

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA
GUTIÉRREZ



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO BIOQUÍMICO

QUE PRESENTA:

INGRID DARNEY BERMÚDEZ HERNÁNDEZ

CON EL TEMA:

**“MICROENCAPSULACIÓN DE JUGO DE
ZARZAMORA (*Rubus fruticosus*) MEDIANTE
SECADO POR ASPERSIÓN”**

MEDIANTE:

**OPCIÓN III
(PROYECTO DE INVESTIGACIÓN)**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

DICIEMBRE 2012



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
 DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE
 EDUCACIÓN PÚBLICA



DIRECCIÓN
 SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
 DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 10 de octubre 2012

OFICIO NUM. DEP-CT-186/2012

C. INGRID DARNEY BERMÚDEZ HERNÁNDEZ
 PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA
 EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
 P R E S E N T E.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. DR. MIGUEL ABUD ARCHILA, DRA. TERESA DEL ROSARIO AYORA TALAVERA y DR. FEDERICO ANTONIO GUTIÉRREZ MICELI, en el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

"MICROENCAPSULACIÓN DE JUGO DE ZARZAMORA (*Rubus fruticosus*) MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN"

Registrado mediante la opción:
III (PROYECTO DE INVESTIGACIÓN)

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"

ING. ROBERTO CIFUENTES VILLAFUERTE
 JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Vo. Bo.

M. en C. JOSÉ LUIS MÉNDEZ NAVARRO
 DIRECTOR

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
 C.c.p.- Expediente
 I'JLMN/I'RCV/L'ORC

Carretera Panamericana Km.1080, C.P. 29050, Apartado Postal 599
 Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87
<http://www.ittg.edu.mx>



Alcance del Sistema: Proceso Educativo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por darme la vida y por darme a unos padres amorosos que supieron guiarme en mi camino.

A mis padres quienes siempre están conmigo y han sido mi luz, guía y apoyo incondicional.

A mis hermanos que siempre están a mi lado.

Al Dr. Miguel Abud Archila por todo el apoyo brindado y paciencia en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigas por apoyarme en todo momento.

A mi asesor y revisores, por el tiempo que dedicaron a revisar este trabajo y por sus observaciones.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Generalidades del fruto de zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>)	3
2.1.1. Origen y distribución de la zarzamora	3
2.1.2. Requerimientos del cultivo	5
2.1.3. Hábitos de crecimiento	5
2.1.4. Problemáticas del fruto	6
2.1.5. Valor nutrimental y funcional	8
2.1.6. Usos	9
2.2. Antocianinas	12
2.2.1. Generalidades de las antocianinas	13
2.2.2. Estructura de las antocianinas	14
2.3. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas	18
2.3.1. Temperatura	18
2.3.2. pH	18
2.3.3. Exposición a la luz	19
2.3.4. Efecto del oxígeno	19
2.4. Extracción y cuantificación de antocianinas	19
2.5. Microencapsulación mediante secado por aspersion	20
2.5.1. Origen y generalidades del proceso	20
2.5.2. Materiales pared utilizados	23
2.5.3. Morfología de las microcápsulas	25
2.6. Secado por aspersion	27
2.6.1. Problemática de la microencapsulación de jugos	29
2.6.2. Factores que determinan la calidad de productos microencapsulados	31

3. JUSTIFICACIÓN	32
4. OBJETIVO GENERAL	33
5. MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1. Materia prima	34
5.2. Microencapsulación	34
5.2.1. Caracterización de microcápsulas	35
5.2.2. Determinación de eficiencia de microencapsulación	35
5.2.3. Determinación de índice de blancura	36
5.2.4. Cuantificación de antocianinas	37
5.2.5. Diseño experimental	38
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
6.1. Efecto de la temperatura de aire de secado y concentración de maltodextrina sobre el índice de blancura, actividad de agua, eficiencia de microencapsulación de antocianinas y rendimiento de proceso	41
6.2. Modelación matemática del proceso de secado	46
6.3. Modelación matemática del índice de blancura (IB), Actividad de agua (AW), Eficiencia de Microencapsulación de antocianinas (EMA) y Rendimiento de proceso	50
6.4. Optimización del proceso de microencapsulamiento del jugo de zarzamora	53
7. CONCLUSIONES	54
8. BIBLIOGRAFÍA	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutrimental en 100 gramos de zarzamora congelada	9
Cuadro 2. Principales antocianinas de las frutas	11
Cuadro 3. Contenido de antocianinas en diferentes especies de bayas (mg/100g peso fresco)	14
Cuadro 4. Características estructurales y espectrales de las antocianinas dependiendo de los sustituyentes que contengan	17
Cuadro 5. Métodos para la extracción de antocianinas	20
Cuadro 6. Tipos de coberturas utilizadas en microencapsulación	24
Cuadro 7. Diseño experimental	38
Cuadro 8. Índice de blancura (IB), Aw, Rendimiento de proceso y Eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) de los polvos asperjados	40
Cuadro 9. Prueba de medias del IB, Aw, rendimiento de proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianinas respecto a la temperatura	41
Cuadro 10. Prueba de medias del IB, Aw, rendimiento de proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianinas respecto a la concentración de maltodextrina	43
Cuadro 11. Análisis de varianza para el índice de blancura (IB)	46
Cuadro 12. Análisis de varianza para la actividad de agua (Aw)	47
Cuadro 13. Análisis de varianza para la eficiencia de microencapsulación de antocianinas	48
Cuadro 14. Análisis de varianza para el rendimiento de proceso	50
Cuadro 15. Polinomios y valores de R^2 para el IB, AW, eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento de proceso	51
Cuadro 16. Polinomios y valores de R^2 para el IB, AW, eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento de proceso	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características botánicas de la zarzamora <i>R. fruticosus</i> , A)Flor, B)Fruto verde y C)Fruto maduro	4
Figura 2. Zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>)	4
Figura 3. Estructura básica de la antocianina	15
Figura 4. Estructura general de una microcápsula	21
Figura 5. Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas	25
Figura 6. Esquema de equipo de secado por aspersión	28
Figura 7. Mini Spray Dryer, B-290	35
Figura 8. Espacio de color Hunter Lab. (<i>L, a, b</i>)	36
Figura 9. Efecto estandarizado de los factores para el índice de blancura	47
Figura 10. Efecto estandarizado de los factores para la eficiencia de microencapsulación de antocianinas	49
Figura 11. Unión entre la antocianina y la maltodextrina por puentes de hidrógeno	49
Figura 12. Región óptima del secado por aspersión de jugo de zarzamora. Efecto de la concentración de MD y temperatura del aire de secado	53

RESUMEN

El secado por aspersión es uno de los métodos más empleados para deshidratar alimentos y aumentar su vida útil. En este trabajo se evaluaron el efecto de la temperatura del aire de secado y la concentración de maltodextrina sobre el rendimiento de proceso, eficiencia de microencapsulación de antocianinas, así como el índice de blancura (IB) y la actividad de agua (A_w) de las microcápsulas de jugo de zarzamora. Los frutos fueron seleccionados de acuerdo a su estado de madurez (3-4°Brix), color homogéneo y sin daño físico aparente. Se utilizó maltodextrina como agente encapsulante la cual fue hidratada directamente en el jugo de zarzamora a diferentes concentraciones. La mezcla fue secada por aspersión en un secador de laboratorio. Se utilizó un diseño experimental de superficie de respuesta compuesto central 2^2 + estrella (rotable y ortogonal). Los factores y niveles utilizados fueron la temperatura del aire de secado (120, 130 y 140 °C) y concentración de maltodextrina (30, 40 y 50%) realizando los tratamientos por duplicado. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05. Los resultados mostraron que la temperatura tuvo un efecto estadístico significativo ($p < 0.05$) sobre el rendimiento del proceso con un máximo rendimiento de 59.5 % utilizando una temperatura de 144°C. La máxima eficiencia de microencapsulación obtenida fue de 57% utilizando una temperatura de 120°C. También se analizó el efecto que tuvo la concentración sobre el IB, A_w , rendimiento del proceso y la eficiencia de microencapsulación de antocianinas, en este caso hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Todos los polvos presentaron valores de A_w menores a 0.3, por lo que se consideran microbiológicamente estables. Para maximizar el rendimiento de proceso y la eficiencia de microencapsulación de antocianinas es necesario utilizar una temperatura de 116°C y una concentración de maltodextrina del 26%.

1. INTRODUCCIÓN

En Jitotol, Chiapas se producen frutos de zarzamora los cuales son comercializados en forma de fruto fresco. En este proyecto se pretende dar un uso alternativo que dé valor agregado al fruto, empleando un proceso de transformación que permita conservar el mayor número de propiedades nutricionales y organolépticas. Los frutos de zarzamora (*Rubus fruticosus*) tienen distintas características cualitativas que las distinguen de otras frutas; son apreciadas por su color, aroma, sabor y la textura suave que presentan (Charley, 1989). La zarzamora (*R. fruticosus*) es una fruta con alto contenido de agua, en el cual se encuentran disueltas una gran cantidad de sustancias, siendo las principales los azúcares y ácidos orgánicos. Dentro de éstos últimos predominan el málico y el isocítrico. Sin embargo, lo que en realidad caracteriza a estas frutas es la abundancia de antocianinas, pigmentos naturales de acción antioxidante (Jackman, 1996), siendo la cianidina-3-glucósido la que se encuentra en un 90% de las antocianinas totales presentes en la zarzamora (Elisia *et al.*, 2007), sin embargo, éstas son muy inestables, teniendo un comportamiento en medio ácido. Se degradan, cambiando el color, por el pH, el calor, el oxígeno y la luz (Wesche-Ebeling, 1984), por lo anterior se propone microencapsular a dichas antocianinas mediante secado por aspersión.

La microencapsulación puede ser considerada como una forma especial de empacar y proteger sustancias de interés, en la que un material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo del ambiente y de otros factores destructivos. En un sentido amplio, la microencapsulación provee un medio de envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica para su liberación posterior bajo condiciones controladas. La microencapsulación es una técnica importante para la industria de alimentos y sabores, la cual se utiliza para proteger a compuestos, como son los sabores, enzimas, microorganismos, entre otros, de la luz y del oxígeno. Además, los materiales encapsulantes deben

proteger a los componentes encapsulados de la liberación y de los cambios químicos durante las operaciones de manufactura y de almacenamiento (Schatzman, 2008).

Las ventajas que ofrece la microencapsulación sobre un proceso convencional, como el añadir sabores líquidos directamente; pueden resumirse en la protección y enmascaramiento de la sustancia encapsulada frente a medios inestables u hostiles para su posterior liberación progresiva (Schatzman, 2008).

Para llevar a cabo el proceso de microencapsulación, se utilizan agentes encapsulantes, que básicamente son materiales en forma de película; la estructura formada por el agente encapsulante en torno a la sustancia principal se conoce como pared. Las propiedades del sistema pared están diseñadas para proteger el núcleo y liberarlo a velocidades controladas bajo condiciones específicas. El sistema pared se puede elegir dentro de una amplia variedad de polímeros sintéticos o naturales, dependiendo del material a revestir y de las características finales deseadas en las microcápsulas. La composición de los materiales de cobertura es la principal determinante de las propiedades funcionales de la microcápsulas y de cómo puede usarse para mejorar el rendimiento de un ingrediente particular. Algunos de los materiales de cobertura usados comúnmente son los carbohidratos, celulosas, gomas (alginato, goma arábica, goma xantana, goma guar, entre otros), lípidos (cera, parafina, cera de abeja, entre otros) y proteínas (gluten, caseína, gelatina, entre otros). La selección depende de las características deseadas en el producto final.

Entre los métodos de microencapsulación más comunes se encuentra el de secado por aspersión, el cual es el más utilizado en la industria de los alimentos y es empleado típicamente para secar aditivos alimentarios y aromas. También es ampliamente usado en fármacos y productos biológicos sensibles al calor. Este proceso es económico y flexible en el sentido de que ofrece variación sustancial en la matriz de encapsulación, adaptable y produce partículas de buena calidad (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

2. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades del fruto de zarzamora (*Rubus fruticosus*)

2.1.1. Origen y distribución de la zarzamora

El género *Rubus* pertenece a la familia de las Rosáceas. Su nombre científico deriva del latín “ruber” que significa rojo, por el color de sus frutos (Dickerson, 2005). Sus especies son llamadas *Brambles* o *Cane fiutis* en inglés y zarza o zarzamora en español (Juárez y Muñoz, 1995). Es una especie nativa de América del Norte; es una planta espinosa, que prolifera rápidamente llegando a colonizar a grandes superficies (Moore, 1994).

En México, se encuentra distribuida en zonas boscosas del Centro y Sur del país (Ryugo, 1993), la zarzamora crece aún silvestre y la utilización de sus frutillas data de tiempos inmemorables (Sánchez, 2008).

El género *Rubus*, comprende alrededor de 500 especies distribuidas prácticamente por todo el mundo; pero las especies cultivadas por la calidad de sus frutos son tres: *R. idaeus*, *R. occidentalis* y *R. strigosus*. Los híbridos son el producto del cruzamiento entre varios *Rubus* de frutos nativos de Norteamérica y de Europa, como *Rubus idaeus*. Se les agrupa bajo el nombre de *blackberries* en inglés, *brombeeren* en alemán y *zarzamora* en México (Muratalla, 1993).

La zarzamora (*Rubus fruticosus*), es una planta de tallos más o menos erectos, a menudo muy largos, que se arquean al primer o segundo año de crecimiento, sin llegar a ser rastreros. Estos tallos son ligeramente angulares, con cuatro o cinco aristas. Las hojas están compuestas por cinco folíolos. Las flores son pentámeras, blancas o rosadas, terminales o axilares, forman inflorescencia en racimos, paniculares o solitarias. El cáliz es persistente, los estambres son numerosos y se presentan como corona en la base del hipanto. Las flores son auto-fértiles y se desarrollan en tallos de dos años (Figura 1) (Rep.China, OIRSA, 2003).



Figura 1. Características botánicas de la zarzamora *R. fruticosus*, A) Flor, B) Fruto verde y C) Fruto maduro.

La zarzamora (*R. fruticosus*), tiene distintas características cualitativas que las distinguen de otras frutas; son apreciadas por su color, aroma, sabor y la textura suave y/o crujiente que presentan. Pertenece a la familia *Rosaceae* es un fruto pequeño, redondo o ligeramente alargado, compuesto por pequeños glóbulos que contienen en su interior una semilla diminuta. Tienden a ser de color negro brillante intenso. Durante la maduración, en el fruto se observa un aumento en crecimiento del receptáculo y como una consecuencia se conduce a una mayor separación de las drupeolas y la menor adherencia de éstas al receptáculo (Figura 2) (Charley, 1989).



Figura 2. Zarzamora (*Rubus fruticosus*).

2.1.2. Requerimientos del cultivo

Las plantas de zarzamora (*Rubus fruticosus*) en áreas templadas y subtropicales tiran las hojas y durante el invierno las cañas permanecen en reposo completamente desfoliadas; al retirarse las bajas temperaturas inicia la brotación y se cubren nuevamente de follaje (Strick, 1996).

En condiciones naturales, la zarzamora se desarrolla en lugares frescos y fríos; hasta la fecha el cultivo se ha limitado a lugares con inviernos definidos; no obstante, cuando las temperaturas invernales bajan de -17 a -23°C la mayoría de los cultivares sufren daño. Por otro lado, en climas con inviernos más calientes muchos cultivares no crecen bien (Moore, 1994).

La zarzamora se adapta a una gran diversidad de suelos, de preferencia los que tengan buen drenaje y pH entre 5.5 y 6.5 (Crocker y Sherman, 1998).

2.1.3. Hábitos de crecimiento

Los cultivares que actualmente se comercializan se han originado de las cruces entre varias especies que presentan características morfológicas diferentes. Por esta razón, las variedades de zarzamora se clasifican según su hábito de crecimiento en: erectas, semierectas o rastreras (Dickerson, 2005).

Erectas

En las plantas de este tipo los tallos o cañas pueden soportar su propio peso sin necesidad de apoyo alguno, siendo esta una característica que facilita su manejo y sus costos de producción.

Semierectas

A diferencia de las plantas tipo erecto, los materiales semierectos requieren de algún soporte para apoyar las cañas y facilitar la cosecha, utilizándose simples postes o estacas con alambres tensados a los cuales se amarran las cañas.

Rastreras

Las plantas de tipo rastrero requieren soporte, utilizando espalderas con dos alambres ubicados a una altura de 50- 60 cm y 100-120 cm, a los cuales se atan las cañas (Ourecky, 1975).

2.1.4. Problemáticas del fruto

Enfermedades

- A) Botritis (*Botrytis cinerea*). Conocida como pudrición del fruto o moho gris. La botritis causa la pudrición del fruto y ocasionalmente ataca flores y hojas. Cuando afecta las flores, éstas se caen antes de tiempo y se presenta un secamiento de color café claro en las partes terminales de los pedúnculos que sostienen las flores y los frutos. Cuando las lluvias son frecuentes el hongo afecta todo el racimo de frutos donde se observa una masa fúngica de apariencia algodonosa de color gris a negro. Los frutos se momifican y permanecen adheridos a las racimos (Tamayo, 1997).
- B) Agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*). Produce agallas y tumores en los tallos cerca del cuello (Galvis, 1995).
- C) Mildew velloso o Peronóspora (*Peronospora corda*). Afecta a hojas, tallos, pedúnculos y frutos. Los pedúnculos y los tallos presentan lesiones irregulares de color blanco o grisáceo claro, que corresponde a los esporangióforos y esporangios del patógeno. El pedúnculo se va secando desde arriba hacia abajo. En las hojas se presenta un color amarillento de

los pétalos, donde causa una lesión de color café claro a negro. En las hojas, los síntomas no son tan frecuentes, ni invisibles.

- D) Antracnosis del fruto (*Glomerella cingulata*). También conocida como muerte descendente, secadera, o palo negro. El principal daño que ocasiona en cultivos de zarzamora es la muerte progresiva y descendente de los brotes y las ramas, quedando los frutos adheridos a éstas. Al interior de los tallos afectados se observa una necrosis de color café claro. Cuando la infección en los tallos principales es severa, el hongo produce la muerte de la planta.
- E) Oidio (*oídium*) (Cenicilla, Mildeo polvos, ó crespera). El síntoma más común es la deformación, enroscamiento o encrespamiento de las hojas jóvenes. En la superficie de las hojas se presentan manchas cloróticas irregulares y difusas que semejan un mosaico suave. En algunas ocasiones se puede observar la aparición de un polvo blanco en el envés de las hojas, que corresponde al crecimiento esporulante del hongo que causa la enfermedad (Tamayo, 1997).
- F) Roseta (*Cerrosporella rubi*). Los renuevos forman rosetas que no permiten la apertura de las flores.
- G) Marchitez (*Verticillium alboatrum*). Este hongo es vascular, ocasiona un amarillamiento de las hojas que se caen posteriormente. La enfermedad se manifiesta en el tallo por manchas negras y un color azulado característico (Galvis, 1995).

Plagas

- A) Áfidos o pulgones (*Aphis sp.*). Son insectos que atacan a las hojas tiernas de la zarzamora, absorben su savia y son transmisores de virus.
- B) Mosca de la fruta (*Anastrepha sp.*). El huevo eclosiona y la larva se alimenta dentro de la fruta. Ataca básicamente a los frutos maduros, es común observar un gusano blanco por dentro de la fruta, dejándola completamente inservible comercialmente.

- C) Barredor del tallo (*Epiplus sp.*). Entra en la base de la planta y barrena el tallo.
- D) Perla de la tierra de las raíces (*Margarodes sp.*). Destruyen las raíces.
- E) Arañita roja (*Tetranychus sp.*). Esta araña se localiza en el envés de la hoja, causando la formación de manchas pardas y amarillentas que en muchos casos pueden confundirse con una deficiencia foliar (Galvis, 1995).

2.1.5. Valor nutrimental y funcional

La zarzamora (*Rubus fruticosus*) es una fruta con escaso aporte de carbohidratos, es por eso que se describe como fruta de bajo valor calórico. Es una excelente fuente de vitaminas, en especial de las vitaminas C y A. Estas dos vitaminas convierten a este fruto en un buen antioxidante, además de la abundancia de antocianinas y carotenoides presentes en ella (Charley, 1989).

Este tipo de frutas son de las fuentes más importantes de antocianinas en la dieta, gracias a este tipo de compuestos fenólicos, la zarzamora tiene su color característico debido a que las antocianinas son de los grupos principales de pigmentos naturales (Badui, 2006).

En la alimentación humana, la fruta se ha apreciado mucho desde tiempos muy remotos a causa de su atractivo aspecto, variedad y de su utilidad nutritiva. Esto se puede entender debido a que el 75 a 90 % de su peso total es agua, mientras que solo alrededor de 1% es proteína, careciendo de grasa (Cuadro 1) (Charley, 1989).

**Cuadro 1. Composición nutrimental en 100 gramos de zarzamora congelada
(*Rubus fruticosus*)**

Componente	Contenido	Componente	Contenido
Energía (kcal)	59	Vitamina A equiv. Totales (µg)	39
Agua (g)	85.6	Vitamina B6 (mg)	0.061
Proteína (g)	0.7	Ácido pantotéico (mg)	0.150
Nitrógeno (g)	0.189	Vitamina C (mg)	21
Lípidos (g)	0.6	Sodio, Na (mg)	1
Carbohidratos (g)	12.6	Potasio, K (mg)	196
Fibra dietética (g)	2.7	Calcio, Ca (mg)	32
Cenizas (g)	0.5	Magnesio, Mg (mg)	22
Humedad (g)	82.2	Fósforo, P (mg)	21
Tiamina (mg)	0.029	Hierro, Fe (mg)	0.50
Ribofavina (mg)	0.046	Cobre, Cu (mg)	0.12
Niacina (g)	1.2	Manganeso, Mn (mg)	1.22

(INCAP-OPS, 2000)

2.1.6. Usos

La zarzamora tiene propiedades diuréticas, astringentes, antiulcerosas, antidiabéticas y hemostáticas. Aporta mucha fibra y pocas calorías, al ser pobre en proteínas y grasas. Este alto contenido en fibras, mejora el tránsito intestinal; contiene gran cantidad de carotenoides y antocianinas que presentan una actividad antioxidante.

En la alimentación humana, este tipo de frutas constituyen una de las fuentes más importantes de antocianinas y otros compuestos fenólicos los cuales pueden ser aprovechados como colorantes y/o ingredientes funcionales.

El interés en los pigmentos antociánicos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Durante el paso del tracto

digestivo al torrente sanguíneo de los mamíferos, las antocianinas permanecen intactas (Miyazawa *et al.*, 1999) y ejercen efectos terapéuticos conocidos que incluyen la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos, además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo.

A las antocianinas también se les atribuye actividad antitumoral y anticancerígena. Hagiwara *et al.* (2002) demostraron que el suministro de papas púrpuras dulces y repollo morado a ratas de laboratorio, causan supresión de tumores.

Kamei *et al.* (1998) reportaron la supresión de células cancerígenas HCT-15 provenientes del colon humano y de células cancerígenas gástricas AGS al suministrar fracciones de antocianinas del vino tinto.

Se ha demostrado que las antocianinas son flavonoides antioxidantes que protegen a muchos sistemas del cuerpo humano, ya que tienen propiedades antiinflamatorias, las cuales afectan al colágeno y al sistema nervioso. Además tienen la habilidad de proteger los vasos sanguíneos del daño por los altos niveles de azúcar que causan complicaciones en la diabetes (Wrolstad, 2000).

También se ha observado que su potencial antioxidante va en contra de radicales superóxidos y peróxidos de hidrógeno a través de numerosos mecanismos, por ejemplo: la cianidina protege los lípidos de la membrana celular de la oxidación por una variedad de sustancias peligrosas. Este compuesto es un antioxidante 4 veces más fuerte que la vitamina E.

La pelargonidina protege el radical amino de la tirosina del peroxinitrilo, un antioxidante altamente reactivo. Por otro lado, la delphinidina interfiere con el radical hidroxil, uno de los oxidantes del cuerpo humano (Wrolstad, 2000). Cuando se ingieren, las antocianinas son destruidas en parte por la flora intestinal y las que son absorbidas se eliminan por la orina y la bilis, con previas transformaciones.

Koide *et al.* (1997) reportaron efectos antitumorales al usar extractos de frijoles rojos de soya que contenían cianidina conjugada con glucosa y ramnosa.

En el cuadro 2 se incluyen las principales antocianinas de una serie de frutas pudiéndose evidenciar que la cianidina es la antocianina más ampliamente distribuida entre las frutas.

Cuadro 2. Principales antocianinas de las frutas.

Fruta	Antocianina	Glucosilación
Zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>)	Cy	3-glucósido, 3 rutinósido
Grosella negra (<i>Ribes nigrum</i>)	Cy., Dp	3-glucósido, 3 rutinósido
Frambuesa (<i>Rubus ideaus</i>)	Cy., Pg.	3-glucósido, 3-rutinósido, 3-soforósido
Fresa (<i>Fragaria spp.</i>)	Pg., Cy	3-glucósido
Cereza (<i>Prunus spp.</i>)	Cy., Pn	3-glucósido, 3-rutinósido

Cy = cianidina, Dp = delphinidina, Pg = pelargonidina y Pn = peonidina.

(Coulate, 1984).

2.2. Antocianinas

Un pigmento es un compuesto químico (cromóforo) que absorbe luz en el rango de longitud de onda de la región visible. La producción de la luz se debe a la estructura de la molécula del compuesto, que reflejará la energía no absorbida que será percibida por el ojo humano, en donde se generarán impulsos que serán transmitidos al cerebro y serán interpretados como color.

Los pigmentos pueden ser clasificados tomando en cuenta alguna de sus características, como las siguientes (Delgado-Vargas *et al.*, 2000):

- Origen: pueden ser naturales, sintéticos o inorgánicos. Los pigmentos naturales son los producidos por organismos vivos mientras que los sintéticos son producidos en el laboratorio. En cuanto a los pigmentos inorgánicos, pueden ser naturales o sintéticos.
- Estructura química del cromóforo: el cromóforo puede tener sistemas conjugados como los carotenoides, las antocianinas y las betalaínas, entre otros (Gross, 1987).
- Estructura de los pigmentos naturales: encontramos a los derivados del tetrapirrol (clorofilas), los derivados de los isoprenoides (carotenoides). Compuestos N-heterocíclicos (betalaínas), derivados del benzopirano (antocianinas) y quinonas (benzoquinonas).
- Como aditivos de alimentos: pueden ser certificados y no certificados (Fennema, 2000), según la FDA.

2.2.1. Generalidades de las antocianinas

Las antocianinas (del griego *antho*, flor y *kyanos*, azul), son compuestos no nitrogenados pertenecientes a la familia de los flavonoides, con amplia distribución en la naturaleza. Estos polifenoles son solubles en agua (Del valle *et al.*, 2005) y confieren a frutos, flores y hojas los colores azul, rojo, violeta (Kong *et al.*, 2003). Desde el punto de vista funcional y debido a su alto poder reductor, actúan como antioxidantes al prevenir procesos que conducen a la producción de radicales libres y a la muerte celular (Kong *et al.*, 2003). En vegetales se asocian con el mecanismo de protección en casos de exceso de luz (O'Neill y Gould, 2003) y con la coloración de los frutos (Steyn *et al.*, 2000). Hasta ahora no hay reportes de la toxicidad de las antocianinas, por lo que se consideran inofensivas a la salud, siendo una alternativa potencial en la industria alimentaria como un aditivo seguro y efectivo.

Las especies del género *Rubus* se han descrito como fuentes naturales de antocianinas, como son la cianidina-3-glucósido y en algunos casos glucósidos de pelargonidina (Deighton *et al.*, 2000), diversos estudios reportan que su contenido va de 10 a 600 mg/100 g de peso fresco (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Contenido de antocianinas en diferentes especies de bayas
(mg /100g peso fresco).**

Fruto	Género	Antocianina
Zarzamora	<i>Rubus spp</i>	131-256 ¹
Grosella negra	<i>Ribes nigrum, L.</i>	80-810 ²
Frambuesa	<i>Rubus ideaus, L</i>	20-220 ²
Fresa	<i>Fragaria ananassa</i>	10-80 ²
Mora azul	<i>Vaccinium (diferentes subgéneros)</i>	60-480 ²
Arándano	<i>Vaccinium oxycoccus, L</i>	20-360 ²
Arándano Rojo	<i>Vaccinium Vitisidaea, L</i>	35-170 ²
Arándano americano	<i>Vaccinium myrtillus, L</i>	300-600 ²

(¹Siriwoharn *et al.*, 2004) y (²Rein, 2005).

2.2.2. Estructura de las antocianinas

Las antocianinas se consideran flavonoides porque tienen el esqueleto carbonado C₆C₃C₆ característico. La estructura básica de las antocianinas es el 2-fenilbenzopirilio de la sal de flavilio (Figura 3) (Fennema, 2000), con un anillo-A benzoil y un anillo-B hidroxicinamoil (Strak y Wray, 1989).

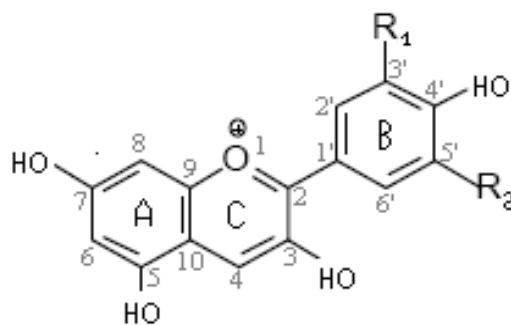


Figura 3. Estructura básica de la antocianina (Fennema, 2000).

Las antocianinas difieren en el número de grupos hidroxilo y/o metóxilo presentes, los tipos, los números y los sitios de unión de los azúcares a la molécula, además del tipo y número de ácidos alifáticos o aromáticos unidos a los azúcares. Los azúcares más comunes son glucosa, galactosa, arabinosa y xilosa (Fennema, 2000). Estos azúcares pueden encontrarse en forma de di y trisacáridos formados por la combinación de las mismas. Los ácidos mayormente encontrados son el ácido cafeíco, p-cumárico, sináptico, p-hidroxibenzoíco, ferúlico, malónico, succínico y acético (Gross, 1987). Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas.

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles con características de glucósidos; están constituidos por una molécula de antocianidina, que es una aglucona, a la que se une un azúcar por medio de un enlace β - glucosídico. La estructura química básica de estas agluconas es el ión flavilio que consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilio (C) y un anillo fenólico (B).

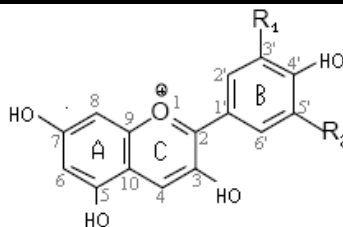
De las 20 antocianidinas que actualmente se conocen, las más importantes son la pelargonidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez. La

combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas que abundan en la naturaleza. Debido a que las antocianidinas no existen en forma de agluconas en los alimentos, su presencia es indicio de una posible hidrólisis química o enzimática del enlace glucosídico del pigmento. Dicha hidrólisis no significa necesariamente pérdida del color, pero la aglucona se vuelve más sensible a muchos factores externos e incluso puede precipitar; por lo que en ambos casos se ve fuertemente afectado después de algún tiempo (Badui, 2006).

El color de estos pigmentos está determinado por el número y la orientación de grupos hidroxilos, la naturaleza y número de azúcares unidos a la molécula así como de su posición, la naturaleza y el número de los grupos alifáticos o aromáticos que están unidos al azúcar y el ambiente fisicoquímico en el cual se encuentra el compuesto. El cuadro 4 muestra las características estructurales y espectrales de las diferentes antocianidinas dependiendo del tipo de sustitución que presentan.

Cuadro 4. Características estructurales y espectrales de las antocianinas dependiendo de los sustituyentes que contengan (Harbone, 2000).

Aglucona	Sustituyentes		Espectro visible (nm)
	R ₁	R ₂	
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (rojo-naranja)
Delfinidina	OH	OH	508 (azulado-rojo)
Peonidina	OMe	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OMe	OH	508 (azulado-rojo)
Malvidina	OMe	OMe	510 (azulado-rojo)



2.3. Factores que afectan la estabilidad de las antocianinas

Al igual que la mayoría de los colorantes naturales, las antocianinas presentan una estabilidad inherente dentro de las matrices alimentarias, aunque son más estables bajo condiciones de acidez. Pueden ser degradadas por una gran variedad de factores o mecanismos que las convierten en productos incoloros solubles y/o productos con tonalidad café e insoluble. Esta degradación puede ocurrir durante el proceso de extracción y purificación del pigmento o durante el procesado y almacenamiento de los alimentos. Los factores que tienen mayor influencia en la estabilidad de las antocianinas son la temperatura, pH, la exposición a la luz y el oxígeno (Badui, 2006).

2.3.1. Temperatura

Como cualquier otra reacción química la estabilidad de las antocianinas y la velocidad de degradación están marcadamente influenciadas por la temperatura. La estabilidad de las antocianinas es prácticamente independiente del pH en condiciones anaeróbicas; la concentración de pigmentos poliméricos (productos de degradación de las antocianinas) incrementan con el aumento de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, contribuyendo de esta forma al pardeamiento de jugos y vinos. Varios autores han recomendado el uso de altas temperaturas y tiempos de proceso cortos para alcanzar maximizar la retención de pigmento en alimentos procesados (Badui, 2006).

2.3.2. pH

Los cambios estructurales de las antocianinas resultado del efecto del pH, es un factor muy importante para el color y la estabilidad de estos pigmentos. Las soluciones de las antocianinas que generan colores de rojo intenso son las que tienen un pH por debajo de 3, con el incremento del pH estas antocianinas puede que pierdan o que se vuelvan incoloras antes de que se adquieran tonalidades púrpuras o azul oscuro a pH mayores de 6 (Badui, 2006).

2.3.3. Exposición a la luz

Las antocianinas en general son inestables cuando son expuestas a la luz ultravioleta o luz visible, o cuando son expuestas a fuentes de radiación. Las antocianinas que tienen un grupo hidroxilo como sustituyente en el carbono 5, son más susceptibles a la degradación fotoquímica en comparación con la que no presentan este tipo de sustituyentes. La luz causa un incremento en las velocidades a las cuales las antocianinas se degradan por la acción térmica, debido a la formación del catión flavilio (Wesche-Ebeling y Montgomery, 1984).

2.3.4. Efecto del oxígeno

El oxígeno tiene un efecto negativo en la estabilidad de las antocianinas. Esto es debido a que la presencia de oxígeno molecular hace muy susceptible a la molécula de antocianina (Wesche-Ebeling y Montgomery, 1984).

Existen diversos métodos para la eliminación de oxígeno, la remoción de este gas permite que haya prevalencia de color. Es por esto que el procesado de alimentos con antocianinas se lleva a cabo bajo condiciones de vacío (Fennema, 2000).

2.4. Extracción y cuantificación de antocianinas

Las antocianinas son moléculas polares y consecuentemente son más solubles en solventes polares que no polares. A valores de pH donde las moléculas de antocianinas están no ionizadas, pueden ser solubles en éter y no son estables en soluciones neutras y alcalinas; por tanto, los métodos convencionales empleados para la cuantificación de antocianinas implican el uso de solventes ácidos.

Como se observa en el cuadro 5 los métodos para la extracción de las antocianinas han ido en busca de mejores rendimientos pero se han comprometido en cuestiones de seguridad (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

Cuadro 5. Métodos para la extracción de antocianinas

Método	Características
0.001% HCL en metanol	Este es el método más efectivo, pero el HCL es corrosivo y el metanol tiene efectos tóxicos en la salud humana
0.001% HCL en etanol	80% tan efectivo como el metanol
0.001% HCL en agua	27% tan efectivo como el metanol
Metanol acidificado con ácido cítrico	Este es el más eficiente de los ácidos orgánicos
Agua acidificada con ácido acético	En eficiencia es seguido del ácido cítrico, tartárico y clorhídrico
Agua con 1000 ppm de SO ₂	La extracción es mejor obtenida por el uso de la extracción tradicional los cuales implica sistemas de etanol, ácido acético y agua.

Delgado-Vargas *et al.* (2000).

2.5. Microencapsulación mediante secado por aspersión

2.5.1. Origen y generalidades del proceso

Los procesos de microencapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante mediante un proceso de coacervación. La utilización de microcápsulas abarca una amplia gama de campos: la liberación

controlada de sabores, colores, aromas, perfumes, drogas, fertilizantes y precursores en impresiones (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La microencapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas en una matriz o sistema pared con el objetivo de evitar su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento o para impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se liberará gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales. Se utiliza también el término microencapsulación en la industria alimentaria o farmacéutica cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La microencapsulación hoy en día se aplica para preservar y/o proteger numerosos ingredientes comerciales. El material que es cubierto se refiere como fase interna y el material que recubre es llamado pared y generalmente no reacciona con el material a encapsular (Figura 4) (Pedroza-Islas, 2002).

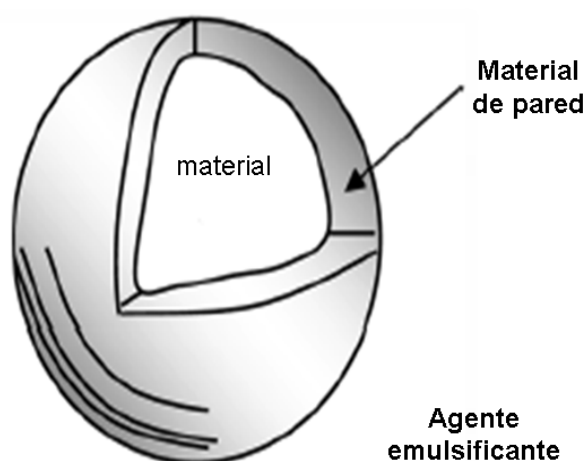


Figura 4. Estructura general de una microcápsula (Lozano-Berna, 2009)

La industria de alimentos y farmacéutica, aplica la microencapsulación por un gran número de razones (Shaidi y Han, 1993), entre las que se citan:

- Reducir la reactividad del núcleo en relación con el ambiente exterior (luz, oxígeno, agua, solventes).
- Disminuir la evaporación o velocidad de transferencia del material del núcleo hacia el ambiente.
- Promover un manejo más fácil del material del núcleo como prevenir apelmazamientos y convertir un líquido en una forma sólida.
- Controlar la liberación del material del núcleo.
- Alterar las propiedades de superficie del material.
- Enmascarar o preservar sabores y aromas.

El contenido de las microcápsulas puede liberarse por diversos mecanismos (Karel y Langer, 1998; Jackson y Lee, 1991; Reineccius, 1995): mecánicos, por ejemplo mediante la masticación (liberación física), por solubilización, por cambio en el pH, por acción enzimática y por liberación térmica, todo ello en función del tipo de agente encapsulante y el sistema en el que va a utilizarse el producto microencapsulado.

La microencapsulación puede realizar varias funciones. Además de proteger sabores, también puede alargar la vida de anaquel y la estabilidad, controlar la liberación de sabor y proporcionar sabores líquidos en forma granular. El sabor puede ser subjetivo, aunque obtener el sabor correcto es el objetivo de todo fabricante. Los sabores pueden considerarse como uno de los ingredientes más valiosos en cualquier formulación y la microencapsulación puede resolver problemas específicos que no podrían ser resueltos por otra vía. Una manera de preservar y mejorar los sabores es por medio de la microencapsulación. En la industria alimentaria, la microencapsulación está transformando los productos alimentarios, incluso se ha llegado a intervenir en las tendencias de salud del consumidor mediante la encapsulación de probióticos o con la incorporación de otros ingredientes que mejoren la salud. Se han creado nuevas texturas, se han

diferenciado y revalorizado algunos productos. Uno de los sectores con mayor potencial es la alimentación infantil con la incorporación de vitaminas, minerales, etc. (Martín, 2007).

El sabor es una constelación de 20-150 químicos diferentes. Todos estos químicos tienden a reaccionar con algo más. El sabor tiene la oportunidad de reaccionar en la matriz de un alimento, alterando su perfil o su sabor (Schatzman, 2008).

2.5.2. Materiales pared utilizados

La microencapsulación rodea a un número de procesos diferentes que se pueden utilizar para proteger un ingrediente, preservando su núcleo en cierto tipo de película o capa protectora. Se pueden recubrir los ingredientes usando una variedad de materiales, incluyendo carbohidratos y lípidos. Distintos sabores conforman sistemas muy complejos de sabor porque existen muchas variables. Algunos sabores son más estables en carbohidratos, los cuales son solubles en agua, y otros son más estables en matrices elaboradas con lípidos. Dependiendo del tipo de material del recubrimiento y cómo se elabora el material, una cubierta se puede programar para liberar gradualmente o repentinamente; al comienzo o al final del ciclo del producto; a cierta temperatura; o cuando se necesita alcanzar un nivel particular de pH. Si un producto tiene varios sabores, se puede añadir varias capas para asegurar, si es necesario, que los sabores se liberan en diferentes tiempos. Se puede emplear la microencapsulación si se desea controlar la liberación del sabor. Los alimentos recalentados son un buen ejemplo. Si se tiene un sabor encapsulado y sellado, el producto queda completamente estable durante el ciclo del producto. El consumidor lo lleva a casa, lo coloca en el horno de microondas, la cápsula se abre, y los sabores se liberan (Schatzman, 2008).

McNamee *et al.* (2001) utilizaron la mezcla de maltodextrina – almidón (DE 5.5-38) obteniendo un microencapsulado eficiente en términos de sabor (dulzura) y solubilidad.

Desarrollos recientes se han hecho con nuevos acarreadores (Cuadro 6), incluyendo coloides y gomas naturales, para la obtención de mezclas que permitan incrementar la retención de compuestos volátiles y la vida de anaquel de las microcápsulas. Se ha conseguido la retención de aceites esenciales de naranja y disminuido su oxidación al usar goma arábica (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

Hogan *et al.* (2001) obtuvieron un microencapsulado de aceite de soya protegiéndolo con caseinato de sodio como agente encapsulante, el cual presentó un rango de humedad de 1.5 - 4% estos mismos autores encontraron una humedad de 1.3% en emulsiones que contenían aceite de soya y proteínas de harina concentrada como agente encapsulante.

Cuadro 6. Tipos de coberturas utilizadas en microencapsulación

Tipo de cobertura	Cobertura específica
Gomas	Gomas arábica, agar, alginato de sodio, carragenina
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosa	Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, acetilcelulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, aceites, grasas
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

(Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

2.5.3. Morfología de las microcápsulas

Las microcápsulas presentan una amplia variedad de estructuras, algunas son de geometría esférica con una base interna continua rodeada por una pared también continua (estructura de partícula simple), mientras que otras presentan una geometría irregular y puede tener la fase interna distribuida en una matriz de material pared (estructuras agregadas) con un tamaño en el intervalo de 0.2 a 5000 μm (Pedroza-Islas, 2002). Generalmente se puede clasificar como microcápsulas de sistema reservorio o capsular y microcápsulas en sistema matricial:

- a) Sistema reservorio o capsular: el material activo se encuentra en una especie de reservorio, que puede ser naturaleza líquida o sólida, el cual se haya envuelto por una fina película del material de recubrimiento. En la figura 5, se observa el caso de una partícula con el interior lleno (figura 5a), o bien con el interior parcialmente vacío creando una microcápsula hueca (figura 5b).
- b) Sistema matricial: el material activo se encuentra altamente disperso en la matriz polimérica. Se puede tener una estructura en forma de espuma en donde el material activo se localiza repartido en toda la microcápsula y la cubierta o bien permanece intacta (figura 5c) o bien una estructura abierta en forma de red (figura 5e). También podemos observar microcápsulas en las que el material activo está disperso en la matriz que sirve como cubierta, tanto como esfera llena (figura 5d) como en la periferia (figura 5f). Un ejemplo de microcápsulas tipo d sería el uso de nanopartículas como material activo. La forma de las microcápsulas podrá ser esférica o bien presentar una forma irregular (Figura 5g) (Lozano-Berna, 2009).

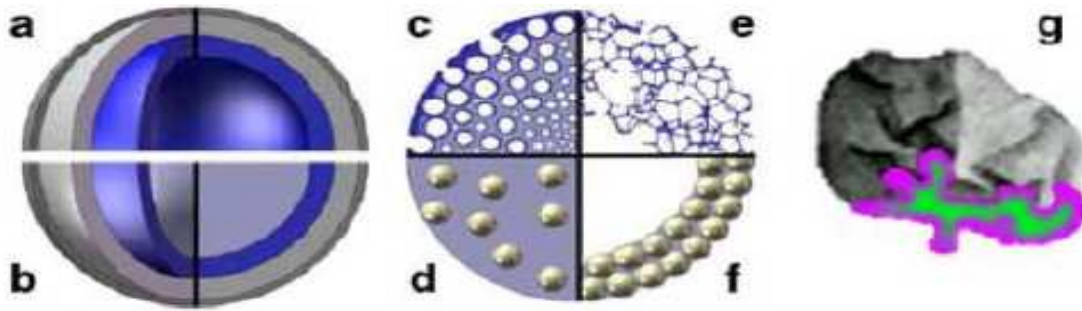


Figura 5. Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas (Vehring, 2008).

Diversas técnicas han sido desarrolladas o aplicadas para la fabricación de microcápsulas, pudiendo ser clasificadas como métodos físicos, químicos, o fisicoquímicos. El tipo de proceso utilizado depende de las propiedades del agente encapsulante, así como de las limitaciones del material activo, del mecanismo de liberación deseado y el costo (Montes *et al.*, 2007).

En general estos métodos pueden ser divididos en tres grupos:

Procesos físicos: secado por aspersión, extrusión y recubrimiento por aspersión; procesos fisicoquímicos: coacervación simple o compleja y atrapamiento en liposomas; y procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

La selección del proceso de microencapsulación para una aplicación considerada dependerá del tamaño medio de la partícula requerida, las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante además de la sustancia a encapsular, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

2.6. Secado por aspersión

El secado por aspersión es ampliamente usado en la industria de los alimentos debido a que es un método económico y efectivo en la protección de materiales, como en la deshidratación de leche. Los almidones modificados, las maltodextrinas y las gomas son empleadas como acarreadores o materiales pared. El material a encapsular es homogenizado con el acarreador; la mezcla es alimentada al secador por aspersión y se atomiza por medio de una boquilla o disco; las microcápsulas se colectan posteriormente (Yáñez-Fernández *et al.*, 2005).

Por definición, el secado por aspersión es la transformación de un líquido en un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado caliente. La distribución del tamaño de las partículas obtenidas por este método es en general menor a 100 μm , aunque debemos destacar que ello depende de las condiciones del proceso. La adecuada selección del atomizador y el agente encapsulante, son factores críticos. Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5-30 s). El tipo de material encapsulante tendrá influencia en la estabilidad de la emulsión antes de secar, el tamaño de partícula, las propiedades del flujo, las mecánicas y en la vida útil del material deshidratado (Pedroza-Islas, 2002).

El proceso de secado por aspersión consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, en forma de finas gotas sobre una corriente de gas calentado. Cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas a mayor temperatura se produce una rápida evaporación del solvente, formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra disuelto en él. Las microcápsulas usualmente caen en el rango de varios micrones hasta aproximadamente 200 μm (Porzio, 2004). En este proceso se puede identificar tres pasos básicos (Dziezak, 1988):

- Preparación de la dispersión o emulsión a ser procesada.
- Homogenización de la dispersión.
- Atomización de la masa dentro de la cámara de secado.

Este proceso se realiza en un secador por aspersión que se compone básicamente de un sistema de alimentación del líquido, un dispositivo de atomización (disco que gira a alta velocidad), una cámara de atomización y un sistema colector del producto seco (Figura 6). La rápida evaporación del agua del recubrimiento durante su solidificación mantiene el material núcleo por debajo de los 100 °C, a pesar de las altas temperaturas utilizadas en el proceso (Dziezak, 1988). Esto, junto a que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (2 a 20 s) hace a este proceso apropiado para materiales sensibles al calor (Sheu y Rosenberg, 1995).



Figura 6. Esquema de equipo de secado por aspersión

(Tomado de: www.buchi.com)

La microencapsulación es una técnica relativamente nueva que sirve para proteger a los materiales encapsulados de factores que puedan causar deterioro, tales como el oxígeno, la luz o la humedad (Tonon *et al.*, 2009). La microencapsulación por secado por aspersión es un método económico para

preservar componentes naturales, mediante el atrapamiento de la sustancia de interés en un material de recubrimiento (Ersus y Yurdagel, 2007).

2.6.1. Problemática de la microencapsulación de jugos

El someter el jugo de las frutas a un proceso de secado favorece una vida de almacenamiento larga a temperaturas ordinarias ya que al secar el jugo se obtiene un producto estable, de fácil manejo y reconstitución con características semejantes al jugo original. Sin embargo, el secado de los jugos de frutas y otros productos con alto contenido de azúcares presenta dificultades técnicas debido a su higroscopicidad y termoplasticidad a altas temperaturas y humedades. Por esta razón, se recurre a la microencapsulación para la producción de jugos en polvo (Gabas *et al.*, 2007).

El termino pegajosidad o “stickiness” hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula-partícula y de adhesión partícula-pared que presentan los polvos obtenidos, lo que dificulta su presentación y mancha las paredes de los cilindros de secado, al quedar en la pared del compartimiento como un jarabe; da lugar a bajas producciones del producto y a problemas operacionales. La cohesión es una propiedad interna del polvo y una medida de las fuerzas que mantienen unidas las partículas, mientras que la adhesión es una propiedad interfacial y una medida de las fuerzas que mantienen las partículas unidas a otro material. La mayor causa de la pegajosidad en polvos amorfos de jugos es la acción plastificante del agua en la superficie, que da lugar a la adhesión y cohesión (Lozano-Berna, 2009).

En la industria alimentaria se utilizan diferentes materiales como agentes encapsulantes, tales como: carbohidratos, ésteres, gomas, lípidos, proteínas y materiales inorgánicos. Dentro de los carbohidratos, las maltodextrinas son importantes para la preparación de jugos que van a ser secados por aspersión, ya que son incoloras, inodoras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (García-Gutiérrez *et al.*, 2004).

Las maltodextrinas son obtenidas a partir de una hidrólisis parcial del almidón por vía ácida, enzimática o por calor (Reineccius, 1991). El almidón puede proceder de trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*), patata (*Solanum tuberosum*) o tapioca (*Manihot esculenta*). Las maltodextrinas son materiales solubles en agua y protegen el ingrediente encapsulado de la oxidación, tiene baja viscosidad y están disponibles en diferentes pesos moleculares lo que proporciona diferentes densidades de pared alrededor de los materiales sensibles (Ersus y Yurdagel, 2007). Estos polisacáridos consisten de unidades de β -D-glucosa unidas principalmente por enlaces glucosídicos (1-4) y se clasifican por lo general de acuerdo con su equivalente de dextrosa (DE). El DE de una maltodextrina determina su capacidad de reducir y es inversamente proporcional a su peso molecular. Se utilizan principalmente en los materiales que son difíciles de secar como los jugos de frutas, aromas y edulcorantes con la finalidad de reducir la viscosidad y los problemas de aglomeración durante el almacenamiento, con lo que la mejora la estabilidad del producto (Gabas *et al.*, 2007).

Se clasifican según su grado de hidrólisis, expresado como equivalentes de dextrosa (DE). Las maltodextrinas tienen un DE de menos de 20, según la agencia alimentaria de los Estados Unidos (sustancias directas del alimento afirmadas como GRAS; párrafo 184.14444 de 21 CFR), mientras que los polímeros de glúcidos con DE mayores de 20 se consideran como jarabes de glucosa (endulzantes y jarabes de glucosa; párrafo 168.121 de 21 CFR) (Lozano-Berna, 2009).

Para el secado por aspersión de jugos se han utilizado maltodextrinas y jarabes de glucosa. Cabe señalar como ejemplos el secado por aspersión de sandía con maltodextrinas 9 DE (Quek *et al.*, 2007), jugo de piña con maltodextrina 10 de ED (Abadio *et al.*, 2004), de jugo de mango con maltodextrina 20 DE (Cano-Chauca *et al.*, 2005).

Las características finales de un producto en polvo obtenido por secado por aspersión depende de algunas variables de proceso (Tonon *et al.*, 2009).

2.6.2. Factores que determinan la calidad de productos microencapsulados

El secado por aspersión de los jugos de frutas es una operación de un solo paso que transforma los jugos en un producto en polvo. La formulación en polvo facilita el transporte al reducir el peso y también preserva el producto de la degradación bacteriana al disminuir drásticamente la actividad de agua (Lozano-Berna, 2009).

En productos en polvo el contenido de humedad es importante ya que a menor humedad es mayor el tiempo de vida de anaquel, lo cual reduce costos y facilita la transportación. A éste respecto, es importante que un alimento en polvo tenga un contenido de humedad menor al 10%. Actualmente los productos alimenticios en polvo elaborados a partir de frutas y verduras con buenas propiedades nutritivas y de hidratación son de interés en la industria alimentaria (García-Gutierrez *et al.*, 2004).

Siew *et al.* (2000) demostraron que la maltodextrina fue muy útil en el secado por aspersión del jugo de sandía ya que la adición de la maltodextrina aumenta el contenido total de sólidos en la alimentación y por tanto reduce el contenido de humedad del producto.

Las propiedades fisicoquímicas de los polvos obtenidos por secado por aspersión dependen de algunas variables de proceso como: las características del líquido alimentado (viscosidad, tamaño de partícula, velocidad de flujo) y del aire de secado (Temperatura y presión), así como el tipo de atomizador. Por lo tanto, es importante optimizar el proceso de secado, con el fin de obtener productos con mejores características sensoriales y nutricionales (Tonon *et al.*, 2009).

Obtener jugos en polvo es muy atractivo desde el punto de vista industrial, ya que es un sector con gran proyección, encontrándose muchas aplicaciones tanto en el sector de la alimentación como en el de productos nutracéuticos y de cosmética (Lozano-Berna, 2009).

3. JUSTIFICACIÓN

El jugo de zarzamora (*Rubus fruticosus*) contiene diversas propiedades nutricionales, y es apreciada por su sabor, aroma, textura y color, éste último es debido a una gran fuente de antocianinas. En el municipio de Jitotol, Chiapas, se producen frutos de zarzamora que son comercializados en forma fresca, por lo que en este proyecto se pretende dar un uso alternativo a la comercialización del fruto, empleando un proceso de transformación que permita conservar el mayor número de propiedades nutricionales y organolépticas. Al respecto el proceso de secado por aspersión se presenta como una opción para industrialización del fruto, sin embargo, dado que es deseable que se conserven la mayoría de sus propiedades nutricionales y organolépticas, se puede emplear este proceso asociándolo con un agente encapsulante o protector, determinando la temperatura de secado y la concentración de agente protector que permita la estabilidad del jugo procesado y finalmente el producto microencapsulado permita su conservación por periodos de tiempo extensos lo que facilitaría su almacenamiento.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la temperatura del aire de secado y concentración de maltodextrina sobre las características de las microcápsulas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materia prima

Los frutos de zarzamoras (*Rubus fruticosus*) fueron adquiridos en el municipio de Jitotol, Chiapas, México, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a su estado de madurez (3-4°Brix), color rojo homogéneo y sin daño físico aparente. Los frutos fueron transportados al laboratorio y fueron sometidos a extracción del jugo por compresión. Todo el lote de jugo fue homogeneizado manualmente sin adición de ningún líquido utilizando una pañalina para eliminar los sólidos y finalmente el jugo fue congelado en bolsas de plástico y almacenados en un congelador convencional (-18°C) hasta su utilización. El pH del jugo de zarzamora se determinó directamente utilizando un potenciómetro pH 1100 series, OAKTON después de su calibración utilizando soluciones buffer estándar (pH 7 y 4). Se determinaron los sólidos totales del jugo según la norma NMX-F-527-1992. Además se determinaron los °Brix directamente de la muestra utilizando un refractómetro (Pocket refractometer PAL-3), todas las pruebas se realizarán por triplicado.

5.2. Microencapsulación

Para la preparación de las emulsiones jugo/agente encapsulante se utilizó como agente encapsulante maltodextrina (MD) (INAMALT, IMSA Guadalajara Jalisco, México), la cual fue hidratada con jugo de zarzamora a 40°C y posteriormente se mantuvieron en refrigeración durante 24 horas. Para lo anterior se utilizaron concentraciones de 30, 40 y 50%. Posteriormente, la mezcla fue secada en el aspersor utilizando un secador por aspersión Mini Spray Dryer, B-290 (Figura 7). El secado se realizó a temperaturas del aire de entrada de 120, 130 y 140°C con un flujo de alimentación de la emulsión de 10 mL/min. El polvo obtenido se

almacenó en bolsas de plástico selladas al vacío y se almacenaron en frascos de vidrio ámbar con silica gel a temperatura ambiente.



Figura 7. Mini Spray Dryer, B-290.

5.2.1. Caracterización de microcápsulas

El jugo de zarzamora encapsulado se caracterizó en términos de su actividad acuosa (HigroPalm Rotronic), índice de blancura (colorímetro) y de antocianinas.

5.2.2. Determinación de eficiencia de microencapsulación

Se determinó la eficiencia de microencapsulación (EM), la cual se calculó utilizando la ecuación 1 (Su *et al.*, 2007).

$$EM(\%) = \frac{X}{Y} * 100 \quad (1)$$

En donde X son los gramos de polvo seco obtenido después de la aspersión y Y son los gramos de sólidos secos en la muestra asperjada.

5.2.3. Determinación de índice de blancura

Se determinó los valores colorimétricos L , a y b de los polvos con la ayuda de un colorímetro marca Color Tec PCM/PSM. El índice de blancura se calculó de acuerdo a la ecuación 2.

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (2)$$

Donde L es la luminosidad que va de 0 (negro) a 100 (blanco). El valor de a (rojo-verde) donde los valores positivos son rojos y los valores negativos son verdes y 0 es neutral. El valor colorimétrico b (amarillo-azul) donde los valores positivos son amarillos, los valores negativos es azul y 0 es neutral (figura 8) (Su *et al.*, 2007).

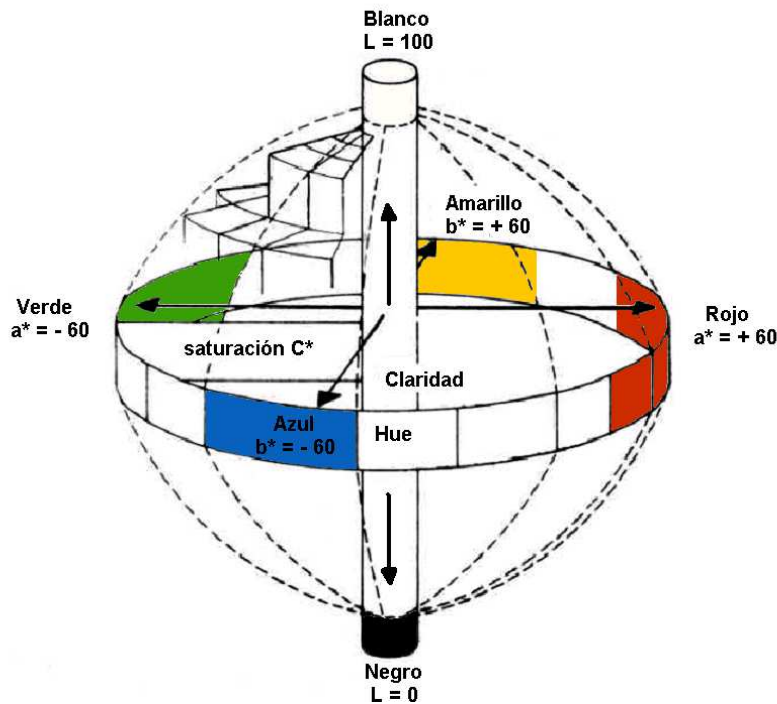


Figura 8. Espacio de color Hunter Lab. (L , a , b).

5.2.4. Cuantificación de antocianinas

Para la extracción de las antocianinas en el polvo, 0.5 g de polvo se maceraron en un mortero en 50 mL de una solución de metanol-HCl al 1%. La solución fue transferida a matraces de 250 mL forrados de papel aluminio para protegerlos de la luz y se mantuvieron 20 h en refrigeración. Después, las muestras fueron centrifugadas (centrífuga eppendorf 5810-R, Hamburg, Alemania) a 3000 rpm durante 10 minutos, recuperando el sobrenadante. Los espectros de absorción del sobrenadante obtenido de las muestras tratadas fueron determinados a una longitud de onda de 510 nm en un espectrofotómetro (Cole Parmer UV-2100, Veinon Hills, IL, USA). Finalmente, la cantidad de antocianinas impregnadas se calculó con la ecuación 3.

$$\text{mg/g de muestra} = (A * PM * FD * 1000 * v) / (\epsilon * 1 * m) \quad (3)$$

donde A es la Absorbancia, PM el Peso molecular (449.2 g mol⁻¹), FD el Factor de dilución, *v* el volumen de solución extractora (mL), *m* el peso de la muestra (g) y ϵ el Coeficiente de absorción molar (26900 L cm⁻¹ mol⁻¹) (Giusti y Wrolstad, 2001). Este último corresponde a la cianidina-3-glucósido.

5.2.5. Diseño experimental

Para lograr el objetivo propuesto, se utilizó un diseño experimental de superficie de respuesta compuesto central 2^2 +estrella (rotable y ortogonal) dando un total de 9 experimentos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diseño experimental

Tratamiento	Temperatura °C	Concentración (% MD)
1	130	40
2	144.142	40
3	115.858	40
4	130	25.8579
5	120	30
6	120	50
7	130	54.1421
8	140	50
9	140	30

Los factores y niveles utilizados fueron la temperatura del aire de secado (120, 130 y 140°C), y concentración de maltodextrina (30, 40 y 50%). Todos los tratamientos se realizaron por duplicado. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 utilizando el Statgraphics Centurion XV.2.05 (Statgraphics Plus, 2007).

Un modelo polinomial fue obtenido con la finalidad de expresar las variables medidas en función de la temperatura, concentración de maltodextrina (ecuación 4).

$$Y_k = \beta_k + \beta_k T + \beta_k C + \beta_k T^2 + \beta_k C^2 + \beta_k CT \quad (4)$$

donde β_k son los coeficientes a identificar, T es la temperatura del aire de secado (°C); C la concentración de maltodextrina. El criterio de ajuste fue obtener el mayor coeficiente de correlación R^2 .

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El cuadro 8 muestra la prueba de medias de los tratamientos a diferentes temperaturas de aire de entrada y concentraciones de maltodextrina utilizados.

Cuadro 8. Índice de Blancura (IB), Aw, Rendimiento de proceso y Eficiencia de Microencapsulación de Antocianinas (EMA) de los polvos asperjados.

Temperatura (°C)	Concentración (% MD)	IB	Aw	Rendimiento de proceso (%)	EMA (%)
130	40	63.88 c	0.18 a	53.09 abc	30.74 b
144.14	40	63.18 cd	0.15 a	59.50 ab	29.66 b
115.86	40	64.49 abc	0.21 a	44.86 bc	22.27 b
130	25.85	60.9 d	0.22 a	49.40 abc	31.74 b
120	30	63.14 cd	0.14 a	64.4 a	93.13 a
120	50	67.69 a	0.19 a	49.80 abc	20.81 b
130	54.14	63.62 bcd	0.18 a	41.28 c	14.92 b
140	50	66.95 ab	0.14 a	55.18 abc	20.26 b
140	30	63.09 cd	0.14 a	63.25 a	34.93 b

Letras iguales en cada columna corresponde a tratamientos estadísticamente iguales ($p < 0.05$).

En este cuadro 8 se observa que el mejor tratamiento en donde se maximiza el rendimiento de proceso y la eficiencia de microencapsulación de antocianinas corresponde al tratamiento realizado a 120°C con 30% de maltodextrina. En este caso se podría elegir este tratamiento ya que la eficiencia de microencapsulación de antocianinas fue más elevada comparada con los otros tratamientos. Sin

embargo, una optimización es propuesta posteriormente. En el caso de la actividad de agua, no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Para el caso del índice de blancura (IB) si existe diferencia estadística significativa, sin embargo, la utilización de un polvo dependerá de la aplicación.

6.1. Efecto de la temperatura de aire de secado y concentración de maltodextrina sobre el índice de blancura, actividad de agua, eficiencia de microencapsulación de antocianinas y rendimiento de proceso.

El cuadro 9 muestra la prueba de medias realizada para el índice de blancura (IB), actividad de agua (Aw), rendimiento de proceso, y eficiencia de microencapsulación de antocianinas.

Cuadro 9. Prueba de medias del IB, Aw, rendimiento de proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianinas respecto a la temperatura.

T (°C)	IB	Aw	Rendimiento de proceso (%)	Eficiencia de microencapsulación de antocianinas (%)
120	65.418 a	0.1635 a	57.101 ab	56.97 a
140	65.023 a	0.1427 a	59.22 a	27.60 b
116	64.491 a	0.2095 a	44.87 b	22.27 b
130	63.565 a	0.1871 a	51.547 ab	29.26 b
144	63.186 a	0.1585 a	59.506 a	29.67 b

DMS	2.8013	0.0807	12.811	21.151

Letras iguales en cada columna corresponde a tratamientos estadísticamente iguales (p<0.05).

El cuadro 9 muestra que la temperatura tuvo un efecto estadístico significativo en el rendimiento del proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianinas pero no para el IB y Aw ($p < 0.05$). El máximo rendimiento de proceso obtenido fue de 59.506% a 144°C, mientras que el menor rendimiento fue de 44.87% a 116°C. En cuanto al rendimiento del proceso, es posible observar un comportamiento proporcional con la temperatura, sin embargo, no es evidente. Masters (2002) explica que a temperaturas de entrada elevadas habrá mayor rendimiento ya que se evita la eventual pegajosidad del producto, lo cual significa un mejor comportamiento en el secado. Este mismo cuadro 8 muestra que la máxima eficiencia de microencapsulación de antocianinas fue de 56.97% a 120 °C mientras que a 116°C se obtuvo el menor rendimiento de microencapsulación. En este trabajo, la menor eficiencia de microencapsulación fue a 116°C, estos resultados no coinciden con la literatura, ya que se ha mostrado que la estabilidad de las antocianinas disminuye con el incremento de la temperatura. Lo anterior podría ser explicado por la elevada DMS encontrada de 21%. Moreira *et al.* (2010) demostraron que la retención de compuestos de interés durante el secado por aspersión fue favorecida por bajas temperaturas del aire de secado y mayor contenido de sólidos en la mezcla a secar, sin embargo, estos autores mencionan que para obtener un 95% de retención de antocianinas era necesario usar temperaturas de 170°C.

En el cuadro 10 se muestra que la concentración de maltodextrina tuvo un efecto estadístico significativo ($p < 0.05$) para todos los parámetros evaluados. De acuerdo a éste, el mayor índice de blancura (IB) se obtiene utilizando 50% de maltodextrina

(MD) con un IB de 67.323; para la Aw todos los valores corresponden a productos secos, altamente estables. Quek *et al.* (2007) mencionan que la actividad de agua (Aw) disminuye al aumentar la concentración de maltodextrina.

Cuadro 10. Prueba de medias del IB, Aw, rendimiento de proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianina respecto a la concentración de maltodextrina.

Concentración de maltodextrina (%)	IB	Aw	Rendimiento de proceso (%)	Eficiencia de microencapsulación de antocianinas (%)
50	67.323 a	0.16575 ab	52.496 ab	20.54 b
40	63.879 b	0.1835 ab	52.914 ab	29.79 b
54	63.625 bc	0.1810 ab	41.288 b	14.93 b
30	63.118 bc	0.1405 b	63.826 a	64.03 a
26	60.909 c	0.2235 a	49.409 b	31.75 b

DMS	2.8013	0.0807	12.811	21.151

Letras iguales en cada columna corresponde a tratamientos estadísticamente iguales (p<0.05).

Para el caso de la eficiencia de microencapsulación de antocianinas y rendimiento de proceso se observa que los valores máximos encontrados se obtienen utilizando una concentración de maltodextrina de 30%. La maltodextrina se une mediante puentes de hidrógeno a la estructura de la antocianina en los grupos alcohol. Lo anterior hace suponer que existe una concentración máxima permitida

que mejora la eficiencia de microencapsulación de antocianinas. Adhikari *et al.* (2004) publicaron que los polvos resultantes añadiendo maltodextrinas a concentraciones mayores al 10% hacen perder el color característico. Estos resultados no están de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo ya que a 30 % de MD se obtiene el mayor rendimiento y eficiencia de microencapsulación (EM) de 63.826% y 64.03% respectivamente. De los resultados se deriva que con la adición de 30 % de maltodextrina favorece la elevación del rendimiento del proceso atribuida a que hubo menos adherencia a la superficie interna del equipo. Aunado a lo anterior, investigadores indican que un alto contenido de sólidos incrementa la retención, principalmente por la reducción del tiempo para formar la membrana semipermeable en la superficie de la partícula deshidratada (Soottitanwat *et al.*, 2005). Sankarikutty *et al.* (1988) y Rosemberg *et al.* (1990) sugieren que el mayor contenido de sólidos debería ser utilizado para la emulsión, sin embargo, resultados posteriores, han demostrado que existe un contenido de sólidos óptimo para el encapsulamiento de aromas y aceites (Bhandari *et al.*, 1992). Lo anterior sugiere que ocurre el mismo fenómeno en el encapsulamiento de otros materiales como pigmentos. Es importante mencionar que en nuestro diseño experimental no se utilizaron concentraciones de MD inferiores a 16%.

Nayak y Rastogi (2010) demostraron que la más alta concentración de antocianinas de *Garcinia indica* retenida (485 mg/100 g) en polvos secados por aspersión se lograron utilizando una mezcla 5% de maltodextrina DE 21, 0.25% de goma Acacia y 0.25% de fosfato tricálcico. En nuestro proyecto, las concentraciones de antocianinas en los polvos asperjados variaron entre 3.9 y

28.4 mg/g de polvo, valores superiores a los reportados por Nayak y Rastogi (2010). La diferencia podría deberse a que ellos utilizaron una mezcla de agentes y temperatura de secado de 150°C. Por su parte, Paz *et al.* (2010), secaron jugo de granada por aspersión utilizando aislado de proteína de soya y maltodextrina, encontrando que la mayor eficiencia de microencapsulación de antocianinas fue obtenida utilizando aislado de proteína de soya. Además reportaron que la maltodextrina da mayor protección a las antocianinas durante el almacenamiento de los polvos asperjados, por lo que sugieren que una mezcla de ambos agentes podría ser de mayor beneficio, ya que se podría optimizar las concentraciones de maltodextrina y proteína de soya de tal forma que se maximice la eficiencia de microencapsulación de antocianinas y se protejan durante más tiempo durante el almacenamiento.

El alto contenido de sólidos totales es un factor crítico para el rendimiento en el proceso de secado. Hodge y Osman (1982) publicaron que cuando se va a secar el jugo de fruta y la cantidad de sólidos en ella no es muy alta, el rendimiento del proceso no será el adecuado y consecuentemente se tendrá que aumentar los sólidos totales para obtener un mayor rendimiento en el producto seco.

6.2. Modelación matemática del proceso de secado

El cuadro 11 muestra el análisis de varianza ($p < 0.05$) para el índice de blancura la cual muestra que la concentración de maltodextrina tuvo un efecto estadístico significativo ($p < 0.05$) en el valor del índice de blancura del modelo.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el índice de blancura (IB).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: temperatura	1.739	1	1.739	0.56	0.4604
B: concentración	37.526	1	37.52	12.13	0.0018
AA	4.269	1	4.269	1.38	0.2511
AB	0.236	1	0.236	0.08	0.7845
BB	1.159	1	1.1591	0.37	0.5460
Bloques	14.977	1	14.977	4.84	0.0372
Error total	77.34	25	3.093		
Total (corr.)	137.253	31			

El diagrama de Pareto (figura 9) muestra que la concentración de maltodextrina tuvo un efecto significativo sobre el índice de blancura de las muestras en el modelo matemático. El mismo diagrama muestra que es posible incrementar el IB con el incremento de la concentración de maltodextrina, al incrementar la concentración de maltodextrina aumenta el índice de blancura por lo que el producto tiende a perder color y hacerse más blanco, esto puede influir en la aceptación del consumidor, al realizar un tipo de tecnología en la que pueda enmascarse el color pero tenga el sabor característico del fruto utilizado.

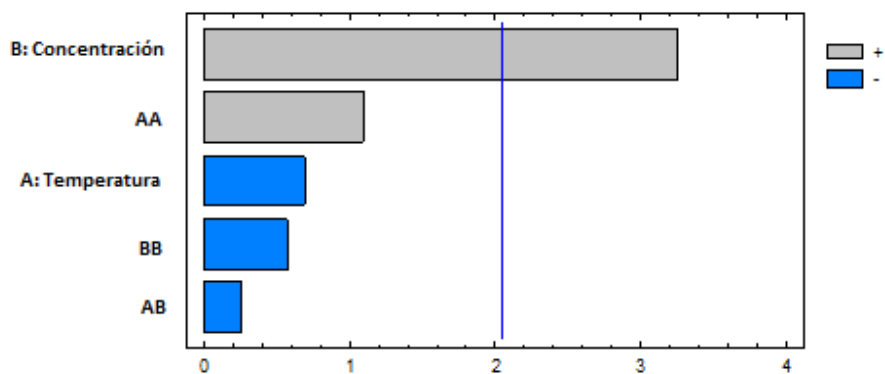


Figura 9. Efecto estandarizado de los factores para el índice de blancura.

En el cuadro 12 se muestra el análisis de varianza ($p < 0.05$) para la actividad de agua (A_w). En este caso, ninguna variable tuvo un efecto estadístico significativo en el modelo sobre la actividad de agua.

Cuadro 12. Análisis de Varianza para la actividad de agua (A_w).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	0.0032	1	0.00322	1.25	0.2738
B: concentración	0.00002	1	0.000023	0.01	0.9254
AA	0.00150	1	0.00150	0.58	0.4524
AB	0.00063	1	0.00063	0.24	0.6253
BB	0.000005	1	0.000005	0.00	0.9650
bloques	0.0017	1	0.00171	0.66	0.4229
Error total	0.06443	25	0.00257		
Total (corr.)	0.07153	31			

En el cuadro 13 el análisis de varianza ($p < 0.05$) para la eficiencia de microencapsulación de antocianinas muestra que el valor de P para la concentración de maltodextrina y la interacción que hay entre la concentración y la temperatura es menor a 0.05 teniendo una diferencia estadística significativa.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la eficiencia de microencapsulación de antocianinas.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: temperatura	582.956	1	582.956	2.07	0.1625
B: concentración	3067.16	1	3067.16	10.90	0.0029
AA	65.4457	1	65.4457	0.23	0.6339
AB	1662.02	1	1662.02	5.90	0.0226
BB	7.98352	1	7.98352	0.03	0.8676
bloques	279.46	1	279.46	0.99	0.3286
Error total	7037.92	25	281.517		
Total (corr.)	12702.9	31			

El diagrama de Pareto (figura 10) muestra que es necesario disminuir la concentración de maltodextrina para incrementar la eficiencia de microencapsulación de antocianinas. Sin embargo, como se vió anteriormente, existe una concentración óptima que maximiza. Considerando el estudio de González Palomares (2009) el encapsulante solo (MD) no formó una pared viscoelástica (que le otorgaría un emulsificante como una goma) suficiente para adquirir la morfología de las micropartículas del producto (Figura 11), de esta forma no protegió a la antocianina y por ello se obtuvo una baja eficiencia de microencapsulación.

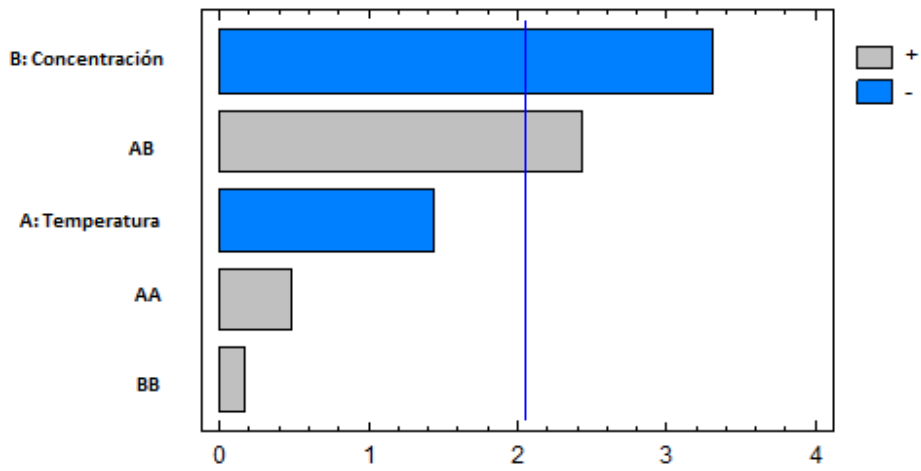


Figura 10. Efecto estandarizado de los factores para la eficiencia de microencapsulación de antocianinas.

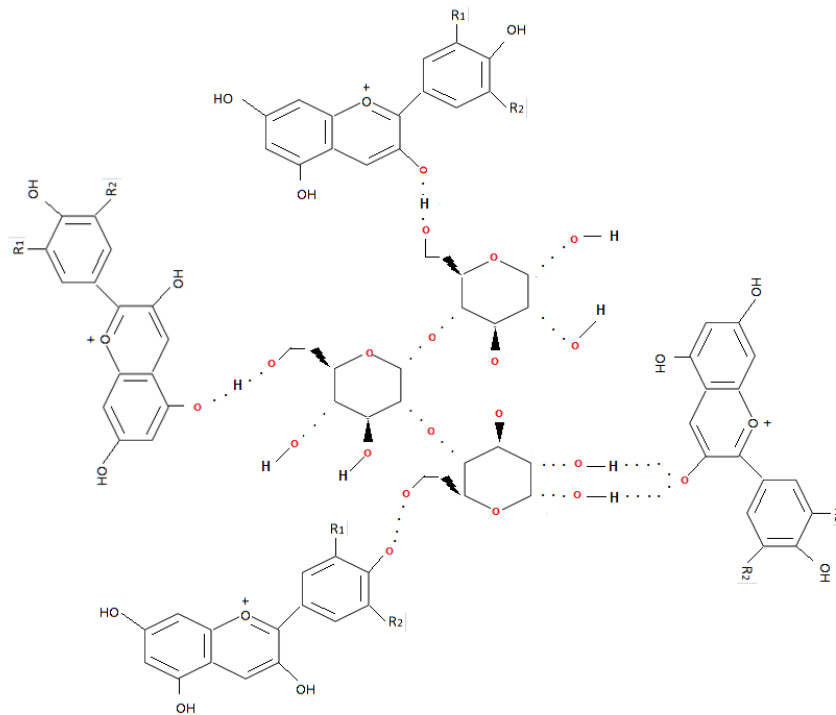


Figura 11. Unión entre la antocianina y la maltodextrina por puentes de hidrógeno.

En el cuadro 14 el análisis de varianza para el rendimiento de proceso mostró que no hay diferencias significativa de cada efecto debido que todos los valores de P fueron superiores a 0.05.

Cuadro 14. Análisis de varianza para el rendimiento de proceso.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: temperatura	155.45	1	155.45	2.20	0.1504
B: concentración	291.486	1	291.486	4.13	0.0529
AA	57.3973	1	57.3973	0.81	0.3759
AB	21.3504	1	21.3504	0.30	0.5873
BB	37.2496	1	37.2496	0.53	0.4744
bloques	109.202	1	109.202	1.55	0.2252
Error total	1765.34	25	70.6136		
Total (corr.)	2437.48	31			

6.3. Modelación matemática del índice de blancura (IB), actividad de agua (AW), eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento de proceso.

El cuadro 15 muestra los polinomios y los R^2 encontrados para el IB, Aw, eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento del proceso.

Cuadro 15. Polinomios y valores de R² para el IB, Aw, eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento de proceso.

Variable	Ecuación	R ²
IB	$136.108 - 1.307*T + 0.592*C + 0.00517*T^2 - 0.00172*T*C - 0.0027*C^2$	43.64
Aw	$-1.735 + 0.027*T + 0.0118*C - 0.000097*T^2 - 0.0000888*T*C - 0.00000562*C^2$	9.92317
EMA	$1267.2 - 11.628*T - 20.687*C + 0.0202*T^2 + 0.144*T*C + 0.00706*C^2$	44.5962
Rendimiento del proceso	$410.28 - 5.26*T - 1.33*C + 0.019*T^2 + 0.016*T*C - 0.0153*C^2$	27.575

En este cuadro es posible ver que los coeficientes de correlación (R²) son bajos.

Estos valores indican que los modelos no son aptos para explicar el fenómeno por lo que se recomienda emplear otros modelos, o bien, que hay otras variables que no fueron incluidas en el diseño experimental que pudieran tener mayor influencia

La adición de un agente emulsificante en pequeñas proporciones podría haber emulsificado primeramente a la antocianinas dejando a la maltodextrina únicamente trabajando como material de pared o cobertura. Además, la viscosidad es uno de los factores no considerados que pudieron influir sobre las variables dependientes analizadas ya que una adecuada viscosidad de la solución es un factor crítico para el rendimiento del proceso de secado ya que si hay una baja viscosidad habrá mayor fluidez de la mezcla en el sistema incrementando el rendimiento del producto final.

Si de los modelos matemáticos mostrados en el cuadro 15 se eliminan los términos no significativos encontramos las ecuaciones mostradas en el cuadro 16.

Cuadro 16. Polinomios y valores de R² para el IB, Aw, eficiencia de microencapsulación de antocianinas (EMA) y rendimiento de proceso.

Variable	Ecuación	R ²
IB	$57.8869 + 0.15 \cdot C$	38.25
Aw	$-1.735 + 0.027 \cdot T + 0.0118 \cdot C - 0.000097 \cdot T^2 - 0.0000888 \cdot T \cdot C - 0.00000562 \cdot C^2$	9.92317
EMA	$837 - 5.76 \cdot T - 20.12 \cdot C + 0.144 \cdot T \cdot C$	39.4
Rendimiento del proceso	$410.28 - 5.26 \cdot T - 1.33 \cdot C + 0.019 \cdot T^2 + 0.016 \cdot T \cdot C - 0.0153 \cdot C^2$	27.575

En este cuadro 16 se observan las ecuaciones con los factores que tuvieron efectos estadísticos significativos y se puede observar que los coeficientes de correlación para IB y EMA bajan aún más. Para Aw y rendimiento del proceso no cambian ya que no hubo diferencia estadística significativa.

6.4. Optimización del proceso de microencapsulamiento del jugo de zarzamora.

Con la finalidad de encontrar las condiciones óptimas de proceso que maximicen el rendimiento de proceso y eficiencia de microencapsulación de antocianinas se procedió a optimizar utilizando el software Statgraphics Centurion. La figura 12 muestra el valor óptimo (marcado con una cruz) la cual indica que a la temperatura de 115.86 °C con una concentración de 25.9% se maximizan tanto la EMA y el rendimiento de proceso. En esta figura se muestran además las zonas de valores de deseabilidad y es posible observar que la zona óptima tiende hacia la disminución de la temperatura ($T < 116^{\circ}\text{C}$) y de la concentración de maltodextrina. Los valores máximos de eficiencia de microencapsulación de antocianinas y del rendimiento de proceso óptimos son de 93.14% y de 58.7% respectivamente.

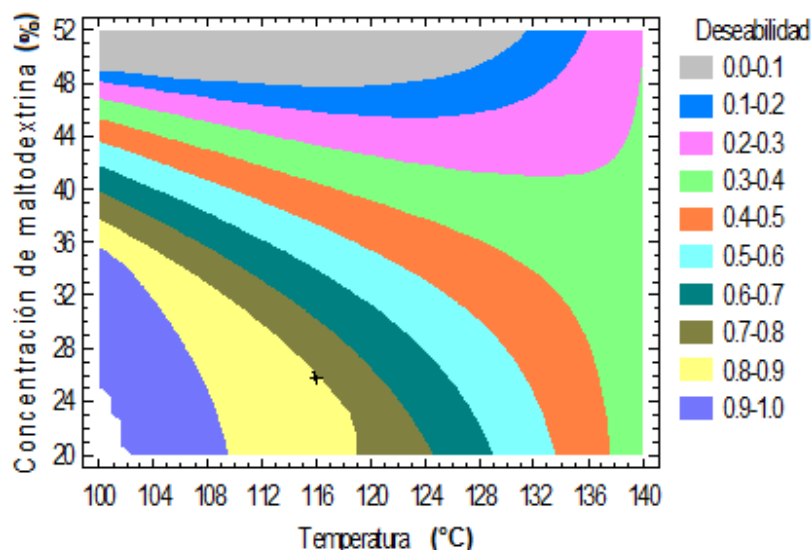


Figura 12. Región óptima del secado por aspersión de jugo de zarzamora. Efecto de la concentración de MD y temperatura del aire de secado.

7. CONCLUSIONES

La concentración de maltodextrina y temperatura del aire de secado tuvieron un efecto estadístico significativo ($p < 0.05$) sobre la eficiencia de microencapsulación de antocianinas y rendimiento de proceso. Los resultados permiten concluir que es posible obtener jugo de zarzamora secado por aspersión utilizando temperaturas bajas (116°C) y concentraciones de maltodextrina medias (26%). Así mismo, es posible maximizar aún más la eficiencia de microencapsulación y rendimiento de proceso mediante la disminución de la temperatura del aire de secado.

Los modelos matemáticos empíricos propuestos presentan coeficientes de correlación muy bajos por lo que se puede decir que estos no predicen con exactitud el proceso de encapsulamiento de jugo de zarzamora mediante secado por aspersión. Podría proponerse utilizar otros modelos más complejos, sin embargo, dado que el óptimo envía a otra zona de experimentación, se propone utilizar temperaturas del aire de secado de 90, 100 y 110°C , así como concentraciones de maltodextrina de 10, 20 y 30%, con la finalidad de mejorar la predicción.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abadio F.D.B, Domínguez A.M., Borges S.V. y Oliveira V.M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas Comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64 (3), 285-287.

Adhikari B., Howes T., Bhandari B.R. y Troung V. (2004). Effect of addition of maltodextrina on drying kinetics and stickiness of sugar and acid rich foods during convective drying: experiments and modeling, *Journal of Food Engineering*, 62, 53-68.

Badui D. S. (2006). Química de los Alimentos.4ª edición. Editorial Pearson Educación, México. Pp. 736.

Cano-Chauca M., Stringheta P.C., Ramos A.M. y Cal-Vidal J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango poder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6 (4): 420-428.

Charley H. (1989). Preparación de alimentos. Editorial Limusa. México. pp. 637-674.

Coultate T. (1984). Alimentos: química de sus componentes. Acribia, Zaragoza, España, pp 111-115.

Crocker, T.E. y Sherman, W.B. (1998). The Blackberry. University of Florida. Cooperative Extencion Service. P. 5.

Deighton N., Brennan R. y Davies H. (2000). Antioxidant Properties of Domesticated and Wild *Rubus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1307-1313.

Del Valle V.P., M.A. Hernández y Guarda M.J. (2005). Development of cactus mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf life. *Food Chemistry*, 91(4), 751-756.

Delgado-Vargas F., Jiménez R. y Paredes-López O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins and Betalains-Characteristics, *Processing and Stability. Critical Reviews and Nutrition*, 40: 173-289.

Dickerson, W.G. (2005). Blackberry Production in New Mexico. Guide H-325. College of Agriculture, Consumer and Environmental Sciences New Mexico State University.

Dziezak J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42, 136-151.

Elisia I., Hu C., Popovich D.G. y Kitts D.D. (2007). Antioxidant assessment of an anthocyanin-enriched blackberry extract. *Journal Food Chemistry*, 101:1052–1058.

Ersus S. y Yurdagel U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80: 805-812.

Fennema O. (2000). Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España, 807-809.

Gabas A.L., Telis V.R.N., Sobral P.J.A. y Telis- Romero J. (2007). Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82: 246-252.

Galvis, J.A. (1995). La zarzamora: manejo poscosecha. Bogotá, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). P 45.

García Gutiérrez C, González Maldonado M.B., Ochoa Martínez L.A. y Medrano Roldan. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 4: 262-266.

- Gharsallaoui A. Roudaut G., Chambin O., Voilley A. y Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40: 1107-1121.
- Giusti M.M. y Wrolstad R. E. (2001). Characterization and Measurement With UV-Visible Spectroscopy. Unit. F1.2.1-13. Anthocyanins. In: Current Protocols in Food Analytic Chemistry, Wrolstad, R.E., Jhon Wiley y Sons: New York.
- Gonzalez Palomares, S. (2009). Secado por aspersión de noni (*Morinda citrifolia* L.). *Revista UNACAR Tecnociencia*, 3(1):47-57.
- Gross J. (1987). Pigments in fruits. Food Sci. Tech. Monogr. Academic Press, Oxford.
- Hagiwara A., Yoshino H., Ichicharam T, Kawabe M, Tamanos S. y Aoki H. (2002). Prevention by Natural Food Anthocyanins, Purple Sweet Potato Color and Red Cabagge Color, Of 2-Amino-1-Methyl-6-Phenylimidazo [4-5-B] Pyridine (Phip)-Associated Colorectal Carcinogenesis in Rats. *J. Toxicol Sci.* 27: 57-68
- Harbone J. (2000). Advances in anthocyanin research. *Phytochemistry*, 52:481-504.
- Hodge JE. y Osman E. (1982). En: Owen RF. Introducción a la ciencia de los alimentos. 2ª ed. España: Reverte; p. 47-153.
- Hogan, A.S., McNamee, F.B., O'Riordan, E.D y O'Sullivan, M. (2001). Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agriculture of Food Chemistry*. 49 1934-1938.
- INCAP-OPS, (2000). "Valor nutritivo de los alimentos de Centro América", Dirección General de Sanidad Pública, sección de nutrición, segunda edición, Guatemala. P. 40.
- Jackman R. (1996). "Anthocyanins and betalains" in Natural Food Colorants. Ed for G.A.F. Hendry. Blackie Academic and professional, Escocia.

- Jackson S.J. y Lee K. (1991). Microencapsulation and the food industry. *Lwt-Food Sci. Technol.* 24(4):289-297.
- Juárez R. y Muñoz M. (1995). El mercado mundial de la frambuesa y la zarzamora. Universidad Autónoma de Chapingo. ASERCA, CIESTAM. Chapingo México. p.89.
- Kamei H, Hashimoto, Koide T, Kojima T. y Hasegawa M. (1998). Anti-tumor Effect of Methanol Extracts From Red and White Wines. *Cancer Biother Radipharm.* 138(6): 447-452.
- Karel M. y Langer R. (1988). Controlled release of food ingredients. In: Reineccius, G.A. y Risch, S.J. (ed.). *Flavor Encapsulation*. American Chemical Society. Washington D.C. pp. 177-191.
- Koide T, Kamei H, Hashimoto, Kojima T. y Hasegawa M. (1997). Effect Anthocyanin Fractions Extracted From Red Soybeans and Red Beans in vitro and in vivo. *Cancer Biother Radio.* 12 (4): 277-280.
- Kong J.M., Chiam L.S., Goh N.K., Chia T.F. y Brouillard C. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64:923-933.
- Lozano-Berna M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. España. Pp. 3-4, 21-24.
- Martín, L. (2007). Microencapsulación mediante la tecnología flow focusing para aplicaciones biotecnológicas y biomédicas. Facultad de farmacia. Universidad de Sevilla. España.
- Masters, K. (2002). *Spray Drying in practice*. Ed. SprayDrayConsult International Aps, Charlottenlund, Denmark.

McNamee, F.B., O'Riordan, E.D. y O'Sullivan, M. (2001). Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of Agriculture of food Chemistry*. 49, 3385-3388.

Miyazawa T, Nakagawa K, Kudo M, Muraishi K. y Someya K. (1999). Direct Intestinal Absorption of Red Fruit Anthocyanins, Cyanidin-3-Glucoside and Cyanidin-3,5-Diglucoside, Into Rats and Humans. *J Agric Food Chem.*; 47:1083-1091.

Montes E., De Paula C. A. y Ortega F. (2007). Determinación de las condiciones óptimas del encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Temas agrarios*. 12: 5-12.

Moore, J.N. (1994). Blackberry breeding, management and prospects in North America, En: Primera Reunión Internacional y Segunda Reunión Internacional de frutales natives e introducidos con demanda Nacional e Internacional. Montecillos, México. Pp 167-178.

Moreira G.E.G., de Azeredo H.M, de Medeiros M.F.D., de Brito E.S. y de Souza A.C. (2010). Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. *J Food Process Pres* 34 915–925.

Muratalla L. A. (1993). "El cultivo de la zarzamora y la frambuesa en México". Memoria del VI Curso de Actualización Frutícola. Fundación Salvador Sánchez Colín. CITLAMEX. S.C. Coatepec de Harinas, México.

Nayak C.A. y Rastogi N.A. (2010). Effect of Selected Additives on Microencapsulation of Anthocyanin by Spray Drying, *Drying Technol*, 28: 1396–1404.

Norma Mexicana. NMX-F-527-1992. Alimentos. Determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión en agua. Foods. Determination of total residue, filtrable residues and suspended matter in water. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

O'Neill S. y Gould K.S. (2003). Anthocyanins in leaves: light, attenuators or antioxidants? *Functional Plant Biology*, 30:865-873.

Ourecky D.K. (1975). Brambles. In: J. Janick and Moore (eds) *Advances in fruit breeding*. Purdue University Press. West LaFayette. Pp 98-129.

Paz R., Gorena T. Romero N. Sepúlveda E. Chávez J y Saenz C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1386–1394.

Pedroza-Islas R. (2002). Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola realizado en Quintana Roo. México.

Porzio M. (2004). Flavor encapsulation: A convergence of science and art. *Food Technol.* 58: 40-47.

Quek S.Y., Chok N.K. y Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46 (5): 386-392.

Rein M. (2005). Copigmentation Reactions and Color Stability of Berry Anthocyanins. University of Helsinki. Department of Applied Chemistry and Microbiology. Food Chemistry Division. Tesis.

Reineccius G.A. (1991). Carbohydrates for flavors encapsulation. *Food Technology*, 45 (3) 144-146, 149.

Reineccius G.A. (1995). Controlled release techniques in the food industry. In: Risch, S.J. y Reineccius, G.A. *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. American Chemical Society. Washington C.C. pp. 8-25.

República de China-OIRSA. Buenas Prácticas Agrícolas en Mora Orgánica. Guatemala (2003). Proyecto Regional de Fortalecimiento Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicionales.

Rosenberg, M.; Kopelman, I.; Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 38:1288–1294.

Ryugo K. (1993). *Fruticultura, Ciencia y Arte*. Edit. AGT, Editor S.A. México, D.F. p. 389.

Sánchez R.G. (2008). La red de valor de la zarzamora. El cluster de Los Reyes, Michoacan un ejemplo de Reconversión Competitiva. Primera edición. Fundación PRODUCE Michoacán, A.C. Morelia, Michoacán, México. P. 116.

Sankarikutty, B.; Sreekumar, M.; Narayanan, C.; Mathew, A. (1988). Studies on microencapsulation of cardamon oil by spray drying technique. *International Journal of Food Science and Technology*, 25(6): 352–356.

Schatzman D. (2008). Microencapsulación de sabores. *Mundo alimentario*, mayo/junio. México.

Shaidi y Han X. (1993). Encapsulation of Food Ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33(6) :501-547.

Sheu T-Y. y Rosenberg M. (1995). Microencapsulación by Spray Draying Ethyl Caprylate in Whey Protein and Carbohydrate Wall Systems. *Journal of Food Science*, 60 (1): 98-103.

Siew, Y.Q ., Ngan, K.C y Swedlund P. (2000). The Physicochemical Properties of Physicochemical Properties of Spray- Dried Watermelon Powders. *Food Science*, Department of Chemistry, Faculty Of science, University of Auckland, Pravate bag 92019, Auckland, New Zeland.

Siriwoharn T., Wrolstad RE., Finn CE. y Pereira CB. (2004). Influence of Cultivar, Maturity, and Sampling on Blackberry (*Rubus* L. Hybrids) Anthocyanins,

Polyphenolics and Antioxidant Properties. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 52: 8021-8030.

Soottitantawat, A.; Takayama, K.; Okamura, K.; Muranaka, D.; Yoshii, H.; Furuta, T.; Ohkawara, M.; Linko. (2005). Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(2):163–170.

Statgraphics Plus 5.1 (2007). Statistical Graphics Corp.

Steyn W.J., Holcroft D.M., Wand S.J.E., Cooks N.C. y Jacobs G. (2000). Dating Rosemarie: How to make her blush? *Proceedings of the Cape Pomological Association Symposium*. South Africa. pp:55-62.

Strak D. y Wray V. (1989). Anthocyanins glycosides: In; *Methods in Plant Biochemistry Vol. I. Plant Phenolics*. J B Harbone (ed). Academic Press. London, UK. Pp: 1-22.

Strick B. (1996). Blackberry in Oregon. University of Idaho. U.S.A. p.5

Su L., Lin C. y Chen M. (2007). Development o fan oriental-style Dairy product coagulated by microcapsules containing probiotics and filtrates from fermented rice. *Society of Dairy Technology*, 60(1), 49-55.

Tamayo, P. (1997). Principales enfermedades del tomate de árbol, zarzamora y el Lulo de Colombia.p.1121.

Tonon R.V, Brabet C. y Hubinger M. D. (2009). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88: 411-418.

Vehring R. (2008). Pharmaceutical particle engineering via spray drying. *Pharmaceutical Research*, 25 (5), 999-1022.

Wesche-Ebeling P. y Montgomery M.W. (1984). Strawberry Polyphenol Oxidase: its Role in Anthocyanin Degradation. *Journal of Food Science*, 55: 731-734, 745.

Wrolstad R. E. (2000). Anthocyanins. In F. J. Francis, & G. J. Lauro (Eds.), *Natural Food Colorants* (pp. 237–252). New York: Marcel Dekker. Chp.11.

www.buchi.com, 14 de Agosto 2012

Yáñez-Fernández C., Salazar Montoya J.A., Chaires Martínez L., Hernández J., Márquez Robles M. y Ramos Ramírez E.G. (2005). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo alimentario*: 24-26.