,602      | 12,3745 | 0,0079   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 21,401         | 0,014   | 0,9087   |
| Tratamiento térmico*Materia prima | 1     | 1  | 39020,041      | 25,5295 | 0,001    |

Cuadro A.6 Análisis factorial del contenido de antocianinas en jugo de mora al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 72641,44       | 1,8272  | 0,2134   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 101909,89      | 2,5635  | 0,148    |
| Tratamiento*Materia prima         | 1     | 1  | 125932,46      | 3,1677  | 0,113    |

Cuadro A.7 Análisis factorial del contenido de elagitaninos al evaluar dos materia primas distintas (mora fresca y mora congelada) y la presencia/ausencia de la operación de escaldado previa al prensado.

| Source                            | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|-----------------------------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Tratamiento térmico (Escaldado)   | 1     | 1  | 180784,21      | 17,5151 | 0,0031   |
| Materia Prima (Fresca, Congelada) | 1     | 1  | 441673,16      | 42,791  | 0,0002   |
| Tratamiento térmico*Materia prima | 1     | 1  | 609842,64      | 59,0839 | <,0001   |

B. Rendimientos obtenidos a través de diferentes procesos de deshidratación

Cuadro B.1 Rendimiento de distintas operaciones a través del proceso de elaboración de un refresco natural en polvo.

| Lote | Masa mora fresca (g) | Masa mora deshidratada (g) | Masa mora molida (g) | Rendimiento deshidratación (%) | Rendimiento molienda (%) | Rendimiento proceso (%) |
|------|----------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1    | 50,00                | 7,50                       | 5,98                 | 17±2                           | 83±3                     | 12±1                    |
| 2    | 50,00                | 9,50                       | 6,04                 |                                |                          |                         |
| 3    | 50,00                | 8,96                       | 6,84                 |                                |                          |                         |

Cuadro B.2 Rendimiento de distintas operaciones a través del proceso de deshidratación de mora por el método mixto ósmosis – aire caliente.

| Lote | Masa mora fresca (g) | Masa mora deshidratada osmóticamente (g) | Masa mora deshidratada ósmosis-aire caliente (g) | Rendimiento deshidratación osmótica (%) | Rendimiento deshidratación aire caliente (%) | Rendimiento proceso (%) |
|------|----------------------|--|--|---|--|-------------------------|
| 1    | 50,20                | 26,68                                    | 10,68  | 55±5                                    | 45±2   | 23±2                    |
| 2    | 45,20                | 23,02                                    | 10,80  |   |  |                         |
| 3    | 45,00                | 27,00                                    | 11,16  |   |  |                         |

Cuadro B.3 Rendimiento de distintas operaciones a través del proceso de elaboración de mermelada de mora.

| Lote | Masa mora fresca (g) | Masa pulpa de mora (g) | Masa inicial mermelada (g) | Masa final mermelada (g) | Rendimiento despulpado (%) | Rendimiento proceso elaboración mermelada (%) |
|------|----------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---|
| 1    | 2,91                 | 1,59                   | 3,20                       | 2,83                     | 56±2                       | 85±4  |
| 2    | 2,50                 | 1,38                   | 2,79                       | 2,42                     |                            |   |
| 3    | 2,43                 | 1,40                   | 2,81                       | 2,25                     |                            |   |

C. Características físico-químicas de la mora a través de diferentes procesos de deshidratación.

Cuadro C.1. Características físico-químicas de los diferentes estados de la mora a través del proceso de elaboración de refresco natural en polvo y su almacenamiento a temperatura ambiente.

| Muestra                                 | Humedad<br>(g agua/100g muestra) | °Brix    | pH        | Color    |          |         |
|---|----------------------------------|----------|-----------|----------|----------|---------|
|   |                                  |          |           | L*       | a*       | b*      |
| Mora fresca                             | 78±1                             | 10,3±0,9 | 2,7±0,3   | 6,8±0,8  | 20,1±0,2 | 5,5±0,2 |
| Mora deshidratada aire caliente         | 8,9±0,8                          | 45±6     | 2,7±0,2   | 28±3     | 27±2     | 5,5±0,6 |
| Mora deshidratada-molida                | 7,6±0,8                          | 54±5     | 2,8±0,2   | 23±1     | 18±1     | 7,6±0,7 |
| Almacenamiento mora en polvo<br>2 meses | 7,7±0,4                          | 47±5     | 2,8±0,2   | 24,5±0,5 | 17,6±0,3 | 7,6±0,4 |
| Almacenamiento mora en polvo<br>3 meses | 8,6±0,2                          | 42±4     | 2,63±0,04 | 24,6±0,6 | 17,8±0,3 | 7,4±0,4 |

Cuadro C.2. Características físico-químicas de los diferentes estados de la mora a través del proceso de elaboración de mora tipo pasa y su almacenamiento a temperatura ambiente.

| Muestra   | Humedad<br>(g agua/100g muestra) | °Brix    | pH        | Color    |          |           |
|---|----------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
|   |                                  |          |           | L*       | a*       | b*        |
| Mora fresca                                       | 78±1                             | 10,3±0,9 | 2,7±0,3   | 6,8±0,8  | 20,1±0,2 | 5,5±0,2   |
| Mora deshidratada osmoticamente                   | 46±2                             | 36±2     | 2,8±0,3   | 10,8±0,9 | 25±3     | 7,67±0,09 |
| Mora deshidratada osmoticamente-<br>aire caliente | 15,2±0,3                         | 64±5     | 2,9±0,2   | 33±2     | 28±2     | 7,4±0,6   |
| Almacenamiento mora<br>deshidratada (2 meses)     | 20,0±0,8                         | 61±3     | 2,68±0,06 | 25±1     | 27±1     | 8,6±0,2   |
| Almacenamiento mora<br>deshidratada (3 meses)     | 19,7±0,8                         | 52±5     | 2,72±0,04 | 23±1     | 24,3±0,4 | 7,1±0,6   |

Cuadro C.3. Características físico-químicas de los diferentes estados de la mora a través del proceso de elaboración de mermelada y su almacenamiento a temperatura ambiente.

| Muestra  | Humedad<br>(g agua/100g muestra) | °Brix    | pH        | Color   |          |           |
|--|----------------------------------|----------|-----------|---------|----------|-----------|
|  |                                  |          |           | L*      | a*       | B*        |
| Mora fresca                                    | 78±1                             | 10,3±0,9 | 2,7±0,3   | 6,8±0,8 | 20,1±0,2 | 5,5±0,2   |
| Pulpa de mora                                  | 79±2                             | 9,6±0,8  | 2,7±0,2   | 6,9±0,3 | 21±1     | 5,1±0,4   |
| Mermelada de mora                              | 34,7±0,2                         | 65,5±0,8 | 2,81±0,02 | 10±1    | 5,5±0,8  | 1,0±0,1   |
| Almacenamiento mermelada de<br>mora<br>2 meses | 34±2                             | 67,1±0,4 | 2,83±0,02 | 8,1±0,1 | 6,1±0,3  | 0,67±0,09 |
| Almacenamiento mermelada de<br>mora<br>3 meses | 33,5±0,4                         | 64,1±0,6 | 2,80±0,04 | 11±2    | 5,0±0,3  | 1,0±0,1   |

D. Resultados de la prueba t realizado a los diferentes procesamientos de mora con el fin de evaluar el efecto de los procesos de secado sobre el contenido de compuestos antioxidantes de la fruta fresca.

Proceso de elaboración de mermelada

D.1. Prueba t student para el contenido de taninos del ácido elágico realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mermelada de mora.

| Variabes                            | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio  | Prob > F |
|-------------------------------------|-------------|----|----------------|-------------|----------|----------|
| Mora fresca vs. Pulpa de mora       | Tratamiento | 1  | 3374641        | 3374641     | 102,8492 | 0,0005   |
|                                     | Error       | 4  | 131246,1       | 32812       |          |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 3505887,1      |             |          |          |
| Pulpa de mora vs. Mermelada de mora | Tratamiento | 1  | 43141,612      | 43141,6     | 8,6098   | 0,0426   |
|                                     | Error       | 4  | 20043,061      | 5010,8      |          |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 63184,673      |             |          |          |

D.2. Prueba t student para el contenido de antocianinas realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mermelada de mora.

| Variabes                            | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|-------------------------------------|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca vs. Pulpa de mora       | Tratamiento | 1  | 305954,75      | 305955      | 33,0774 | 0,0045   |
|                                     | Error       | 4  | 36998,68       | 9250        |         |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 342953,43      |             |         |          |
| Pulpa de mora vs. Mermelada de mora | Tratamiento | 1  | 73211,083      | 73211,1     | 47,9115 | 0,0023   |
|                                     | Error       | 4  | 6112,187       | 1528        |         |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 79323,27       |             |         |          |

D.3. Prueba t student para el valor de ORAC realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mermelada de mora.

| Variabes                            | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|-------------------------------------|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca vs. Pulpa de mora       | Tratamiento | 1  | 93080,69       | 93080,7     | 49,4869 | 0,0022   |
|                                     | Error       | 4  | 7523,66        | 1880,9      |         |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 100604,35      |             |         |          |
| Pulpa de mora vs. Mermelada de mora | Tratamiento | 1  | 575,8814       | 575,88      | 0,5103  | 0,5145   |
|                                     | Error       | 4  | 4514,2124      | 1128,55     |         |          |
|                                     | C. Total    | 5  | 5090,0938      |             |         |          |

*Proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente*

D.4. Prueba t student para el contenido de taninos del ácido elágico realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente.

| Variable  | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|---|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca-Mora deshidratada osmóticamente                 | Tratamiento | 1  | 1165455,9      | 1165456     | 28,4613 | 0,0059   |
|   | Error       | 4  | 163795,3       | 40949       |         |          |
|   | C. Total    | 5  | 1329251,2      |             |         |          |
| Mora deshidratada osmóticamente-Mora seca con aire caliente | Tratamiento | 1  | 646022,59      | 646023      | 56,3874 | 0,0017   |
|   | Error       | 4  | 45827,41       | 11457       |         |          |
|   | C. Total    | 5  | 691849,99      |             |         |          |

D.5. Prueba t student para el contenido de antocianinas realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente.

| Variable  | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|---|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca-Mora deshidratada osmóticamente                 | Tratamiento | 1  | 439362,36      | 439362      | 50,3466 | 0,0021   |
|   | Error       | 4  | 34907,02       | 8727        |         |          |
|   | C. Total    | 5  | 474269,39      |             |         |          |
| Mora deshidratada osmóticamente-Mora seca con aire caliente | Tratamiento | 1  | 77249,371      | 77249,4     | 70,3712 | 0,0011   |
|   | Error       | 4  | 4390,966       | 1097,7      |         |          |
|   | C. Total    | 5  | 81640,336      |             |         |          |

D.6. Prueba t student para el valor de ORAC realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de mora deshidratada por el método mixto osmótico-aire caliente.

| Variable  | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio  | Prob > F |
|---|-------------|----|----------------|-------------|----------|----------|
| Mora fresca-Mora deshidratada osmóticamente                 | Tratamiento | 1  | 158016,4       | 158016      | 160,7629 | 0,0002   |
|   | Error       | 4  | 3931,66        | 983         |          |          |
|   | C. Total    | 5  | 161948,07      |             |          |          |
| Mora deshidratada osmóticamente-Mora seca con aire caliente | Tratamiento | 1  | 6617,3197      | 6617,32     | 44,2165  | 0,0027   |
|   | Error       | 4  | 598,6283       | 149,66      |          |          |
|   | C. Total    | 5  | 7215,948       |             |          |          |

Proceso de elaboración de refresco natural de mora en polvo

D.7. Prueba t student para el contenido de taninos del ácido elágico realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de refresco de mora en polvo.

| Variable                                   | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|--|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca-Mora seca con aire caliente    | Tratamiento | 1  | 343422,01      | 343422      | 7,9789  | 0,0476   |
|  | Error       | 4  | 172164,6       | 43041       |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 515586,61      |             |         |          |
| Mora seca con aire caliente- Mora en polvo | Tratamiento | 1  | 12682,27       | 12682,3     | 0,6617  | 0,4616   |
|  | Error       | 4  | 76664,079      | 19166       |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 89346,349      |             |         |          |

D.8. Prueba t student para el contenido de antocianinas realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de refresco de mora en polvo.

| Variable                                   | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|--|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca-Mora seca con aire caliente    | Tratamiento | 1  | 349392,9       | 349393      | 39,508  | 0,0033   |
|  | Error       | 4  | 35374,4        | 8844        |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 384767,3       |             |         |          |
| Mora seca con aire caliente- Mora en polvo | Tratamiento | 1  | 1295,3543      | 1295,35     | 0,9795  | 0,3783   |
|  | Error       | 4  | 5289,6919      | 1322,42     |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 6585,0461      |             |         |          |

D.9. Prueba t student para el valor de ORAC realizada para diferentes etapas durante el proceso de elaboración de refresco de mora en polvo.

| Variable                                   | Source      | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob > F |
|--|-------------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Mora fresca-Mora seca con aire caliente    | Tratamiento | 1  | 5916,5055      | 5916,51     | 6,4899  | 0,0635   |
|  | Error       | 4  | 3646,6181      | 911,65      |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 9563,1236      |             |         |          |
| Mora seca con aire caliente- Mora en polvo | Tratamiento | 1  | 15416,666      | 15416,7     | 35,2382 | 0,004    |
|  | Error       | 4  | 1749,996       | 437,5       |         |          |
|  | C. Total    | 5  | 17166,662      |             |         |          |

E. Resultados de la prueba factorial 3<sup>2</sup> realizada para evaluar el efecto del almacenamiento sobre el contenido de compuestos antioxidantes de tres productos de mora.

E.1. Análisis factorial del tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente y de tres productos a base de mora sobre el valor de ORAC, contenido de antocianinas y contenido de taninos del ácido elálgico

| Variable   | Source             | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio  | Prob > F |
|--|--------------------|-------|----|----------------|----------|----------|
| ORAC<br>( $\mu$ mol TE/g materia<br>seca mora)                               | Tratamiento        | 2     | 2  | 610834,83      | 418,2607 | <,0001   |
|  | Tiempo             | 2     | 2  | 32304,84       | 22,1203  | <,0001   |
|  | Tratamiento*Tiempo | 4     | 4  | 20026,17       | 6,8563   | 0,0015   |
| Contenido<br>antocianinas<br>(mg/100g materia<br>seca mora)                  | Tratamiento        | 2     | 2  | 342128,11      | 167,6888 | <,0001   |
|  | Tiempo             | 2     | 2  | 4088,72        | 2,004    | 0,1638   |
|  | Tratamiento*Tiempo | 4     | 4  | 1348,16        | 0,3304   | 0,8539   |
| Contenido<br>Taninos del ácido<br>elálgico<br>(mg/100g materia<br>seca mora) | Tratamiento        | 2     | 2  | 7449891,2      | 419,9081 | <,0001   |
|  | Tiempo             | 2     | 2  | 17404          | 0,981    | 0,3941   |
|  | Tratamiento*Tiempo | 4     | 4  | 84206,2        | 2,3731   | 0,0908   |

F. Cromatogramas de HPLC obtenidos para cuatro diferentes productos a base de mora:  
A. Mora fresca, B. Mora deshidratada por el método mixto ósmosis-aire caliente, C. Mora en polvo y D. Mermelada de mora.

