



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL JUGO DE NONI (*Morinda citrifolia* L.)**

**FRESCO Y MICROENCAPSULADO**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN**

**CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

**PRESENTA**

**FLOR ADRIANA GALLEGOS GARCÍA**



**Chapingo, Estado de México; enero 2013.**

**CALIDAD NUTRACÉUTICA DEL JUGO DE NONI (*Morinda citrifolia* L.)  
FRESCO Y MICROENCAPSULADO**

Tesis realizada por Flor Adriana Gallegos García bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRA EN CIENCIAS EN  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

**DIRECTOR:**



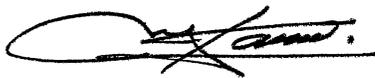
**DR. J. JOEL E. CORRALES GARCÍA**

**ASESOR:**



**DRA. MA. DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS**

**ASESOR:**



**DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA**

**ASESOR:**



**DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES**

*Dedicatoria*

*A mi Oscar, a mis Papás y a Remy.*

*Saben que son todo para mí.*

## *Agradecimientos*

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber financiado mis estudios de posgrado.
- A la Universidad Autónoma Chapingo por abrirme sus puertas al conocimiento y darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida profesional.
- Al Dr. Joel Corrales por confiar en mí, por su paciencia y ayuda invaluable en la realización de este trabajo de investigación.
- A la Dra. Rosario García Mateos por su tiempo y gran ayuda en la realización y término de este trabajo.
- A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por su apoyo y buena disposición siempre que la necesité.
- Al Dr. Arturo Hernández Montes por su tiempo y apoyo brindado a este trabajo.
- A la Dra. Liliana Alamilla Beltrán de la Escuela Nacional de de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional por permitirme hacer la fase del secado por aspersión en sus instalaciones y a la Dra. Miriam Fabela por su tiempo y asesoría en el manejo de este equipo.
- Al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Campus Montecillos, en especial a la Dra. Araceli Zavaleta y a la Biol. Greta Rosas de la Unidad de Microscopia Electrónica por su tiempo y buena disposición en la realización de esta fase.

## *Agradecimientos*

- A los Departamentos de Fitotecnia y Preparatoria Agrícola de la UACH por brindarme su apoyo en el uso de equipos y espacios de laboratorio cuando los necesite.
- A la Sra. María Elena Mendoza Villarreal del Departamento de Ingeniería Agroindustrial por su apoyo y buena disposición.
- Al M.C. Juan Carlos Cuevas Bernardino, Ing. Marcos Ramírez Ramos, Ing. Beatríz Román Arce y a la M.C. Nicté Álvarez Castro por orientarme y compartir su conocimiento conmigo.
- A mi esposo Oscar por su cariño y apoyo incondicional en todo momento. Remy gracias por imprimirle ese sello de alegría a mi vida.
- A mis Papás: María del Carmen García Arévalo y Benjamín Gallegos Venegas, por el amor que siempre me demuestran, a los dos muchas gracias por todo.

*Dios, gracias por cuidarme.*

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

Originaria de Texcoco, Estado de México. En 2002 obtuvo el título de Ingeniero Agroindustrial en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Durante 2002 y 2003 realizó actividades de apoyo a la investigación, diseño, desarrollo y análisis de experimentos, relacionados con la fisiología poscosecha de frutas y hortalizas en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH. En 2003 ingresa a la empresa Buenavista Floral S. A. de C. V. como ejecutiva de las cuentas COSTCO y HEB, participó en la creación de nuevos artículos para la venta de productos florícolas en supermercados, y elaboró manuales de capacitación de manejo poscosecha de flores de corte para personal y managers de supermercados. Posteriormente como coordinadora de empaques de la empresa, lleva a cabo investigación en manejo poscosecha en flores de corte para prolongar su vida de anaquel, establece procedimientos para la sanitización de áreas de proceso y buen manejo poscosecha de flores de corte, elaboró catálogos y fichas técnicas para la estandarización de calidades, capacitó supervisoras de procesos y gerentes de las diferentes áreas de producción, lo que contribuyó a obtener la certificación Rain Forest Alliance en 2008, para la comercialización de los productos de la empresa en Estados Unidos, laboró en la empresa hasta mediados de 2010, año en el que ingresa a la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria de la UACH.

**Calidad nutracéutica del jugo de noni (*Morinda citrifolia* L.) fresco y microencapsulado**

**Nutraceutical quality of fresh and microencapsulated noni juice (*Morinda citrifolia* L.)**

Gallegos-García Flor Adriana<sup>1</sup>, Corrales- García Joel<sup>2</sup>

**RESUMEN**

El noni es un fruto con potencial nutracéutico, pero su olor y sabor desagradable limitan su consumo. El objetivo fue cuantificar y comparar el potencial nutracéutico de su jugo natural y microencapsulado, así como dar una alternativa para incrementar su consumo. Jugo de noni se microencapsuló con maltodextrina DE-10 (30, 50 y 70 %), goma arábica (29.9, 50 y 70 %) y lecitina de soya (0.1 %) mediante secado por aspersión. Se cuantificaron fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante. Hubo destrucción de fitoquímicos por las altas temperaturas, sin embargo, el mejor tratamiento de microencapsulado fue con 70 % maltodextrina + 29.9 % goma arábica + 0.1 % de lecitina de soya al conservar la mayor cantidad de actividad antioxidante. Existió una correlación positiva alta entre compuestos fenólicos y actividad antioxidante. La evaluación sensorial demostró que el jugo de noni microencapsulado fue menos rechazado (22%) que el jugo natural (46%).

Palabras clave: fitoquímicos, microencapsulado, secado por aspersión, actividad antioxidante, evaluación sensorial

**ABSTRACT**

Noni is a fruit with nutraceutical potential, but its unpleasant odor and flavor limit its consumption. The aim was to quantify and compare the nutraceutical potential of its natural and microencapsulated juice, and to give an alternative for increasing its consumption. Noni juice was microencapsulated with maltodextrine DE- 10 (30, 50 and 70 %), arabic gum (29.9, 50 and 70 %) and soy lecithin (0.1 %) by spray drying. Phenols, flavonoids, vitamin C and antioxidant activity were measured. There was destruction of phytochemicals by high temperatures, however, the best treatment of microencapsulated was with 70 % maltodextrin + 29.9 % arabic gum + 0.1 % soy lecithin to keep the major quantity of antioxidant activity. A high positive correlation between phenols and antioxidant activity was observed. The sensory evaluation showed that the microencapsulated noni juice was less rejected (22 %) than the natural juice (46 %).

Key words: phytochemicals, microencapsulated, spray drying, antioxidant activity, sensory evaluation.

<sup>1</sup>Tesista

<sup>2</sup>Director de tesis

## ÍNDICE

	Pag.
Dedicatoria.	ii
Agradecimientos.	iii
Datos Biográficos.	v
Resumen.	vi
Abstract.	vi
Índice.	vii
Índice de Cuadros.	x
Índice de Figuras.	xi
1 Introducción.	1
2 Marco Teórico.	4
2.1 Clasificación Taxonómica.	4
2.2 Descripción botánica.	4
2.3 Requerimientos agroecológicos para el desarrollo del noni.	5
2.4 Distribución actual.	6
2.5 Variedades.	6
2.6 Compuestos nutraceuticos de la planta de noni.	7
2.7 Producción agrícola de noni a nivel mundial.	8
2.8 Producción agrícola de noni en México.	8
2.9 Nutraceutico.	8
2.10 Compuestos fenolicos.	10
2.11 Flavonoides.	11
2.12 Vitamina C.	12
2.13 Antioxidantes naturales.	13
2.14 Microencapsulación.	14
2.15 Materiales utilizados en la microencapsulación.	16

	Pag.	
2.15	Materiales utilizados en la microencapsulación.	16
2.16	Mecanismos de liberación del ingrediente activo.	18
2.17	Aplicaciones de la microencapsulación.	18
2.18	Secado por aspersión.	19
2.19	Evaluación sensorial.	20
3	Justificación.	22
4	Objetivos.	23
5	Materiales y Métodos.	24
5.1	Fase preliminar.	24
5.2	Fase experimental.	24
5.2.1	Material vegetal.	24
5.2.2	Extracción de jugo de noni.	24
5.2.3	Secado por aspersión y microencapsulado del jugo de noni.	26
5.2.4	Extracto etanólico.	27
5.2.5	Variables de respuesta.	28
5.2.5.1	Cuantificación de fenoles totales (TPC).	28
5.2.5.2	Cuantificación de flavonoides totales (TFC).	29
5.2.5.3	Vitamina C.	30
5.2.5.4	Actividad antioxidante.	31
5.2.5.5	Humedad (%).	33
5.2.5.6	Eficiencia de secado (% EY).	33
5.2.5.7	Porcentaje de biocompuestos recuperados (% BR).	34
5.2.5.8	Porcentaje de Eficiencia de encapsulación (% EE).	34
5.2.6	Microscopía del jugo de noni microencapsulado.	35
5.2.7	Evaluación sensorial del jugo natural y del jugo de noni microencapsulado.	35
5.2.8	Análisis estadístico.	36

6	Resultados y Discusión.	38
6.1	Fase preliminar.	38
6.2	Fase experimental.	39
6.2.1	Cuantificación de fenoles totales (TPC).	39
6.2.2	Cuantificación de flavonoides totales (TFC).	42
6.2.3	Vitamina C.	45
6.2.4	Actividad antioxidante.	48
6.2.5	Humedad (%).	51
6.2.6	Correlación entre variables.	53
6.2.7	Porcentaje de eficiencia de secado (EY).	62
6.2.8	Evaluación de las características morfológicas de las microcápsulas de jugo de noni.	63
6.2.9	Evaluación sensorial del jugo natural de noni y del polvo de jugo microencapsulado.	68
7	Conclusiones.	72
8	Bibliografía.	74
	Anexo 1. Cuestionario de evaluación sensorial para el jugo natural y el jugo reconstituido de noni.	78

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
Cuadro 1.	Producción agrícola de noni, ciclo 2012.	8
Cuadro 2.	Tamaño de partícula dependiendo el método de microencapsulación.	15
Cuadro 3.	Estructura de tratamientos del plan experimental.	37
Cuadro 4.	Porcentaje de eficiencia de secado (EY) de jugo natural de noni microencapsulado con maltodextrina (MD) y goma arábica (GA) en diferentes proporciones.	38
Cuadro 5.	Parámetros de recuperación de fenoles totales (TPC) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	40
Cuadro 6.	Parámetros de recuperación de flavonoides totales (TFC) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	43
Cuadro 7.	Parámetros de recuperación de vitamina C del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	46
Cuadro 8.	Matriz de correlación de Pearson ( $p = 0.05$ ) entre la concentración inhibitoria 50 ( $CI_{50}$ ), TPC, TFC, vitamina C (Vit C), humedad porcentual (Hume) del jugo de noni natural y microencapsulado, así como el efecto de los diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	54
Cuadro 9.	Medias de la aceptabilidad del jugo reconstituido a partir de polvo de jugo de noni microencapsulado (JR) y del jugo natural (JN) empleando una escala hedónica.	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
Figura 1.	Frutos de noni en diferentes estados de desarrollo.	5
Figura 2.	Estructura del ácido gálico (a) y el ácido caféico (b).	10
Figura 3.	Configuración C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> de flavonoides (a). Estructura de quercetina, principal flavonoide en las frutas (b).	11
Figura 4.	Estructura del ácido ascórbico.	12
Figura 5.	Pulpa de noni (a). Jugo de noni obtenido de la centrifugación (b).	25
Figura 6.	Liofilizador (a). Jugo de noni natural liofilizado (b).	25
Figura 7.	Secador por aspersión con flujo en paralelo (a). Contenedor de polvo microencapsulado.	27
Figura 8.	Preparación del extracto etanólico a partir de los diferentes tratamientos.	28
Figura 9.	Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales (TFC) en términos de ácido gálico por la técnica descrita por Waterman y Mole (1994).	29
Figura 10.	Curva de calibración para la cuantificación de flavonoides en términos de quercetina, por la técnica descrita por Chang <i>et al.</i> (2002).	30
Figura 11.	Curva de calibración para la cuantificación de ácido ascórbico por la técnica descrita por Bósquez (1992).	31
Figura 12.	Curva de calibración para la cuantificación del radical libre 2-2, difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) por la técnica descrita por Amico <i>et al.</i> (2008) para la estimación de actividad antioxidante.	33
Figura 13.	Bases de latón (a). Muestra de polvo microencapsulado sobre la base de latón (b).	35

Figura		Pag.
Figura 14.	Concentración inhibitoria 50 total (fuera y dentro) y fuera (superficie) de la microcápsula de jugo de noni, utilizando diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	49
Figura 15.	Contenido porcentual de humedad del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	51
Figura 16.	Concentración inhibitoria 50 del jugo natural y microencapsulado de noni con diferentes TPC derivados de tres tratamientos de microencapsulado.	55
Figura 17.	Concentración del contenido de TPC (fenoles totales) y TFC (flavonoides totales) en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado.	57
Figura 18.	Efecto del secado por aspersion en el contenido de TFC (flavonoides totales) y la cantidad porcentual de humedad en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos microencapsulado.	58
Figura 19.	Efecto entre el contenido porcentual de humedad y la cantidad de maltodextrina en el jugo de noni natural y microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE).	59
Figura 20.	Efecto entre la concentración inhibitoria 50 y el porcentaje de goma arábica en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado.	60
Figura 21.	Efecto entre la concentración de TPC (fenoles totales) y el porcentaje de goma arábica en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado.	61

Figura		Pag.
Figura 22.	Eficiencia de secado (% EY) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones.	63
Figura 23.	Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersion T1.	65
Figura 24.	Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersion T2.	66
Figura 25.	Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersion T3.	67
Figura 26.	Proporción de la población encuestada (90) que consumiría jugo natural de noni (JN) vs jugo de noni microencapsulado reconstituido (JR) ( $p = 0.05$ ).	69

## 1 INTRODUCCIÓN

El noni es un fruto originario de Asia, que fue introducido a la Polinesia hace más de 2000 años (Krishnaiah *et al.*, 2012) y desde entonces se ha utilizado en medicina tradicional al aprovechar hojas, frutos, raíz, flores y semillas, el jugo de noni es el más demandado como medicina alternativa en el tratamiento de artritis, presión alta, enfermedades del corazón, cáncer, gastritis, depresión, pobre digestión (Shu-Chuan Yang *et al.*, 2007). La presencia de cumarinas, flavonoides e iridoides le dan propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Dussossoy *et al.*, 2011).

Estos nutrientes hacen del noni un suplemento a la dieta humana, que aportará en general una mejora de la salud, potenciará el sistema inmune y regenerará el organismo, lo que previene enfermedades y retrasa los efectos del envejecimiento. Es por eso que el noni es un fruto considerado como alimento nutracéutico por su alto poder antioxidante, cuyos compuestos se han aislado en sus frutos, hojas y raíz (Zin *et al.*, 2006).

Sin embargo, a pesar de la bondad de sus propiedades no tiene aceptación para consumo en fresco por su aroma jabonoso, rancio y desagradable, características organolépticas propias de los frutos maduros, lo que lo hace poco atractivo para el consumidor. Guor-Jein Wei *et al.* (2011) identificaron en los frutos, que de los compuestos volátiles presentes, el 58 % corresponde a ácido octanoico y el 19 % a hexanoico, además están presentes otros ácidos grasos y compuestos sulfurados, todos ellos responsables del olor y sabor ya descrito.

Técnicas de conservación como el secado por aspersión y el microencapsulado, ayudarían a enmascarar el sabor y facilitar su consumo, además de prolongar su vida de anaquel.

La microencapsulación es un proceso cuyo objetivo es impedir la pérdida de ciertas sustancias bioactivas (vitaminas, sabores o aceites), al introducirlas en una matriz o sistema pared, para protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes en el alimento, o para impedir que sufran reacciones de oxidación por efecto de la luz o la presencia de oxígeno. Por esta razón es que el uso de técnicas como el microencapsulado, se han ido incrementando en la industria de los alimentos, debido a la protección de materiales y servir de barreras contra malos olores y sabores. (Yáñez, 2002). Existen varias técnicas para el microencapsulado, sin embargo, el secado por aspersión resulta ser la mejor ya que es una técnica de deshidratado, en la cual el alimento que se encuentra en estado líquido es transformado en microgotas, y luego en partículas secas mediante atomización continua en un medio caliente, es importante mencionar que en éste proceso los tiempos de residencia son de 5 a 100 s, por lo que es ideal para deshidratar productos sensibles a la temperatura (Barbosa y Vega, 2005), por ejemplo el microencapsulado de licopeno (Shu *et al.*, 2006), ácido ascórbico (Pulido y Beristain, 2010). González (2009) deshidrató noni con el objetivo de retener compuestos volátiles, entre otras investigaciones (Fang y Bhandari, 2011; Krishnaiah *et al.*, 2012; Saénz *et al.*, 2009; Solval *et al.*, 2012; Vardin y Yasar, 2012) que han corroborado que el secado por aspersión con la ayuda del microencapsulado son una vía eficiente para deshidratar compuestos termolábiles.

En el presente trabajo de investigación se documenta una alternativa de transformación, al microencapsular jugo de noni mediante secado por aspersión, para favorecer que se conserven sus propiedades antioxidantes y se mejoren sus atributos sensoriales.

## **2 MARCO TEÓRICO**

El noni es una especie nativa de Sudeste de Asia (Indonesia) y Australia que posteriormente fue introducida a las Islas Polinesias, donde ha sido utilizada como medicina tradicional desde hace más de 2000 años (Krishnaiah *et al.*, 2012).

El fruto de *Morinda citrifolia* L. es conocido con varios nombres alrededor del mundo, el más común es noni (Hawai), pero también se le conoce como Indian mulberry (Inglés), lada (Guam, Norte de las Marianas), nono (Islas Cook, Tahiti), non (Kiribati), nonu, nonu atoni, gogu atoni (Niue, Samoa, Tonga, Wallace, Futuna), nen, nin (Islas Marshall, Chuuk), kesengel, lel, ngel (Palau), kura (Fiji), canary wood (Australia), I (Kosrae), weipwul (Pohnpei), mangal'wag (Yap) (Nelson, 2003).

### **2.1 Clasificación taxonómica**

De acuerdo con Nelson (2003), el noni pertenece al reino vegetal, su división es Magnoliophyta, pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Gentianales, familia Rubiaceae, género *Morinda* y especie *citrifolia* L.

### **2.2 Descripción botánica**

Nelson (2003), expone que el noni es un arbusto perennifolio de tallo recto y largo, éste puede llegar a medir 3 – 6 m; su corteza es verde brillante, las hojas son elípticas de 10 a 30 cm, simples, brillantes y con nervaduras marcadas. Florece a lo largo de todo el año, sus flores son pequeñas de color blanco de forma tubular. Los frutos son múltiples (Figura 1), de forma ovoide, con una superficie irregular de color blanquecino cuando están maduros.

Contienen muchas semillas dotadas de un saco aéreo que favorece su distribución por flotación. El fruto de noni cuando está maduro presenta un olor y sabor desagradable.

La planta de *Morinda citrifolia* L. posee un sistema extensivo de raíces laterales.



Figura 1. Frutos de noni en diferentes estados de desarrollo.

### **2.3 Requerimientos agroecológicos para el desarrollo del noni**

El noni es una planta que crece en una altura que va desde 1- 500 msnm, se desarrolla en lugares con una precipitación media anual de 250- 4000 mm. Posee un rango de tolerancia a la sequía, dependiendo de la edad y tamaño de la planta, %HR y tipo de suelo, puede resistir de 3- 4 meses con 40 mm.

La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta, como es la transpiración, fotosíntesis, etc. Para esta especie las temperaturas óptimas son de 20 °C a 35 °C como temperaturas medias; de 32 °C a 38 °C como temperaturas máximas en los meses más calientes y de 5 °C a 18 °C como temperaturas en los meses más fríos, siendo la temperatura mínima tolerada de 12 °C.

Es tolerante a un amplio rango de texturas de suelo. Le favorecen los suelos con buen drenaje, tolera suelos desde ácidos a alcalinos, de preferencia se desarrolla en éstos últimos (Nelson, 2003).

## 2.4 Distribución actual

La distribución Indo- Pacífico de la planta del noni incluye el este de la Polinesia (Hawai, Marquesa, Sociedad de Islas Australes, Tuamotus, Islas Cook); Melanesia (Fiji, Vanuatu, Nueva Guinea, Nueva Caledonia e Islas Solomon); Oeste de la Polinesia (Samoa, Tonga, Rutuma y Tuvalu) y Micronesia (Pohnpeí, Guam, Chucuk, Palau, Las Islas Marshall y el norte de Mariana), Indonesia, Australia y sureste de Asia.

Esta especie ha comenzado a desarrollarse en varias zonas costeras de América como, México, Panamá, Venezuela, las Bahamas, Bermuda, partes de Florida, así como en Africa (Nelson, 2003).

## 2.5 Variedades

Entre las variedades conocidas de *Morinda citrifolia* L. existe un alto grado de variabilidad genética entre ellas, a continuación se citan algunas variedades descritas por Nelson (2003):

***Morinda citrifolia* var. *citrifolia*:** Es la más estudiada por su valor económico y medicinal en la región del Pacífico. Existe mucha variabilidad en las características de sus frutos.

***Morinda citrifolia* var. *Bracteata*:** Produce frutos pequeños, se encuentra en Indonesia y otras partes entre la India y el Océano Pacífico.

***Morinda citrifolia* cultivar *Potteri*:** Se usa como planta ornamental, se distribuye a lo largo del Pacífico.

## 2.6 Compuestos nutraceuticos de la planta de noni

Alrededor de 200 fitoquímicos han sido aislados e identificados en el noni, incluyendo alcaloides, aminoácidos, ácidos grasos, compuestos fenólicos y polisacáridos. De los compuestos volátiles presentes, el 58 % corresponde al ácido octanoico y el 19 % al hexanoico, además están presentes otros ácidos grasos y compuestos azufrados, todos ellos responsables del olor y sabor desagradable (Guor- Jien Wei *et al.*, 2011).

En el caso de las semillas del fruto se han identificado ácido ursólico; 1, 5, 15 trimentilmorindol, escopoletina; ácido esperulosídico; 5, 15-dimetil morindol, ácido asperulosídico y quercetina-3-*O*- $\alpha$ -*L*-ramnopiranosil-(1-6)- $\beta$ -*D*-glucopiranosido, entre otros (Yang Xiao-Long *et al.*, 2009); y en la raíz, hojas y frutos se han identificado diferentes compuestos fenólicos responsables de la inhibición de procesos oxidativos (Zin *et al.*, 2006).

Por su parte Deng *et al.* (2010) reportó que los principales fitoquímicos presentes en los frutos frescos de noni son la escopoletina, rutina, quercetina y 5, 15- dimetilmorindol, por lo que se pueden utilizar como referencia de la autenticidad de los productos a base de noni. Estos nutrientes hacen del noni un suplemento a la dieta humana, que aportará en general una mejora de la salud, potenciará el sistema inmune y regenerará el organismo, lo que previene enfermedades y retrasa los efectos del envejecimiento.

## 2.7 Producción agrícola de noni a nivel mundial

Hay poca información estadística del los volúmenes de producción del noni, sin embargo, la que hay muestra que se produce mayormente en Tahití, Samoa, Japón, Indonesia, Hawai, México, Honduras, Costa Rica y Panamá (CAH, 2009).

## 2.8 Producción agrícola de noni en México

Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), se muestran datos de producción agrícola de noni a nivel nacional en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción agrícola de noni, ciclo 2012.

Ubicación	Superficie	Superficie	Producción	Rendimiento	Precio medio	Valor de
	sembrada	cosechada			rural	
	Has		t	t ha <sup>-1</sup>	\$/t	(miles de \$)
Jalisco	2.0	1.0	1.5	1.5	20,000	30
Michoacán	12.0	9.5	87.4	9.2	20,295.07	1773
Nayarit	8.0	7.0	57.4	8.2	5,000	287
Tabasco	5.0	4.0	29	7.25	4,500	130.5
Yucatán	2.0	0	0	0	0	0

Fuente: SIAP, 2012.

## 2.9 Nutracéutico

De acuerdo con Mazza (1998) los nutraceuticos son aquellos ingredientes que ayudan a prevenir o retrasar enfermedades y mantiene la buena salud de las personas que los consumen. Por otro lado Pokorni (2001) menciona que los alimentos son ricos en micronutrientes, pero también contienen una gran cantidad de metabolitos secundarios, biológicamente activos, que proporcionan color, sabor y toxicidad natural frente a las plagas y en algunos casos también a los humanos.

Estas sustancias se han aislado y explotado comercialmente y se han denominado: factores protectores, fitoprotectores y nutracéuticos. Otra forma de mencionarlos es como compuestos bioactivos, ya que se les considera como protectores de la salud humana.

Su efecto benéfico se ha atribuido a su actividad antioxidante, cuyo mecanismo de acción es inhibir la iniciación o propagación de las reacciones de oxidación, evitándose así el daño oxidativo (CIAD, 2009).

La acción bioactiva de algunos fitoquímicos reportada por CAH (2009) es la siguiente:

-La escopoletina, antiinflamatorio, antihistamínico pero, sobre todo, vasodilatador.

-Las antraquinonas, con actividad antibacteriana y digestiva. Entre las antraquinonas destaca el damnacantal, un potente agente anticancerígeno.

-Los terpenos, compuestos con actividades diversas: el terpenol, un relajante muscular, el betacaroteno, un poderoso antioxidante precursor de la vitamina E, y el limoneno, antibacteriano.

-Los fitosteroles, que por ser muy similares al colesterol, aunque de origen vegetal, reducen la absorción del mismo y ayudan a regular sus niveles.

-También destacan los bioflavonoides y el ácido ascórbico como antioxidantes, la acubina y el asperulósido como bactericidas, las glucopiranosas que regulan los niveles de azúcar y el ácido graso esencial linoléico que regula la absorción intestinal.

## 2.10 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen un amplio grupo de sustancias químicas conocidas como metabolitos secundarios de las plantas que se caracterizan por sus diferentes estructuras químicas y funciones. El grupo comprende más de 8000 compuestos distintos. La forma más frecuente de encontrarlos en las plantas es como polímeros, por ejemplo, la lignina, sustancia insoluble que se localiza en la pared celular secundaria (Shahidi y Naczk, 1995).

Los compuestos fenólicos son solubles en agua porque la mayoría de las veces están unidos a azúcares formando glicosidos y normalmente se localizan en vacuola. Cuando están puros, los fenoles simples son sólidos incoloros, pero generalmente se oxidan y se vuelven oscuros por exposición al aire. La solubilidad en agua aumenta de acuerdo con el número de hidroxilos presentes y son bastante solubles en disolventes orgánicos polares (Valencia, 1995). Estos metabolitos también están relacionados con la calidad sensorial (sabor, astringencia y dureza) de los alimentos de origen vegetal. Los ácidos fenólicos (Figura 2) se dividen en los ácidos hidroxibenzoicos (ácido gálico) y en ácidos hidroxicinámicos (ácido cumárico, caféico, felúrico y clorogénico) (CIAD, 2009).

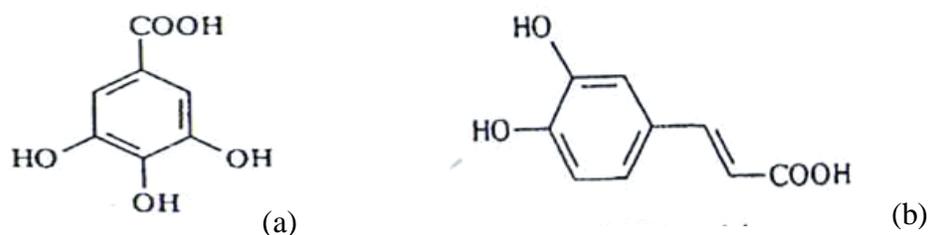


Figura 2. Estructura del ácido gálico (a) y el ácido caféico (b).

## 2.11 Flavonoides

Los flavonoides constituyen el subgrupo más importante y estudiado de los compuestos fenólicos debido a su amplia distribución y abundancia en los vegetales. Los flavonoides tiene dos anillos aromáticos (A y B), como estructura genérica, unidos por tres carbonos, generalmente formando parte de un anillo oxigenado heterocíclico o anillo C (Figura 3 a). Por las diferencias en la estructura general del anillo C se clasifican en flavonoles (quercetina Figura 3 b), flavonas, flavanoles (catequina y epicatequina), flavanonas, antocianinas (cianidina, delfidina) e isoflavonoides. Los flavonoides se encuentran en forma natural en frutas y vegetales, normalmente como conjugados en formas glicosídicas o también en forma libre llamadas agliconas (CIAD, 2009).

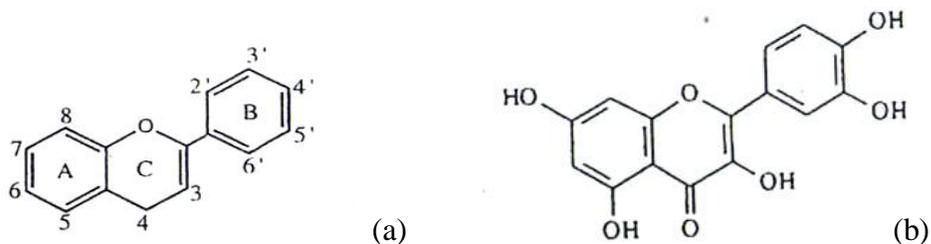


Figura 3. Configuración C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> de flavonoides (a). Estructura de quercetina, principal flavonoide en las frutas (b).

Los flavonoides son antioxidantes muy efectivos, por lo que se ha propuesto para ellos un papel como protectores frente a las enfermedades cardiovasculares, al reducir la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (Pokorni, 2001).

## 2.12 Vitamina C

La vitamina C es un derivado de los hidratos de carbono, se encuentra principalmente en verduras crudas, frutas como la guayaba, kiwi, piña, cítricos y cereales. Al igual que con todas las vitaminas el contenido de ácido ascórbico (Figura 4) de los vegetales varía de manera considerable ante factores como las prácticas agrícolas, el manejo poscosecha y con la preparación de los productos para su consumo. Hay evidencia de que la vitamina C pueda proporcionar efectos protectores adicionales contra otras enfermedades, incluyendo el cáncer de estómago, faringe y esófago (Pokorni, 2001), sin embargo, es una vitamina que se oxida fácilmente mediante una reacción reversible, a ácido deshidroascórbico estableciendo un sistema de oxidación-reducción, a su vez este ácido se sigue oxidando y se transforma en ácido 2-3 dicetogulónico que no tiene actividad biológica.

En alimentos deshidratados y enlatados es difícil conservar la vitamina C ya que las altas temperaturas, así como los pretratamientos que reciben los vegetales como el lavado, escalde, y pelado hacen variar mucho su concentración (Badui, 2006).

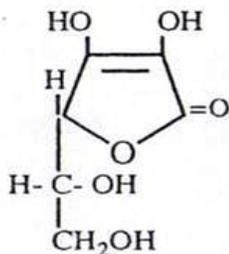


Figura 4. Estructura del ácido ascórbico.

### 2.13 Antioxidantes naturales

Un antioxidante es una sustancia o molécula que puede prevenir reacciones entre componentes celulares y radicales libres. Los radicales son sustancias químicas altamente reactivas que pueden provocar daños en las membranas celulares, a las proteínas y al ADN (CIAD, 2009).

Los fenoles son considerados fitoquímicos antioxidantes, debido a su anillo fenólico y sustituyentes hidroxilo pueden funcionar para atrapar electrones libres. Otros compuestos con actividad antioxidante son los flavonoides, que junto con los fenoles proporcionan la actividad antioxidante total de frutos y hortalizas.

Según Pokorni (2001) los antioxidantes tienen varias líneas de defensa:

1. Inhiben la formación de especies reactivas de oxígeno y radicales libres a través del secuestro de iones metálicos, por reducción de hidroperóxidos y peróxidos de hidrogeno.
2. Absorben radicales libres y actúan como segunda línea de defensa. Captan radicales inhibiendo la cadena de iniciación y rompiendo la cadena de propagación. Los principales representantes hidrófilos son la vitamina C, el ácido úrico, la bilirrubina y la albúmina. Los compuestos polifenólicos también actúan como potentes absorbedores de radicales libres.
3. La tercera línea de defensa son las enzimas que reparan el daño y constituyen la lipasa de las membranas, proteasa, enzimas de reparación del ADN y transferasa.

4. Otra línea de defensa es la adaptación, ya que los antioxidantes son producidos y transferidos al lugar correcto, en el momento y cantidad correctos.

En general, los radicales libres están involucrados en el desarrollo de diferentes patologías y en el proceso de envejecimiento de los organismos, pero en pequeñas cantidades no producen efectos tóxicos ya que son neutralizados por los antioxidantes presentes en los organismos de manera natural (Frei, 1994).

Algunas enfermedades y desordenes asociados con los radicales libres son: cáncer, diabetes, enfermedades coronarias, lesiones hepáticas, artritis, inflamaciones, trombosis, degeneración neurológica y envejecimiento entre otras (Madhavi *et al.*, 1996).

#### **2.14 Microencapsulación**

La encapsulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas (sabores, vitaminas o aceites esenciales) son introducidas a una matriz o sistema pared con el objetivo de impedir su pérdida, para protegerlos de la reacción con otros compuestos del alimento o contra reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno. Una ventaja adicional es que el compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo engloba o atrapa y se obtienen productos con mejores características sensoriales y nutritivas (Yáñez *et al.*, 2002).

Se denomina ingrediente activo a la sustancia de interés que se pretende proteger o encapsular y agente encapsulante a los materiales que sirven de pared.

Existen varios métodos para la producción de micropartículas:

- 1) Procesos físicos: secado por aspersión, extracción y recubrimiento por aspersión.
- 2) Procesos fisicoquímicos: coacervación simple o compleja y atrapamiento en liposomas.
- 3) Procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular.

La selección del método para encapsular depende del tipo de micropartículas que se desee obtener (Cuadro 2), es decir se considera el tamaño medio de la partícula requerida y las propiedades fisicoquímicas del agente encapsulante y la sustancia encapsulada, las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el costo. El secado por aspersión es el que más se utiliza en la encapsulación de sabores y aromas.

Cuadro 2. Tamaño de partícula dependiendo el método de microencapsulación

<b>Método de encapsulación</b>	<b>Tamaño de partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Secado por aspersión	20- 150
Extracción centrifugal	125- 3000
Revestimiento en suspensión de aire	50- 10000
Extracción	700-6000
Coacervación	1-500

Fuente: Barbosa y Vega, 2005.

## 2.15 Materiales utilizados en la microencapsulación

La variedad de materiales que pueden emplearse en microencapsulación se va ampliando gradualmente en la medida en que surgen nuevos biomateriales y se perfilan nuevas aplicaciones de la microencapsulación. De un modo general, los materiales utilizados para la microencapsulación son (Yáñez *et al.*, 2002; Barbosa y Vega, 2005):

- 1) Gomas: goma arábica, agar, alginato de sodio y carragenina.
- 2) Carbohidatos: almidón, malto y ciclodextrina, jarabe de maíz.
- 3) Celulosas: carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa.
- 4) Lípidos: ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, aceites y grasas.
- 5) Proteínas: gluten, caseína, grenetina, albúmina.
- 6) Materiales inorgánicos: sulfato de calcio, silicatos.

**Maltodextrina:** Las maltodextrinas son obtenidas a partir de una hidrólisis parcial del almidón de maíz por vía ácida o enzimática. Los polímeros de glucosa producidos pueden variar en longitud y en peso molecular; su equivalente de dextrosa (DE) es menor a 20; sus viscosidades son menores a la de la goma arábica y no presentan grupos lipofílicos por lo que sus propiedades emulsificantes son pobres (Yáñez *et al.*, 2002).

Sus ventajas incluyen sabor tenue, es posible su uso a altas concentraciones de sólidos y mejora la vida de almacenamiento de aceites esenciales de cítricos.

**Goma arábica:** Es un producto también conocido como goma acacia, es el exudado que se obtiene de la corteza de los árboles como *Acacia senegal*, y otros del mismo género. Es un heteropolisacárido muy ramificado de la familia de los arabinogalactomananas, formado por una cadena principal de unidades de  $\beta$ -galactopiranosas, a la cual se le unen residuos de L-ranopiranosas, de L- arabinofuranosas y de ácido glucorónico.

El uso de goma arábica como matriz encapsulante es común debido a su baja viscosidad y alta solubilidad en agua, a diferencia del resto de las gomas, las soluciones con goma arábica tienen un comportamiento newtoniano en concentraciones de hasta 40 %, pero al incrementarse desarrolla características pseudoplásticas de la mayoría de las gomas (Badui, 2006).

**Lecitina:** La lecitina es el nombre comercial, dado a la mezcla de fosfolípidos encontrados en la membrana celular de plantas y animales. Sus componentes son fosfatidilcolina (fosfolípido neutro), fosfotidiletanolamina, fosfatidilserina y ácido fosfatídico (De Luna, 2007).

La lecitina tiene propiedades terapéuticas y en la industria de los alimentos se usa como emulsificante, lubricante y posee baja viscosidad, se agrega en 0.1- 2 %. Las fuentes de lecitina son la soya, girasol, colza, huevo, leche y tejido cerebral (Oke, 2010).

## 2.16 Mecanismos de liberación del ingrediente activo

Barbosa y Vega (2005) reportan los siguientes mecanismos de liberación para el ingrediente activo dentro de las microcápsulas:

**Fracturación:** El material de pared puede ser fracturado o roto por factores externos, como presión, cizallamiento. La acción de masticado es la liberación mecánica más común del ingrediente activo.

**Difusión:** Las microcápsulas pueden funcionar como una membrana semipermeable, liberando el ingrediente activo a través de los poros del polímero (agente encapsulante).

**Disolución:** El material de pared puede destruirse por disolución dentro de un solvente apropiado. Cuando las microcápsulas se ponen en contacto con el solvente, se hinchan hasta romperse y liberan el ingrediente activo.

**Biodegradación:** La liberación del ingrediente activo puede ser acompañada por biodegradación mecánica, por ejemplo, los lípidos como material de pared pueden ser degradados por la acción de las lipasas.

## 2.17 Aplicaciones de la microencapsulación

La microencapsulación ha tenido un evidente impacto en la industria de alimentos y la biotecnología, ya que esto ha involucrado la incorporación de ingredientes naturales como polifenoles, aditivos volátiles, enzimas y bacterias (ácido lácticas) en forma de pequeñas cápsulas, estables y protegidas contra la pérdida de su calidad nutricional por la interacción con otros compuestos o la presencia de microorganismos (Nazzaro *et al.*, 2012).

Así mismo la microencapsulación se ha utilizado en la industria farmacéutica para mejorar el sabor y estabilidad de medicamentos, de igual forma ésta técnica se usa para crear una barrera contra los malos olores y sabores, así como para proteger materiales sensibles a las condiciones de procesamiento como las altas temperaturas con el objetivo de protegerlos contra factores como el calor, y la humedad que merman su calidad (Yáñez *et al.*, 2002).

Existen trabajos de investigación en los cuales se reporta la microencapsulación de licopeno (Shu *et al.*, 2006), antocianinas (Ersus y Yurdagel, 2007), jugo de granada (Vardin y Yasar, 2012), jugo de melón (Solval *et al.*, 2012), bioactivos de tuna (Saéñz *et al.*, 2009), así como su aplicación para enmascarar sabores desagradables en medicamentos (Jianchen Xu *et al.*, 2008).

### **2.18 Secado por aspersión**

Por definición corresponde a la transformación de un material sólido, atomizándolo en forma de gotas minúsculas en un medio de secado caliente. El principio de secado por aspersión es la producción de un polvo seco por medio de la atomización de una emulsión en una corriente de aire caliente en una cámara de secado. El agua se evapora instantáneamente, permitiendo que el material activo presente en la emulsión quede atrapado dentro de una película de material encapsulante.

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 altas es muy corto (5-30 s).

El secado por aspersión consiste en cuatro etapas: la atomización del fluido para tenerlo asperjado; el contacto del producto rociado con el aire; su deshidratación y separación del producto seco. El material es homogeneizado con el acarreador, la mezcla es alimentada al secador por aspersión y se atomiza por medio de una boquilla o disco, posteriormente se vierte en una máquina en la que son sometidos a un aumento de temperatura instantáneo que los transforma al tamaño deseado (20 – 50 micras).

Las principales aplicaciones industriales del secado por aspersión correspondieron a la leche y a los detergentes y actualmente tiene una infinidad de aplicaciones donde sobresalen la industria de los alimentos y la farmacéutica (Barbosa y Vega, 2005).

### **2.19 Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial involucra el desarrollo y uso de principios y métodos para medir respuestas humanas en productos e ingredientes. Las pruebas sensoriales se clasifican de acuerdo a su objetivo y pueden ser discriminativas, descriptivas y afectivas.

En las pruebas afectivas se busca evaluar la preferencia o aceptabilidad de un producto por consumidores potenciales. Las pruebas afectivas son usadas comúnmente por compañías de productos o prestadores de servicios para conocer:

1. La posición de su producto en el mercado.
2. Mejorar constantemente el producto.
3. Desarrollo de nuevos productos
4. Evaluar el mercado potencial.

Entre los factores que hay que considerar en la selección de panelistas en una prueba afectiva son: el grupo (sector de la población al que va dirigida la prueba), sexo si el producto es para un género en particular, locación geográfica, y si es el caso la nacionalidad.

Existen dos enfoques en las pruebas de consumidores: la medición de preferencia y la medición de aceptación.

En la medición de aceptación o gusto, los panelistas consumidores califican su gusto por el producto en una escala. Las mediciones de aceptación pueden ser hechas en un solo producto y no requieren una comparación con otro.

Los mejores resultados son obtenidos con escalas que están balanceadas, es decir, tienen el mismo número de categorías positivas que negativas.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

El noni es un fruto considerado como alimento nutracéutico por su alto poder antioxidante, pero es poco valorado por su sabor y aroma desagradable, es por eso que para aprovechar sus propiedades medicinales, las técnicas de microencapsulado ofrecen una posibilidad de transformación del producto, sin destruir o alterar sus propiedades nutracéuticas como sucede con otros métodos, lo que favorecerá su consumo.

#### **4 OBJETIVOS**

Cuantificar la cantidad de fenoles totales, flavonoides totales, vitamina C y actividad antioxidante en jugo de noni.

Cuantificar la cantidad de fenoles totales, flavonoides totales, vitamina C y actividad antioxidante en un jugo de noni microencapsulado mediante secado por aspersión, y compararlo con lo obtenido en el jugo natural.

Evaluar tratamientos de microencapsulación que brinden el máximo encubrimiento de olor y sabor en el jugo de noni, así como el mínimo deterioro de sus fitoquímicos y actividad antioxidante.

## **5 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Fase preliminar**

Esta fase se hizo con la finalidad de conocer las mejores condiciones de trabajo para el microencapsulado y secado por aspersión.

Se trabajó con el jugo de noni natural como ingrediente activo y diferentes porcentajes de maltodextrina (30, 50 y 70 %) y goma arábica (30, 50 y 70 %) como agentes encapsulantes. Los agentes encapsulantes se agregaron directamente en el jugo de noni hasta obtener soluciones con diferentes concentraciones de sólidos solubles totales (SST) (9, 20, 30 y 36 ° Bx). Las condiciones de secado por aspersión fueron temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 85 °C, respectivamente. Al final del proceso se midió el porcentaje de eficiencia de secado (% EY), con base a este resultado se eligió la combinación de agentes encapsulantes que proporcionara el mayor rendimiento de polvo microencapsulado.

### **5.2 Fase experimental**

#### **5.2.1 Material vegetal**

En la Central de Abastos de la Ciudad de México (CEDA) se obtuvieron frutos de noni en madurez de consumo, sin daños mecánicos y libres de plagas y enfermedades.

#### **5.2.2 Extracción de jugo de noni**

Los frutos de noni se seleccionaron, se pesaron (48.93 kg), se lavaron y se desinfectaron con hipoclorito de sodio a una concentración de 100 ppm, posteriormente se escaldaron por 5 min a 92 °C, se despulparon y se obtuvieron 34.64 kg de pulpa de noni (Figura 5 a)

y 14.29 kg de semilla y bagazo, posteriormente la pulpa se centrifugó a 11 000 g por 30 min a 5 °C y se obtuvieron 17 L de jugo de noni (Figura 2 b). El jugo de noni resultante fue almacenado a -20 °C hasta su utilización.

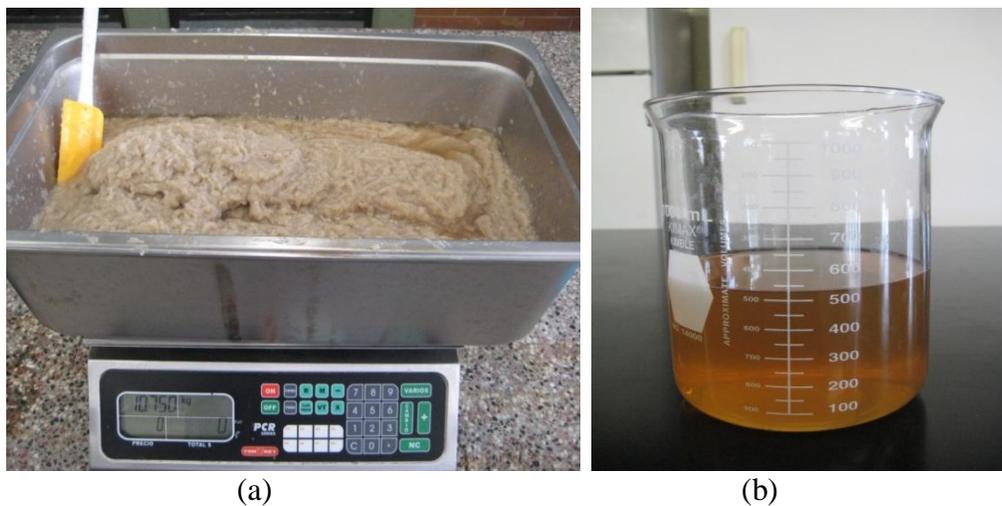


Figura 5. Pulpa de noni (a). Jugo de noni obtenido de la centrifugación (b).

Es importante mencionar que para la cuantificación de todos los fitoquímicos en el jugo natural (TESTIGO), se utilizó jugo de noni liofilizado para obtener los resultados en base seca (Figura 10 a y b). El equipo fue un liofilizador LABCONCO (Labconco Corporation, Kansas city Missouri) y las condiciones de operación fueron -48 °C y 0.2 mbar.

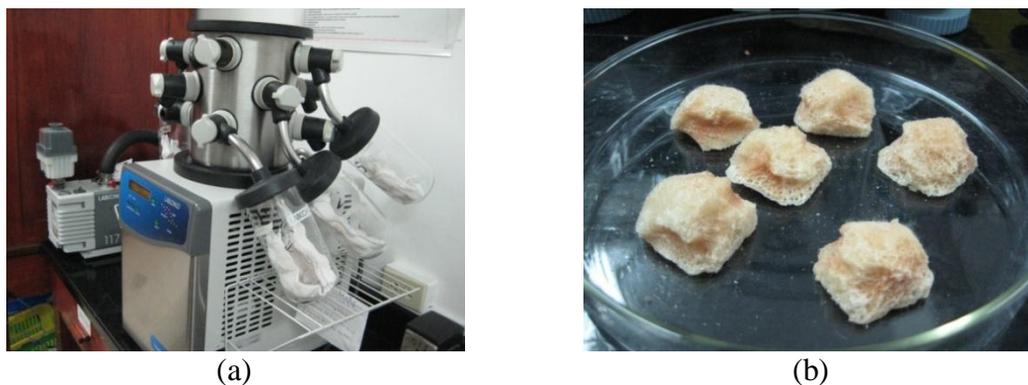


Figura 6. Liofilizador (a). Jugo de noni natural liofilizado (b).

### **5.2.3 Secado por aspersión y microencapsulado del jugo de noni**

Se utilizaron maltodextrina DE-10 (INAMALT <sup>TM</sup>), goma arábica pura (Farmacia PARÍS S.A de C.V., México D.F.) y lecitina de soya pura (GOLDENHARVEST <sup>TM</sup>) como agentes encapsulantes. Se manejaron tres porcentajes de maltodextrina (30 %, 50 % y 70 %), tres porcentajes de goma arábica (29.9 %, 50 % y 70 %) y uno de lecitina de soya (0.1 %).

Los agentes encapsulantes se agregaron en la concentración adecuada directamente al jugo de noni, la mezcla se incorporó con ayuda de una batidora de cinco velocidades (Black and Decker MX900, México), utilizando la velocidad dos como máximo durante 30 min.

Las mezclas resultantes se dejaron reposar durante 12 h antes de alimentarlas al secador por aspersión, para asegurar la hidratación completa de los agentes encapsulantes.

Se realizó un secado por aspersión con flujo en paralelo (Figura 7a), con ayuda de un secador GEA Niro A/S (Niro A/S Gladsaxevej 3D5-DK-2860, Soeborg-Demark), con temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 85 °C, respectivamente. La mezcla de jugo de noni con los agentes encapsulantes se alimentó al secador con ayuda de una bomba peristáltica Watson Marlow 5205 (Watson Marlow Bredel Pumps, UK) con un flujo de 70.0 mL min<sup>-1</sup> y una presión de atomización de 0.6 bar.



(a)



(b)

Figura 7. Secador por aspersión con flujo en paralelo (a). Contenedor de polvo microencapsulado (b).

Los SST de todas las mezclas que se alimentaron al secador por aspersión, se ajustaron a 36 °Bx. Los SST fueron medidos con un refractómetro digital con escala 0-93 °Bx (Refractometer PAL-3, ATAGO Pocket, Japan).

Después del secado por aspersión el polvo microencapsulado fue colectado en bolsas de polietileno marca ZIPLOC<sup>®</sup> y almacenado en oscuridad dentro de desecadores que contenían sílica gel.

#### **5.2.4 Extracto etanólico**

Se pesó un gramo de muestra (Figura 8), se adicionaron 25 mL de etanol al 95 % (v/v), se dejó reposar por 24 h a temperatura ambiente, posteriormente la mezcla se sonicó en un Ultrasonic Cleaner (Modelo 08892-21, Cole- Parmer Instrument Company Vernon Hills, USA) por 15 min, se filtró y el volumen final se ajustó a 25 mL con etanol al 80 % (v/v).



Figura 8. Preparación del extracto etanólico a partir de los diferentes tratamientos.

## 5.2.5 Variables de respuesta

### 5.2.5.1 Cuantificación de fenoles totales (TPC)

Para el análisis de esta variable se empleó la técnica descrita por Waterman y Mole (1994) con algunas modificaciones.

Se tomaron 0.5 mL del extracto etanólico, se agregaron 10 mL de solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 10 % (p/v), la mezcla se homogeneizó, se incubó a 38 °C por 15 min, se tomó una alícuota de 1 mL y se agregaron 3 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada y 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido en agua destilada 1:1 v/v. Se mezcló y se dejó reposar durante 1 h en obscuridad a temperatura ambiente. Se midió absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S, se utilizó etanol al 95 % como blanco. Se elaboró una curva tipo con ácido gálico a diferentes concentraciones (Figura 9). Los resultados estuvieron expresados en mg de ácido gálico  $100 \text{ g}^{-1}$ . Las lecturas se hicieron por triplicado.

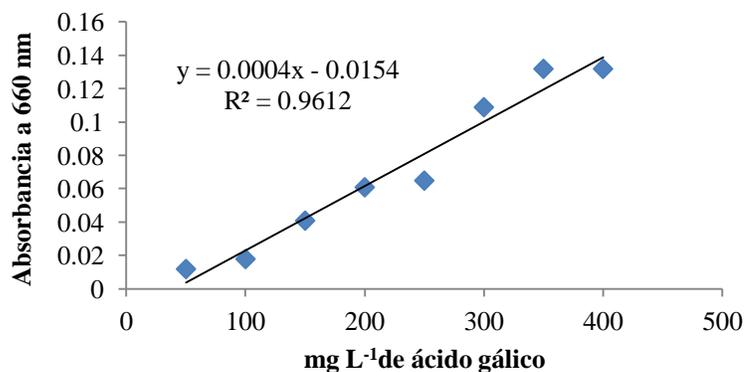


Figura 9. Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales (TFC) en términos de ácido gálico, por la técnica descrita por Waterman y Mole (1994).

#### 5.2.5.2 Cuantificación de flavonoides totales (TFC)

Para el análisis de esta variable se empleó la técnica descrita por Chang *et al.*, 2002.

Se midieron 0.5 mL del extracto etanólico, se agregaron 1.5 mL de etanol al 95 % (v/v), 0.1 mL de una solución de AlCl<sub>3</sub> al 10 % (p/v), 0.1 mL de una solución de acetato de potasio al 1 M y 2.8 mL de H<sub>2</sub>O destilada, la mezcla se incubó por 30 min a temperatura ambiente sin luz. Se midió absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S. Se utilizó etanol al 95 % como blanco.

Se elaboró una curva tipo con quercetina a diferentes concentraciones (Figura 10). Los resultados estuvieron expresados en mg de quercetina 100 g<sup>-1</sup>.

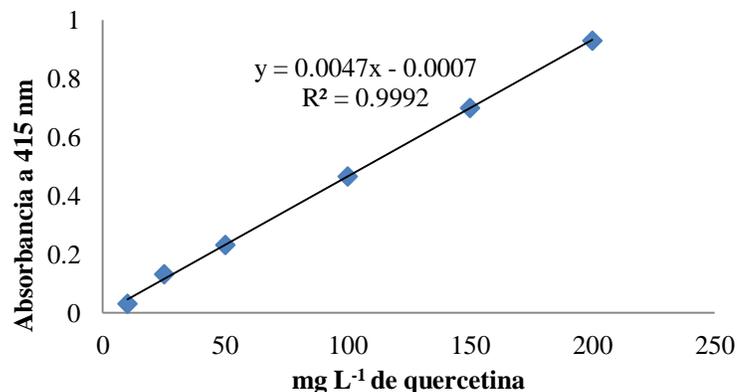


Figura 10. Curva de calibración para la cuantificación de flavonoides en términos de quercetina, por la técnica descrita por Chang *et al.* (2002).

### 5.2.5.3 Vitamina C

La técnica para la determinación de vitamina C fue la descrita por Bósquez (1992) con algunas modificaciones.

Preparación de la muestra. Se pesó un gramo de muestra y se le adicionaron 3 mL de ácido metafosfórico al 3 % (p/v), se mezcló, se dejó reposar por 3 min, se filtró, se tomó 1 mL del filtrado y se aforó a 10 mL con ácido metafosfórico (HPO<sub>3</sub>) al 3 % (p/v). En un matraz se colocaron 2 mL de la solución anterior, 2 mL de regulador de acetatos (CH<sub>3</sub>COONa\*3H<sub>2</sub>O con un pH= 4.0), 3 mL de dicloroindofenol (2,6- dicloroindofenol) y 15 mL de xileno, en sucesión rápida. Los matraces se taparon y se agitaron vigorosamente. La mezcla se transfirió a embudos de separación para eliminar la fase acuosa.

A la fase xilénica se le agregaron cristales de NaSO<sub>4</sub> anhidro para atrapar trazas de H<sub>2</sub>O y se leyó absorbancia de la muestra a 520 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S. Se utilizó xileno como blanco. Se elaboró una curva tipo con ácido ascórbico a diferentes concentraciones (Figura 11).

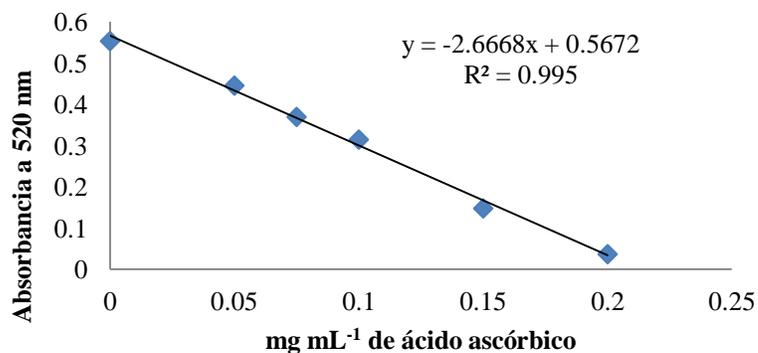


Figura 11. Curva de calibración para la cuantificación de ácido ascórbico por la técnica descrita por Bósquez (1992).

#### 5.2.5.4 Actividad antioxidante

Para la evaluación de esta variable se utilizó la técnica del radical libre DPPH (2-2, difenil-1- picrilhidracilo) descrita por Amico *et al.* (2008). Se preparó un extracto metanólico con un gramo de muestra, se le agregaron 10 mL de metanol absoluto y se dejó reposar por 24 h a temperatura ambiente en oscuridad, después de ese tiempo se sonicó por 15 min, se filtró y la parte líquida se vació en recipientes que permanecieron expuestos al ambiente para facilitar su evaporación.

Una vez evaporado el solvente, se aforó a 1 mL con metanol absoluto y se prepararon diluciones para obtener concentraciones de 90, 80, 70, 50, 10, 8, y 5 mg mL<sup>-1</sup>, a cada concentración se le agregaron 3 mL de solución de DPPH al 0.1 mM, la mezcla se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente en oscuridad, posteriormente se leyó absorbancia a 516 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S (Thermo Electron Corporation, USA), cada lectura se hizo por triplicado.

El dato de absorbancia de la muestra se sustituyó en la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de DPPH inhibido:

$$\% \text{ DPPH inhibido} = \frac{\text{Absorbancia control} - \text{Absorbancia muestra}}{\text{Absorbancia control}} \times 100$$

Donde la absorbancia del control: Fue la absorbancia del DPPH a una concentración de 0.1 mM.

La actividad antioxidante de las muestras se determinó mediante el cálculo de la concentración inhibitoria media (CI<sub>50</sub>), que es la concentración requerida por la muestra para disminuir la absorbancia del DPPH al 50 %. La baja absorbancia de la reacción indicó la presencia de una alta actividad antioxidante.

#### Curva tipo de DPPH

Se pesaron 3.93 mg de DPPH en una balanza analítica OHAUS (Modelo Scout Pro SP 2001, Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) y se disolvieron en 100 mL de metanol absoluto para obtener una concentración de 0.1 mM. A partir de ésta solución se tomaron diferentes alícuotas que se aforaron con metanol, para obtener las siguientes concentraciones: 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.1 mM de DPPH.

Se midió absorbancia a 516 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S, las mediciones se hicieron por triplicado y se utilizó metanol como blanco (Figura 12).

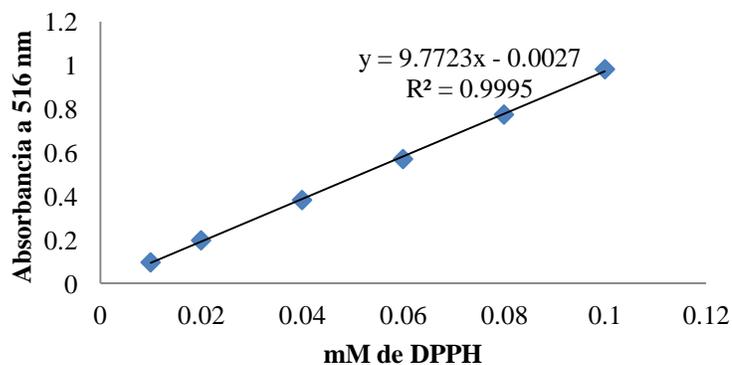


Figura 12. Curva de calibración para la cuantificación del radical libre 2-2, difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) por la técnica descrita por Amico *et al.* (2008) para la estimación de actividad antioxidante.

#### 5.2.5.5 Humedad (%)

Para la determinación de esta variable se empleó el método descrito por el A.O.A.C. (1975).

#### 5.2.5.6 Eficiencia de secado (% EY)

Esta variable fue calculada mediante la siguiente fórmula (Obón *et al.*, 2009) con la finalidad de medir el rendimiento de producto final (polvo microencapsulado) después del secado por aspersión del jugo de noni.

$$\% \text{ EY} = \frac{\text{Peso de las micropartículas después del secado por aspersión (g)}}{\text{Peso total de los agentes encapsulantes y jugo de noni antes del secado (g)}} \times 100$$

### 5.2.5.7 Porcentaje de biocompuestos recuperados (% BR)

Esta variable se refiere al total de fitoquímicos presentes tanto dentro como fuera de la microcápsula después del secado por aspersión. Para esta cuantificación se disolvieron las microcápsulas de jugo de noni en agua destilada, la solución resultante se liofilizó y se siguió la metodología para cada biocompuesto en particular.

Para el dato en porcentaje se aplicó la siguiente fórmula (Fang y Bhandari, 2011):

$$\% \text{ BR} = \frac{\text{Biocompuesto en el polvo reconstituido (mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ ps)}}{\text{Biocompuesto en la solución alimentada al secador por aspersión (mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ ps)}} \times 100$$

### 5.2.5.8 Porcentaje de eficiencia de encapsulación (% EE)

Esta variable se calculó con ayuda de las siguientes fórmulas (Saéñz *et al.*, 2009):

$$\% \text{ ES} = \frac{\text{Biocompuesto en la superficie de la microcápsula (mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ ps)}}{\text{Biocompuesto presente en el polvo reconstituido (mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ ps)}} \times 100 \dots\dots(1)$$

$$\% \text{ EE} = 100 - \% \text{ ES} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

% ES: Es el porcentaje de biocompuesto en la superficie de la microcápsula, es decir se partió del polvo de jugo de noni sin reconstituir en agua.

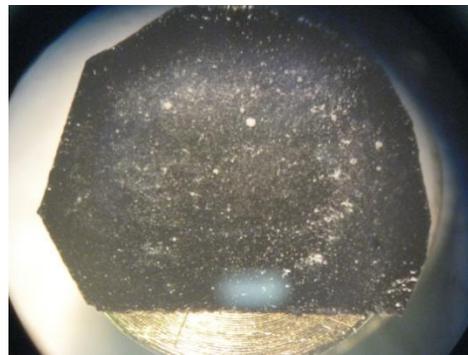
% EE: Es el porcentaje de eficiencia de encapsulación del biocompuesto.

### 5.2.6 Microscopía del jugo de noni microencapsulado

Para tomar las micrografías se utilizaron pequeñas bases de latón perfectamente limpias, las cuales tenían sobre una de sus caras cinta de carbón con doble adhesivo, con ayuda de un pincel se esparció una capa de polvo microencapsulado sobre la cinta adhesiva. Una vez colocada la muestra sobre las bases de latón se llevó a un baño con oro / paladio (Figura 13 a y b), para después ser observadas a X500, X800, X1500 y X4000 en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) (JEOL, JSM-6390/LGS, Japón).



(a)



(b)

Figura 13. Bases de latón (a). Muestra de polvo microencapsulado sobre la base de latón (b).

### 5.2.7 Evaluación sensorial del jugo natural y del jugo de noni microencapsulado

La evaluación se llevó a cabo con un grupo de 90 panelistas conformado entre hombres y mujeres con edades que fluctuaron entre 20 y 70 años. Se realizó una prueba afectiva de aceptabilidad en la que se evaluaron atributos como olor y sabor así como aceptabilidad global de la muestra, mediante una escala hedónica de nueve puntos en la cual el valor más bajo fue 1 que correspondió a “me disgusta extremadamente”, hasta el valor máximo de 9 que correspondió a “me gusta extremadamente”. Se prepararon dos tipos de muestras, la muestra A fue jugo de noni natural sin ningún tratamiento

encapsulante (JN) y la muestra B fue jugo de noni a partir del polvo microencapsulado reconstituido en agua (JR), el polvo de jugo de noni microencapsulado se reconstituyó hasta alcanzar 9 °Bx, los mismos que contenía el jugo natural.

Las muestras se presentaron en forma aleatoria y balanceada a los panelistas, en vasos de 25 mL con números aleatorios de tres dígitos, ambos jugos estuvieron a temperatura ambiente. Los panelistas evaluaron una muestra a la vez.

Al término de la prueba de aceptabilidad de cada muestra, se preguntó a los panelistas si estaban o no dispuestos a consumir dicho producto si supieran que contenía vitamina C, actividad antioxidante y otros compuestos benéficos para su salud. Con la finalidad de analizar el número de respuestas positivas y negativas se aplicó una prueba de proporción de poblaciones (Meilgard *et al.*, 1991).

Cabe señalar que a los panelistas se les dijo que era jugo de noni una vez terminada su participación, con el fin de no influenciar su juicio. El cuestionario que se aplicó se encuentra en el Anexo 1.

### **5.2.8 Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey,  $p = 0.05$ ), así como un análisis de correlación de Pearson entre variables ( $p = 0.05$ ) utilizando el paquete estadístico SAS *Statistical Analysis System*, versión 9.1. La unidad experimental estuvo constituida por un litro de jugo de noni con tres repeticiones para cada tratamiento. Se consideró un diseño completamente al azar.

Es importante mencionar que para todas las variables que se reportaron en porcentaje se hizo una transformación previa al análisis estadístico, utilizando la función arcoseno  $(Y/100)^{1/2}$ , debido a que datos en porcentaje tienen una distribución binomial, en vez de una distribución normal (Little y Hills, 1983).

A continuación se describen los tratamientos que se generaron (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estructura de tratamientos del plan experimental

Tratamiento	Ingrediente activo	Agentes encapsulantes		
		Maltodextrina	Goma arábica	Lecitina de soya
		(% )		
<b>T1</b>	Jugo de noni	50	50	-
<b>T2</b>	Jugo de noni	30	70	-
<b>T3</b>	Jugo de noni	70	29.9	0.1
<b>TEST*</b>	Jugo de noni	-	-	-

\* TEST: TESTIGO: Jugo de noni natural sin ningún agente encapsulante.

Para la evaluación sensorial se consideró un diseño de bloques completamente al azar, los resultados de las variable olor, sabor y aceptación global se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de medias (dms,  $p = 0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SAS *Statistical Analysis System*, versión 9.1. Para la prueba de proporción de poblaciones se utilizó Z como estadístico de prueba con una  $p = 0.05$ .

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Fase preliminar

Una vez concluida la fase de prueba, se observó que la mezcla de jugo de noni y la proporción de agentes encapsulantes con 70 % maltodextrina y 30 % goma arábica fue la que al final del secado por aspersion obtuvo el mejor % EY.

Como se puede observar en el Cuadro 4, con un mínimo de 30 % SST se obtuvo el mejor % EY; por esta razón se decidió trabajar la fase experimental con soluciones que tuvieran 36 °Bx.

Cuadro 4. Porcentaje de eficiencia de secado (EY) de jugo natural de noni microencapsulado con maltodextrina (MD) y goma arábica (GA) en diferentes proporciones

No.	Volumen de	MD	GA	EY	SST
Prueba	jugo de noni				de la solución
		(%)			(°Bx)
1	1000 mL	-	-	5	9
2	1000 mL	30	70	65.8	20
3	1000 mL	50	50	92	30
4	1000 mL	70	30	96	36

SST: sólidos solubles totales

## **6.2 Fase experimental**

### **6.2.1 Cuantificación de fenoles totales (TPC)**

En el jugo de noni natural se encontró una considerable mayor cantidad de TPC (Cuadro 5) que la reportada por Dussosoy *et al.* (2011) y Shu-Chuan Yang *et al.* (2007) 47.6 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> pf y 2.3 mg EAG mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Tal diferencia puede deberse a que los resultados del presente trabajo están expresados en términos de peso seco no así los de los autores mencionados. Por su parte Zin *et al.* (2006) reportaron 120 µg equivalentes de catequina g<sup>-1</sup> ps; sin embargo, con datos más comparables (en términos de peso seco y EAG) el jugo de noni natural de este trabajo mostró mayor cantidad de TPC que la almendra, el cacahuete, la sandía y el coco, pero menor cantidad que la cereza, la frambuesa, el kiwi y el limón, datos reportados por INTA (2012).

En otros estudios, CIAD (2009) mostró que los TPC son sustratos que al oxidarse enzimáticamente contribuyen al pardeamiento de las superficies cortadas de vegetales frescos y por otro lado, estos daños mecánicos inducen a un aumento en la actividad de la enzima fenilalaninaamonioliase (PAL) que a su vez promueve la síntesis de compuestos fenólicos más reactivos (quinonas).

De acuerdo con lo anterior se puede pensar que los procesos de extracción del jugo de noni promovieron la síntesis de TPC, provocando que éstos fueran los fitoquímicos más abundantes al analizar el jugo natural y los diferentes polvos microencapsulados, en comparación con la cantidad de flavonoides totales y vitamina C.

Cuadro 5. Parámetros de recuperación de fenoles totales (TPC) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones

<b>Trat</b>	<b>Cantidad de biocompuesto recuperada o presente*</b>	<b>BR (%)</b>	<b>Cantidad de biocompuesto fuera de la microcápsula*</b>	<b>Cantidad de biocompuesto dentro de la microcápsula*</b>	<b>EE (%)</b>
<b>T1</b>	207.667 b	77.104 a	65.166 a	142.500 a	68.609 a
<b>T2</b>	204.333 b	75.866 a	86.000 a	118.33 a	57.645 a
<b>T3</b>	223.500 b	82.983 a	90.166 a	133.333 a	59.261 a
<b>TEST</b>	269.333 a <sup>+</sup>				

Para cada parámetro de recuperación, medias seguidas con la misma letra en el sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ). Trat = tratamientos. T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %); TEST= Testigo: jugo de noni sin encapsular. EE = Porcentaje de eficiencia de encapsulación. \*mg equivalentes de ácido gálico (EAG)  $100 \text{ g}^{-1}$  peso seco. <sup>+</sup>: cantidad de TPC presente en el jugo sin encapsular (testigo). BR = biocompuesto recuperado.

Para el caso del jugo microencapsulado hubo un % BR de TPC del orden del 78% (Cuadro 5); sin embargo, Fang y Bhandari (2011) hallaron un porcentaje de recuperación de fenoles en *Myrica rubra* Sieb et Zucc (bayberry) considerablemente mayor (96%) que el de este trabajo, después del secado por aspersión utilizando sólo maltodextrina como agente encapsulante, pero con temperaturas de secado de 150 °C de entrada y 80 °C de salida, menores a las utilizadas en esta investigación (180 °C y 85 °C, respectivamente).

Es importante mencionar que el T3 al contener mayor proporción de maltodextrina (70 %), permitió recuperar la mayor cantidad de TPC (Cuadro 5); dicho resultado concuerda con Krishnaiah *et al.* (2012), quienes reportaron que la maltodextrina es un buen agente encapsulante para la recuperación de compuestos fenólicos después del secado por aspersión. Del TPC recuperado después del secado por aspersión el 61 % estaba dentro de las microcápsulas y el 39 % restante quedó fuera, lo que indica un % EE considerablemente alto en relación al intervalo reportado por Saénz *et al.* (2009) que fue de 39.41 a 74.78 % EE en TPC de tuna, utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

No obstante que se tuvo un buen % BR y % EE de TPC como ya se discutió, hubo una clara degradación de estos fitoquímicos por efecto de las altas temperaturas usadas en el proceso de secado. Tal comportamiento se puede comparar con lo observado por Fang y Bhandari (2011) quienes mencionan que la limitante en el aprovechamiento de polifenoles, es que son generalmente sensibles a condiciones adversas del ambiente como altas temperaturas, luz, pH, humedad y oxígeno, lo que significa que son susceptibles a degradarse durante el proceso de productos y su almacenamiento.

En otros estudios, Yang *et al.* (2010) encontraron que la pérdida de compuestos fenólicos fue más rápida en jugo que en polvo de noni, y en condiciones de iluminación, su degradación se aceleró.

### **6.2.2 Cuantificación de flavonoides totales (TFC)**

El TFC encontrado en el jugo natural de noni fue notablemente mayor (Cuadro 6) a 0.025 mg EQ mL<sup>-1</sup> obtenido también en jugo natural de noni por Shu-Chuan Yang *et al.* (2007). Tal diferencia puede deberse a que los resultados del presente trabajo están expresados en términos de peso seco no así los de este autor. Como referencia el TFC también expresado en EQ pero en frutos de tejocote fue de 0.344 mg EQ g<sup>-1</sup> pf (García-Mateos y Nieto, 2011).

Para jugo y frutos de noni, otros autores han expresado contenidos de TFC pero en términos de equivalencia de diferentes flavonoides, tal es el caso de Dussosoy *et al.* (2011) quienes reportaron 4.63 mg equivalentes de rutina 100 g<sup>-1</sup> pf y Yin Yin Thoo *et al.* (2010) quienes hallaron 472.73 mg equivalentes de catequina 100 g<sup>-1</sup> ps, respectivamente. Los datos de este último autor (que también están expresados en términos de peso seco) superan notablemente a los obtenidos en el presente trabajo.

Los flavonoides fueron los biocompuestos que se encontraron en menor cantidad en el jugo natural de noni, en comparación con el TPC y la vitamina C.

Aunado a lo anterior los flavonoides al parecer son poco estables, ya que de acuerdo con Shu-Chuan Yang *et al.* (2007), estos fitoquímicos se degradan a causa de una simple fermentación del noni.

Cuadro 6. Parámetros de recuperación de flavonoides totales (TFC) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones

<b>Trat</b>	<b>Cantidad de biocompuesto recuperada o presente*</b>	<b>BR (%)</b>	<b>Cantidad de biocompuesto fuera de la microcápsula*</b>	<b>Cantidad de biocompuesto dentro de la microcápsula*</b>	<b>EE (%)</b>
<b>T1</b>	3.837 b	16.193 a	0.929 a	2.907 a	75.692 a
<b>T2</b>	3.553 b	14.995 a	0.787 a	2.766 a	77.434 a
<b>T3</b>	3.695 b	15.594 a	2.277 b	1.418 b	38.340 b
<b>TEST</b>	23.695 <sup>+</sup> a				

Para cada parámetro de recuperación, medias seguidas con la misma letra en el sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ). Trat = tratamientos. T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %)+ lecitina de soya (0.1 %); TEST= Testigo: jugo de noni sin encapsular. EE = Porcentaje de eficiencia de encapsulación. \*mg equivalentes de quercetina (EQ)  $100 \text{ g}^{-1}$  peso seco. <sup>+</sup>: cantidad de TFC presente en el jugo sin encapsular (testigo). BR = biocompuesto recuperado.

Para el caso del jugo microencapsulado, se obtuvo un % BR de TFC notoriamente baja (15.59 % en promedio), si se compara con la cantidad recuperada (94 %) de antocianinas (flavonoides) en jugo de bayberry después del secado por aspersion (Fang y Bhandari, 2011). Tal diferencia podría deberse a que las temperaturas de secado del presente trabajo fueron 30 °C superiores a las utilizadas por los autores antes mencionados. De ser cierto lo anterior, confirmaría que los TFC son termolábiles, característica que más adelante se documenta.

El bajo % BR de TFC del presente estudio coincide en cierta forma con lo obtenido por Krishnaiah *et al.* (2012) quienes observaron que para un extracto de noni, a mayor temperatura de secado por aspersion hubo mayor pérdida de flavonoides; los autores atribuyeron esta pérdida a un deterioro o a una volatilización de los mismos, lo que probablemente pudo haber sucedido en el presente trabajo.

En un extracto de zanahoria negra, el secado por aspersion con temperaturas de entre 160 °C y 180 °C (temperaturas semejantes a las utilizado en este trabajo), también causó pérdida de antocianinas (Ersus y Yurdagel, 2007). Por otro lado Vardin y Yasar (2012) reportaron que la mayor merma de antocianinas en jugo de granada secado por aspersion se dió a la mayor temperatura de secado probada (170 °C). Esto reitera la explicación de la termolabilidad del TFC y su baja concentración obtenida en el jugo natural de frutos de noni previamente escaldados y en los polvos microencapsulados del jugo de esta fruta.

Del TFC recuperado después del secado por aspersión, el 63.82 % estaba dentro de las microcápsulas y el 36.18 % restante quedó fuera (Cuadro 6). Cuando en la formulación de agentes encapsulantes la proporción de goma arábiga fue de al menos 50 % o mayor (T1 y T2) se logró el máximo % EE. Sin embargo, a pesar de que el licopeno es un fitoquímico termolábil como los flavonoides, se ha reportado (Shu *et al.*, 2006) un mayor % EE para licopeno (terpenoide) puro microencapsulado con gelatina y sacarosa, en comparación al % EE del TFC obtenido en este trabajo.

### **6.2.3 Vitamina C**

La vitamina C encontrada en el jugo natural de noni fue menor (Cuadro 7) a 250 y 97 mg ac. ascórbico 100 g<sup>-1</sup> pf reportado por Shu-Chuan Yang *et al.* (2007) y Dussossoy *et al.* (2011), respectivamente, pero mayor a lo reportado por Yang *et al.* (2010) en jugo de noni (2.3 mg ac. ascórbico mL<sup>-1</sup>), así como lo encontrado por Badui (2006) en durazno (4 mg 100 g<sup>-1</sup> pf), manzana (10 mg 100 g<sup>-1</sup> pf), mandarina, piña y plátano (25 mg 100 g<sup>-1</sup> pf). Tales diferencias se explican porque los resultados del presente trabajo están expresados en términos de peso seco no así los de los autores mencionados. Sin embargo, con datos más comparables el contenido de vitamina C presente en el jugo de noni fue menor a 151.2 mg ac. ascórbico 100 g<sup>-1</sup> ps en jugo de melón (Solval *et al.*, 2012).

Aunado a lo anterior los flavonoides al parecer son poco estables, ya que de acuerdo con Shu-Chuan Yang *et al.* (2007), estos fitoquímicos se degradan a causa de una simple fermentación del noni.

Cuadro 7. Parámetros de recuperación de vitamina C del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones

<b>Trat</b>	<b>Cantidad de biocompuesto recuperada o presente*</b>	<b>BR (%)</b>	<b>Cantidad de biocompuesto fuera de la microcápsula*</b>	<b>Cantidad de biocompuesto dentro de la microcápsula*</b>	<b>EE (%)</b>
<b>T1</b>	18.405 b	48.667 a	1.225 a	17.179 a	92.999 a
<b>T2</b>	32.333 ab	85.516 a	4.351 a	27.982 a	86.068 a
<b>T3</b>	22.580 b	59.722 a	3.650 a	18.930 a	86.397 a
<b>TEST</b>	37.809 <sup>+</sup> a				

Para cada parámetro de recuperación, medias seguidas con la misma letra en el sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ). Trat = tratamientos. T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %)+ lecitina de soya (0.1 %); TEST= Testigo: jugo de noni sin encapsular. EE = Porcentaje de eficiencia de encapsulación. \*mg de ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup> peso seco. <sup>+</sup>: cantidad de vitamina C presente en el jugo sin encapsular (testigo). BR = biocompuesto recuperado.

La baja cantidad de vitamina C encontrada en el jugo natural de noni en comparación con lo reportado por otros autores, posiblemente se debió por un lado a diferencias agroclimáticas del cultivo pero también se pudo deber al proceso de escalde y despulpado para la extracción del jugo; esto en consideración a lo reportado por Scalzo *et al.* (2004) quienes observaron que el proceso de escalde y pasteurización a 80 °C promovieron incremento de compuestos fenólicos pero decremento de vitamina C en jugo de naranja. De acuerdo con este autor la vitamina C puede ser uno de los compuestos no fenólicos que contribuye a la actividad antioxidante, y al destruirse por altas temperaturas puede contribuir a la pérdida de la misma.

Otro posible factor degradativo de esta vitamina fue la luz ya que aunque se tuvo cuidado de no exponer al producto a ésta, esto fue inevitable aunque por cortos periodos. Al respecto Shu-Chuan Yang *et al.* (2007) observaron una alta degradación de vitamina C en jugo de noni almacenado bajo condiciones de iluminación. Sin embargo, de acuerdo con estos mismos autores la degradación de la vitamina C puede contribuir a la protección de la degradación de compuestos fenólicos.

En otros estudios, Badui (2006) menciona que la vitamina C se oxida fácilmente debido a la presencia de oxígeno, temperatura, pH, metales de transición y luz, además de algunas sales, la actividad de agua, los peróxidos y ciertas enzimas.

Para el caso del jugo microencapsulado se obtuvo un % BR de vitamina C del 64.63 %, mayor al 60 % reportado por Solval *et al.* (2012) en jugo de melón microencapsulado con maltodextrina, usando temperaturas similares (temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 78.5 °C, respectivamente) a las de este trabajo.

Por su parte Pulido y Beristain (2010) obtuvieron un porcentaje de recuperación del 78 % de ácido ascórbico microencapsulado con quitosano, utilizando las mismas condiciones de secado que en este trabajo (temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 85 °C, respectivamente).

Del total de vitamina C recuperada después del secado por aspersión, el 88.48 % estaba dentro de las microcápsulas y el 11.52 % restante quedó fuera, como se puede ver en el Cuadro 7 no existió diferencia estadística entre tratamientos para el % EE.

La vitamina C presentó consistentemente mayor % EE que los otros fitoquímicos estudiados (fenoles y flavonoides).

#### **6.2.4 Actividad antioxidante**

La  $CI_{50}$  obtenida en el jugo natural de noni fue significativamente mayor (Figura 14) a lo encontrado en frutos de tejocote  $0.0004 \text{ mg mL}^{-1}$  (García-Mateos y Nieto, 2011) pero menor a  $13.12 \text{ mg mL}^{-1}$  en jugo de bayberry (Fang y Bandhari, 2011), lo que significa que el jugo de noni tiene menor actividad antioxidante que los frutos de tejocote, pero mayor que el jugo de bayberry.

El secado por aspersión del proceso de microencapsulado causó una notoria destrucción de la actividad antioxidante del jugo de noni, ya que como puede verse en la Figura 14 el tratamiento testigo (jugo natural no microencapsulado) fue el que presentó el menor valor de la  $CI_{50}$  y en consecuencia la mayor actividad antioxidante. Estos resultados coinciden con lo reportado por Krishnaiah *et al.* (2012) quienes mencionan que conforme se eleva la temperatura de secado se volatilizan o deterioran los biocompuestos responsables de la actividad antioxidante en noni.

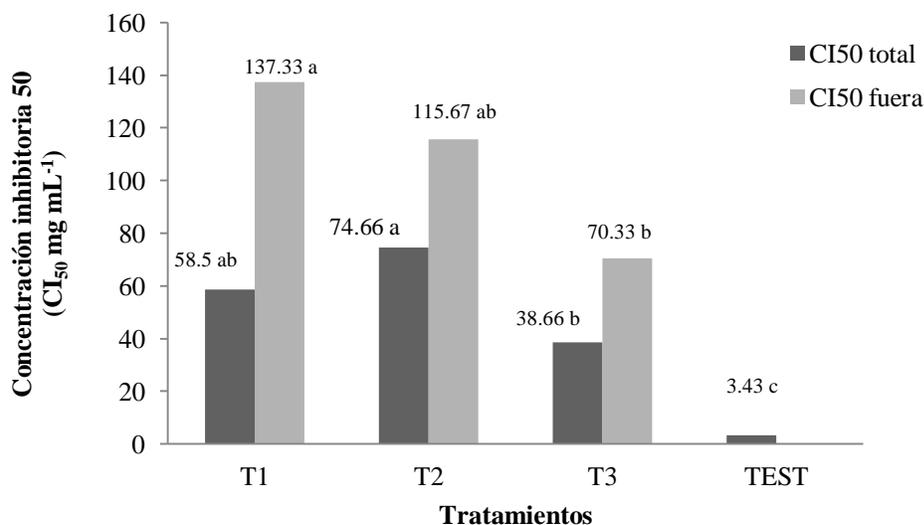


Figura 14. Concentración inhibitoria 50 total (fuera y dentro) y fuera (superficie) de la microcápsula de jugo de noni, utilizando diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones. Medias seguidas con la misma letra para cada condición son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ). T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular.

El jugo microencapsulado con el T3 presentó una  $CI_{50}$  total estadísticamente menor que el jugo del T2, esto significa que el T3 evitó en mayor medida la destrucción de la actividad antioxidante que el T2.

Consistentemente el jugo microencapsulado no reconstituido del T3 también presentó menor  $CI_{50}$  que el jugo del T1, es decir que para el jugo no reconstituido también fue el T3 el que evitó en mayor medida la destrucción de la actividad antioxidante que el T1 (Figura 14).

Otra observación es que la actividad antioxidante de los jugos microencapsulados fue menor en el exterior de las microcápsulas que en el total del polvo reconstituido. Porque los valores de  $CI_{50}$  observados fuera de la microcápsula en general fueron superiores a los del jugo reconstituido.

En comparación con otros estudios el jugo microencapsulado con el T3 mostró una  $CI_{50}$  mayor que el extracto de *Fadogia ancylantha* ( $0.08 \text{ mg mL}^{-1}$ ) reportado por Sansone *et al.*, (2011) y que el jugo de bayberry ( $13.95 \text{ mg mL}^{-1}$ ) reportado por Fang y Bhandari (2011), ambos microencapsulados con maltodextrina, es decir que el polvo microencapsulado de *Fadogia ancylantha* y bayberry presentan mayor actividad antioxidante que el jugo de noni microencapsulado con el T3. Por su parte Saénz *et al.* (2009) reportaron una  $CI_{50}$  de  $18.9 \text{ mg L}^{-1}$  en pulpa de tuna con maltodextrina como agente encapsulante, así mismo Ersus y Yurdagel (2007) hallaron una  $CI_{50}$  de  $17.12 \text{ mg mg}^{-1}$  DPPH inhibido en polvo microencapsulado de antocianinas utilizando maltodextrina (20-23 DE) como agente encapsulante.

En otros estudios se ha reportado que la iluminación con luz fluorescente acelera la pérdida de la actividad antioxidante en jugo de noni, sin embargo, ésta es más estable en polvo que en jugo (Shu-Chuan Yang *et al.*, 2007).

A pesar de que hubo destrucción de la actividad antioxidante con el proceso de microencapsulación en el jugo de noni, se puede considerar que este fruto fresco o microencapsulado tiene potencial nutracéutico por que su actividad antioxidante es comparable con la de otros.

### 6.2.5 Humedad (%)

El jugo de noni microencapsulado tuvo un contenido de humedad porcentual entre 2.3 a 3.6 % después del secado por aspersión, siendo el jugo microencapsulado con el T3 el que obtuvo la menor humedad (Figura 15).

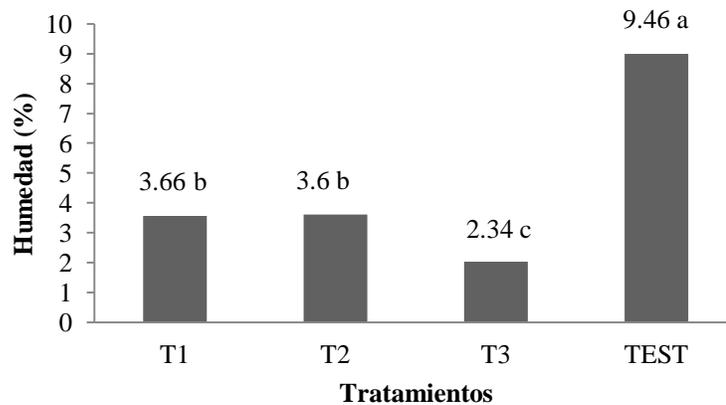


Figura 15. Contenido porcentual de humedad del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones. Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ). T1= AE: maltodextrina (50%) + goma arábica (50%); T2= AE: maltodextrina (30%) + goma arábica (70%); T3= AE: maltodextrina (70%) + goma arábica (29.9%)+ lecitina de soya (0.1%); TEST= Testigo: jugo de noni sin encapsular.

Los valores porcentuales de humedad del jugo de noni microencapsulado obtenidos en esta investigación, concuerdan con lo reportado por Vardin y Yasar (2012) en jugo de granada secado por aspersión en el cual los porcentajes de humedad se situaron entre 4 y 2.4%, así mismo Colina (2010) reporta intervalos de 2- 15 % de humedad en alimentos deshidratados.

Estos valores son importantes porque uno de los índices de calidad para productos en polvo es la actividad de agua ( $a_w$ ), que indica la cantidad de agua libre para que se puedan llevar a cabo reacciones bioquímicas que acortan la vida de anaquel de dichos productos; así mismo se afectan propiedades como son la solubilidad y la densidad aparente (Vardin y Yasar, 2012). En relación a este tema, Colina (2010) reportó que los polvos muy finos, en los que el tamaño de las partículas individuales es pequeño, tienden a compactarse por lo que poseen alta densidad aparente y presentan una elevada dificultad para la disolución y rehidratación, ya que tienden a formar grumos. La baja solubilidad de los polvos obtenidos en esta investigación a pesar de no haber sido parte de las variables analizadas en este trabajo, se pudo observar al momento de la reconstitución del polvo microencapsulado en agua.

Otros estudios han encontrado que el contenido de humedad en un polvo secado por aspersion disminuye conforme se aumenta la cantidad de maltodextrina, probablemente debido a un incremento de sólidos en la alimentación del secador y a la reducción de la cantidad de agua libre para la evaporación (Vardin y Yasar, 2012).

Lo anterior confirma el resultado obtenido en este trabajo, ya que el jugo microencapsulado con el T3 el cual contenía la mayor proporción de maltodextrina (70 %) favoreció el menor porcentaje de humedad en los polvos microencapsulados, al final del secado por aspersion (Figura 15).

De igual forma la baja cantidad de humedad en los polvos secados por aspersion puede ser causada por las altas temperaturas y tiempo de exposicion.

### **6.2.6 Correlación entre variables**

La TPC y la concentración inhibitoria 50 (CI<sub>50</sub>) presentes en el jugo y polvo de noni, mostraron correlación negativa alta (Cuadro 8 y Figura 16), tal resultado significa que conforme aumentó la cantidad de TPC disminuyó la CI<sub>50</sub>, en otras palabras, conforme aumentó la cantidad de TPC, de igual forma se incrementó la actividad antioxidante. Esta información coincide con lo reportado por Krishnaiah *et al.* (2012) quienes también encontraron una correlación negativa entre compuestos fenólicos y porcentaje de DPPH inhibido en un extracto de noni microencapsulado. Por otro lado Yin Yin Thoo *et al.* (2010) hallaron que la cantidad de fenoles totales presentes en un extracto de noni, pudo ser responsable de su capacidad antioxidante, además sugirieron que la extracción de compuestos fenólicos se veía afectada por la concentración de etanol, el cual puede contribuir a extraer compuestos de bajo peso molecular, y los mismos autores encontraron que el DPPH reacciona preferentemente con compuestos fenólicos de bajo peso molecular.

En otros estudios se reportó una correlación positiva entre la cantidad de fenoles y la actividad antioxidante en jugo de bayberry secado por aspersion (Fang y Bhandari, 2011). De acuerdo con Zin *et al.* (2006) esta correlación se debe a que la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos está basada en su habilidad para inhibir o reducir radicales libres.

Cuadro 8. Matriz de correlación de Pearson ( $p = 0.05$ ) entre la concentración inhibitoria 50 ( $CI_{50}$ ), TPC, TFC, vitamina C (Vit C), humedad porcentual (Hume) del jugo de noni natural y microencapsulado, así como el efecto de los diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones

<b>Var/ Var</b>	<b>MD</b>	<b>GA</b>	<b>LS</b>	<b><math>CI_{50}</math></b>	<b>TPC</b>	<b>TFC</b>	<b>Vit C</b>	<b>Hume</b>
<b>MD</b>	1.000	0.400 (0.599)	0.725 (0.274)	0.478 (0.521)	-0.660 (0.339)	-0.833 (0.166)	-0.876 (0.123)	-0.910 (0.090)
<b>GA</b>		1.000	-0.169 (0.830)	0.996 (0.003)	-0.946 (0.053)	-0.839 (0.160)	-0.384 (0.615)	-0.732 (0.267)
<b>LS</b>			1.000	-0.102 (0.897)	-0.060 (0.939)	-0.333 (0.666)	-0.390 (0.609)	-0.507 (0.493)
<b><math>CI_{50}</math></b>				1.000	-0.970 (0.029)	-0.879 (0.120)	-0.459 (0.540)	-0.795 (0.204)
<b>TPC</b>					1.000	0.960 (0.039)	0.653 (0.346)	0.901 (0.098)
<b>TFC</b>						1.000	0.745 (0.254)	0.986 (0.013)
<b>Vit C</b>							1.000	0.762 (0.237)
<b>Hume</b>								1.000

Var: variables evaluadas. Los valores entre paréntesis representan el nivel de significancia observada. TPC= Total de fenoles. TFC= Total de flavonoides. AE: MD (maltodextrina), GA (goma arábica), LS (lecitina de soya).

Zin *et al.* (2006) separaron varias fracciones de polifenoles presentes en raíz, hojas y frutos de noni, haciendo mención que todos ellos participan de diferente forma para inhibir los procesos de oxidación. De igual manera estos autores comentan que los compuestos fenólicos no poseen la misma actividad antioxidante, algunos son más poderosos y otros más débiles, así como también pueden desarrollar antagonismo o sinergismo en combinación con ellos mismos o con otros constituyentes del extracto.

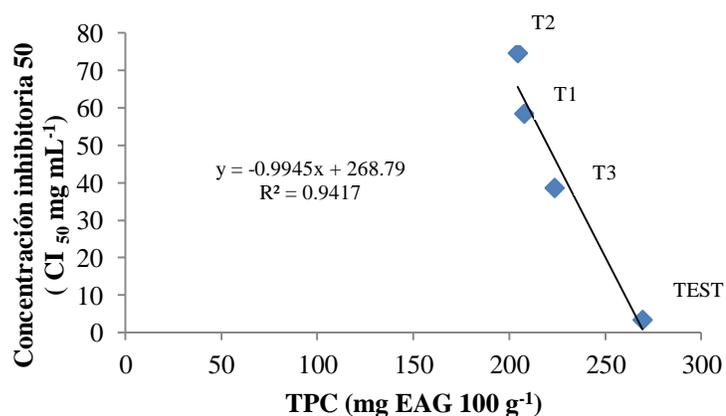


Figura 16. Concentración inhibitoria 50 del jugo natural y microencapsulado de noni con diferentes TPC derivados de tres tratamientos de microencapsulado. T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %)+ lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular. AE = agente encapsulante. TPC = Fenoles totales.

Yang *et al.* (2010) indicaron que la pérdida de la actividad antioxidante en polvo y jugo de noni se asoció más con la degradación de la vitamina C, que con la degradación de compuestos fenólicos.

En cambio, en la presente investigación no hubo ninguna correlación entre actividad antioxidante y vitamina C, quizá porque ésta vitamina fue de los compuestos que se degradaron más rápidamente durante el proceso de extracción de jugo y secado por aspersion; debido a lo anterior los biocompuestos que tuvieron mayor participación en la actividad antioxidante fueron los fenoles, como lo indicó el análisis de correlación (Cuadro 8).

Otro tipo de correlación fue la encontrada entre los TPC y TFC presentes en el jugo y polvo de noni, como se puede observar en el Cuadro 8 ésta fue de tipo positiva alta, lo que significa que ambos fitoquímicos aumentaron o disminuyeron en magnitudes semejantes, en este caso al considerar como punto de partida al jugo natural de noni cuyo contenido de TPC y TFC era alto (269.333 mg EAG  $100\text{ g}^{-1}$  ps, 23.695 mg EQ  $100\text{ g}^{-1}$  ps, respectivamente), después del microencapsulado estos disminuyeron, probablemente por la destrucción ocasionada por las altas temperaturas del secado por aspersion en este caso el tratamiento que más afectó negativamente a ambos fitoquímicos fue el T2 como puede verse en la Figura 17.

Otra correlación fue la encontrada entre el contenido porcentual de humedad y el TFC presentes en el jugo y polvo de noni, como se puede observar en el Cuadro 8 ésta fue de tipo positiva alta, lo que significa que ambos valores aumentan o disminuyen en la misma proporción. Si se acepta que el secado por aspersion es un fenómeno de reducción de humedad, la Figura 18 debe analizarse de derecha a izquierda, es decir el punto de partida corresponde al mayor contenido de humedad (jugo de noni natural no microencapsulado) (tratamiento testigo).

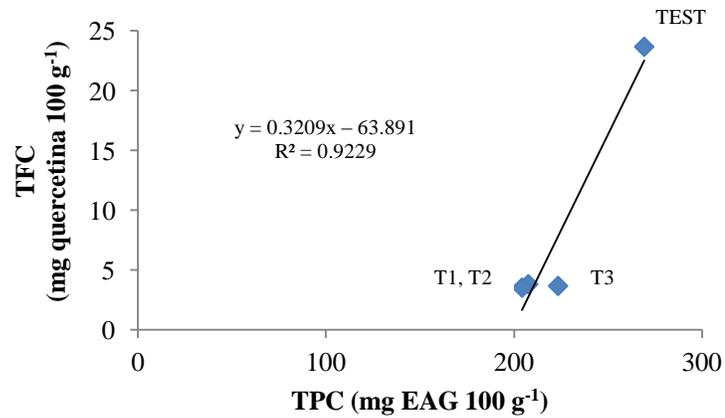


Figura 17. Concentración del contenido de TPC (fenoles totales) y TFC (flavonoides totales) en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado: T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular. AE = agente encapsulante.

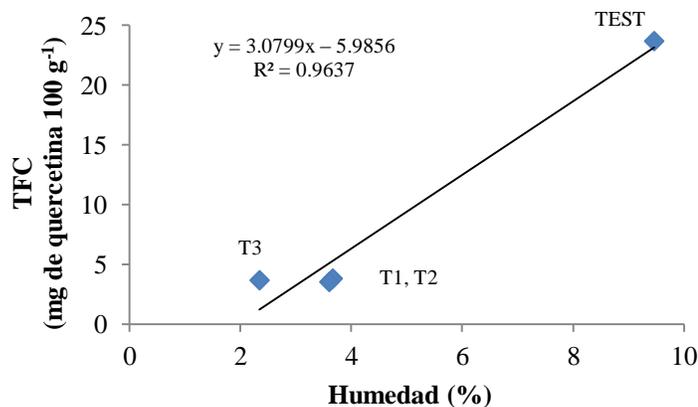


Figura 18. Efecto del secado por aspersión en el contenido de TFC (flavonoides totales) y la cantidad porcentual de humedad en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado: T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %)+ lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular. AE = agente encapsulante.

Entonces el secado por aspersión hizo disminuir el contenido de humedad y notoriamente esta reducción fue de la mano con la reducción de flavonoides. El decremento en el TFC puede deberse a su termolabilidad o a su volatilización.

Otra tendencia observada en la presente investigación fue entre el porcentaje de maltodextrina y el contenido porcentual de humedad, es decir el jugo microencapsulado con los tratamientos que contenían el mayor porcentaje de este agente encapsulante, presentaron la menor cantidad de humedad después del secado por aspersión (Figura 19); cabe mencionar que la correlación entre estas dos variables no fue estadísticamente significativa (Cuadro 8).

Como se discutió anteriormente la maltodextrina favorece la reducción de la cantidad de agua libre para la evaporación (Vardin y Yasar, 2012).

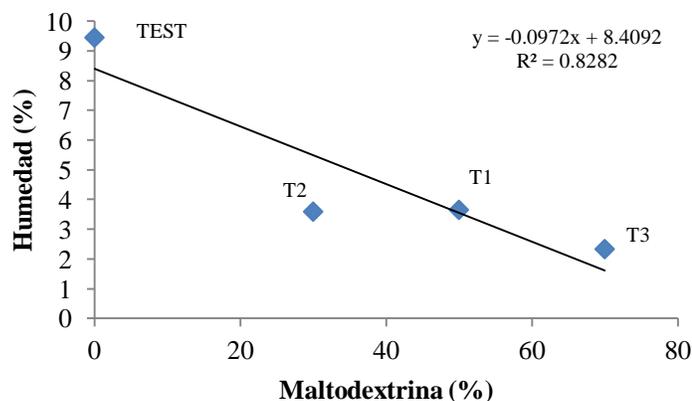


Figura 19. Efecto entre el contenido porcentual de humedad y la cantidad de maltodextrina en el jugo de noni natural y microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE): T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular.

La correlación entre  $CI_{50}$  y goma arábica presentes en el jugo y polvo de noni fue estadísticamente significativa y de tipo positiva alta (Cuadro 8), lo que significó que al aumentar el porcentaje de goma arábica aumentó consistentemente casi a la par la  $CI_{50}$ , en la Figura 20 se observa claramente que el jugo natural no microencapsulado mostró la menor  $CI_{50}$  es decir la mayor actividad antioxidante y conforme fue incrementando la proporción de goma arábica la  $CI_{50}$  también aumentó, es decir, la presencia de goma por alguna razón pudo secuestrar o neutralizar algunos fitoquímicos responsables de la actividad antioxidante, aspecto que tendrá que elucidarse en otro trabajo.

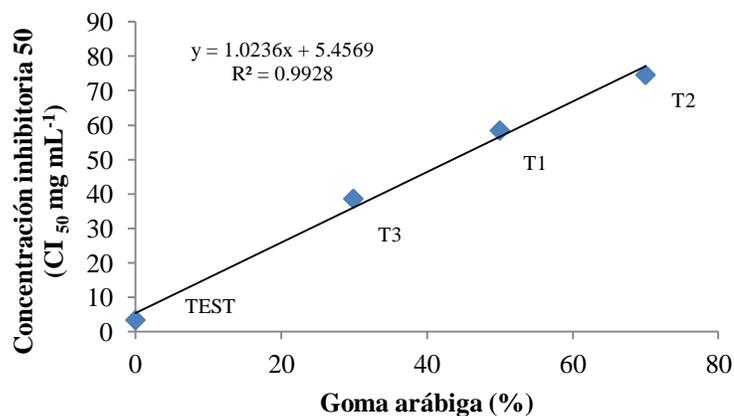


Figura 20. Efecto entre la concentración inhibitoria 50 y el porcentaje de goma arábica en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado: T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular. AE = agente encapsulante.

Otra tendencia fue la observada entre el TPC y el contenido de goma arábica, es decir que el TPC presente en el jugo microencapsulado disminuía conforme aumentaba el porcentaje de goma arábica (Figura 21). Probablemente se deba a un fenómeno de superficie como la adsorción, en la que la goma arábica atrapa a algunos de los TPC presentes en el jugo.

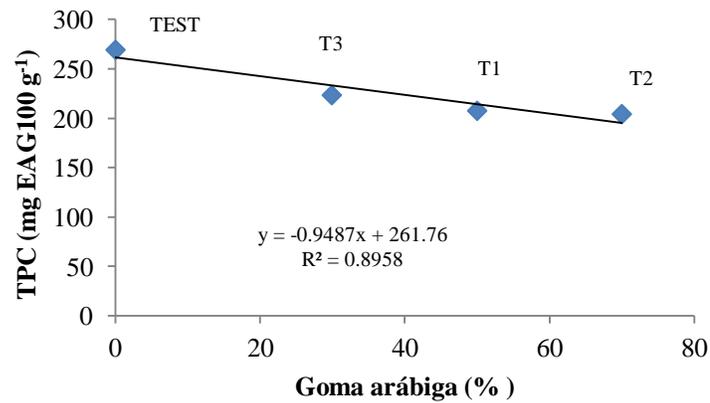


Figura 21. Efecto entre la concentración de TPC (fenoles totales) y el porcentaje de goma arábica en el jugo de noni natural y microencapsulado derivados de tres tratamientos de microencapsulado: T1 = AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %)+ lecitina de soya (0.1 %); TEST = Testigo: jugo de noni sin encapsular. AE = agente encapsulante.

### **6.2.7 Porcentaje de eficiencia de secado (EY)**

En promedio se obtuvo un % EY para el jugo microencapsulado del 79 %, mayor a 72 % reportado por Vardin y Yasar *et al.* (2012) en jugo de granada usando maltodextrina como agente encapsulante en una proporción 1:2 con temperaturas de secado entre 110-140°C. De igual forma el % EY obtenido en este trabajo fue mayor a 55 % en jugo de bayberry secado por aspersión reportado por Fang y Bhandari (2011).

El jugo microencapsulado de noni con el T3 fue el que obtuvo el mayor % EY (Figura 22). Este tratamiento fue el que contenía la mayor cantidad (70 %) de maltodextrina, lo que ayudó a mejorar la recuperación de sólidos después del secado por aspersión. Fang y Bhandari (2011) reportaron que la recuperación de polvo disminuye debido a la combinación de algunas partículas de polvo que comienzan a depositarse en las paredes de la cámara de secado; tal característica se observó en el jugo microencapsulado que contenía menor proporción de maltodextrina, la cual funcionó como un buen agente acarreador.

En otros estudios, Krishnaiah *et al.* (2012) reportaron que los mejores rendimientos después del secado por aspersión en jugo de noni, fue cuando se utilizó maltodextrina como agente encapsulante en vez de carragenina. De igual forma el T3 además de tener el mayor % EY, también fue el tratamiento que conservó la mayor actividad antioxidante en el polvo microencapsulado.

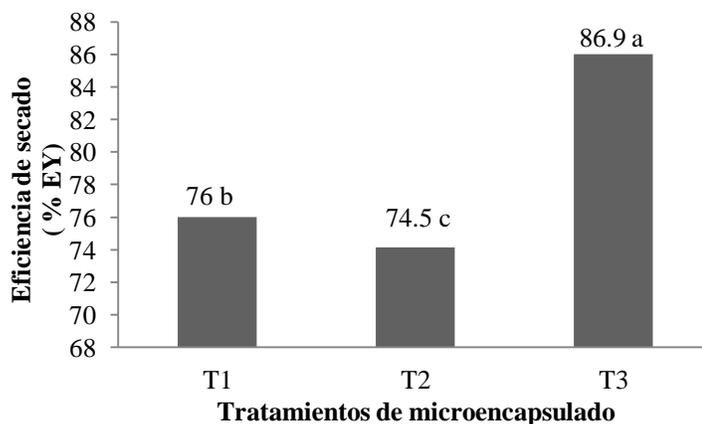


Figura 22. Eficiencia de secado (% EY) del jugo de noni microencapsulado con diferentes agentes encapsulantes (AE) mezclados en diferentes proporciones. Medias seguidas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $P = 0.05$ ). T1= AE: maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %); T2 = AE: maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %); T3 = AE: maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %).

### 6.2.8 Evaluación de las características morfológicas de las microcápsulas de jugo de noni

De acuerdo a las microfotografías (Figuras 23, 24 y 25) del polvo de jugo de noni, se pudo observar que la morfología de las microcápsulas de todos los tratamientos fue irregularmente esférica y la mayoría se ven colapsadas pero íntegras, es decir, que un gran porcentaje de ellas se formaron completas y sin fracturas con el secado por aspersión, lo que aseguró la protección del ingrediente activo, que en este caso fue jugo de noni, no se detectaron aglomeraciones o partículas sin formar.

Morfologías similares fueron observadas en microcápsulas de ácido fólico con maltodextrina y goma arábiga como agentes encapsulantes (Lopera *et al.*, 2009). Estos autores mencionan que la superficie dentada o abollada de las microcápsulas se debe probablemente a las propiedades plásticas de la goma arábiga sobre las propiedades vítreas de la maltodextrina, dado que durante las etapas del secado por aspersión se producen contracciones de las partículas por el secado y enfriamiento, la plasticidad de la goma arábiga da lugar a pliegues sobre la superficie de las microcápsulas y previene que se agrieten; como fue el caso del estudio realizado por Sansone *et al.* (2011) utilizando sólo maltodextrina como agente encapsulante en un extracto de *Melissa officinalis* y *Tusilago fárfara*, donde las microcápsulas resultantes fueron quebradizas y en el caso de *Fadogia ancylantha* ni siquiera se formaron.

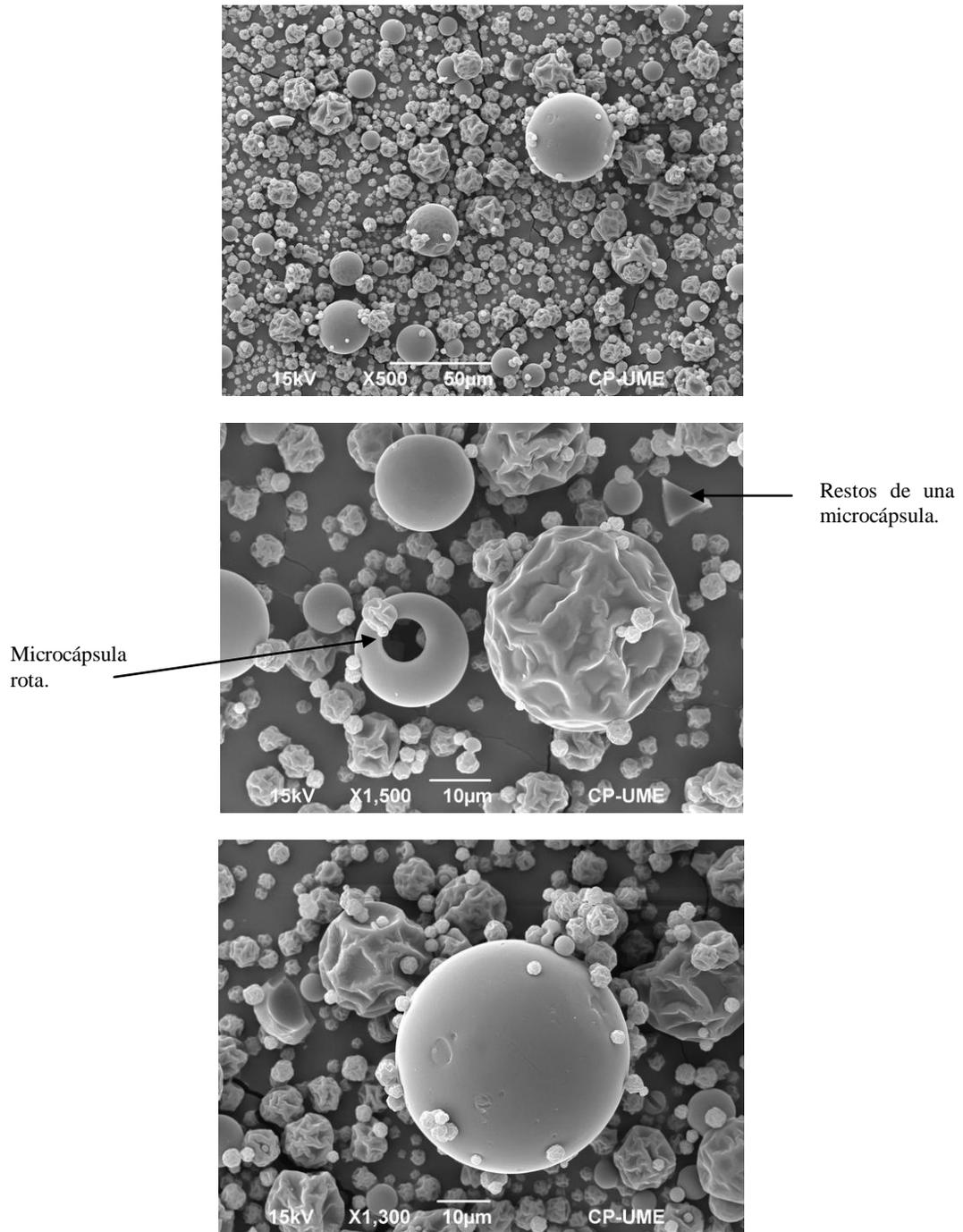
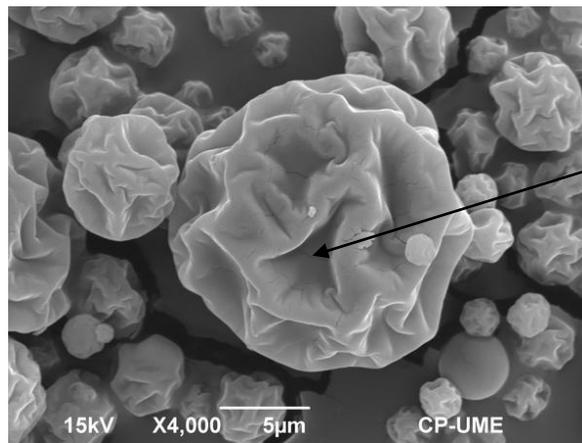
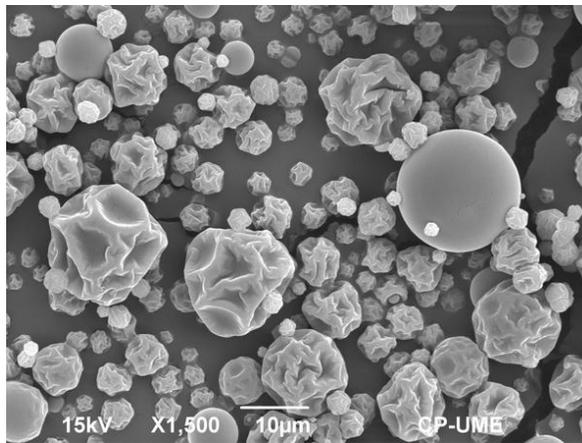
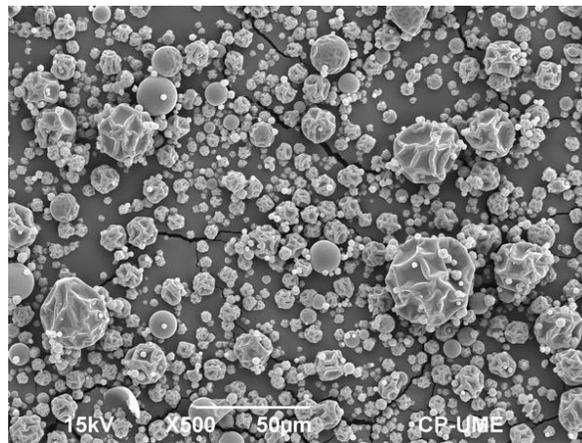
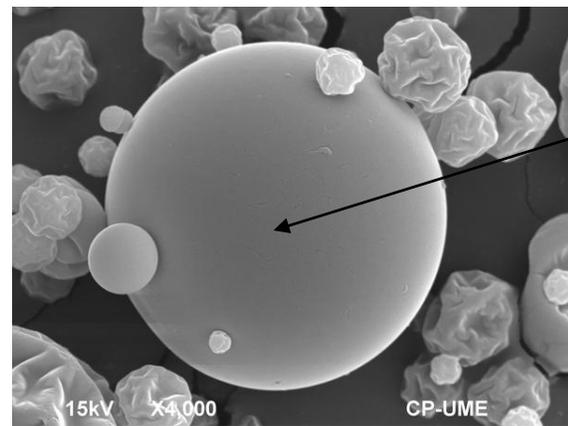
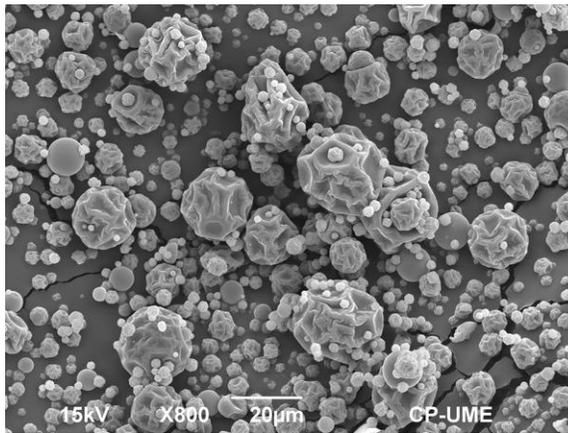
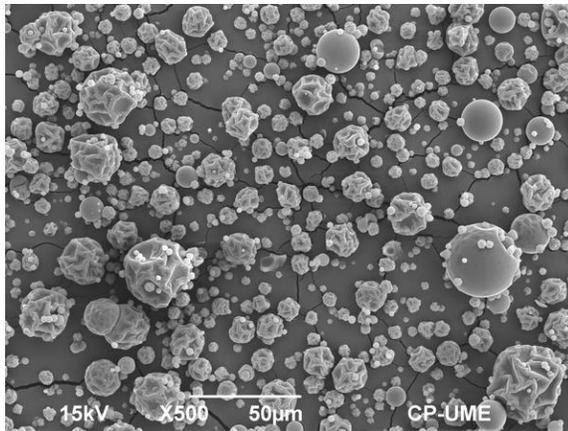


Figura 23. Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersión. T1 = maltodextrina (50 %) + goma arábica (50 %). Condiciones de secado: 180 °C como temperatura de entrada y 85 °C como temperatura de salida.



Microcápsula con superficie colapsada, propiedad característica de la goma arábica.

Figura 24. Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersión. T2 = maltodextrina (30 %) + goma arábica (70 %). Condiciones de secado: 180 °C como temperatura de entrada y 85 °C como temperatura de salida.



Microcápsula con superficie lisa, propiedad característica de la maltodextrina.

Figura 25. Microfotografías de polvo de jugo de noni secado por aspersión. T3 = maltodextrina (70 %) + goma arábica (29.9 %) + lecitina de soya (0.1 %). Condiciones de secado: 180 °C como temperatura de entrada y 85 °C como temperatura de salida.

### **6.2.9 Evaluación sensorial del jugo natural de noni y del jugo obtenido a partir del microencapsulado**

Para esta prueba se utilizó el polvo de jugo de noni microencapsulado que conservó la mayor cantidad de actividad antioxidante, que en este caso fue el T3 (70 % maltodextrina + 29.9 % goma arábica + 0.1 % lecitina de soya) y se comparó con el jugo natural de noni (Testigo).

El análisis de varianza mostró para la prueba de aceptabilidad una  $p < 0.05$  para los atributos de olor y sabor, lo que significa que hubo una diferencia significativa entre el jugo de noni microencapsulado (JR) y el jugo de noni natural (JN). Como se puede observar en el Cuadro 9 el JR fue el menos rechazado por parte de los panelistas; y si bien, no fue un producto con un valor muy alto en la escala hedónica, los panelistas le dieron en la aceptación global un valor aproximado de 5 (ni me gusta ni me disgusta), lo que lo hizo más aceptado en comparación con el JN, que obtuvo un valor aproximado de 3 en la escala hedónica (me disgusta moderadamente).

En la prueba de proporción de poblaciones se obtuvo un valor de  $Z = 4.57$  mayor al valor de tablas  $Z = 1.645$ , por lo tanto de acuerdo con el juego de hipótesis que se planteó se pudo concluir que la proporción de la población que consumiría el JR fue mayor a la proporción de la población que consumiría el JN (Figura 26).

Cuadro 9. Medias de la aceptabilidad del jugo reconstituido a partir de polvo de jugo de noni microencapsulado (JR) y del jugo natural (JN) empleando una escala hedónica

Atributo	JN	JR
<b>Olor</b>	3.588 b	4.777 a
<b>Sabor</b>	3.011 b	4.377 a
<b>Aceptación global</b>	3.200 b	4.700 a

Valores de la escala hedónica: 1 (me disgusta extremadamente), 2 (me disgusta mucho), 3 (me disgusta moderadamente), 4 (me disgusta mucho), 5 (ni me gusta ni me disgusta), 6 (me gusta poco), 7 (me gusta moderadamente), 8 (me gusta mucho), 9 (me gusta extremadamente). Medias con la misma letra en sentido horizontal son estadísticamente iguales (dms,  $p = 0.05$ )

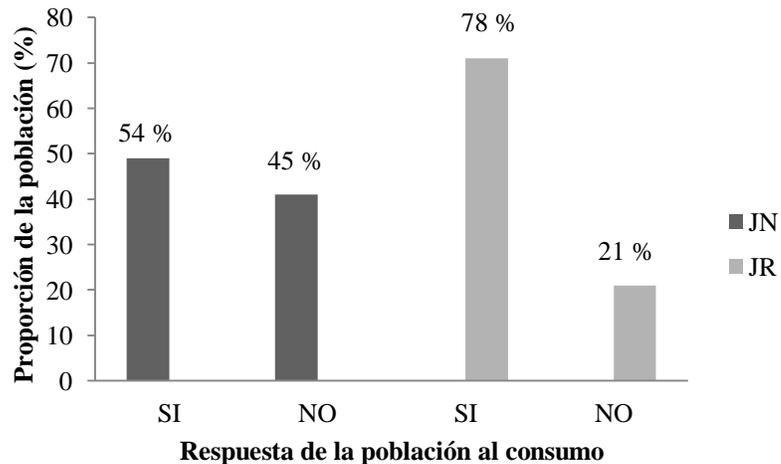


Figura 26. Proporción de la población encuestada (90) que consumiría jugo natural de noni (JN) vs jugo de noni microencapsulado reconstituido (JR) ( $p = 0.05$ ).

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que el microencapsulado ayudó a mitigar el mal sabor y olor del jugo de noni natural, al ser el JR el más aceptado por los panelistas así como el que la mayor proporción de la población encuestada consumiría.

En el caso de frutos de noni su olor y sabor característico los dan compuestos volátiles como el ácido octanoico (más abundante), hexanoico, heptanoico, nonanoico, decanoico así como compuestos azufrados (Guor-Jien Wei *et al.*, 2011). Aunque dichos compuestos al ser volátiles deberían perderse con facilidad en procesos que ocupan altas temperaturas, González (2009) reportó la recuperación de ácido octanoico, hexanoico, ursólico y aspártico en jugo de noni; por otro lado Touré *et al.* (2011) recuperaron volátiles en aceite esencial de gengibre, ambos productos secados por aspersión. Lo anterior confirma que después del proceso de deshidratación, cierta cantidad de compuestos responsables del olor y sabor del noni pudieron conservarse. Por esta razón es que los panelistas percibieron dichos atributos en el polvo de jugo de noni reconstituido, pero debido al microencapsulado dichas características las percibieron en mucho menor intensidad, en comparación con las del jugo natural.

Otro estudio en productos con interés nutracéutico fue el reportado por Sansone *et al.*, (2011) quienes utilizaron maltodextrina y pectina como agentes encapsulantes en extractos de *Fadogia aencylantha*, *Melissa officinalis* y *Tussilago farfara*, para mejorar su solubilidad y enmascarar el aroma desagradable que poseen estas plantas.

El polvo de jugo de noni microencapsulado obtenido en esta investigación puede ser utilizado como ingrediente en otros alimentos con bajo porcentaje de humedad para que no se desintegren tan rápido las microcápsulas y así evitar que se perciba el olor y sabor

característico del jugo natural o bien consumirse en forma de polvo combinado con otro alimento del mismo tipo.

Sería recomendable utilizar otros agentes encapsulantes no solubles en agua y evaluar su eficiencia de encapsulación para proteger a los diferentes fitoquímicos presentes en el jugo de noni, así como su evaluación sensorial.

En otras regiones del mundo se han llevado a cabo investigaciones sobre el noni, sin embargo el enfoque del presente trabajo aporta conocimiento sobre las propiedades nutracéuticas del fruto que se produce en México, incluye una tecnología de transformación del fruto para alargar su vida de anaquel y sobre la cual se hizo la evaluación sensorial. Esta información queda a disposición de los productores de noni en México, como una alternativa para ampliar la oferta de mercado de su producto; y de los investigadores y estudiantes con interés de explorar esta área del conocimiento.

## 7 CONCLUSIONES

- El contenido de fenoles, flavonoides, vitamina C y actividad antioxidante en el jugo de noni microencapsulado, fue menor que el contenido de estos biocompuestos en el jugo natural de noni, sin embargo, al final del secado por aspersion, el microencapsulado sirvió como protección para recuperar el 78 % de fenoles totales, el 64.63 % de vitamina C y el 15 % de flavonoides.
- En comparación con las características sensoriales del jugo natural, el microencapsulado ayudó a mitigar el olor y sabor desagradable del noni, ya que el jugo de noni microencapsulado reconstituido tuvo valores más altos en la escala hedónica durante la prueba de aceptabilidad, así mismo, la prueba de proporción de poblaciones mostró que el porcentaje de consumidores que estarían dispuestos a consumir el jugo de noni microencapsulado reconstituido, fue mayor al de los que consumirían el jugo natural.
- Se encontró una correlación positiva alta entre la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante presentes en el jugo natural y microencapsulado de noni.

- La proporción de agentes encapsulantes en el jugo de noni de 70 % maltodextrina + 29.9 % de goma arábica + 0.1 % de lecitina de soya, fue la que permitió conservar la mayor actividad antioxidante, cantidad de fenoles totales, la mayor eficiencia de secado y la menor cantidad porcentual de humedad en el polvo de jugo de noni microencapsulado.
- Los flavonoides del noni son sensibles a altas temperaturas, por lo que si se desea incrementar su porcentaje de recuperación, las temperaturas del secado por aspersión deben ser menores a 180 °C.
- En general, todas las combinaciones de agentes encapsulantes permitieron la formación de microcápsulas totalmente formadas sin agrietamientos, de manera que se aseguró que el ingrediente activo estuviera protegido dentro de la microcápsula.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Amico V., R. Chillemi, S. Mangiafico, C. Spatafora and C. Tringali. 2008. Polyphenol-enriched fractions from Sicilian grape pomace: HPLC–DAD analysis and antioxidant activity. *Bioresource Technology* 99: 5960–5966.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1975. Official methods of analysis. 12 ed. Washington, D.C. 1094p.
- Badui-Dergal S. 2006. Química de los Alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación. México D. F. 736p.
- Barbosa-Canóvas G. V. y H. Vega-Mercado. 2005. Deshidratación de Alimentos. Acribia S. A. Zaragoza, España. 297p.
- Bósquez-Molina E. 1992. Manual de prácticas de laboratorio de fisiología postcosecha de frutas y hortalizas. Unidad Iztapalapa - Universidad Autónoma Metropolitana. México D. F. Pp 31-40.
- CAH (Centro de Agronegocios de Honduras). 2009. Cultivo y Beneficios del noni. Disponible en: <http://www.emagister.com>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2010.
- Chang C., Yang M., Wen H., Chern J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10, 178-182.
- CIAD (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.). 2009. Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. Trillas: CIAD-UACJ. México D. F. 419p.
- Colina-Irezabal M. L. 2010. Deshidratación de Alimentos. Trillas. México. 215p.
- Deng S., B. J. West and C. J. Jensen. 2010. A quantitative comparison of phytochemical components in global noni fruits and their commercial products. *Food Chemistry*, 267-270.
- De Luna, A. 2007. Composición y procesamiento de la soya para consume humano. *Investigación y Ciencia*, 15 (37): 35-34.
- Dussossoy E., P. Brat, E. Bony, F. Boudard, P. Poucheret, C. Mertz, J. Giaimis and A. Michel. 2011. Characterization, anti-oxidative and anti-inflammatory effects of Costa Rican noni juice (*Morinda citrifolia* L.). *Journal of Ethnopharmacology* 133, 108-115.

- Ersus S. and U. Yurdagel. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota L.*) by spray drier. *Journal of Food Engineering* 80, 805-812.
- Fang Z. and B. Bhandari. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry* 129, 1139-1147.
- Frei, B. 1994. *Natural Antioxidants in Human Health and Disease*. Academic Press. UK. 558 p.
- García-Mateos M. R. y R. Nieto-Angel. 2011. Valor nutracéutico del tejocote (*Crataegus spp.*) en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63p.
- González-Palomares S. 2009. Encapsulación y secado por aspersión de noni (*Morinda citrifolia L.*) U. *Tecnociencia* 3(1), 47-57.
- Guor J. W., C. T. Ho and A. S. Huang. 2011. Analysis of volatile compounds in noni fruit (*Morinda citrifolia L.*) juice by Steam Distillation-Extraction and Solid Phase Microextraction coupled with GC/AED and GC/MS. *Journal of Food and Drugs Analysis* 19(1), 33-39.
- INTA (Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos). 2012. Universidad de Chile. Chile. Disponible en <http://portalantioxidantes.com>. Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2012.
- Jianchen Xu, Li Li Bovet and Kang Zhao. 2008. Taste masking microspheres for orally disintegrating tablets. *International Journal of Pharmaceutics* 359, 63- 69.
- Krishnaiah D., R. Sarbatly and R. Nithyanandam. 2012. Microencapsulation of *Morinda citrifolia L.* extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Desing* 90, 622-632.
- Little T. M. y F. J. Hills. 1983. *Métodos estadísticos para la investigación en agricultura*. Trillas. México D. F. 270p.
- Lopera C. S. M., C. Guzmán, C. Cataño y C. Gallardo. 2009. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábiga y maltodextrina como materiales de pared. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica* 16(1), 55-65.
- Madhavi, D.L., Deshpande, S.S. and Salunkhe, D.K. 1996. *Food Antioxidants*. Marcel Dekker, Inc. USA.
- Mazza, G. 1998. *Alimentos Funcionales. Aspectos Bioquímicos y de Procesado*. Ed. Acribia, España. 457 p.

- Meilgard Morten, Civile G, Carr B. 1991. Sensory evaluation techniques. CRC Press, Inc. USA. 353p.
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F. and Coppola, R. 2012. Microencapsulation in food science and technology. 23: 182- 186.
- Nelson S. C. 2003. *Morinda citrifolia* L. College of Tropical Agriculture and Human Resources – University of Hawaii at Manoa. Honolulu, Hawaii, U.S.A. 13p.
- Obón J. M., M. R. Castellar, M. Alacid and J. A. Fernández - López. 2009. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering* 90, 471-479.
- Oke, M. Jacob, J.K., Palyath, G. 2010. Effect of soy lecithin in enhancing fruit juice /sauce quality. *Food Research International*, 43: 232-240.
- Pokorny J. 2001. Antioxidants in foods: practical applications. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A. 380 p.
- Pulido A. y C. I. Beristain. 2010. Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 9(2), 189-195.
- Saénz C., S. Tapia, J. Chávez and P. Robert. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry* 114, 616-622.
- Sansone F., T. Mencherini, P. Picerno, M. d'Amore, R. P. Aquino and M. R. Lauro. 2011. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of Food Engineering* 105, 468-476.
- Scalzo R., Iannocari T., Summa C., Morelli R. and Rapisarda P. 2004. Effect thermal treatment on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. *Food Chemistry*. 85, 41-47.
- Shahidi, F.; Naczk, M. 1995. *Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects, Applications*. Technomic, Publishing Co., Inc. Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Shu-Chuan Yang, T. I. Chen, K. Y. Li and T. C. Tsai. 2007. Change in phenolic compound content, reductive capacity and ACE inhibitory activity in noni juice during traditional fermentation. *Journal of Food and Drug Analysis* 15(3), 290-298.
- Shu B., W. Yu, Y. Zhao and X. Liu. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray drying. *Journal of Food Engineering* 76, 664-669.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: 15 de febrero de 2012.
- Solval K., S. Sundararajan , L. Alfaro , and S. Sathivel. 2012. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powder using spray drying technology. *LWT- Food Science and Technology* 46, 287-293.
- Touré, A. Hong Bo Lu, Xiaoming Zhang and Xu Xueming. 2011. Microencapsulation of ginger oil in 18DE matodextrine/whey protein isolate. *Journal os herbs, Spices and Medicinal Plants*, 17: 183- 195.
- Valencia-Ortíz C. 1995. *Fundamentos de Fitoquímica*. Trillas. México D. F. 235p.
- Vardin H. and M. Yasar. 2012. Optimisation of pomegranate (*Punica granatum L.*) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. *International Journal of Food Science and technology* 47, 167-176.
- Waterman P. G. y S. Mole. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Methods in Ecology*. Black well Scientific Publications. Oxford, UK. 238p.
- Yang J., R. Gadi, T. Paulino and T. Thomson. 2010. Total phenolics, ascorbic acid, and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia L.*) juice and powder as affected by illumination during storage. *Food Chemistry* 122, 627-632.
- Yang X. L., M. Y. Jiang, K. L. Hsieh and J. K. Liu. 2009. Chemical constituents from the seeds of *Morinda citrifolia*. *Chin. J. Nat. Med* 7(2), 119-122.
- Yañez J., J. Salazar, L. Chaires, J. Jiménez, M. Marquez y E. Ramos. 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva* 21, 313-319.
- Yin Y. T., S. K. Ho, J. Y. Liang, C. W. Ho and C. P. Tan. 2010. Effects of binary solvent extraction system, extraction time and extraction temperature on phenolic antioxidants and antioxidant capacity from mengkudu (*Morinda citrifolia*). *Food Chemistry* 120(1), 290-295.
- Zin Z. M, A. A. Hamid, A. Osman and N. Saari. 2006. Antioxidative activities of chromatographic fractions obtained from root, fruit and leaf of Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*). *Food Chemistry* 94, 169-178.

### ANEXO 1.

Cuestionario de evaluación sensorial para el jugo natural y el jugo reconstituido de noni.

NOMBRE:

NO. PANELISTA:

EDAD:

SEXO:

Evalúe las muestras una a la vez y marque en la escala proporcionada el grado de aceptabilidad que usted le da a cada uno de los atributos.

**Muestra** \_\_\_\_\_

Atributo: **OLOR**

1		Me disgusta extremadamente
2		Me disgusta mucho
3		Me disgusta moderadamente
4		Me disgusta poco
5		Ni me gusta ni me disgusta
6		Me gusta poco
7		Me gusta moderadamente
8		Me gusta mucho
9		Me gusta extremadamente

Atributo: **SABOR**

1		Me disgusta extremadamente
2		Me disgusta mucho
3		Me disgusta moderadamente
4		Me disgusta poco
5		Ni me gusta ni me disgusta
6		Me gusta poco
7		Me gusta moderadamente
8		Me gusta mucho
9		Me gusta extremadamente

Marque en la escala el grado de **aceptabilidad global** que le da a esta muestra.

1		Me disgusta extremadamente
2		Me disgusta mucho
3		Me disgusta moderadamente
4		Me disgusta poco
5		Ni me gusta ni me disgusta
6		Me gusta poco
7		Me gusta moderadamente
8		Me gusta mucho
9		Me gusta extremadamente

¿Consumiría este producto si supiera que contiene Vitamina C, actividad antioxidante y otros compuestos que le ayudan a mejorar su salud?

SI	NO
----	----