

**TRABAJO PROFESIONAL  
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO BIOQUÍMICO**

**QUE PRESENTA:  
SANDRA PAOLA SOLÍS VÁZQUEZ**

**CON EL TEMA:  
“ENCAPSULACIÓN DE EXTRACTOS DE HOJAS DE *Moringa oleifera*  
MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN”**

**MEDIANTE:  
OPCIÓN I  
(TESIS PROFESIONAL)**



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos Y Pavón"

DIRECCIÓN  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 08 de agosto del 2015

OFICIO NUM. DEP-CT-660-2015


**C. SANDRA PAOLA SOLÍS VÁZQUEZ**  
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA  
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.  
P R E S E N T E.


Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. DR. MIGUEL ABUD ARCHILA, ING. JAQUELINE LEYRA HERNÁNDEZ, ING. MARGARITA MARCELIN MADRIGAL e ING. JAVIER RAMÍREZ DÍAZ en el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

**" ENCAPSULACIÓN DE EXTRACTOS DE HOJAS DE Moringa oleifera MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN"**

Registrado mediante la opción:  
**I (TESIS PROFESIONAL)**

**ATENTAMENTE**  
**"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"**

  
ING. JUAN JOSÉ ARREOLA ORDAZ  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Vo. Bo.  
  
Secretaría de Educ. Públi  
Instituto Tecnológico  
de Tuxtla Gutiérrez  
Div. de Estudios Prof.  
**M. Sc. JOSÉ LUIS MENDOZA NAVARRO**  
DIRECTOR

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares  
C.c.p.- Expediente  
I'JLMN/I'JJAQ/I'eeam



Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal 599  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tels: (961) 61 54285, 61 50461  
[www.ittg.edu.mx](http://www.ittg.edu.mx)



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme dado sabiduría y ayudarme a seguir en el camino correcto para poder cumplir mis objetivos.

A mis padres por estar siempre conmigo, por todo el amor que me dan, por sus enseñanzas, por motivarme y apoyarme incondicionalmente en cada instante de mi vida.

A mi esposo por estar conmigo en todo momento, por su amor y su apoyo incondicional, y motivarme en alcanzar mis metas.

A mi hermanita porque siempre esta a mi lado, por los consejos y las alegrías que siempre me brinda, y por el cariño incondicional.

A mi bebé por que cambio mi vida y la hizo más feliz de lo que ya era, por mostrarme una hermosa sonrisa y los balbuceos que me motivan a llegar más alto.

Al Dr. Miguel Abud Archila, por su tiempo, paciencia y sobre todo por brindarme la confianza para el proyecto realizado.

A la ing. Margarita Marcelin Madrigal y al ing. Javier Ramírez por sus observaciones y revisiones a este proyecto.

## RESUMEN

*Moringa oleífera* es una planta originaria de la India y partes de África, Arabia, sudeste de Asia, América del Sur, el Pacífico y las islas del Caribe, tiene propiedades medicinales y se caracteriza por tener nutrientes como son los aminoácidos, vitaminas, ácidos grasos y nutrientes. Las hojas se han reportado con actividad antioxidante. En este trabajo se evaluaron el efecto de las condiciones de operación del secado por aspersión para la microencapsulación de los extractos acuosos de *Moringa oleífera*. Se evaluaron el rendimiento de la microencapsulación, la actividad acuosa y porcentaje de microencapsulación. Todos los análisis fueron realizados por triplicado. Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza con una  $p < 0.05$  y la prueba de medias se realizó mediante la prueba de Diferencia Media Significativa. Se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar con tres repeticiones. Las condiciones utilizadas en el secado por aspersión fueron: temperatura de 100, 120 y 140°C y una temperatura de salida de 60°C. Los resultados mostraron que la temperatura de entrada del aire de secado tiene efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el rendimiento de proceso, mientras que la temperatura de extracción no tuvo un efecto significativo.

## CONTENIDO

<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	.iii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	.iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	3
II.1 Generalidades de la <i>Moringa oleífera</i> .....	3
II.1.1 Clima.....	6
II.1.2 Valor nutricional y funcional.....	7
II.1.3 Usos.....	12
II.2 Microencapsulación.....	14
II.2.1 Agentes encapsulantes.....	15
II.2.1.1 Maltodextrina.....	15
II.2.1.2 Alginato de sodio.....	16
II.2.1.3 Otros agentes.....	16
II.3 Métodos de microencapsulación de principios activos.....	18
II.3.1 Liofilización.....	18
II.3.2 Secado por aspersion.....	19
III. PROCEDIMIENTO.....	23
III.1 Materiales.....	23
III.2 Obtención del extracto.....	23
III.3 Microencapsulación mediante secado por aspersion.....	23
III.3.1 Rendimiento de proceso.....	23
III.3.1.1 Análisis del polvo.....	24
III.3.1.2 Actividad acuosa de los polvos.....	24
III.3.1.3 Valores colorimétricos de los polvos.....	24
III.3.1.4 Actividad antioxidante.....	24
III.3.1.4.1 Fenoles totales.....	24
III.3.1.4.2 Flavonoides.....	24
III.4 Diseño experimental y análisis estadístico.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	26
IV.1 Efecto de las condiciones de extracción, flujo de alimentación y temperatura de entrada del aire de secado sobre el rendimiento del proceso de secado, actividad acuosa del polvo y cambios de coloración.....	26
IV.2 Efecto de las condiciones de extracción, flujo de alimentación y temperatura de entrada del aire de secado sobre la capacidad antioxidante de los extractos secos después del secado por aspersion.....	31
V. EVALUACIÓN E IMPACTO ECONÓMICO.....	34
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
VII. BIBLIOGRAFIA.....	36

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica de la <i>Moringa</i> (Liñán, 2010).....	3
<b>Cuadro 2.</b> Tabla comparativa (por cada 100 g) (Mark, 2007).....	10
<b>Cuadro 3.</b> Valor nutricional de las hojas y vainas (porciones de cada 100 g comestibles) (Mark, 2007).....	10
<b>Cuadro 4.</b> Valores nutricionales de <i>Moringa oleífera</i> (Liñán, 2010).....	12
<b>Cuadro 5.</b> Valores de P para el rendimiento de proceso de secado por aspersión.....	27
<b>Cuadro 6.</b> Prueba de medias de la temperatura del aire de entrada en el secador para el rendimiento de proceso.....	28
<b>Cuadro 7.</b> Valores de P para la Aw del polvo obtenido después del proceso de secado por aspersión.....	29
<b>Cuadro 8.</b> Valores de P para la luminosidad del polvo obtenido después del secado por aspersión.....	29
<b>Cuadro 9.</b> Prueba de medias para la luminosidad de la temperatura del aire de entrada del secador.....	30
<b>Cuadro 10.</b> Valores de P para el valor colorimétrico “a” del polvo obtenido después del secado por aspersión.....	30
<b>Cuadro 11.</b> Valores de P para el valor colorimétrico “b” sobre el proceso de secado por aspersión.....	31
<b>Cuadro 12.</b> Prueba de media para el valor colorimétrico “b” del polvo obtenido después del secado por aspersión.....	31
<b>Cuadro 13.</b> Valores de P del contenido de fenoles obtenidos.....	32
<b>Cuadro 14.</b> Prueba de medias para el contenido de fenoles obtenidos.....	33
<b>Cuadro 15.</b> Valores de P para el contenido de flavonoides obtenidos.....	34

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Flores y hojas de <i>Moringa oleífera</i> (Liñán, 2010).....	4
<b>Figura 2.</b> Fruta de <i>Moringa oleífera</i> (Liñán, 2010).....	5
<b>Figura 3.</b> Semillas de <i>Moringa oleífera</i> (Liñán, 2010).....	5
<b>Figura 4.</b> Secador de aspersion tipo I (Ocampo, 2014).....	20
<b>Figura 5.</b> Secador de aspersion tipo II (Ocampo, 2014).....	20

## I. INTRODUCCIÓN

*Moringa oleífera* es un arbusto y árbol caducifolio pequeño de 2.5-10m de altura. Cuando madura, la fruta se vuelve marrón y tiene 10-50 semillas en el interior (Vlahof *et al.*, 2002). Es un árbol perenne de hoja perenne, nativo de la India y partes de África, Arabia, sudeste de Asia, América del Sur y el Pacífico y el Caribe Islas. Es considerado uno de los árboles más útiles del mundo, ya que casi todas las partes del árbol de *Moringa* se puede utilizar para la alimentación o tiene alguna otra propiedad benéfica (Rebecca *et al.*, 2006). Se informó que la planta puede contener varios aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y nutrientes, y de sus componentes, tales como hojas, flores, frutos y corteza se han utilizado anecdóticamente como hierbas medicinales en tratamientos para la inflamación, la parálisis y la hipertensión (Nesamani, 1999). Las hojas pinnadas crecen sobre todo en las puntas de las ramas. Son de 20 a 70 cm de largo, de color gris aterciopelado cuando son jóvenes, pecíolo largo con 8-10 pares de pinnas cada una con dos pares de folíolos opuestos, elípticas u ovaladas y uno en el ápice, todo de 1-2 cm de largo; con glándulas en las bases de los pecíolos y pinnas (Morton, 1991). Las hojas, las flores y las vainas se utilizan como fuente significativa de riboflavina, ácido nicotínico, ácido fólico, piridoxina, ácido ascórbico, beta-caroteno, calcio, hierro, y alfa-tocoferol (Sharma *et al.*, 2003). Los extractos de las hojas de *M. oleífera* se han reportado con actividad antioxidante (Chumark *et al.*, 2008; Verma *et al.*, 2009). En los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de fuentes importantes de antioxidantes naturales, para que se pueda contribuir a la producción de alimentos con un valor agregado y así estimular el consumo de estos productos (Reyes *et al.*, 2009). Las principales ventajas de la microencapsulación son: proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad); el compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado; las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo; la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra, el sabor y olor del material puede ser enmascarado; puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no



reaccionen; estabilización de principios activos inestables; y transformación de líquidos en sólidos (Parra, 2010).

Sin embargo, se ha demostrado que las condiciones de extracción así como las condiciones de operación del secado por aspersion pueden afectar el contenido de éstos metabolitos encapsulados.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones de extracción, flujo de alimentación y temperatura de entrada del aire de secado sobre el rendimiento y capacidad antioxidante de los extractos secos después del secado por aspersion.

## II. FUNDAMENTO TEÓRICO

### II.1 *Moringa oleífera*

*Moringa oleífera* Lam. ( Moringaceae ) o el árbol de rábano picante es una especie pan- tropical conocida por los nombres regionales como benzolive, cañafístula, kelor , marango, mlonge, mulangay, nébéday, saijhan, árbol milagroso, árbol de la magia y la sajna. Hace dos décadas han aparecido muchos informes en revistas científicas que describen sus propiedades nutricionales, medicinales y otras propiedades (Fahey, 2005).

El árbol de la moringa (*Moringa oleífera*) su clasificación taxonómica muestra que pertenece a la familia de las *Moringáceas*, orden de los *Capparidales* clase *magnoleopsida*. Es la conocida del género *Moringa* que cuenta con 13 especies (Cuadro 1) (Liñán, 2010).

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de la *Moringa* (Liñán, 2010)

Taxonomía	
Familia	<i>Moringaceas</i>
Origen	<i>Capparidales</i>
Clase	<i>Magnoleopsida</i>
Género	<i>Moringa</i>
Especies	<i>Arbórea</i> <i>concanensis</i> <i>drocanensis</i> <i>drouhardii</i> <i>hildebrandtii</i> <i>pygmeae</i> <i>peregrina</i> <i>ovalaifolia</i> <i>rospoliana</i> <i>stenopetala</i> <i>rivae</i> <i>oleífera</i> <i>borziana</i>

Se conoce también como árbol de los espárragos, árbol de rábano (horseradish tree) o árbol de las perlas. Es un árbol de tamaño pequeño y crecimiento acelerado, que

alcanza generalmente entre diez y doce metros de alto, con copa esparcida y hojas pinadas en tres, valorado actualmente por sus hojas, raíces, tallos, flores y semillas que contienen aceite comestible (Guevara *et al.*, 2012).

Alcanza de 7-12 m de altura y de 20-40 cm de diámetro, con una copa abierta tipo paraguas y fuste recto. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de éstos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. Las hojas son alternas tripinadas con una longitud de 30-70 cm (Bressani, 2007).

Se trata de un árbol perenne pero poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años, aunque se han obtenido variedades en la India que son anuales y permiten el cultivo mecanizado. Es una especie de muy rápido crecimiento. Aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas.

Las flores son bisexuales con pétalos blancos y estambres amarillos (Figura 1). En el norte de India y por ende, en otras regiones atemperadas florece una sola vez al año (entre abril y junio). Pero puede florecer dos veces al año, como en el sur de India o durante todo el año en lugares donde no hay cambios de temperatura y precipitación a lo largo del año, como sucede en los países caribeños. Las flores son polinizadas por abejas, otros insectos y algunas aves.



**Figura 1.** Flores y hojas de *Moringa oleífera* (Liñán, 2010).

Las frutas son cápsulas de color pardo lineares y de 3 lados con surcos longitudinales de 20 a 45 cm de largo, aunque a veces de 120 cm y de 2 a 2.5 cm de ancho (Liñán, 2010) (Figura 2).



**Figura 2.** Fruta de *Moringa oleífera* (Liñán, 2010)

Las semillas son de color pardo oscuro, globulares de 1 cm de diámetro con alas con una consistencia papirácea (Figura 3). Las vainas maduras permanecen en el árbol por varios meses antes de partirse y de liberar las semillas, las cuales son dispersadas por el viento, agua y probablemente animales (Liñán, 2010).



**Figura 3.** Semillas de *Moringa oleífera* (Liñán, 2010)

*Moringa oleifera* es un árbol siempre verde originario del sur del Himalaya, desde el Noreste de Pakistán hasta el Norte de Bengala del oeste, en la India. Ha sido introducido y se ha naturalizado en otras partes de India, Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri Lanka, el Sureste asiático, Asia occidental, la Península Arábiga, África

del Este y del Oeste, Madagascar, el sur de la Florida, las Islas del Caribe y América del Sur, desde México a Perú, Paraguay y Brasil (Liñán, 2010).

Especies de Moringa y específicamente *M. oleifera*, también conocido como *M. pterygosperma*, de la familia Moringaceae Capparales son importantes cultivos multiusos en África y la India. Las especies parecen tener origen en la India y África, pero ahora se cultiva en todo el mundo. Existen grandes centros de producción en Ghana, Senegal y Malawi, menor producción en Nueva Zelanda y Fiji, y más recientemente producción ha comenzado en Nicaragua y Bolivia. La especie Moringa son alimentos de frecuencia importante sobre todo en hambruna debido a su alta tolerancia a las condiciones áridas debido a la formación de muy grande tuberosa raíces (Sena *et al.*, 1998).

En su hábitat natural crece hasta los 1400 m de altitud a lo largo de los ríos más grandes en suelos aluvionales arenosos. En Puerto Rico crece en suelos bien drenados con un pH de 5.5 a 7.5 (Liñán, 2010).

### **II.1.1 Clima**

Es el árbol ideal para zonas Áridas, Semiáridas, Tropicales y Subtropicales. Es una planta que crece muy bien en áreas semiáridas o propensas a la sequía, beneficiándose de algún riego esporádico, resistente aunque con tendencia a perder las hojas en períodos de estrés hídrico. Se ha registrado en los bosques tropicales caducifolios del noroeste de la India y en el este de Pakistán, en la zona entre Simla en la India y Faisalabad en Pakistán. Sin embargo, existen pocos registros publicados acerca de la distribución natural de la planta, por lo cual un estudio detallado de los bosques remanentes de esa zona revelaría mucho acerca de la distribución natural de este recurso importante, así como del germoplasma existente, presentan un mapa de distribución que muestra una franja amplia del norte de la India donde la planta crece silvestre pero, lamentablemente, no ofrecen una discusión sobre cómo se distinguen los árboles silvestres de los cultivados, una consideración esencial para poder dilucidar la distribución natural de una planta cultivada. Por lo tanto, seguimos sin entender bien la distribución silvestre de esta

planta. En contraste con lo poco que se sabe acerca de su distribución natural, queda ampliamente comprobado por registros de herbario que *M. oleífera* se cultiva en todos los países tropicales del mundo. Cuando se habla de la distribución de la moringa es esencial hacer la distinción entre términos como "nativo", "silvestre" y "naturalizado". Varios autores que escriben sobre los usos de *M. oleífera* se refieren a la planta como "naturalizada" o hasta "silvestre" cuando se observa en países fuera de su lugar de origen. Esta terminología es incorrecta, pues el proceso de naturalización biológica implica que un organismo se establezca en una región en donde no es nativo y logre sobrevivir y reproducirse por muchas generaciones sin asistencia humana (Mark, 2011).

La Moringa se puede establecer fácilmente en la región por estas razones:

- Es de crecimiento rápido y por lo mismo produce mucha biomasa.
- Es de raíz profunda, llena de raíces laterales menos profundas y superficiales.
- Es de crecimiento rápido después de repetidas podas.
- Por su facilidad de cultivo.
- Proporciona derivados de múltiples usos.
- Tiene un alto contenido proteínico (nitrógeno) en el follaje.
- Tiene auto sistema preventivo para dejar caer ramas en caso de exceso de follaje en la corona.
- Otra ventaja es su carácter ornamental (Mark, 2007).

### **II.1.2 Valor nutricional y funcional**

La especie *Moringa* son ricas en varias fuentes de fitoquímicos incluyendo los glucosinolatos de azúcar-modificado, aunque varía la cantidad para *M. oleífera*, *M. peregrina* y *M. stenopetala* (Bennett *et al.*, 2003; Fahey *et al.*, 2001). El glucosinolato predominante es 4-O-( $\alpha$ -L-rhamnopyranosyloxy)-bencilglucosinolato (glucomoringina) y dependiendo de los tejidos del árbol también han sido detectados isómeros de glucosinolatos de mono-acetil-rhamnosa. (Bennett *et al.*, 2003; Kjaer *et al.*, 1979). Diferentes tejidos de *M. oleífera* son buena fuente de tocofenoles (Sánchez-Machado *et al.*, 2006).

Los principales aportes hechos por la moringa en términos de macro y micronutrientes, se encuentran en las hojas, que al igual que las vainas frescas y los frutos muestran un valor considerable de vitamina A en forma de  $\beta$ -carotenos, minerales (hierro, potasio y calcio) y vitamina C. Además las hojas secas y molidas presentan hasta un 30% de proteínas en base seca, razón por la que se conoce que las hojas presentan mayores fuentes de nutrientes que las vainas. Las semillas pueden contener hasta un 30-42% de aceite, pero además la torta sobrante contiene un 60% de proteínas (Alfaro, 2008). Recientemente se considera al selenio como un micro mineral importante que está presente en matrices de alimentos en muchas formas biológicas tales como selenito, selenato, selenio elemental, seleno cisteína, selenometionina y selenoproteínas. (Ganther y Lawrence, 1997; Rayman, 2000).

Los compuestos predominantes son flavonoides: como la quercetina. Sin embargo, esta claro que hay problemas con las identificaciones taxonómicas desde un informe sobre flavonoides presentes en hojas de *M. oleífera*. (Bennett *et al.*, 2003; Manguro y Lemmen, 2007). Paralelamente a los estudios fenólicos son varios informes de actividad antioxidante de diferentes extractos de hojas. (Bajpai *et al.*, 2005; Iqbal y Bhangar, 2006; Siddhuraju y Becker, 2003).

Las hojas de la *Moringa oleífera* Lam., son las partes más aprovechadas por su alto valor proteico. Además son ricas en componentes antioxidantes, entre los que sobresalen los isotiocianatos que figuran como uno de los principales portadores de propiedades anti cancerígenas y antibióticas. Los alimentos servidos en infusión son los más utilizados debido a la cultura que se tiene en América latina como las sopas, atoles o refrescos (Alfaro, 2008). Los contenidos de componentes anti nutricionales en sus hojas como taninos, lecitinas e inhibidores de proteasas son insignificantes, por esta razón son comestibles en su totalidad, al mismo tiempo contienen un perfil de aminoácidos esenciales balanceados y son una fuente importante de vitaminas A, C y antioxidantes (Olson y Fahey, 2011).

Todas las partes de la planta son consumidas por ser un alimento completo, generalmente no tienen mal sabor y se consumen frescas. Los frutos o vainas verdes o inmaduros, se cosen y saben a habichuelas; las semillas son consumidas tostadas y son muy nutritivas y las hojas verdes son preparadas como potajes y ensaladas. Además tienen un alto valor comercial en la India, donde son exportadas enlatadas. También se comercializan otros derivados como el aceite, extractos de sus hojas como polvos e infusiones (Gopalan, 1994).

La semilla contiene de 31-47% de aceite. Estudios realizados en Brasil, habiendo extraído el aceite de la semilla seca (39%) con hexano arrojó un índice de acidez de 7.95 mg KOH/g. Contiene un 7% de ácido palmítico, 2 % de palmitoleico, 4% de esteárico, 78% de oleico, 1% de linoleico, 4% de araquídico, y 4% de behénico. Sus hojas y tallos presentan un 23% y 9% de proteína cruda, respectivamente mientras que la digestibilidad encontrada fue de 79% y 57%, respectivamente. La hoja de moringa posee un porcentaje superior al 25% de proteínas, esto es, tanto como el huevo como el doble de la leche, cuatro veces la cantidad de la vitamina A de las zanahorias, cuatro veces la cantidad de calcio de la leche, siete veces más de vitamina C que de las naranjas, tres veces más de potasio que los plátanos, cantidades significativas de hierro, fósforos y otros elementos. Son una fuente excepcionalmente buena de vitamina A, B y C, así como de minerales (en particular hierro) y aminoácidos que contienen azufre como la Cistina y la Metionina (cuadro 2 y cuadro 3) (Liñán, 2010). Muchas de las vitaminas, minerales y aminoácidos son muy importantes para la dieta saludable. Un individuo necesita de suficientes cantidades de vitaminas, minerales, proteínas y otros nutrientes para el desarrollo físico y el bienestar. La deficiencia de alguna de estos nutrientes ocasionan problemas de salud. Algunos de los problemas causados por su deficiencia en la dieta son bien conocidos: escorbuto, causado por la carencia de vitamina C; ceguera nocturna, causado por la carencia de vitamina A; kwashiorkor, causado por la carencia de proteínas; anemia, causado por la carencia de hierro. Otros problemas de salud son causados por la carencia de vitaminas o minerales los cuales son poco conocidos, pero todavía esenciales para las personas y sus funciones corporales. (Mark, 2007).



**Cuadro 2.** Tabla comparativa (por cada 100 g) (Mark, 2007).

	<b>Nutriente Moringa</b>	<b>Otros alimentos</b>	
<b>Vitamina A (mg)</b>	1,130	Zanahoria	315
<b>Vitamina C (mg)</b>	220	Naranjas	30
<b>Calcio (mg)</b>	440	Leche de vaca	120
<b>Potasio (mg)</b>	259	Plátanos	88
<b>Proteína (mg)</b>	6,700	Leche de vaca	3,200

**Cuadro 3.** Valor nutricional de las hojas y vainas (porciones de cada 100 gr comestibles) (Mark, 2007).

<b>Nutrientes</b>	<b>Vainas</b>	<b>Hojas frescas</b>	<b>Polvo de hoja</b>
<b>Humedad (%)</b>	86.9	75.0	7.5
<b>Calorías</b>	26.0	92.0	205.0
<b>Proteínas (g)</b>	2.5	16.7	27.1
<b>Grasa (g)</b>	0.1	1.7	2.3
<b>Carbohidratos (g)</b>	3.7	13.4	38.2
<b>Fibra (g)</b>	4.8	0.9	19.2
<b>Minerales (g)</b>	2.0	2.3	-
<b>Ca (mg)</b>	30.0	440.0	2,003.0
<b>Mg (mg)</b>	24.0	24.0	368.0
<b>P (mg)</b>	110.0	70.0	204.0
<b>K (mg)</b>	259.0	259.0	1,324.0
<b>Cu (mg)</b>	3.1	1.1	0.6
<b>Fe (mg)</b>	5.3	7.0	28.2
<b>S (mg)</b>	137.0	137.0	870.0

<b>Ácido Oxálico (mg)</b>	10.0	101.0	-
<b>Vitamina A-B caroteno (mg)</b>	0.1	6.8	16.3
<b>Vitamina B-cholina (mg)</b>	423.0	423.0	-
<b>Vitamina B1-tiamina (mg)</b>	0.05	0.21	2.6
<b>Vitamina B2-riboflavina (mg)</b>	0.07	0.05	20.5
<b>Vitamina B3-ácido nicotínico (mg)</b>	0.2	0.8	8.2
<b>Vitamina C – ácido ascórbico (mg)</b>	120	220.0	17.3
<b>Vitamina E – acetato tocopherol (mg)</b>	-	-	113
<b>Arginina (g/16g N)</b>	3.6	6.0	-
<b>Histidina (g/16g N)</b>	1.1	2.1	-
<b>Lisina (g/16g N)</b>	1.5	4.3	-
<b>Triptófano (g/16g N)</b>	0.8	1.9	-
<b>Fenilalanina (g/16g N)</b>	4.3	6.4	-
<b>Metionina (g/16g N)</b>	1.4	2.0	-
<b>Treonina (g/16g N)</b>	3.9	4.9	-
<b>Leucina (g/16g N)</b>	6.5	9.3	-

<b>Isoleucina (g/16g N)</b>	4.4	6.3	-
<b>Valina (g/16g N)</b>	5.4	7.1	-

Partes de la Moringa (hojas, vainas y semillas), muestran un alto aporte de nutrientes (cuadro 4), especialmente proteína grasa, carbohidrato, minerales y vitaminas (Liñán, 2010).

**Cuadro 4.** Valores nutricionales de Moringa oleífera (Liñán, 2010)

<b>Análisis proximal</b>	<b>Hojas frescas</b>	<b>Vainas</b>	<b>Semillas</b>
<b>Húmedad %</b>	79.72	75.8	47.2
<b>Proteínas %</b>	5.52	7.1	17.5
<b>Grasas%</b>	1.46	1.8	15.1
<b>Cenizas%</b>	2.12	1.1	2.1
<b>Carbohidratos%</b>	11.14	14.3	18.1
<b>Energía Kcal/100g</b>	207.42	226	439
<b>Calcio mg/100g</b>	22.32	2.1	3.4
<b>Potasio mg/100g</b>	11.84	12.8	18.3
<b>Hierro mg/100g</b>	24.26	1.6	7.1
<b>Carotenos ug/100g</b>	3,911.5	3,327.7	114.4
<b>Vitamina C mg/100g</b>	109.3	0.1	0.1

### II.1.3 Usos

Los usos de la especie *Moringa* son diversos, incluyendo los usos de las raíces, hojas, flores, vainas verdes y semillas, estos son usados en alimentos para humanos, además tallos y peciolo son utilizados en alimentos para animales. Las semillas son usadas para la producción de aceite de cocina, biodiesel y como fuente importante en la purificación de agua; las proteínas de las semillas pueden extraerse

fácilmente y son utilizadas en el tratamiento de la contaminación de agua y también como un método confiable para limpieza de materiales. Varios componentes medicinales son obtenidos de parte de toda la planta. La variedad de alimentos medicinales de *M. oleifera* son analizados actualmente en industrias. (Anwar *et al.*, 2007; Bhuptawat, *et al.*, 2007; Rashid, *et al.*, 2008). Las hojas de *M. oleifera* se utilizan como un alimento de bajo costo para mejorar la salud humana en vitamina A en dietas deficientes (Babu, 2000). Se ha reportado que tiene uso como antibióticos, tripanosomas, hipotensor, antiespasmódico, antiúlceras, anti-inflamatorio, hipocolesterolémico, y las actividades de hipoglucemia, así como tener considerable eficacia en la purificación de agua por floculación, sedimentación e incluso la reducción de la *Schistosoma cercariae* (Eilert, 1978; Eilert *et al.*, 1981; Ezeamuzie y Ambakederemo, 1996; Ferreira *et al.*, 2011; Sreelatha *et al.*, 2011).

En África, Asia y el Pacífico, las flores, hojas y raíces se usan en una gran variedad de medicinas tradicionales: curan diabetes, presión alta, tumores, usan las semillas para tumores abdominales. Las raíces son amargas y sirven como tónico para el cuerpo y los pulmones, también son expectorantes, diurético suave y estimulante para parálisis, epilépticos e histéricos. Las raíces en Nicaragua son usadas cocidas en té para la gota. Las hojas frescas molidas se aplican sobre piel y se puede restregar sobre partes irritadas con comezón. El aceite no se debe ingerir, pero sirve en usos externos contra enfermedades de la piel (Mark, 2007).

La importancia del uso como forrajera se debe a sus buenas características nutricionales y a su alto rendimiento en producción de biomasa fresca. En la India se usa la madera en forma limitada para lanzaderas y otros instrumentos para la industria textil. La pulpa se emplea para hacer papel prensa, papel celofán y textiles, como cuerdas, esteras y felpudos. De la corteza se extrae una goma y de esa goma y corteza se extraen taninos para la industria del curtido de las pieles (Liñán, 2010). También se beneficia de algún pequeño aporte de fertilizante. Ideal para muchas de las comunidades indígenas y campesinas en las regiones más alejadas (Mark, 2011).

## II.2 Microencapsulación

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela, 2009), esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs *et al.*, 2006). Se utiliza de igual manera el término de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Yañez *et al.*, 2002).

En la industria de alimentos se emplean diversos materiales que funcionan como recubrimiento, mejor conocidos como materiales encapsulantes. Estos materiales pueden ser de origen natural o sintético. Algunos biopolímeros biodegradables que se han sugerido en diversas investigaciones son colágeno, gelatina, albumina, quitosano y alginato, entre otros (Belmont, 2013).

Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al.*, 2002; Montes *et al.*, 2007).

La estructura formada por el agente microencapsulante alrededor de la sustancia microencapsulada (núcleo) es llamada pared, esta protege el núcleo contra el deterioro y liberación bajo condiciones deseadas (Young *et al.*, 1992; Madene *et al.*, 2006).

La técnica de microencapsulación ha permitido solucionar algunos problemas limitando las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que puede controlar la eliminación de saborizantes, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas (Favaro *et al.*, 2010).

Los procesos de encapsulación se pueden dividir en dos: procesos químicos y procesos mecánicos. Los procesos químicos se dividen en las técnicas de coacervación, co-cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular; dentro de los procesos mecánicos están las técnicas de secado por aspersión, secado por congelamiento/enfriamiento y extrusión (Madene *et al.*, 2006; Yañez *et al.*, 2002).

Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas (Palzer, 2009).

Las principales ventajas de la microencapsulación son:

- Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.
- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos (Astray *et al.*, 2009).

## **II.2.1 Agentes encapsulantes**

### **II.2.1.1 Maltodextrina**

Las maltodextrinas se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta

proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (García *et al.*, 2004), está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Madene *et al.*, 2006; Sáenz *et al.*, 2009).

### **II.2.1.2 Alginato de sodio**

El alginato es un polímero extraído a partir de algas y utilizado como un agente encapsulante; tiene como características: no tóxico, biocompatible, y facilidad de solubilización (por  $\text{Ca}^{++}$  secuestrante) (Nazzaro *et al.*, 2009). Un ejemplo de los alginatos, es el de calcio que ha sido ampliamente utilizado para la inmovilización de bacterias ácido lácticas (BAL), lo anterior debido a la facilidad de manejo, naturaleza no tóxica y bajo costo (Sultana *et al.*, 2003; Ko *et al.*, 2008; Bastos *et al.*, 2009). Estudios han mostrado que cultivos inmovilizados de alginato de calcio son los mejores protectores, esto ha sido evidente al incrementarse la sobrevivencia de bacterias bajo diferentes condiciones de ensayo que cuando las bacterias fueron probadas en el estado no encapsulado (Sozer y Kokini, 2009; Kailasapathy, 2006).

### **II.2.1.3 Otros agentes**

K-Carrageno: Es un polisacárido neutral, compuesto por unidades repetidas de Dgalactosa-4-sulfato y 3,6-anhidro-D-galactosa. La gelificación depende de la temperatura, pero para la formación de las cápsulas se necesita de KCl y  $\text{CaCl}_2$  como soluciones de endurecimiento o para insolubilizar el polímero. Este polisacárido es comúnmente utilizado como aditivo alimenticio, pero nuevas evidencias demostraron su inducción en neoplasia intestinal e inflamación.

Quitano: Es un polisacárido lineal, molécula policatiónica obtenida mediante desacetilación alcalina de la quitina. Se disuelve fácilmente a pH ácido por lo que con frecuencia se emplea en combinación con otro polímero que soporte el pH del estómago. Una vez que alcanza el intestino delgado es degradado por la microbiota endógena.

Almidón: El almidón de maíz nativo contiene aproximadamente 25 % de amilosa y 75 % de amilopectina. La amilosa forma una cubierta que es resistente a los ácidos gástricos y a las enzimas pancreáticas. Los almidones con alto contenido de amilosa forman películas fuertes, resistentes y más flexibles, pero es difícil de dispersar en agua y puede gelificar muy rápidamente. Estos almidones tienen la ventaja de ser seguros, no tóxicos y de fácil disponibilidad (Pérez *et al*, 2013).

El polivinil alcohol un polímero hidrofílico que puede ser empleado como material formador de pared en capsulas (Leiman *et al.*, 2009), también membranas de nylon han sido utilizadas para encapsular y atrapar enzimas como: la pepsina, pectina esterasa para la clarificación de jugos, la invertasa para la inversión de sacarosa. Otro agente utilizado en la microencapsulación es el quitosano, su uso es bastante amplio en la industria de alimentos, se destaca como antioxidante, antimicrobiano, recuperador de proteínas solubles a partir de residuos de surimi, cubiertas para alimentos comestibles (Klaypradit y Huang, 2008; Marcuzzo *et al.*, 2010; Desai, Liu y Park, 2006), renina para coagulación de leche y caseínas para formar cápsulas artificiales (Yañez *et al.*, 2002; Semo *et al.*, 2007).

Las gomas son generalmente insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación (Madene *et al.*, 2006; Murúa *et al.*, 2009). Como ejemplos se tienen goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma gelana y xantana (Morkhade y Joshi, 2007); una aplicabilidad ha sido en inmovilización de células bacterianas, para lo cual se han utilizado alginatos y carragenina (McMaster *et al.*, 2005).

La goma arábica, un polímero natural biodegradable ha sido utilizado como una matriz para encapsular enzimas como la endoglucanasa producida por la bacteria *Thermomonospora*. Mezclas de goma arábica y maltodextrinas también han mostrado promesa como transportadores de sólidos, proporcionando viscosidad por ejemplo en la microencapsulación de aceite de cardamomo por secado por aspersión (Bertolini *et al.*, 2001; McMaster *et al.*, 2005; Madene *et al.*, 2006).



## **II.3 Métodos de microencapsulación de principios activos**

### **II.3.1 Liofilización**

La liofilización es un proceso de estabilización en el cual un producto es primeramente congelado, permitiendo una separación del solvente y los solutos, y luego la concentración del solvente (comúnmente agua) se reduce, primero mediante sublimación (secado primario) y después mediante desorción (secado secundario), hasta niveles que no sostendrán más el crecimiento biológico o las reacciones químicas. De las diversas técnicas de secado la liofilización es la más recomendada para aquellos productos que no pueden ser sometidos a altas temperaturas, pero también resulta ser la más costosa. Lo anterior se debe a la lentitud relativa del proceso de sublimación y al gasto energético involucrado (congelación, baja presión y suministro de calor simultáneamente) (Parra *et al.*, 2007).

El proceso de liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos que permite prolongar el tiempo de vida útil conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con la calidad. Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no congelable. La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua. La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos. Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo. La porosidad influye fuertemente en la capacidad de rehidratación de los vegetales deshidratados; a mayor porosidad mayor capacidad de rehidratación (Ayala *et al.*, 2010).

En el área de alimentos, se ha utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado. Al utilizar la sublimación cómo

técnica de secado los productos obtenidos no se ven alterados en gran medida en sus propiedades y se rehidratan fácilmente. El proceso de sublimación es mucho más eficiente a bajas presiones (vacío), porque el agua se extrae bajo el impulso de un gradiente de presión total. La calidad de los productos liofilizados se ve afectada por las características de la materia prima como el grado de madurez, y las condiciones de operación como la presión de la cámara, la velocidad de calentamiento y la velocidad de congelación. Puesto que la congelación es una operación previa a la liofilización, la velocidad de congelamiento es determinante en las propiedades del producto seco, dado que influye directamente en el tamaño de poro producido luego de la sublimación de los cristales de hielo (Grajales *et al.*, 2005).

### **II.3.2 Secado por aspersión**

El secado por aspersión es una técnica para obtener productos en polvo (Masters, 2004). El secado por aspersión también llamado atomización, rocío o *spray* es ampliamente utilizada en la industria procesadora de alimentos, la transformación de una materia en forma líquida en forma seca se logra mediante la generación de gotas minúsculas que poseen una gran área superficial para la evaporación de su humedad, el medio secante suele ser un gas caliente en gran volumen; con la suficiente energía para completar la evaporación del líquido (Long, 1978).

El proceso de secado por aspersión, se resume en tres etapas básicas comenzando con la atomización de una alimentación de un líquido en finas gotas, estas gotas entran en contacto y son suspendidas por una corriente de gas o aire caliente, permitiendo la evaporación del líquido y sacando el sólido seco, con el mismo tamaño y forma de las gotas que fueron atomizadas. Finalmente, el polvo seco es separado de la corriente de gas o aire y colectado.

Las figuras 4 y 5 muestran dos tipos de instalaciones de secado por aspersión.

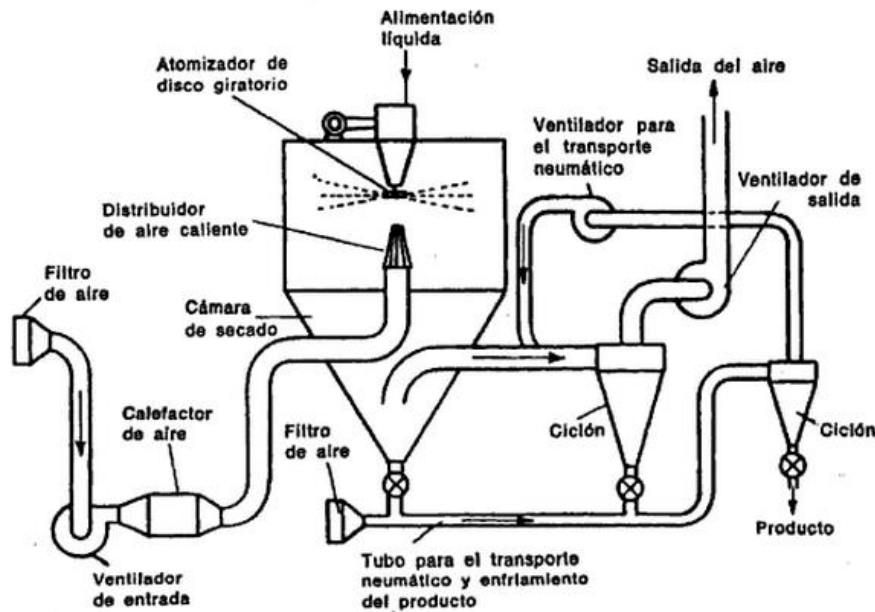


Figura 4. Secador de aspersión tipo I.

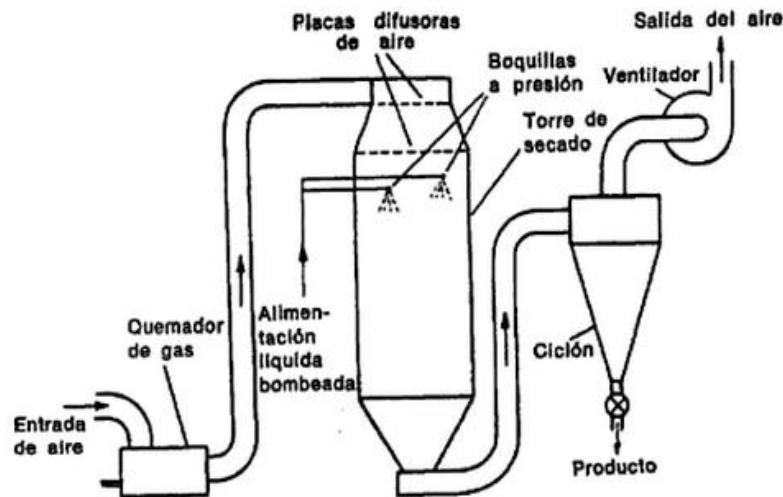


Figura 5. Secador de aspersión tipo II.

Los productos más difíciles de secar por atomización son aquellos en los que los sólidos contienen poco soporte celulósico y contienen azúcares o componentes análogos que dan lugar a sólidos higroscópicos, si bien la termoplaticidad y la higroscopicidad pueden corregirse por la adición de ciertos soportes autorizados en la industria de alimentos (Ocampo, 2014).

Los principales encapsulantes utilizados por este método son: carbohidratos (almidón y derivados, maltodextrinas, jarabes de maíz, sacarosa, dextrana, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa); gomas (arábiga, mezquite, guar, alginato de sodio, carragenina); lípidos (ceras, parafinas, grasas, ácido esteárico, tristearina, mono y diglicéridos) y proteínas (gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche, zeína, gluten, caseína). Estos encapsulantes deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado por aspersion y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo de la oxidación (Orestes, 2010).

Algunas matrices presentan dificultades por los altos contenidos de azúcares, implicando el uso de aditivos que facilitan la eliminación de agua. Un deficiente proceso conlleva a obtener productos higroscópicos, pegajosos, inestables y difícil manejo y manipulación. Este método de conservación ha sido estudiado para deshidratar alimentos ricos en azúcares, frutas y productos lácteos (Truong, 2004; Gaiani *et al.*, 2010).

### **II.3.3 Avances en la microencapsulación de principios activos mediante secado por aspersion.**

Entre las primeras aplicaciones prácticas de la microencapsulación se destaca la industria farmacéutica, médica, textil, alimentos (Dutta *et al.*, 2009; Rai *et al.*, 2009), pesticida (Araneda y Valenzuela, 2009; Li *et al.*, 2009), cosmética, química (Fuchs *et al.*, 2006), de imprenta (Madene *et al.*, 2006) agroquímica (Villamizar y Martínez, 2008) fragancias, tintes, agentes antimicrobianos (Zong *et al.*, 2009) biomédica (Champagne y Fustier, 2007; Luo y Pozrikidis, 2009) y de plásticos (Dutta *et al.*, 2009).

Existe una gran diversidad de trabajos de investigación de secado por aspersion de jugos de frutas, aceites esenciales, extractos y otros. Los rendimientos de secado varían de acuerdo a la composición del material secado y a las condiciones de operación (Ocampo, 2014).

La tecnología de encapsulación de probiótico puede ser dividida en dos partes, microencapsulación de probiótico en las soluciones de encapsulación y secado de la solución de encapsulación para alcanzar gránulos o polvos de células encapsuladas. Particularmente, para la microencapsulación de microorganismos probióticos se detallan las metodologías empleadas con éxito, cuyas técnicas antes del paso de microencapsulación describen la obtención de un cultivo de probiótico crecidos en condiciones óptimas, el cual es centrifugado y empleado en forma de suspensión o polvo liofilizado para su posterior micro-encapsulación (Pérez *et al.*, 2013).

En la industria textil la aplicación de microcápsulas en tejidos no está tan extendida como en otros sectores, pero es un nuevo acabado textil utilizado en productos tejidos de grandes compañías. Las primeras experimentaciones con microcápsulas en la industria textil fue la aplicación de colorantes en prendas con el objetivo de que la ropa alterne el color de acuerdo al cambio climático por la humedad, por temperatura corporal o por la acción de la luz solar. Actualmente empresas de la industria textil comercializan y fabrican productos con aplicaciones microencapsuladas con diferentes objetivos, como fijación de aromas y fragancias, colorante, vitaminas, hidratantes, protectores solares, aceites, fármacos, antimicrobianos, entre otras (Tornari, 2012).

### III. PROCEDIMIENTO

#### III.1 Materiales

Se utilizaron hojas secadas a la sombra de árboles provenientes de una plantación ubicada en la ciudad de Villaflores Chiapas, México. La colecta de hojas se realizó a mano. Las hojas fueron molidas hasta un tamaño de partícula de 1 mm aproximadamente. Así mismo se utilizó maltodextrina grado alimenticio para el encapsulamiento. La maltodextrina se utilizó al 30% en el extracto.

#### III.2 Obtención del extracto

El extracto acuoso se obtuvo mediante inmersión de 5 g de hojas secas en 50 mL de agua destilada durante 30 minutos. La extracción se realizó a dos temperaturas: ebullición y 80°C. Posteriormente la mezcla se filtró utilizando filtro Whatman No 1 y se repitió dos veces más la extracción hasta agotamiento. Finalmente, todos los extractos fueron mezclados y almacenados en oscuridad para posteriormente ser secados.

#### III.3 Microencapsulación mediante secado por aspersión

El secado se llevó a cabo utilizando un secador por aspersión de laboratorio Bucchi considerando dos factores: la temperatura del aire de secado (100, 120 y 140°C) y el flujo de alimentación controlado de tal forma que la temperatura del aire de salida sea de 60°C. Posteriormente las muestras secas se colectaron a la salida del aspersor y se mantuvieron congeladas en bolsas metálicas cerradas al vacío y mantenidas en oscuridad a -14°C en bolsas para su posterior análisis.

##### III.3.1 Rendimiento de proceso

El rendimiento del proceso se determinó con los gramos obtenidos del polvo y los sólidos totales suspendidos en el extracto de las hojas de *Moringa oleífera*, y, finalmente calculado mediante la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{g polvo obtenido}}{\text{g sólidos secos alimentados}} \times 100 \quad (1)$$

### **III.3.1.1 Análisis del polvo**

### **III.3.1.2 Actividad acuosa de los polvos**

Para determinar la humedad del polvo se utilizó un higrómetro de punto de rocío a temperatura ambiente.

### **III.3.1.3 Valores colorimétricos de los polvos**

Después de envasar y sellar las muestras en una bolsa al vacío, se utilizó el sistema CIE  $L^*a^*b$  que describe el color en términos de coordenadas cromática ( $a^*$  y  $b^*$ ) y una luminosidad ( $L^*$ ). Los parámetros colorimétricos se evaluaron mediante un colorímetro ColorTec-PCM.

### **III.3.1.4 Actividad antioxidante**

#### **III.3.1.4.1 Fenoles totales**

El análisis del contenido polifenólico total se determinó de acuerdo al método colorimétrico de Folin Ciocalteau (Singleton *et al.*, 1999), empleando ácido gálico como estándar. Una alícuota de 100  $\mu\text{L}$  de muestra en un tubo de ensaye junto a 4.2 mL de agua y 500  $\mu\text{L}$  mL del reactivo de Folin Ciocalteau (1N). La mezcla se agitó vigorosamente durante 1 minuto para luego agregar 1.0 mL de una solución acuosa de carbonato de sodio al 20% y 4.2 mL de agua destilada. La mezcla se dejó en reposo cubierto de la luz durante 2 horas, para luego leer su absorbencia a 765 nm en un espectrofotómetro HACH DR 5000. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de hoja seca de *Moringa oleifera* (mg EAG/g) empleando una curva estándar de ácido gálico de 0.0 a 1000  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

#### **III.3.1.4.2 Flavonoides**

El análisis del contenido de flavonoides se determinó mediante el método colorimétrico del tricloruro de aluminio (Chang *et al.*, 2002). Una alícuota de 0.5 mL de muestra se mezcló con 1.5 mL de etanol al 95% y 100  $\mu\text{L}$  de tricloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) al 10%, luego de agitar se agregaron 100  $\mu\text{L}$  de acetato de potasio 1M y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se dejó en reposo 30 minutos para luego

medir su absorbencia a 415 nm en un espectrofotómetro HACH DR 5000. El volumen de tricloruro de aluminio fue reemplazado por agua destilada en la preparación del blanco. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina por gramo de hoja seca de *Moringa oleifera* (mg EQ/g) empleando una curva estándar de quercetina de 0.0 a 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

#### **III.4 Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental fue un diseño factorial completamente al azar con tres repeticiones. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado. Se determinaron el efecto de los factores mediante un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y la prueba de medias fue realizada mediante la prueba de Diferencia Media Significativa.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### IV.1 Efecto de las condiciones de extracción, flujo de alimentación y temperatura de entrada del aire de secado sobre el rendimiento del proceso de secado, actividad acuosa del polvo y cambios de coloración.

El máximo rendimiento del proceso fue de 63.36% a una temperatura del aire del secador de 100°C con un flujo de alimentación de aproximadamente 3 mL min<sup>-1</sup>, mientras que el menor rendimiento del proceso fue de 54.51% a una temperatura de 140°C con un flujo aproximado de 9 mL min<sup>-1</sup>, todos los experimentos fueron manipulados en el flujo de alimentación para se pudiera obtener una temperatura de salida de 60°C. Estos resultados son similares a los reportados por Bermúdez (2013) quien reportó rendimientos de procesos del 45-60% para el secado de jugo de zarzamora. En este caso, Bermúdez utilizó maltodextrina como agente encapsulante. Así mismo, Chegini y Ghobadian (2005), encontraron que en el secado de jugo de naranja sin ningún agente acarreador obtuvieron rendimientos muy bajos, sin embargo al agregar maltodextrina al jugo de naranja el rendimiento de secado aumentó a 18-35%.

El análisis de varianza (cuadro 5) mostró que la temperatura de entrada del aire de secado tiene efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el rendimiento de proceso, mientras que la temperatura de extracción no mostró efecto significativo.

**Cuadro 5.** Valores de P para el rendimiento de proceso de secado por aspersion.

Variables	Valor-P
Temperatura de extracción (°C)	0.8708
Temperatura de entrada del secador (°C)	0.0004

La prueba de media (cuadro 6) mostró que el rendimiento de proceso incrementó con la disminución de la temperatura de entrada del aire de secado con medias de 54% para 140°C y 63% para 100°C.

**Cuadro 6.** Prueba de medias de la temperatura del aire de entrada en el secador para el rendimiento de proceso.

Temperatura de entrada del secador (°C)	Rendimiento de proceso (%)
100	63.36 a
120	58.29 b
140	54.51 c

En el rendimiento del proceso (cuadro 6) podemos observar que el que presentó mayor rendimiento fue de un flujo de 3 mL min<sup>-1</sup> a una temperatura de secado de entrada de 100°C y de salida de 60°C. Mientras que a un flujo de 9 mL min<sup>-1</sup> a una temperatura de aire de secado de 140°C y de salida de 60°C fue el que presentó menor rendimiento. Frecuentemente García (2011) señala que la temperatura del aire de entrada es el factor más importante sobre los rendimientos obtenidos, ya que existe una tendencia de incremento del rendimiento al disminuir la temperatura del aire de secado, este comportamiento se atribuyó que entre mayor sea la temperatura del aire de secado causó la adherencia de los polvos en la pared de la cámara de secado, reduciendo la cantidad de polvo obtenido y el rendimiento del proceso. Según Bhandari *et al.* (1997) el comportamiento pegajoso es debido a la presencia de azúcares de bajo peso molecular tales como fructosa, glucosa y sacarosa y a ácidos orgánicos, quienes se desestabilizan a temperaturas elevadas, pasando de un estado vítreo estable a un estado gomoso inestable. Las temperaturas que normalmente se usan en el secado por aspersion hacen que estos componentes tiendan a pegarse a las paredes del secador y finalmente hace que se obtenga una textura pastosa en lugar de polvo (Masters, 1979).

En cuanto a la Aw del polvo obtenido después del secado por aspersión, ni la temperatura de entrada del aire del secador ni de la temperatura de extracción tuvo un efecto estadístico significativo (cuadro 7).

**Cuadro 7.** Valores de P para la Aw del polvo obtenido después del proceso de secado por aspersión.

Variables	Valor-P
Temperatura de entrada del secador	0.6696
Temperatura de extracción	0.2776

La actividad de agua que se obtuvieron de los polvos osciló entre los 0.2 y 0.3, los que presentaron menor aw fueron los extractos que se secaron a una temperatura de 140°C mientras que los que fueron secados a una temperatura de 100°C mostraron mayor aw. Barriga y Domínguez (2013) reportaron una actividad acuosa de 0.388 obteniendo polvos estables en cuanto a la proliferación de microorganismos, ya que para que los microorganismos puedan proliferar el alimento debe tener una aw igual o superior a 0.6 (Badui-Delgal, 2002). Tomando en cuenta esto, los polvos que se obtuvieron son estables en cuanto a la proliferación de microorganismos.

En cuanto al color, y, específicamente de la luminosidad (L), la temperatura del aire de secado tuvo efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ), sin embargo, la temperatura de extracción no lo tuvo (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Valores de P para la luminosidad del polvo obtenido después del secado por aspersión.

Variables	Valor-P
-----------	---------

Temperatura de entrada del secador	0.0066
Temperatura de extracción	0.0996

En el cuadro 9 muestra la prueba de medias para la temperatura del aire del secador sobre la luminosidad de los polvos, con medias entre 83% para 100°C y 84% para 140°C.

**Cuadro 9.** Prueba de medias para la luminosidad de la temperatura del aire de entrada del secador.

Temperatura de entrada del secador (°C)	Luminosidad del polvo
140	84.6422 a
120	84.5465 a
100	83.6889 b

En el cuadro 10 muestra el efecto que tiene la temperatura del aire de entrada del secador y la temperatura de extracción sobre el parámetro colorimétrico a, observándose que no tuvieron efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 10.** Valores de P para el valor colorimétrico “a” del polvo obtenido después del secado por aspersion.

Variables	Valor-P

Temperatura de entrada del secador	0.7098
Temperatura de extracción	0.8267

Para el parámetro colorimétrico “b” (cuadro 11), la temperatura del aire de entrada del secador tuvo un efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 11.** Valores de P para el valor colorimétrico “b” sobre el proceso de secado por aspersión.

Variables	Valor-P
Temperatura de entrada del secador	0.0144
Temperatura de extracción	0.7513

La prueba de media muestra que el máximo valor colorimétrico para a es el obtenido a 140°C mientras que el menor corresponde a 100°C (cuadro 12). Lo anterior muestra que el color “verde” de la muestra se intensifica al incrementar la temperatura de secado.

**Cuadro 12.** Prueba de media para el valor colorimétrico “b” del polvo obtenido después del secado por aspersión.

Temperatura de entrada del	Valor colorimétrico “b”
----------------------------	-------------------------

secador (°C)	
140	15.254 a
120	14.6227 a
100	13.3856 b

Podemos observar que los parámetros obtenidos en cuanto a la luminosidad y los valores colorimétricos del polvo se afecta al aumentar la temperatura del aire de secado, ya que al incrementar la temperatura del aire de secado mayor transferencia de calor y este puede afectar la composición de los compuestos responsables del color como clorofila y carotenoides entre otros. Barriga y Dominguez (2013) obtuvieron datos similares con una tonalidad amarilla y concluyeron que esta tonalidad se debe a los colorantes naturales presentes en el jugo de carambola.

#### **IV.2 Efecto de las condiciones de extracción, flujo de alimentación y temperatura de entrada del aire de secado sobre la capacidad antioxidante de los extractos secos después del secado por aspersión.**

En el cuadro 13, podemos observar los valores de P para el contenido de fenoles obtenidos que la temperatura del aire entrada del secador tiene un efecto estadístico significativo, mientras la temperatura de extracción no tiene un efecto estadístico significativo.

**Cuadro 13.** Valores de P del contenido de fenoles obtenidos.

Variables	Valor-P
Temperatura de entrada del secador	0.0405

Temperatura de extracción	0.6700
---------------------------	--------

De acuerdo al porcentaje de medias obtenidas mostradas en el cuadro 14, podemos observar que el mejor rendimiento en retención de fenoles fueron en los tratamientos realizados a 100°C con un porcentaje de 57.39%, mientras que la temperatura máxima de 140°C se obtuvo un rendimiento de 44.43%.

**Cuadro 14.** Prueba de medias para el contenido de fenoles obtenidos.

Temperatura de entrada del secador	Rendimiento del proceso (%)
100°C	57.39 a
120°C	49.88 ab
140°C	44.43 b

El extracto de las hojas presentó una concentración aproximada entre 20 y 40 mg mL<sup>-1</sup>. En los polvos evaluados se recuperó entre un 30 y 50% de la concentración inicial, lo cual coincide con lo que Moyo *et al*, (2012) reportaron un contenido de fenoles totales en hojas de *Moringa oleifera* de 120.33 mg mL<sup>-1</sup> en un medio de acetona y 40.27 mg mL<sup>-1</sup> en extracto acuoso. La concentración de fenoles totales en el extracto acuoso tuvieron diferentes concentraciones en cuanto a la temperatura de extracción, Gorriti *et al* (2009) reportaron que a mayor tiempo y mayor temperatura de extracción, mayor es la concentración de fenoles totales.

En cuanto a los polvos evaluados podemos observar que los que presentaron mayor concentración de fenoles totales fueron los extractos secados a una temperatura de 100°C que mantuvieron un 57% de la concentración inicial mientras que a una temperatura más elevada de 140°C presentaron una concentración de 44% de fenoles totales. Zapata *et al* (2015) cuantificaron metabolitos antioxidantes de la

Curuba Larga y reportaron que el contenido de fenoles disminuía el 6% cuando la temperatura de entrada del aire de secado era de 80°C, y, cuando la temperatura de entrada del aire del secador era de 140°C disminuía un 12.9%. Otros estudios reportados por Georgetti *et al*, (2008) mostraron que el extracto metanólico de soya perdía el 65.5% de fenoles totales a una temperatura de entrada del aire al secador de 150°C.

En el cuadro 15, los valores de P mostraron que en el contenido de flavonoides obtenidos, la temperatura del aire de entrada del secador y la temperatura de extracción, no tienen un efecto estadístico significativo.

**Cuadro 15.** Valores de P para el contenido de flavonoides obtenidos.

Variables	Valor-P
Temperatura de entrada del secador	0.1256
Temperatura de extracción	0.4068

Los resultados obtenidos en los extractos de hojas de Moringa oleífera en cuantificación de flavonoides fue entre 10 y 15 mg mL<sup>-1</sup>, recuperándose en los polvos entre 20 y 45% de la concentración del extracto seco. Moyo *et al* (2012) reportaron un contenido de flavonoides en un medio de acetona de 295.01 mg mL<sup>-1</sup> y en un medio acuoso fue de 45.1 mg mL<sup>-1</sup>. En la cuantificación de flavonoides después del secado por aspersión Jimenez-Aguilar *et al* (2011) reportaron que la pérdida de flavonoides, principalmente antocianinas totales, fueron de 24% a una temperatura de 160°C.



## V. EVALUACIÓN E IMPACTO ECONÓMICO

Los resultados mostraron que es posible obtener un polvo de hojas de *Moringa oleífera* a partir de un extracto obtenido mediante ebullición. En cuanto a las pérdidas de fenoles y flavonoides, se encontraron las condiciones de secado que maximizan su retención y rendimiento de proceso. Estas condiciones de secado pueden ser propuestas a los industriales que elaboran suplementos alimentarios. Sin embargo, es necesario realizar el escalamiento a nivel planta piloto del proceso con la finalidad de poder realizar un análisis económico de tal forma que se determine la factibilidad económica del proyecto y así hacer una propuesta completa a los industriales.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir que se puede obtener un polvo estable con una buena coloración y con buen rendimiento en el proceso de secado de extractos de hojas de *Moringa oleifera*, a una temperatura de secado de 100°C y una temperatura de salida de 60°C. La temperatura de extracción no afecta al rendimiento del proceso pero sin embargo se demostró que la mejor temperatura de extracción es la de ebullición ya que hay más concentración de fenoles totales y flavonoides presentes en los extractos y de igual manera en los polvos después del secado. En cuanto al rendimiento de proceso, la temperatura de entrada del aire del secado tuvo efecto estadístico significativo ( $p < 0.05$ ).

Como recomendaciones podemos proponer algunos cambios con la finalidad de aumentar el contenido de fenoles y flavonoides en los encapsulados. Primeramente, podemos aumentar el tiempo de extracción a la temperatura de ebullición, ya que entre más prolongado sea el tiempo mayor liberación de concentración de fenoles y flavonoides tendremos en el extracto. Otra opción sería aumentar la proporción gramos de hojas de *Moringa oleifera* : solvente, al momento de preparar el extracto de tal manera que este más concentrado y así pudiendo obtener mayor concentración de fenoles y flavonoides. Se podría probar la extracción con ultrasonido para incrementar los rendimientos de extracción. En cuanto a la temperatura de secado, se sugiere evaluar el posible incremento de la misma, manipulando el flujo de tal forma que la temperatura de salida del aire de secado no sea superior a 60°C.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, N.C. (2008). Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala. INCAP Guatemala, CONCYT, SENACYT, FONACYT. No. 26-2006.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., y Hassan Gilani, A. (2007). Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses. *Phytotherapy Research*, 21, 17–25.
- Araneda, C. y F. Valenzuela. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora* 22(11): 9-19.
- Astray, G., J. Mejuto, R. Rial, C. González y J. Simal. (2009). A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1631-1640.
- Ayala A, Alfredo A; Serna C, Liliana; Mosqueda V, Esmeralda. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, vol. 17, num. 2, 2010, pp 121-127.
- Bae EK, Lee SJ. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *J Microencapsul.* 25(8):549-60.
- Babu, S. C. (2000). Rural nutrition interventions with indigenous plant foods – A case study of vitamin A deficiency in Malawi. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 4, 169–179.
- Bajpai, M., Pande, A., Tewari, S. K., y Prakash, D. (2005). Phenolic contents and antioxidant activity of some food and medicinal plants. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56, 287–291.
- Barriga Trujillo, Claudia Guadalupe; Dominguez Ruiz, C.J. (2013). Producción de jugo de carambola (*Averrhoa carambola* L.) en polvo mediante secado por aspersión. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Bastos, D., K. Araujo y M. Leao. (2009). Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-capsul based edible film. *Journal of Microencapsulation* 26(2): 97-103.

- Bhandari B.R., Data N. y Howes T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*. 15:671-684.
- Bhuptawat, H., Folkard, G. K., y Chaudhari, S. (2007). Innovative physic-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 142, 477–482.
- Belmont, I. A. Flores, Munguía y M. T. Jiménez. (2013). Microencapsulación de compuestos activos con quitosano. 7-1(2013); 48-56.
- Bennett, R. N., Mellon, F. A., Foidl, N., Pratt, J. H., DuPont, M. S., Perkins, L., et al. (2003). Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* L. (Horseradish tree) and *Moringa stenopetala*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3546–3553.
- Bennett, R. N., Rosa, E. A. S., Mellon, F. A., y Kroon, P. A. (2006). Ontogenic profiling of glucosinolates, phenolics, flavonoids and other secondary metabolites in *Eruca sativa* (salad rocket), *Diplotaxis eruroides* (wall rocket), *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket), and *Bunias orientalis* (Turkish rocket). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4005–4015.
- Bermudez Hernandez, I. (2013). Microencapsulación de jugo de zarzamora (*Rubus fruticosus*) mediante secado por aspersión. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- Bertolini, A., A. Siani y R. Grosso. (2001). Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(2): 780-785.
- Bressani R. (2007). Valor proteínico suplementario de la hoja de *Moringa oleifera* Lam al maíz y al arroz. Ensayos preliminares. Centro de ciencias y tecnologías de Alimentos. Instituto de Investigaciones. Universidad del Valle Guatemala.
- Calvo, P., Castaño, A. L., Hernández, T., y González-Gómez, D. (2011). Effects of microcapsule constitution into the quality of microencapsulated walnut oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113, 1273–1280.
- Carneiro H., Tonon R, Grosso C., y Hubinger M. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering* 115, 443–451.

- Champagne, C. y P. Fustier. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology* 18(2): 184-190.
- Chegini, G.R. y Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 656–668.
- Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N.P., Phivthong-ngam, L., Ratanachamnong, P., Srisawat, S. y Pongrapeeporn, K., (2008). The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves. *J. Ethnopharmacol.* 116, 439–446.
- Desai, K., C. Liu y H. Park. (2006). Characteristics of vitamin C encapsulated tripolyphosphate-chitosan microspheres as affected by chitosan molecular weight. *Journal of Microencapsulation* 23(1):79-90.
- Dutta, P., S. Tripathi, G. Mazutti y J. Dutta. (2009). Review: Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Journal Food Chemistry* 114(4): 1173–1182.
- Dziezak J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42, 136-151.
- Eilert, U., (1978). Antibiotic principles of seeds of *Moringa oleifera*. *Indian Medical Journal* 38 (235), 1013–1016.
- Eilert, U., Wolters, B. y Nahrstedt, A., (1981). The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *Planta Medica* 42, 55–61.
- Fahey, J.W., (2005). *Moringa oleifera*: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for Life Journal*, 5, [www.TFLJournal.org](http://www.TFLJournal.org)/Johns Hopkins School of Medicine, Dept of Pharma and Molecular Sciences.
- Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade y F. Netto. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4): 336-340.
- Fuchs, M., C. Turchiuli, M. Bohin, M. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. Peyrat y E. Dumoulin. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75(1): 27-35.

Ganther, H. E., y Lawrence, J. R. (1997). Chemical transformation of selenium in living organism. Improved forms of selenium for cancer prevention. *Tetrahedron*, 53(12), 299–310.

Georgetti, S. R., R. Casagrande, C.R. Fernandes-Souza, W.P. Oliveira y M.J. Fonseca-Vieira. (2008). Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity, *LWT- Food Science and Technology*: 41, 1521–1527.

Guevara, Medina J.R. y Rovira Quintero M.G. (2012). Caracterización de tres extractos de Moringa Oleífera y evaluación de sus condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas. Zamorano, Honduras.

García, G., M. González, M. Ochoa y H. Medrano. (2004). Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(4): 262-266.

Garcia Cruz, Elena Evelia (2011). Optimización del secado por aspersión de mucígalos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas. Tesis profesional. Instituto Politecnico Nacional.

Gopalan, C. (1994). *Nutritive Value of Indian Foods*, Instituto Nacional de Nutrición, India.

Gorriti Gutierrez, Arilmi; Arroyo Acevedo, Jorge; Negrón Ballarte, Luisa; Jurado Teixeira, Bertha; Purizaca Llajaruna, Harold; Santiago Aquise, Ilario; Taype Espinoza, Evelyng y Quispe J.F. (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, vol. 8, núm. 6.

Grajales, Agudelo, Lina M.; Cardona, Perdomo, William A.; Orrego-Alzate, Carlos E.. (2005). Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada. 0123-3033.

Hougan, A.S., McNamee, F.B., O'Riordan, E.D y O'Sullivan, M. (2001). Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agriculture of Food Chemistry*. 49 1934-1938.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., y Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26(7), 816–835.

- Klaypradit, W. y Y. Huang. (2008). Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 41(6): 1133–1139.
- Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 39: 1221–1227.
- Knothe G. (2013). Avocado and olive oil methyl esters, *Biomass and bioenergy*, 58 143-148.
- Ko, J., S. Koo y H. Park. (2008). Effects of alginate microencapsulation on the fibrinolytic activity of fermented soybean paste (Cheonggukjang) extract. *Food Chemistry* 111(4): 921-924.
- Leiman, F., O. Goncalves, R. Machado y A. Bolzan. (2009). Antimicrobial activity of microencapsulated lemongrass essential oil and the effect of experimental parameters on microcapsules size and morphology. *Materials Science and Engineering* 29(2): 430-436.
- Li, B., L. Wang, D. Li, B. Bhandari, S. Jun, Y. Lan, X. Chen y Z. Mao. (2009). Fabrication of starch-based microparticles by an emulsification-crosslinking method. *Journal of Food Engineering* 92(3): 250–254.
- Long, George. (1978). Spraying theory and practice. En: *Chemical Engineering*. Vol. 85, No. 6; 73-77.
- Liñán, Tobias Francisco. (2010). *Moringa oleifera* EL ÁRBOL DE LA NUTRICIÓN. *Ciencia y salud virtual*. 2145-5333.
- Lozano-Berna M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. España. Pp. 3-4, 21-24.
- Luo, H. y C. Pozrikidis. (2009). Numerical simulation of particle encapsulation due to liquid thread breakup. *Computers and Fluids* 38(3): 564–571.
- Madene, A., J. Scher, y S. Desobry. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21, 2006.

- Martín, L. (2007). Microencapsulación mediante la tecnología flow focusing para aplicaciones biotecnológicas y biomédicas. Facultad de farmacia. Universidad de Sevilla. España.
- Mark, E. Olson y Jed W. Fahey. (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. 2007-8706. Inforganic
- Mark, E. Olson. (2007). Moringa oleifera, El Maná Verde del Trópico, cultivo, comercialización. Inforganic.
- Masters, K. (1979). Spray drying fundamentals: process stages and layouts. Spray Drying Handbook; Halsted Press: NY, 21–53.
- Masters K. (2004). Applying spray drying to customize powder manufacture. J Chem Eng., 12 (6): 744-749.
- McMaster, L., S. Kokott y P. Mazutti. (2005). Micro-encapsulation of Bifidobacterium lactis for incorporation into soft foods. World Journal of Microbiology and Biotechnology 21(5): 723–728.
- McNamee, F.B., O’Riordan, E.D. y O’Sullivan, M. (2001). Effect of parcial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. Journal of Agriculture of food Chemistry. 49, 3385-3388.
- Montes E., De Paula C. A. y Ortega F. (2007). Determinación de las condiciones óptimas del encapsulamiento por co- cristalización de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*). Temas agrarios. 12: 5-12.
- Morton, J.F. (1991). The Horseradish Tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae) - A Boon to Arid Lands? *Economic Botany* 45, 318-333.
- Morkhade, D. y S. Joshi. 2007. Evaluation of gum damar as a novel microencapsulating material for ibuprofen and diltiazem hydrochloride. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences 69(2):263-268.
- Moyo, B.; Oyedemi, S.; Masika, P. K.; Muchenje, V. (2012). Polyphenolic content and antioxidant properties of Moringa oleifera leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with Moringa oleifera leaves/sunflower seed cake. Journal 441-447.
- Murúa, B., C. Beristain y Martínez. F. (2009). Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for



encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering* 91(3): 380–386.

Nazzaro, F., F. Fratianni, R. Coppola, A. Sada y P. Orlando. (2009). Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods* 1(3): 319-323.

Nesamani, S., (1999). *Medicinal Plants* (vol. I). State Institute of Languages, Thiruvananthapuram, Kerala, India. 425.

Ocampo Zaragoza, Aurora Anahí. (2014). Secado por aspersion de extracto acuoso de *Stevia rebaudiana*. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez.

Olson, M.E. y J.W. Fahey. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1071-1082.

Orestes Dario, Lopez Hernandez. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersion. *Revista Cubana de Farmacia*. 1561-2988

Palzer, S. (2009). Review: Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science and Technology* 20(5): 194-200.

Parra Huertas, R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 5669-5684.

Parra R., Javier; Gómez H., Héctor E.; González R., Orfil; de Santos A., Juan M. (2007). La importância de medir La temperatura de sublimación para estimar parâmetros efectivos de transporte en el proceso de liofilización. 1665-5745.

Partanen, R., Raula, J., Seppänen, R., Buchert, J., Kauppinen, E., y Forssell, P. (2008). Effect of relative humidity on oxidation of flaxseed oil in spray dried whey protein emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5717–5722.

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

Pérez-Leonard, H.; Bueno-García, G.; Brizuela-Herreda, M.A.; Tortoló-Cabañas, K.; Gastón-Peña, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. 0138-6204.

- Porzio M. (2004). Flavor encapsulation: A convergence of science and art. *Food Technol.* 58: 40-47.
- Rai, M., P. Asthana, S. Kant, V. Jaiswal y U. Jaiswal. (2009). The encapsulation technology in fruit plants: A review. *Biotechnology Advances* 27(6): 671-679.
- Rashid, U., Anwar, F., Moser, B. R., y Knothe, G. (2008). Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel. *Bioresources Technology*, 99, 8175–8179.
- Rebecca, H.S.U., Sharon, M., Arbainsyah, A., y Lucienne, D. (2006): Moringa oleifera: medicinal and socio-economic uses. *International Course on Economic Botany. National Herbarium Leiden, Netherlands*, 2 – 6.
- Reineccius G.A. (1995). Controlled release techniques in the food industry. In: Risch, S.J. y Reineccius, G.A. *Encapsulation and controlled release of food ingredients. American Chemical Society. Washington C.C.* pp. 8-25.
- Requejo C, Wong M, McGhie T, Eyres L, Boyd L, y Woolf A. (2003). Cold pressed avocado oil—a healthy development. *The Orchardist* October 76:56–58.
- Reyes Munguía, A., Azuara Nieto, E., Beristain, C. I., Cruz Sosa, F., y Vernon Carter, E. J. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morados (*Rhoeo discolor*). *CyTA Journal of Food*, 209-216.
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., y Ríos Vásquez, N. J. (2006). Highperformance liquid chromatography method to measure a- and c-tocopherol in leaves, flowers and fresh beans from Moringa oleifera. *Journal of Chromatography A*, 1105, 111–114.
- Sáenz, C., S. Tapia, J. Chávez y P. Robert. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry* 114(2): 616–622.
- Semo, E., E. Kesselman, D. Danino y Y. Livney. (2007). Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals. *Food Hydrocolloids* 21(5-6): 936-942.
- Sena, L. P., Vanderjagt, D. J., Rivera, C., Tsin, A. T. C., Muhamadu, I., Mahamadou, O., et al. (1998). Analysis of nutritional components of eight famine foods of the Republic of Niger. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 17–30.
- Sharma, G.P., Prasad, S., y Datta, A.K. (2003). Drying kinetics of garlic cloves under convective drying conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 40(1), 45–51.

- Shaidi y Han X. (1993). Encapsulation of Food Ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33(6): 501-547.
- Sheu T-Y. y Rosenberg M. (1995). Microencapsulación by Spray Draying Ethyl Caprylate in Whey Protein and Carbohydrate Wall Systems. *Journal of Food Science*, 60 (1): 98-103.
- Sozer, N y J. Kokini. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology* 27(2):82-89.
- Sultana, K., G. Godward, N. Reynolds, R. Arumugaswamy, P. Peiris and K. Kailasapathy. (2003). Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. *International Journal of Food Microbiology* 62: 47-55.
- Swisher HE. (1988). Avocado oil e from food use to skin care. *J Am Oil Chem Soc*, 65(11):1704-1706.
- Tonon R.V, Brabet C. y Hubinger M. D. (2009). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88: 411-418.
- Tonon R., Grosso C. y Hubinger M. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, *Food Research International* 44, 282–289.
- Tornari, Celeste (2012). Nuevos desarrollos tecnológicos textiles: fibras microencapsuladas.
- Truong V, Bhandari BR, Howes T. (2004). Optimizations of cocurrent spray drying process for sugar-rich foods. Part II- optimization of spray drying process based on glass transition concept. *J Food Eng*. 2005; 71(1): 66-72.
- Valencia Sandoval, K., Brambila Paz, J. D., y Mora Flores, J. S. (2010). Evaluación del nopal verdura como alimento funcional mediante opciones reales. *Agrociencia*, 955-953.
- Velasco, J., Dobarganes, C., y Márquez-Ruiz, G. (2003). Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas y Aceites*, 54, 304–314.
- Villamizar, L. y F. Martínez. (2008). Determinación de las condiciones de microencapsulación de un baculovirus entomopatígeno mediante coacervación con Eudragit S100®. *Revista Vitae* 15(1): 123-131.

- Vlahof, G., Chepkwony, P.K., Ndalut, P.K., (2002). <sup>13</sup>C NMR characterization of triacylglycerols of *Moringa oleifera* seed oil: an Oleic-Vaccenic acid oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 970–975.
- Werman MJ y Neeman I. (1987). Avocado oil production and chemical characteristics. *J Am Oil Chem Soc*, 64(2):229-232.
- Yáñez-Fernández C., Salazar Montoya J.A., Chaires Martínez L., Hernández J., Márquez Robles M. y Ramos Ramírez E.G. (2005). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo alimentario*: 24-26
- Yañez, J., J. Salazar, L. Chaires, J. Jimenez, M. Marquez y E. Ramos. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva* 21: 313-319.
- Young, S. L., Salda, X., y Rosenberg, M. (1993). Microencapsulating properties of whey proteins. 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science*, 76, 2868–2877.
- Young, S., X. Sarda y M. Rosenberg. (1992). Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. *Journal Dairy Science* 76(10): 2878-2885.
- Zong, M., Y. Deng, B. Cristopher, N. Hua, X. Zai y Z. Li. (2009). Microencapsulation of tamoxifen: Application to cotton fabric. *Colloids and Surfaces. Biointerfaces* 69(1): 85–9.