



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICA, BROMATOLÓGICAS  
Y ANTIOXIDANTES DE PULPA DE MANGO MICROENCAPSULADA POR EL  
MÉTODO SECADO POR ASPERSIÓN**

**ENILSON JOSÉ PAJARO CASTRO**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS  
QUÍMICA FARMACÉUTICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C, 2017**



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICA, BROMATOLÓGICAS  
Y ANTIOXIDANTES DE PULPA DE MANGO MICROENCAPSULADA POR EL  
MÉTODO SECADO POR ASPERSIÓN**

**ENILSON JOSÉ PAJARO CASTRO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Químico Farmacéutico.**

**MILADYS TORRENEGRA ALARCON, Ing. de Alimentos, MsC  
Directora del Trabajo**

**MARIA DEL ROSARIO OSORIO FORTICH, Q.F., M. Sc.  
Codirectores del Trabajo**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS  
QUÍMICA FARMACÉUTICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C., 2017**



**Nota de Aprobación del Jurado:**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**CARTAGENA DE INDIAS, 2017**



***La Universidad de Cartagena ni el jurado examinador, se hacen responsables de los conceptos emitidos en el presente trabajo.***

**CARTAGENA DE INDIAS, 2017**



## AGRADECIMIENTOS

***A Dios por brindarme la oportunidad de obtener otro triunfo personal, darme salud, sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.***

***A mi familia en especial a mis padres Nilson Pájaro, Zoila Castro, mi hermano Erneis Pájaro Castro y a mi tía Nerlis Pájaro Castro por ser siempre incondicionales y darme siempre su apoyo en todo momento y ante toda adversidad.***

***A la ilustre Universidad de Cartagena por darme la oportunidad de egresar de la prestigiosa facultad de ciencias farmacéuticas, de la cual me siento absolutamente agradecido y orgulloso.***

***A mis tutores Miladys Torrenegra Alarcón y María Del Rosario Osorio Fortich por todo su apoyo, dedicación y especial atención.***

***A todos aquellos docentes que participaron activamente en la adquisición y transmisión de mi conocimiento, al igual que todo el personal de la facultad que fueron gestores y que permitieron el desarrollo de mi formación académica y personal en las mejores condiciones posibles.***

***A Glicerio León Méndez por su incondicional apoyo y además a todos mis amigos y compañeros tanto del programa de Química Farmacéutica, como de la universidad en general que hicieron parte de mi diario vivir y que contribuyeron a una estadía más amena en la facultad.***



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS.....	11
RESUMEN DEL PROYECTO.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. MARCO TEORICO.....	15
2.1. Propiedades fisicoquímicas y bromatológicas de los alimentos.....	15
2.2. Métodos de conservación de los alimentos .....	15
2.2.1 Conservación por frío .....	15
2.2.2 Conservación por calor.....	16
2.2.3 Métodos químicos .....	16
2.2.4 Otros métodos de conservación de alimentos.....	17
2.3. Microencapsulación .....	17
2.3.1 Ventajas de la microencapsulación.....	20
2.3.2 Desventajas de la microencapsulación .....	20
2.3.3 Sustancias que se encapsulan.....	22
2.3.4 Materalles de pared o recubrimiento.....	22
2.3.5 Maltodextrina.....	23
2.4. Mecanismos de liberación de la sustancia encapsulada.....	24
2.4.1 Disolución o fusión .....	24
2.4.2 Liberación física .....	24
2.4.3 Difusión .....	24
2.5. Caracterización de las microcápsulas.....	24
2.6. Procesos para preparar microcápsulas .....	25
2.6.1 Polimerización interfacial.....	25
2.6.2 Inclusión molecular .....	26
2.6.3 Coacervación .....	26
2.6.4 Difusión .....	27
2.6.5 Atrapamiento en liposomas.....	27



2.7. Microencapsulación mediante secado por atomización .....	28
2.7.1 Ventajas del secado por atomización.....	31
2.7.2 Desventajas del secado por atomización .....	31
2.8. Etapas del proceso de secado por atomización .....	32
2.8.1 Atomización.....	32
2.8.2 Mezcla del aerosol-aire y evaporación de la humedad del producto....	33
2.8.3 Separación del producto seco del aire de salida.....	34
2.9. Principales variables del proceso de secado por atomización .....	35
2.9.1 Caudal del líquido de entrada .....	35
2.9.2 Caudal de aire de atomización.....	35
2.9.3 Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización (Tinlet).....	36
2.9.4 Caudal de aire de secado .....	36
2.10. Evaluación sensorial.....	36
2.11. Determinación de la actividad antioxidante .....	37
2.11.1 Medición de la actividad antioxidante.....	37
2.11.2 Ensayo del DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo) .....	38
2.11.3 Ensayo ABTS●+ (Acido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6- sulfónico) .....	38
2.11.4 Contenido de fenoles totales por el reactivo de Folin-Ciocalteu (F-C)	39
2.12. Mango ( <i>Mangífera indica</i> ).....	40
2.13. Estado del arte .....	42
3. METODOLOGIA.....	45
3.1 Etapa 1. Obtención de la pulpa del mango variedad chancleta ( <i>Mangifera indica</i> L). .....	45
3.2 Etapa 2. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de la pulpa de mango variedad tipo chancleta .....	45
3.3 Etapa 3. Determinación de la actividad antioxidante y el contenido de fenoles. ....	48
3.4 Etapa 4. Microencapsulación por spray drying de la pulpa de mango variedad tipo chancleta utilizando maltodextrina como agente encapsulante....	50
3.5 Etapa 5. Caracterización de las microcápsulas .....	50



3.6 Etapa 6. Análisis sensorial.....	50
3.7 Etapa 7. Análisis Estadístico .....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1 Caracterización fisicoquímica y bromatológica de las Microcápsulas y de la pulpa de mango .....	52
4.2 Contenido de minerales de las Microcápsulas y de la pulpa de mango .....	55
4.3 Actividad antioxidante de las microcápsulas y de la pulpa de mango.....	56
4.4 Tamaño de partícula de microcápsulas .....	57
4.5 Rehidratación de las microcápsulas.....	58
4.6 Análisis sensorial de la pulpa de mango rehidratada .....	59
5. CONCLUSIONES.....	60
6.RECOMENDACIONES .....	61
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
8. ANEXOS.....	71



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Estructura general de una microcápsula
- Figura 2.** Imágenes de microcápsulas de diferentes diámetros con un mismo volumen de material activo y de material de cubierta
- Figura 3.** Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas
- Figura 4.** Estructura química de la maltodextrina ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> (Parzanese M, 2014)
- Figura 5.** Sistema de secado por atomización típico
- Figura 6.** Tipos de flujo. Por orden: flujo co-corriente, contracorriente y combinado.
- Figura 7.** Esquema de un ciclón utilizado para la separación de partículas.
- Figura 8.** Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante
- Figura 9.** Estructura del ABTS•+ antes y después de la reacción con el antioxidante
- Figura 10** Reacción de transferencia de electrones con el reactivo de Folin-Ciocalteu
- Figura 11.** Tamaño de partícula de microcápsulas de mango (*M. indica* L) variedad chancleta.
- Figura 12.** Análisis sensorial de la pulpa de mango (*M. indica* L) variedad chancleta rehidratada



## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Materiales empleados en la encapsulación

**Tabla 2.** Características de algunos materiales de recubrimiento usados en la microencapsulación

**Tabla 3.** Rango de tamaños de gotas obtenidos en el atomizado

**Tabla 4.** Clasificación de las pruebas sensoriales

**Tabla 5.** Composición nutricional del mango

**Tabla 6.** Caracterización fisicoquímica y bromatológica de las Microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedades chancleta.

**Tabla 7.** Contenido de minerales de las microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedades chancleta.

**Tabla 8.** Actividad antioxidante de las microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedad chancleta.



## LISTA DE ABREVIATURAS

Kcal: Kilocalorias

mg: Miligramos

G: Gramos

µm: Micrometro

cm<sup>2</sup>: Centímetro cuadrado

mL: Mililitros

°C: Grados Celsius o grados centígrados

ufc: Unidad formadora de Colonia

HCl: Ácido Clorhídrico

Ca: Calcio

Fe: Hierro

P: Fósforo

pH: Potencial de hidrogeniones

AOAC: Association of analytical communities

HECASE: Herbario Regional Catatumbo-Sarare

NA: No aplica

AG: Acido gálico

IC50: Concentración inhibitoria 50

DE: Desviación estándar



## RESUMEN

Es de gran importancia para la industria alimentaria y el comercio la obtención de polvos a base de frutas o verduras por medio de técnicas de secado que permitan conservar sus propiedades nutricionales, organolépticas y que además extiendan el tiempo de vida de anaquel ofreciendo nuevas posibilidades de comercialización además del fruto fresco. Estudios realizados han permitido optimizar las técnicas de secado obteniendo productos libres de agua en más de un 80% con un alto valor comercial.

Para este estudio se recolectaron los frutos en el municipio de Turbana - Bolívar. Las pulpas se obtuvieron mediante refinadora de malla 1.5 mm de abertura. Se homogenizaron 300 g de maltodextrina (agente encapsulante) con 700 g de pulpa, esta mezcla fue alimentada al equipo de secado. Los polvos obtenidos se caracterizaron morfológicamente con un microscopio obteniendo un tamaño de partícula  $5,92 \pm 2,18 \mu\text{m}$ . La determinación de minerales fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica. La actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales fue determinado por tres metodologías: fenoles totales, (DPPH•) y (ABTS•+).

La presente investigación tuvo como evaluar las propiedades fisicoquímica, bromatológicas y antioxidantes de pulpa de mango microencapsulada por el método secado por aspersión, para preservarla sin conservantes y diseñar una bebida de preparación instantánea de mango natural.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los países tropicales y subtropicales son productores de una gran variedad de frutas que por sus características exóticas de aromas, sabores y contenidos nutricionales son muy apreciadas por la industria alimentaria para el desarrollo de nuevas técnicas, a través de las cuales se puedan obtener productos sanos de excelente calidad, con características sensoriales variadas y fácil uso. Sin embargo, la mayoría de estas frutas dependen de la estacionalidad en las cosechas y alta perecibilidad, ya que por sus contenidos de agua son susceptibles al deterioro por reacciones enzimáticas, químicas y acción microbiana (Castro *et al*, 2011; Pennington *et al*, 2003).

Dentro de este amplio grupo se encuentran los mangos variedad chancleta, cuya producción nacional alcanza volúmenes considerables en periodos de cosechas, sin embargo, se pierden por falta de asistencia técnica, debido a dificultades para el transporte e inadecuado manejo postcosecha, generando grandes pérdidas económicas. (Quintero *et al*, 2013; Ribeiro *et al*, 2010).

El secado de frutas es una técnica cada vez más utilizada, que busca reducir el contenido de agua de productos con humedad superior al 80%, y así lograr prolongar su vida útil. Sin embargo, las técnicas de deshidratación son muy variadas, y la calidad de los productos deshidratados depende fundamentalmente del método de secado empleado. Los polvos obtenidos por aspersion representan una alternativa viable para conseguir productos de alto valor comercial debido a la reducción del peso, facilidad de conservación, calidad del producto en general y por la diversidad en su uso (Aguiar *et al*, 2012; Esquivel-González *et al*, 2015). La formulación en polvo facilita el transporte y preserva el producto de la degradación bacteriana al disminuir drásticamente la actividad de agua incrementando así, el tiempo de vida de anaquel. Este proceso se presenta como una opción, dado que es deseable que se conserven la mayoría de las propiedades organolépticas y nutricionales del concentrado (Ersus *et al*, 2007; López, 2010).



Actualmente los alimentos en polvo elaborados a partir de frutas y verduras con buenas propiedades nutritivas y de hidratación son de interés a nivel industrial y comercial, por lo cual el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímica, bromatológicas y antioxidantes de pulpa de mango microencapsulada por el método de secado por aspersion.



## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Propiedades fisicoquímicas y bromatológicas de los alimentos

Propiedades físicas: las podemos ver y medir sin alterar su composición. En el caso de los alimentos estos pueden ser modificados según la necesidad de cada grupo o persona, esto quiere decir que en al momento de picarlos, cortarlos, rebanarlos estos ya sufren cambios físicos. Ejemplo: Color, olor, forma, masa, solubilidad, densidad, punto de fusión, etc.

Propiedades químicas: las podemos observar cuando sufren cambios en su composición. Los alimentos tienen cambios en su composición química cuando los cocinamos, freímos, hervimos, aquí también se incluye el momento cuando nuestro organismo comienza la digestión. Ejemplo: La oxidación de hierro, la fermentación, la putrefacción, la digestión de los alimentos, la producción de una sustancia nueva, etc.

Propiedades bromatológicas: son las características cualitativa y cuantitativa de los alimentos que pueden ser determinadas mediante la aplicación de técnicas que permiten saber la composición de estos como la determinación del contenido de minerales por espectrofotometría de absorción atómica. Permitiendo así saber el valor nutricional de los alimentos

### 2.2 Métodos de conservación de los alimentos

#### 2.2.1 Conservación por frío

El tratamiento por el frío permite disminuir, incluso detener, la proliferación y la acción de los microorganismos, permitiendo así conservar el alimento durante un periodo más o menos largo como por ejemplo: refrigeración, congelación y ultracongelación.

- **Refrigeración:** Conservar por refrigeración a los alimentos, involucra el uso de bajas temperaturas como medio de eliminar o retardar la actividad de los agentes degenerativos (microorganismos y enzimas). El grado de temperatura baja,



requerido para la conservación adecuada, varía con el tipo de producto almacenado, y con el período de tiempo en almacenaje. (Guevara *et al*, 2008)

### 2.2.2 Conservación por calor

La aplicación de calor es un método basado en el empleo de altas temperaturas que produzcan la muerte de bacterias y otros microorganismos. Como por ejemplo: Pasteurización, Esterilización

- **Pasteurización:** consiste en la aplicación de calor durante un tiempo determinado (que variará en función del alimento) a temperaturas que rondan los 80°C. Así se inactivan los gérmenes capaces de producir enfermedad. Lo que no se inactiva son sus esporas, por eso la leche una vez abierta se debe conservar en el refrigerador, y si no es consumida en un plazo de 3-4 días, hay que desecharla. No hay pérdida de nutrientes en este método de conservación. El tratamiento con calor más leve que la esterilización, se aplica para alimentos que tienen una alta acidez. ( Guevara *et al*, 2008)
- **Esterilización:** este proceso sí elimina los gérmenes y las esporas. Tratamiento con calor, se aplica al alimento temperaturas que rondan los 115 °C. es muy riguroso y se aplica a alimentos que tienen un pH mayor a 4.5, generalmente el microorganismo problema es el *Clostridium botulinum*. El producto es estable por un período indefinido de tiempo. Todos los microorganismos han sido prácticamente destruidos (esterilización comercial), Es imprescindible evitar la recontaminación del producto ( Guevara *et al*, 2008)

### ➤ 2.2.3 Métodos químicos

Están basados en la adición de sustancias que actúan modificando químicamente el producto, por ejemplo disminuyendo el pH

- **Salazón:** se basa en la adición de sal más o menos abundante, de tal forma que la sal capta el agua provocando la deshidratación del alimento. Se evita de esta manera la proliferación de microorganismos.
- **Acidificación:** es un método basado en la reducción del PH del alimento que impide el desarrollo de microorganismos. Ejemplo, el vinagre.



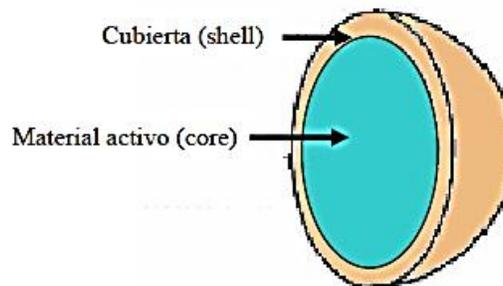
## 2.2.4 Otros métodos de conservación de alimentos

- **Liofilización:** La liofilización es un proceso que consta de tres etapas: La congelación, la sublimación y la desorción. Al desecar un producto previamente congelado, se logra la sublimación del hielo bajo vacío. Es por lo tanto el paso directo del hielo (sólido) a gas (vapor), sin que en ningún momento aparezca el agua en su estado líquido. (Guevara *et al*, 2008)
- **Envasado al vacío:** este método se utiliza para extraer el aire que rodea al alimento. Se introducen en bolsas de plástico destinadas para ese fin y se extrae la mayor cantidad de aire posible. Además el alimento, posteriormente, puede ser refrigerado o congelado.

## 2.3 Microencapsulación

La microencapsulación es el proceso por el cual partículas individuales o gotas de un material activo (core) se rodean por una cubierta (shell) para producir capsulas en el rango de micras a milímetros, conocidas como microcápsulas. Cuando las partículas poseen un tamaño inferior a 1  $\mu\text{m}$ , el producto resultante del proceso de encapsulación recibe la denominación de “nanocápsulas” (Parra-Huertas, 2010; Esquivel-González *et al.*, 2015).

La microcápsula más simple posee una estructura que está compuesta por dos elementos, el material activo y una delgada pared que envuelve al primero (Figura 1).

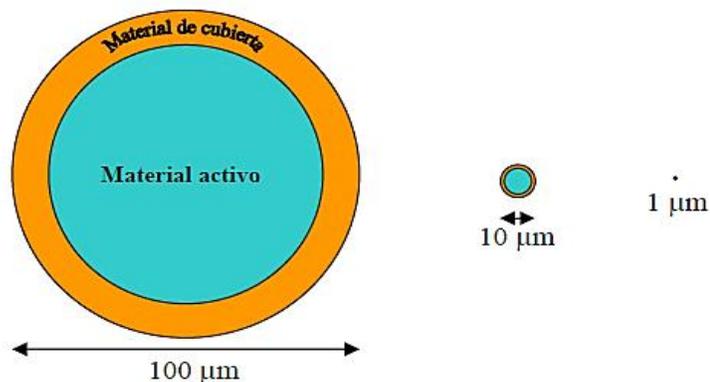


**Figura 1.** Estructura general de una microcápsula

Si consideramos un mismo volumen de material, el área superficial que se consigue con nanocápsulas esféricas en comparación con microcápsulas



esféricas es mucho mayor. Así, por ejemplo, con esferas de  $100\ \mu\text{m}$  se consiguen áreas de  $60\ \text{cm}^2/\text{mL}$ , mientras que con esferas de  $1\ \mu\text{m}$  de diámetro se consiguen áreas de  $6.000\ \text{cm}^2/\text{mL}$ , es decir, 100 veces mayores (Figura 2). Si consideramos la estructura de una microcápsula simple, y queremos utilizar un mismo volumen de material activo y de material de cubierta la relación de diámetros (interno vs externo) debe ser de 0.794. Esto significa que una microcápsula de  $100\ \mu\text{m}$  tendrá un espesor de  $10.3\ \mu\text{m}$ , mientras que una microcápsula de  $1\ \mu\text{m}$  la tendrá de  $0.1\ \mu\text{m}$ . Así, la “protección” del material activo será más efectivo en las partículas grandes (Parra-Huertas, 2010; Esquivel-González *et al.*, 2015).



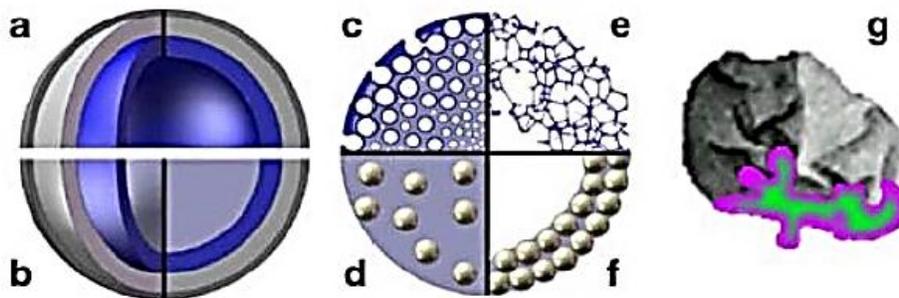
**Figura 2.** Imágenes de microcápsulas de diferentes diámetros con un mismo volumen de material activo y de material de cubierta

Existen diferentes tipos de microcápsulas más complejas, que según su estructura las podemos clasificar como: *microcápsulas de sistema reservorio o capsular* y *microcápsulas en sistema matricial*:

- Sistema reservorio o capsular: el material activo se encuentra incluido en una especie de reservorio, que puede ser de naturaleza líquida o sólida, el cual se haya envuelto por una fina película del material de recubrimiento. En la figura 3 puede observarse el caso de una partícula con el interior lleno (figura 3a), o bien con el interior parcialmente vacío creando una microcápsula hueca (figura 3b).
- Sistema matricial: el material activo se encuentra altamente disperso en la matriz polimérica. Podemos tener una estructura en forma de espuma en donde el material activo se encuentre repartido en toda la microcápsula y la cubierta o bien



permanece intacta (figura 3c) o bien en una estructura abierta en forma de red (figura 3e). También podemos encontrar microcápsulas en las que el material activo está disperso en la matriz que sirve como cubierta, tanto como esfera llena (figura 3d) como en la periferia (figura 3f). Un ejemplo de microcápsulas tipo 3d sería el uso de nanopartículas como material activo. La forma de las microcápsulas podrá ser esférica o bien presentar una forma irregular (figura 3g).



**Figura 3.** Morfología de los diferentes tipos de microcápsulas (Vehring, 2008)

Dependiendo de las características fisicoquímicas del material activo, de la composición de la pared, y de la técnica usada del microencapsulación, se podrán obtener los diversos tipos de partículas explicados anteriormente.

El propósito general de la microencapsulación es producir partículas que controlan el transporte de masa, siendo la pared de la microcápsula la encargada de controlar la difusión del componente activo de la microcápsula (Vilstrup, 2004; Vehring, 2008; Parra-Huertas, 2010; Esquivel-González *et al.*, 2015).

La aplicación de la microencapsulación alcanza campos muy variados:

- ❖ En la agricultura se utiliza al formular algunos insecticidas, fungicidas y en los fertilizantes de cesión lenta.
- ❖ En la industria alimentaria las microcápsulas se emplean para mantener la calidad de sustancias grasas, aceites, colorantes, saborizantes y aromatizantes. Estas liberan el material que contienen durante la preparación de las comidas o tras la ingestión.

En el caso de microencapsulado de componentes alimenticios la función del encapsulado ofrece muy diferentes posibilidades:



- ❖ Proteger los componentes alimenticios como harinas, vitaminas, o sales del oxígeno, el agua y la luz.
- ❖ Mejorar el manejo de líquidos para convertirlos en polvos libres para que se puedan incorporar en otras comidas.
- ❖ Aislar durante el almacenaje ciertos componentes específicos de alimentos de otros componentes reactivos.
- ❖ En cosmética y perfumería, es también frecuente su uso. Microcápsulas con sustancias olorosas liberan el perfume al frotar suavemente tras su aplicación.
- ❖ En farmacia reducen el efecto directo irritante causado por algunos medicamentos en la mucosa gástrica. Consiguen una liberación sostenida o controlada del principio activo a partir de la forma farmacéutica, y también que la liberación se produzca a modo de pulsos o a un determinado pH.

### **2.3.1 Ventajas de la microencapsulación**

- ❖ 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).

### **2.3.2 Desventajas de la microencapsulación**

- ❖ En el proceso de microencapsulación se pierde una fracción importante de la sustancia de interés que forma el centro activo.



- ❖ Inestabilidad de las proteínas frente a la microencapsulación.
- ❖ Costos de equipamiento y dificultad de llevar a cabo algunos procesos en continuo.
- ❖ Se debe continuar investigando y desarrollando nuevos métodos de encapsulación así como formularse materiales de pared que garanticen las condiciones de protección requerida por las distintas sustancias encapsuladas. (Parzanese M, 2014)

### **2.3.3 Sustancias que se encapsulan**

Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante (Yañez et al., 2002); su comienzo en los productos de microencapsulación se inició en 1950 en las investigaciones dentro de la presión-sensitiva de cubierta para la elaboración de papel destinado a copias (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas (Palzer, 2009). A continuación se presentan algunas de ellas: perfumes, fertilizantes, precursores en impresión (Madene, Scher y Desobry, 2006), aceite de limón, fármacos (Muthuselvi y Dhathathreyan, 2006), lípidos, sabores volátiles (Fuchs et al., 2006; Murúa, Beristain y Martínez, 2009), conservación de tejidos (Rai et al., 2009), probióticos (Champagne y Fustier, 2007), prebióticos, nutraceúticos (Ferreira, Rocha y Coelho, 2007; Sozer y Kokini, 2009; Sultana et al., 2003; Bastos, Araujo y Leao, 2009), semillas de frutas como banano, uvas, guayaba, papaya, manzana, mora, granadilla y semillas de cítricos también han sido encapsuladas entre otras sustancias (Rai et al., 2009)

### **2.3.4 Materiales de pared o recubrimiento**

Cuando se diseña un proceso de microencapsulación el primer paso es la elección apropiada del material de recubrimiento.



**Tabla 1.** Materiales empleados en la encapsulación (Villena et al., 2009).

Tipo de cobertura	Cobertura específica
Gomas	Agar, alginato de sodio, carragenina, goma arábica
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz ,dextrina
Celulosas	Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, carboximetil-celulosa
Lípidos	Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos,

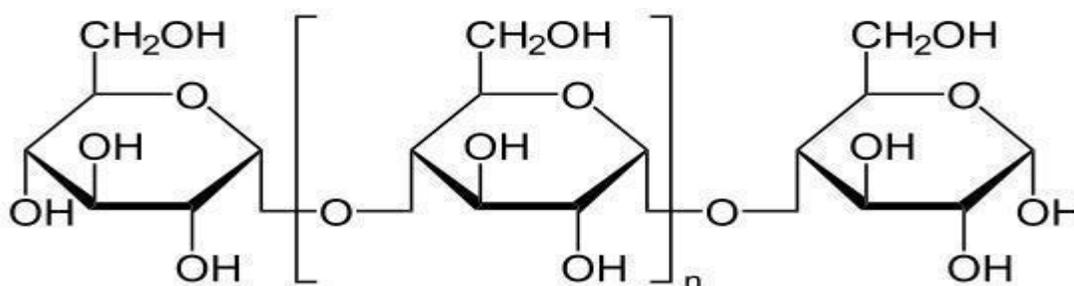
Esto será determinante al momento de evaluar la liberación de la sustancia encapsulada ya que dependerá de la permeabilidad que presente el recubrimiento. La elección se hace en base a una amplia variedad de polímeros sintéticos y naturales, los cuales pueden mezclarse a fin de obtener propiedades de barrera y mecanismos de liberación específicos. Además de ello el recubrimiento deberá presentar ciertas características que dependerán del tipo de sustancia a microencapsular, tipo de proceso de microencapsulación al que será expuesto y destino final de las microcápsulas obtenidas. Pueden mencionarse algunas propiedades que debería tener un material ideal, destinado a ser usado como recubrimiento en un proceso de microencapsulación en alimentos:

- ❖ Baja viscosidad a altas concentraciones.
- ❖ Baja capacidad de absorción de la humedad atmosférica a fin de evitar su aglomeración y facilitar su manipulación.
- ❖ Capacidad de estabilizar en una emulsión el material central.
- ❖ No reaccionar con el material central y ser insoluble en él.
- ❖ Ser soluble en la matriz donde se adicionará finalmente.
- ❖ Proporcionar máxima protección a la sustancia o principio activo que encierra.
- ❖ Permitir la liberación completa de solventes u otros materiales usados durante el proceso de encapsulación. (Parzanese M, 2014)



### 2.3.5 Maltodextrina

La maltodextrina es un polímero formado por unidades de D-glucosa unidas mediante enlaces glicosídicos  $\alpha$  (1-4) y  $\alpha$  (1-6). Tiene buena solubilidad y bajo poder edulcorante, se obtiene por hidrólisis parcial del almidón, normalmente de maíz, aunque también puede ser de patata o trigo.



**Figura 4.** Estructura química de la maltodextrina ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> (Parzanese M, 2014)

**Tabla 2.** Características de algunos materiales de recubrimiento usados en la microencapsulación (Madene, A, 2006).

Material de recubrimiento	Característica de interés
Maltodextrina	Formador de película
Sólidos de jarabe de maíz	Formador de película
Almidón modificado	Muy buen emulsionante
Goma arábica	Emulsionante, formador de película
Celulosa modificada	Formador de película
Gelatina	Emulsionante, formador de película
Ciclodextrina	Emulsionante, encapsulante
Lecitina	Emulsionante
Proteína de suero	Buen emulsionante
Grasa hidrogenada	Barrera al oxígeno y humedad



## **2.4. Mecanismos de liberación de la sustancia encapsulada**

Es de sumo interés que el material formador de pared o recubrimiento permita el escape de la sustancia encapsulada o centro activo a un tiempo determinado, mediante algún mecanismo de liberación. Estos pueden ser de los siguientes tipos: Mecanismos de liberación de la sustancia encapsulada Es de sumo interés que el material formador de pared o recubrimiento permita el escape de la sustancia encapsulada o centro activo a un tiempo determinado, mediante algún mecanismo de liberación. Estos pueden ser de los siguientes tipos:

### **2.4.1 Disolución o fusión**

La integridad de la cápsula se destruye por acción del calor o por disolución en un solvente adecuado. Los recubrimientos de materiales hidrosolubles se disuelven fácilmente con el aumento de la humedad, por adición de agentes químicos o de sales. La acción del calor se usa para aquellos recubrimientos a base de lípidos (bajo punto de fusión), que funden y liberan el centro activo.

### **2.4.2 Liberación física**

Consiste en la rotura del material de pared por acción de fuerzas externas, como presión o fricción. La masticación es el principal mecanismo de liberación de este tipo, aunque sucede también durante el mezclado de las materias primas.

### **2.4.3 Difusión**

Este proceso es regido por el gradiente de concentración y por las fuerzas de atracción intermoleculares (fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, etc.), grado de entrecruzamiento y cristalinidad. Asimismo está controlado por la solubilidad y permeabilidad del material central en el material de pared. (Parzanese M, 2014)

## **2.5 Caracterización de las microcápsulas**

Las microcápsulas deben ser caracterizadas y controladas de acuerdo con unos ensayos que aseguren su calidad y homogeneidad, así como su comportamiento en la liberación del material activo.

Ensayos característicos que se suelen realizar a las microcápsulas son:



- ❖ Características morfológicas, tamaño de partícula, estructura interna, densidad.
- ❖ Rendimiento de producción.
- ❖ Eficacia de la encapsulación y contenido en material activo.
- ❖ Estudio de liberación del material activo.
- ❖ Estado físico e interacciones polímero-material activo.

## 2.6 Procesos para preparar microcápsulas

Existen diversos métodos para la producción de microcápsulas. En general, estos métodos se pueden dividir en tres grupos (Yáñez *et al.*, 2002; Martín *et al.*, 2009; Parra-Huertas, 2010; Esquivel-González *et al.*, 2015)

- ❖ Procesos físicos: secado por aspersion.
- ❖ Procesos químicos: polimerización interfacial e inclusión molecular.
- ❖ Procesos fisicoquímicos: coacervación, liposomas y gelificación iónica.

### 2.6.1 Polimerización interfacial

En este proceso se produce la polimerización de un monómero en la interface de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana, que dará lugar a la pared de la microcápsulas. Este proceso tiene lugar en tres pasos:

1. Dispersión de una solución acuosa de un reactante soluble en agua, en una fase orgánica para producir una emulsión de agua en aceite
2. Formación de una membrana polimérica en la superficie de las gotas de agua, iniciada por la adición de un complejo soluble en aceite a la emulsión anterior.
3. Separación de las microcápsulas de la fase orgánica y su transferencia en agua para dar una suspensión acuosa. La separación de las microcápsulas se puede llevar a cabo por centrifugación.

La selección del método de encapsulación está en función del: tamaño medio de la partícula requerida, de las propiedades físicas del agente encapsulante, de la sustancia a encapsular, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto, del mecanismo de liberación deseado y del costo (Villena *et al.*, 2009).



### 2.6.2 Inclusión molecular

Esta técnica es definida como el resultado de interacciones entre componentes en los cuales una pequeña molécula se ajusta dentro de otra y es rodeada por la forma circular de la otra molécula que es el agente encapsulante, en este caso es la ciclodextrina. A través de este proceso se pueden proteger sabores y otros ingredientes sensibles al calor que son adicionados en alimentos, aceite de ajo, cebolla y vitaminas A, E, K (Madene, Scher y Desobry, 2006).

### 2.6.3 Coacervación

Consiste en un soluto polimérico separado en forma de pequeñas gotas líquidas, que constituye el coacervado. La deposición de este coacervado alrededor de las partículas insolubles dispersas en un líquido forma cápsulas incipientes, que por una gelificación apropiada da las cápsulas finales (Madene, Scher y Desobry, 2006). Es un fenómeno que se presenta en soluciones coloidales y se considera como el método original de encapsulación.

Las estrategias para inducir la coacervación dependen principalmente de las características fisicoquímicas del polímero y del centro a recubrir. Durante la coacervación, la separación de fases es inducida por la adición lenta de un “no-solvente” sobre una solución del polímero formador de cubierta, conteniendo suspendido el material que va a encapsularse. Se entiende por “no-solvente” aquel disolvente que es miscible con el disolvente del polímero y en el cual el polímero es insoluble. A medida que se adiciona el no-solvente se provoca la insolubilización del polímero, el cual, a su vez se va depositando alrededor de las partículas presentes en suspensión. Al final del proceso, se añade un volumen elevado del no-solvente con la finalidad de endurecer las microcápsulas (Villamizar y Martínez, 2008).

Generalmente, el material central utilizado en la coacervación debe ser compatible con el polímero del recipiente y ser insoluble (o apenas insoluble) en el medio de coacervación. Esta técnica puede ser simple o compleja. La técnica simple involucra solamente un tipo de polímero con la adición de agentes fuertemente hidrofílicos a la solución coloidal. La compleja se caracteriza por ser altamente



inestable a agentes químicos, como glutaraldehído (Madene, Scher y Desobry, 2006).

Para la encapsulación este proceso ha sido extensivamente utilizado para la producción de microcápsulas de alcohol polivinilo, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Maji et al., 2007).

#### **2.6.4 Gelificación iónica**

Existen dos técnicas de gelificación:

##### **❖ Gelificación externa**

En la gelificación externa, la sal de calcio soluble es agregada a una emulsión A/O. El tamaño de partícula no puede ser bien controlado y las partículas tienden a coagular en grandes masas antes de adquirir la consistencia apropiada. Además, el tamaño de partícula que se obtiene es grande entre 400 nm y 1 µm (Villena et al., 2009).

##### **❖ Gelificación interna**

La gelificación interna se basa en la liberación del ión calcio desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio. Esto se lleva a cabo por acidificación de un sistema aceite-ácido soluble, con participación en la fase acuosa del alginato. Esta técnica permite obtener partículas de un tamaño de aproximadamente 50 nm. De acuerdo con esta técnica, a la fase acuosa, generalmente formada por alginato y carbonato cálcico, se le adiciona la fase oleosa (aceite vegetal, Span 80 y ácido acético) (Villena et al., 2009).

#### **2.6.5 Atrapamiento en liposomas.**

La mejor forma para proteger compuestos hidrosolubles es por encapsulación en liposomas. Son una única o multicapa de fosfolípidos conteniendo cualquier componente lipofílico. Puede describirse como vesículas que se forman cuando películas de fosfolípidos son dispersadas en un medio acuoso, son selectivamente permeables a iones y se pueden formar cuando una solución acuosa de sustancia activa, es mezclada con la película del lípido; su aplicación en alimentos es posible



si solventes no orgánicos son utilizados, por ejemplo,(Schrooyen, Meer y Kruif, 2001).

Materiales hidrofóbicos e hidrofílicos pueden ser atrapados en liposomas que también pueden ser utilizados para la liberación de vacunas, enzimas y vitaminas del cuerpo; estos materiales consisten de una o más capas de lípidos no tóxicos y aceptables en alimentos; sin embargo, la permeabilidad, estabilidad, actividad superficial y afinidad pueden variar con el tamaño y composición del lípido. La liberación del principio activo se realiza por difusión a través de la bicapa, por destrucción de la vesícula, por medio de una concentración crítica de iones de calcio o por un cambio de pH (Yañez et al., 2002).

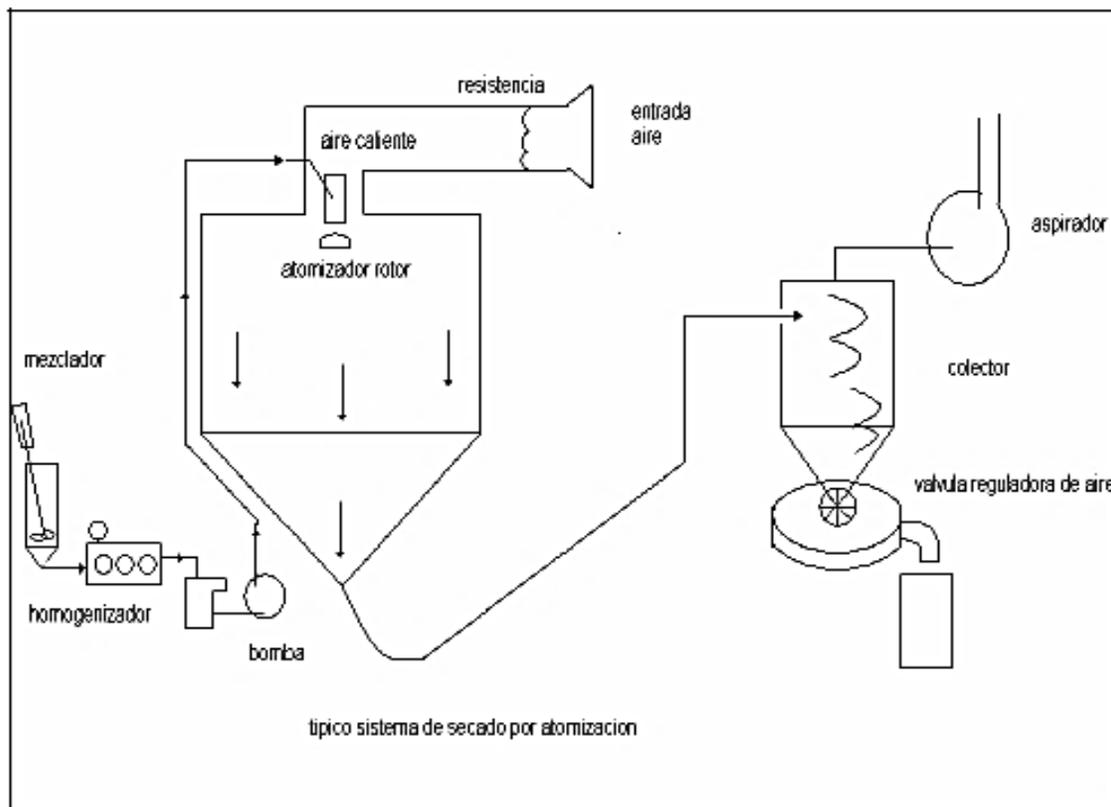
## **2.7 Microencapsulación mediante secado por atomización**

El principio del secado por aspersion es la producción de un polvo seco por medio de la atomización de una dispersión o 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 alimentación, quede atrapado dentro de una película de material encapsulante, formándose partículas de geometría esférica, con aspecto de esferillas huecas con un diámetro que puede estar entre los 20  $\mu\text{m}$  y hasta los 200  $\mu\text{m}$  (López 2010; Parra-Huertas, 2010; Esquivel-González *et al.*, 2015). El aire caliente introducido alcanza una temperatura que oscila entre 100 y 200°C, la evaporación se produce instantáneamente y los polvos secos solo están expuestos a temperaturas moderadas (típicamente entre 50 – 80°C), lo que evita la degradación del producto, ya que, a pesar del aporte de aire caliente, este sustrae calor por la vaporización del disolvente (Gharsallaoui *et al.*, 2007; López 2010).

La operación de secado por atomización consta de las siguientes etapas: Inicialmente, a) el líquido se introduce en el equipo por medio de una bomba y se atomiza, b) a continuación se elimina el disolvente por medio de una corriente de aire caliente, y c) como paso final los equipos utilizados en la industria presentan compartimentos de deposición de estas partículas para que al final sean recogidos en un vaso o recipiente cerrado. Los bajos tiempos de residencia que se emplean



y el efecto refrigerador debido a la evaporación, posibilita trabajar eficazmente con productos sensibles a la temperatura (Figura 4).



**Figura 5.** Sistema de secado por atomización típico

La microencapsulación por el método de secado por aspersión es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Wandrey *et al.*, 2010; Parra 2010). Este método es el más utilizado en la industria alimenticia ya que al momento de conservar los nutrientes resulta ser una de las tecnologías más económicas (Young *et al.*, 1993; García *et al.*, 2004; Murúa *et al.*, 2009; Parize *et al.*, 2008; Semyonov *et al.*, 2010; Parra 2010), disponibilidad de equipamientos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final y flexible (Favaro *et al.*, 2010, Parra 2010). La distribución del tamaño de las partículas obtenidas por este método es, en general, menor de 100  $\mu$  (Martin *et al.*,



2009). En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%. Además de ser un método rápido, continuo y relativamente sencillo con respecto a otros existentes, brinda principalmente la posibilidad de ser escalado hasta nivel de producción (López y Gómez 2008).

Dentro de los parámetros más importantes a controlar durante el secado por aspersión se encuentran: las temperaturas de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a secar, el tiempo de residencia y el acondicionamiento de la materia prima (García *et al.*, 2004; Parra 2010).

El proceso de secado por aspersión consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, formándose finas gotas sobre una corriente de gas calentado; cuando las pequeñas gotas del líquido entran en contacto con el gas, que está a mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento sobre el componente a encapsular (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En este método la sustancia a encapsular es rodeada por una matriz protectora, que normalmente es un polímero como la goma acacia, maltodextrina, almidón y carboximetilcelulosa (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Parize *et al.* 2008; Parra 2010).

Esta técnica se puede aplicar a materiales hidrosolubles (Favaro *et al.*, 2010), aceites de pescado fijado sobre una matriz sólida de carbohidratos (almidón modificado, maltodextrina, ciclodextrina), pigmentos naturales, almidón como material de soporte (Fuchs *et al.*, 2006), concentrado de células probióticas y leche en polvo. Para este último caso antes del secado por aspersión, la leche es usualmente calentada, evaporada y homogenizada, disminuyendo el tamaño del glóbulo graso e induciendo interacciones entre las proteínas y glóbulos grasos. Aunque varios tipos de atomizadores son utilizados en el secado por aspersión, los atomizadores de presión de boquilla y atomizadores de discos rotatorios son exclusivamente utilizados para el secado de leche por aspersión (Ye *et al.*, 2007).



### **2.7.1 ventajas del secado por atomización.**

- ❖ Control de los parámetros de calidad del producto así como especificaciones concretas.
- ❖ Los alimentos sensibles al calor, los productos biológicos, y los productos farmacéuticos se pueden secar a presión atmosférica y a bajas temperaturas. A veces, se emplea la atmósfera inerte.
- ❖ El secado por atomización permite la producción de grandes cantidades en la operación continua y con un equipo relativamente simple.
- ❖ El producto entra en contacto con las superficies del equipo en condiciones anhidras, simplificando así los problemas de la corrosión y de selección de materiales costoso en la construcción del equipo.
- ❖ Produce partículas relativamente uniformes, esféricas y con casi la misma proporción de compuestos que en la alimentación líquida.
- ❖ Puesto que la temperatura de funcionamiento del gas puede extenderse de 150 a 600 °C, la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos.

### **2.7.2 Desventajas del secado por atomización.**

- ❖ Falla si requiere un producto a granel de alta densidad.
- ❖ En general no es flexible. Una unidad diseñada para la atomización fina puede no poder producir un producto grueso, y viceversa.
- ❖ Para una capacidad dada, se necesita generalmente una evaporación mayor que con otros tipos de secadores.
- ❖ Hay una alta inversión inicial comparada a otros tipos de secadores continuos.
- ❖ La recuperación del producto y la eliminación del polvo aumenta el coste del secado.



## 2.8 Etapas del proceso de secado por atomización

El secado por atomización se divide en tres etapas las cuales son:

- ❖ Atomización
- ❖ Mezcla de aerosol-aire
- ❖ Evaporación de la humedad del producto

### 2.8.1 Atomización

La atomización es la operación más importante del proceso de secado, pudiendo emplearse diversas formas de energía para dispersar un líquido en gotas finas. El tipo de atomizador determina no sólo la energía requerida para formar el aerosol sino también el tamaño y la distribución de tamaño de las gotas y de su trayectoria y velocidad, así como el tamaño de partícula final. La predicción acertada del tamaño de la gotita permite controlar las características del polvo según lo deseado.

El tamaño de la gota establece la superficie de traspaso térmico disponible y así la tarifa de secado. La selección del tipo de atomizador depende de la naturaleza y de la cantidad de alimentación y de las características deseadas del producto secado. Cuanto más alta es la energía para la dispersión, más pequeñas son las gotitas generadas (Mujumdar, 1995).

La industria alimentaria utiliza normalmente tres tipos de atomizadores para el secado: ruedas giratorias, boquillas a presión de un fluido, y boquillas a presión de dos fluidos. En la tabla siguiente se comparan los rangos de tamaños de gota que se pueden obtener con cada uno de estos atomizadores.

**Tabla 3.** Rango de tamaños de gotas obtenidos en el atomizado.

Tipo de atomización	Tamaño de gota
Ruedas giratorias	1-600 $\mu\text{m}$
Boquillas a presión de un fluido	10-800 $\mu\text{m}$
Boquillas a presión de dos fluidos	5-300 $\mu\text{m}$



### 2.8.2 Mezcla del aerosol-aire y evaporación de la humedad del producto

Los equipos utilizados en la industria para el secado presentan un compartimiento al que llega el líquido atomizado por el pulverizador. Este compartimiento que tiene normalmente forma de cilindro es el encargado de llevar a cabo:

- ❖ El secado del producto eliminando el disolvente.
- ❖ El paso de la corriente de aire y partículas finas al siguiente compartimiento para la separación de las partículas secas.

La forma del cilindro de secado depende del tipo de atomizador empleado, ya que el ángulo del aerosol determina la trayectoria de las gotitas y por lo tanto el diámetro y la altura del compartimiento de secado (Snow, 2003). Un factor importante en el diseño de un secador por atomización es la manera en la que el atomizado se pone en contacto con el aire de secado, pues influye en el comportamiento de las gotas durante el secado y por tanto en las propiedades del producto seco. La mezcla es un aspecto importante y define el método de secado por atomización. Podemos distinguir tres posibilidades en el secado por atomización (figura 6).

- ❖ Flujo co-corriente
- ❖ Flujo contracorriente
- ❖ Flujo combinado

#### ❖ **Flujo co-corriente.**

El material se atomiza en la misma dirección con la que el flujo de aire caliente pasa por el aparato. Las gotas entran en contacto con el aire caliente cuando tienen el mayor contenido en humedad.

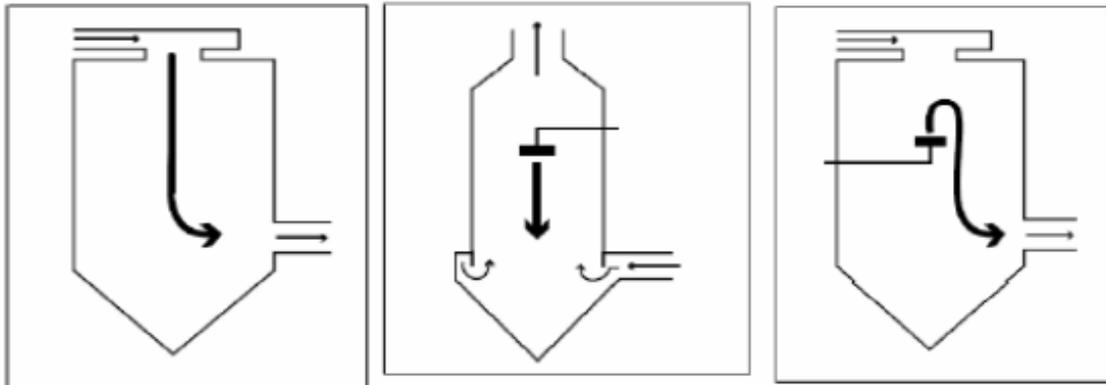
#### ❖ **Flujo contracorriente.**

El material se atomiza en dirección opuesta al flujo de aire caliente. En este caso el aire caliente va hacia arriba y el producto cae aumentando mucho su temperatura y eliminando la humedad residual. El método solo es válido para compuestos termoestables.



### ❖ Flujo combinado.

Se combinan las ventajas de ambos métodos de atomización. El producto se atomiza hacia arriba y solo permanece en la zona de aire caliente por un tiempo corto para eliminar la humedad residual. Entonces la gravedad lleva al producto a la zona más fría.



**Figura 6:** Tipos de flujo. Por orden: flujo co-corriente, contracorriente y combinado. (Miravet et al., 2009)

### 2.8.3 Separación del producto seco del aire de salida

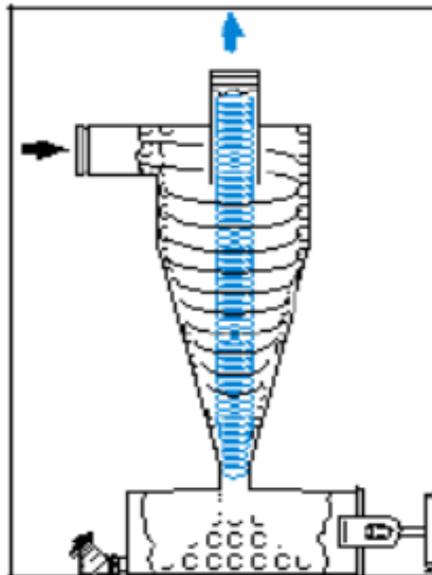
En esta fase se produce el paso de las partículas y el aire que las acompaña a través de un compartimiento con una forma característica denominado ciclón o venturi (figura 7). Dentro del ciclón la fuerza centrífuga se utiliza para mover las partículas hacia la pared y para separarlas del aire alrededor del eje. El aire y las partículas avanzan formando una espiral hacia abajo del venturi.

De acuerdo con las fuerzas de inercia las partículas se separan del aire al chocar con la pared del ciclón. Estos ciclones tienen un vaso de recogida en su parte inferior que recibe las partículas. Por la parte superior del ciclón sale el flujo de aire limpio que ya no contiene partículas de producto siguiendo un sentido ascendente.

Dos características se utilizan para definir el funcionamiento del ciclón. Son el diámetro crítico de la partícula (tamaño de partícula que se separa totalmente de la corriente del aire) y el diámetro de la partícula para el cual se alcanza 50% de



eficiencia. La separación de partículas se realiza en el rango de 5 a 100 micras. (Miravet et al., 2009)



**Figura 7:** Esquema de un ciclón utilizado para la separación de partículas. (Miravet et al., 2009)

## 2.9 Principales variables del proceso de secado por atomización

Las principales variables del proceso de secado por atomización son:

- ❖ Caudal del líquido de entrada.
- ❖ Caudal de aire de atomización.
- ❖ Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización (Tinlet).
- ❖ Caudal de aire de secado.

### 2.9.1 Caudal del líquido de entrada.

El caudal de entrada del líquido a atomizar al equipo de atomización se regula por medio de una bomba peristáltica, en el caso de una boquilla de dos fluidos. El equipo utilizado en la experimentación utiliza como escala de medida el porcentaje de funcionamiento máximo de la bomba. Este caudal afecta a la atomización.

### 2.9.2 Caudal de aire de atomización.

Este aire es suministrado por un compresor y el caudal se regula atendiendo a la lectura de un rotámetro que nos indicará el caudal de aire utilizado para el



atomizado. Este caudal de aire lo utiliza una boquilla de dos flujos y afecta a la atomización.

### **2.9.3 Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización (Tinlet).**

Esta temperatura se puede controlar mediante la resistencia eléctrica del equipo.

### **2.9.4 Caudal de aire de secado.**

El caudal de aire de secado indica el aire que entra en el cilindro de pulverización para realizar el secado. El caudal real depende de la pérdida de presión del conjunto del sistema.

Todas las condiciones anteriores van a influir sin lugar a dudas en las características del producto en polvo obtenido:

- ❖ Humedad final del polvo
- ❖ Rendimiento de producción
- ❖ Temperatura de salida
- ❖ Tamaño de partícula (Miravet et al., 2009)

## **2.10 Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial es una disciplina científica que permite definir, medir, analizar e interpretar las características de un producto, utilizando para este propósito los órganos de los sentidos bajo la consideración de que no existe ningún instrumento que pueda reproducir o remplazar la respuesta humana.

Surge como disciplina para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor, además, la evaluación sensorial no solamente se tiene en cuenta para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios existentes, sino también para realizar investigaciones en la elaboración e innovación de nuevos productos, en el aseguramiento de la calidad, su promoción y venta.

Existen tres tipos de pruebas sensoriales, las cuales se aplican de acuerdo al objetivo o aspecto que queremos evaluar en el alimento o preparación como se muestra en la tabla (Caez-Jaraba, 2012)



**Tabla 4.** Clasificación de las pruebas sensoriales.

Clasificación	Objetivo	Pregunta de interés	Tipo de prueba	Características de Panelistas
<b>Discriminatoria</b>	Determinar si dos productos son percibidos de manera diferente por el consumidor.	¿Existen diferencias entre los productos?	Analítica	Reclutados por agudeza sensorial, orientados al método usado, algunas veces entrenados.
<b>Descriptiva</b>	Determinar la naturaleza de las diferencias sensoriales.	¿En qué tipos de características específicas difieren los productos?	Analítica	Reclutados por agudeza sensorial y motivación, entrenados o altamente entrenados.
<b>Afectiva</b>	Aceptabilidad de consumo de un producto.	¿Qué productos gustan más y cuáles son los preferidos?	Hedónica	Reclutados por uso del producto, no entrenados.

## 2.11 Determinación de la actividad antioxidante

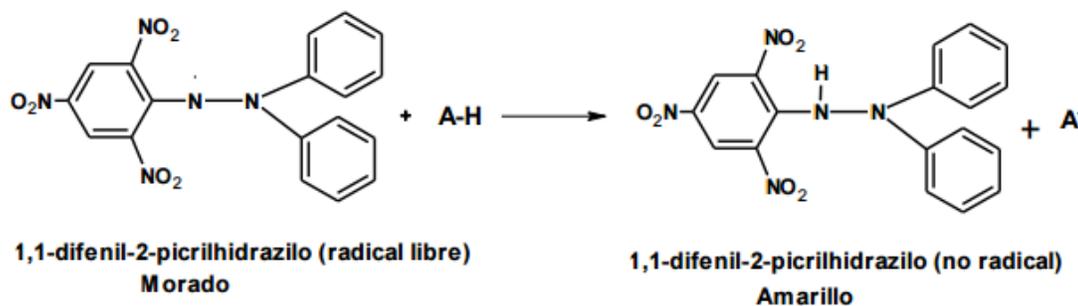
### 2.11.1 Medición de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante no puede ser medida directamente, pero puede determinarse por los efectos del compuesto antioxidante en un proceso de oxidación controlado. Según Clarkson, (1995), la medición de una muestra oxidante, pueden usarse intermediarios o productos finales para valorar la actividad antioxidante. La actividad antioxidante de una muestra no puede ser determinada basándose solo en un ensayo de prueba. En la práctica se realizan muchos modelos de test in vitro para evaluar la actividad antioxidante de la muestra de interés; sin embargo, es necesario considerar que los modelos presenten diferentes variaciones puede dificultar un poco la comparación de los resultados entre un método y otro. (Tovar, 2013)



### 2.11.2 Ensayo del DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo)

Este método fue propuesto por Blois (1958) en el cual se demostró por primera vez la capacidad del radical libre DPPH• para aceptar un átomo de hidrógeno (H•) proveniente de una molécula de cisteína. La molécula 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) es conocida como un radical libre estable debido a la deslocalización de un electrón desapareado sobre la molécula completa, por lo cual la molécula no se dimeriza, como es el caso de la mayoría de los radicales libres. La deslocalización del electrón también intensifica el color violeta intenso típico del radical, el cual absorbe en metanol a 517 nm. Cuando la solución de DPPH reacciona con el sustrato antioxidante que puede donar un átomo de hidrógeno como se muestra en la (figura 8), el color violeta se desvanece. El cambio de color es monitoreado espectrofotométricamente y es utilizado para la determinación de los parámetros para las propiedades antioxidantes. Después de aproximadamente tres décadas este ensayo comenzó a utilizarse rutinariamente para la caracterización de las propiedades antioxidantes. (Tovar, 2013)



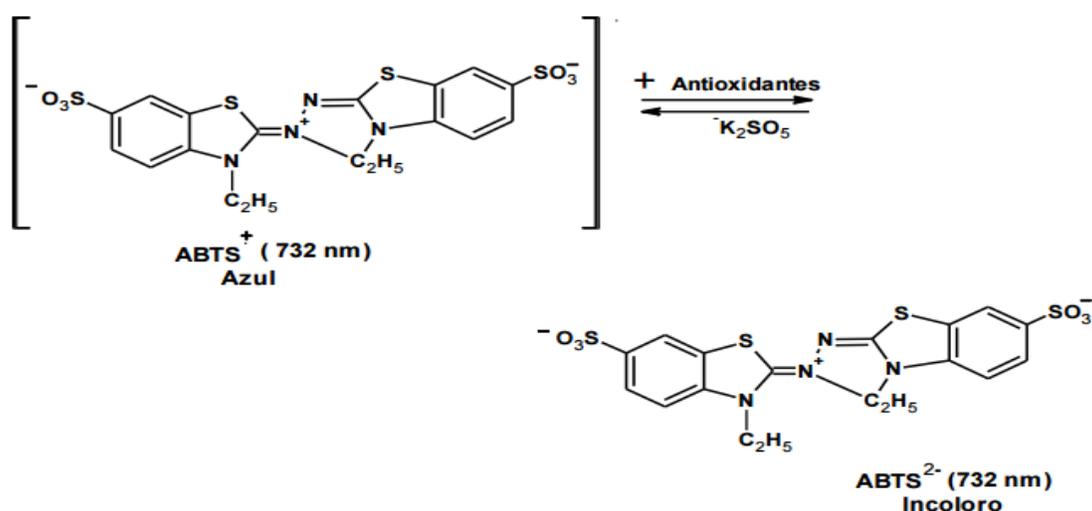
**Figura 8.** Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante (Tovar, 2013)

### 2.11.3 Ensayo ABTS•+ (Acido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6- sulfónico)

La generación del radical ABTS•+ constituye la base de uno de los métodos espectrométricos que han sido aplicados para medir la actividad antioxidante total de soluciones o sustancias puras y mezclas acuosas. El ensayo original de ABTS•+ estaba basado en la activación de la metilmioglobina con peróxido de hidrógeno en presencia de ABTS para producir un radical catión, en presencia o ausencia de antioxidantes.



La técnica mejorada para la generación del radical catión  $ABTS^{\bullet+}$ , implica la producción directa del cromóforo  $ABTS^{\bullet+}$  verde-azul a través de la reacción entre ABTS y el persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ). Este presenta tres máximos de absorción a las longitudes de onda de 645 nm, 734 nm y 815 nm. La adición de los antioxidantes al radical pre-formado lo reduce a ABTS. De esta manera el grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical catión  $ABTS^{\bullet+}$  está determinado en función de la concentración y el tiempo; así como del valor correspondiente usando el Trolox como estándar, bajo las mismas condiciones. (Tovar, 2013)



**Figura 9.** Estructura del  $ABTS^{\bullet+}$  antes y después de la reacción con el antioxidante (Tovar, 2013)

#### 2.11.4 Contenido de fenoles totales por el reactivo de Folin-Ciocalteu (F-C)

El ensayo de Folin-Ciocalteu (F-C) es un método comúnmente utilizado en el área de agroquímica e industrias alimenticias, por su simplicidad, por la disponibilidad comercial del reactivo y por ser un procedimiento ya estandarizado

El reactivo de F-C utiliza un mecanismo de reacción de oxidación/reducción, que no es específico para fenoles. De hecho, el ensayo de F-C mide la capacidad para reducir el reactivo de ácido fosfomolibdico/fosfotungstico a un complejo azul que es monitoreado espectrofotométricamente, donde el molibdeno es reducido en el complejo y se da la reacción de transferenciencia de electrones entre el  $Mo(IV)$  y el reductor como se muestra en la (figura 10) El método implica la oxidación de



fenoles en solución alcalina por el heteropolianión molibdotungstofosfórico amarillo y la medición colorimétrica del molibdotungstofosfato azul resultante. Este complejo azul tiene su máxima absorción dependiendo de su composición fenólica, además del pH de las soluciones implicadas (Tovar, 2013)



**Figura 10.** Reacción de transferencia de electrones con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Tovar, 2013)

### 2.12 Mango (*Mangífera indica*).

El mango es una fruta tropical obtenida del árbol del mismo nombre, árbol de la familia de las Anacardiáceas. Tiene forma ovalada o esferoidal, con piel no comestible y color variable entre amarillo, verdoso y rojo intenso. La pulpa es pegajosa de color amarillo anaranjado, y tiene un hueso duro y aplanado en su interior. Su tamaño varía entre 5-20 cm de longitud y 300-400 g de peso (Alcentral 2010). Los frutos verdes son ricos en vitamina C y contienen una cantidad moderada de provitamina A, mientras que los mangos maduros son fuente importante de provitamina A (principalmente en forma de betacarotenos), siendo moderado su aporte de vitamina C. Concretamente, un mango de 300 g de peso aporta el 70% de la cantidad diaria recomendada de vitamina A, y con 37 mg por cada 100 g de porción comestible de vitamina C, un mango de tamaño medio (300 g) cubre el 185% de las necesidades diarias de esta vitamina. También es una fuente importante de vitamina E y folatos y aporta, en menor medida, otras vitaminas como B2 y niacina. La vitamina A es esencial para el mantenimiento de los tejidos epiteliales (piel y mucosas). Además, los betacarotenos y las vitaminas C y E actúan como potentes antioxidantes que neutralizan los radicales libres, moléculas responsables del envejecimiento de las células, que previenen el cáncer e impiden la oxidación de las lipoproteínas LDL-colesterol, protegiendo así frente a la arteriosclerosis (Alcentral 2010). Entre los minerales del mango destacan el potasio y el magnesio, aunque también aportan pequeñas cantidades de hierro, fósforo y calcio. El mango también contiene fibra soluble 30 (pectinas),



ácidos orgánicos (cítrico y málico) y taninos. En su composición destaca igualmente la presencia de una sustancia denominada mangiferina, que en animales de experimentación parece ejercer una acción inmunomoduladora, antiviral y antitumoral (Alcentral 2010). En la tabla 5 se muestra la composición nutricional del mango.

**Tabla 5.** Composición nutricional del mango (Ospina *et al.* 2012).

<b>Composición</b>	<b>Cantidad 100 g</b>
<b>Agua (g)</b>	81.7
<b>Energía (kcal)</b>	66
<b>Proteínas (g)</b>	0.7
<b>Grasas (g)</b>	0.4
<b>Carbohidratos Totales (g)</b>	16.8
<b>Fibra (g)</b>	0.9
<b>Ceniza (g)</b>	0.4
<b>Calcio (mg)</b>	10
<b>Fosforo (mg)</b>	13
<b>Hierro (mg)</b>	0.4
<b>Sodio (mg)</b>	7
<b>Potasio (mg)</b>	189
<b>Vitamina A (UI)</b>	4,800
<b>Tiamina (mg)</b>	0.05
<b>Riboflavina (mg)</b>	0.05
<b>Niacina (mg)</b>	1.1
<b>Ácido Ascórbico (mg)</b>	35



## 2.13 ESTADO DEL ARTE

En el año 2006 estudios de la Gobernación de Cundinamarca y cifras del Plan Frutícola Nacional-DNP consideran que la mora, el bananito y el maracuyá tienen un mayor potencial de exportación en Cundinamarca. Sin embargo, la investigación de la Universidad del Rosario encontró que, por encima de estas frutas, la producción de mango en el Departamento es mayor: de las 170.000 toneladas que se cosecharon en el país en 2009, el 43% correspondió a Cundinamarca, especialmente a las provincias del Tequendama y Alto Magdalena (Castro *et al*, 2011). "La producción de mango en Colombia equivale al 0,63% de la producción mundial de la fruta, que asciende a 28.500.000 toneladas anuales, lo que ubica al país en el puesto 24" (Castro *et al*, 2011). El estudio permitió estimar que las posibilidades de comercialización de la fruta, tanto en su estado natural como procesada, son amplias en el mercado nacional como internacional. Cifras de la FAO-2007 indican que el comercio mundial de mango creció en los últimos 15 años a una tasa del 10% anual, con tendencia creciente y estable. El consumo de mango fresco y procesado se concentra en los países asiáticos y latinoamericanos, destacándose en Asia la India, Pakistán, Tailandia, Filipinas, China e Indonesia, reportando para el 2007 un consumo per cápita de 5,3 kilos por año. De igual forma Estados Unidos, Canadá, Holanda y Reino Unido también hacen parte de los primeros 15 países importadores de la fruta, naciones que acumularon para 2007 el 92% del volumen total de las importaciones, sumando el 88% del valor total de las mismas. En 2008 los Departamentos de Cundinamarca y Tolima concentraron el 56.8% de la producción de mango a nivel nacional, con 66.245 y 36.310 toneladas/año, respectivamente, y tanto sus variedades mejoradas como las comunes son apreciadas en el mercado de consumo fresco y procesado, teniendo como principales mercados Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga, entre otros (Castro *et al*, 2011). El departamento de Bolívar, debido a la ubicación geopolítica estratégica, con puerto marítimo y aéreo en Cartagena, cuenta con una de las mayores ofertas edafoclimáticas de la región Caribe. Las extensas áreas con topografía plana favorecen el desarrollo de una



fruticultura altamente tecnificada que redunde en mayores niveles de productividad, menores costos de producción por tonelada y una oferta acorde con las exigencias del mercado. La articulación vial del departamento al corredor Barranquilla-Santa Marta, facilita los procesos de agroindustrialización de la fruta, exportación o envío a los mercados internos, lo que le da una ventaja competitiva en términos de bajos costos de transacción, sin embargo, en Malagana, corregimiento de Mahates de las 3.000 toneladas de mango que se producen, cerca de 1.000 se pierden por falta de asistencia técnica (Castaño, 2012).

Dicho lo anterior puede que la microencapsulación mediante secado por aspersion (*Spray Drying*) sea una gran alternativa para ayudar en esta problemática agroindustrial.

Caez-Jaraba, (2012) realizaron microencapsulación de jugo de mango de azúcar con maltodextrina como material de pared, encontrando que trabajar a temperaturas por debajo de los 140°C y concentraciones de maltodextrina del 50% en adelante afecta el contenido de humedad del producto produciendo aglomeraciones y partículas de mayor tamaño con características indeseables.

Guevara-Bretón *et al.*, (2009) realizaron una investigación que buscaba lograr la optimización de la encapsulación de *L. casei* y *L. reuteri* con maltodextrina en un secador por atomización, encontrando las mejores condiciones para una temperatura de 150°C, con un flujo de la dispersión de 10 mL/min, para la cual obtuvieron una temperatura de salida de  $73 \pm 2^\circ\text{C}$ . Encontraron que la menor reducción de las células viables con maltodextrina era al 25% (p/p) tanto para el *L. casei* como para el *L. reuteri*, en comparación con maltodextrina al 30% (p/p).

Cortés (2009) estudio la encapsulación del *Lactobacillus casei* mediante secado por atomización utilizando aguamiel como agente encapsulante. Para ello empleo una solución de agua miel y maltodextrina (AM-MD) al 20 y 25% a temperaturas entre 140 y 150°C con un flujo de dispersión de 5 a 20 mL/min, encontrando que la mayor supervivencia de los microorganismos ( $1 \times 10^8$  ufc/mL) se dio a 140°C, 15 mL/min de flujo de dispersión y 25% de la solución de AM-MD. Bajo estas



condiciones, se lograron temperaturas de salida de  $66 \pm 0,0^{\circ}\text{C}$ , la cual se empleó como parámetro para elegir el mejor tratamiento ya que se buscaba disminuir la inactivación de los *Lactobacillus* encapsulados. Además, determinó que la supervivencia de los éstos después de 21 días de almacenamiento a temperatura ambiente en frascos de vidrio fue de  $1,71 \times 10^5$  ufc/g (1,96 ciclos).

Son muchas las variables que pueden afectar la estabilidad de los productos en polvo durante el almacenamiento entre los que tenemos las condiciones del proceso de secado, la temperatura de conservación, el material y las condiciones de empaque, incluyendo su permeabilidad a gases y vapor de agua, constituyentes del producto como su humedad y contenido en grasas. El tiempo de conservación de los productos en polvo puede variar acorde al producto en polvo obtenido, Rodríguez-Huezo *et al.*, (2007) reportó la estabilidad de un producto en polvo durante un periodo de 5 semanas a  $4^{\circ}\text{C}$  al mantener a estas condiciones una viabilidad del *Bifidobacterium bifidum* de  $6,0 \times 10^{10}$  ufc  $\text{g}^{-1}$ . Gonçalves *et al.*, (2014) logró la conservación de la yema de huevo secada por aspersión por un periodo de 180 días al evitar la oxidación de los lípidos y conservación del color adicionando ácido anacárdico. Por su parte Jiménez-Aguilar *et al.* (2011) al evaluar la estabilidad del arándano secado por aspersión como fuente de antocianinas almacenado a  $4^{\circ}\text{C}$  durante 4 semanas encontró una baja degradación en el contenido de fenoles (10%), antocianinas (7%) y actividad antioxidante (15%).



### 3. METODOLOGÍA

Para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados, el presente trabajo de investigación fue dividido en siete etapas, y en cada una de ellas se realizó el siguiente trabajo experimental:

#### **3.1 Etapa 1. Obtención de la pulpa del mango variedad chancleta (*Mangifera indica* L)**

Los mangos variedad chancleta fueron recolectados en el municipio de Turbana, ubicado en el norte del departamento de Bolívar (10° 16' 22" latitud norte y 75° 26' 38" longitud oeste). Se adquirieron 5,6 kilogramos de mango estos fueron seleccionados teniendo en cuenta que estuvieran libres de daños externos y presentaran madurez comercial; se lavaron y escaldaron a 90°C por 5 minutos. Las pulpas se obtuvieron mediante refinadora de malla 1.5 mm de abertura; se empacaron en bolsas herméticas y posteriormente se refrigeraron a una temperatura de 4°C (Ramírez *et al.* 2012).

#### **3.2 Etapa 2. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de la pulpa de mango variedad tipo chancleta.**

Las muestras de pulpa de mango se homogenizaron y se les realizaron pruebas de pH según el método de la AOAC 10.041/84; contenido de vitamina C (ácido ascórbico) por el método volumétrico del 2,6 diclorofenolindolfenol (método 967,21 de la AOAC) y la acidez por el método del AOAC (2000) 939. 05.

Contenido de fibra cruda: Se pesaron 2 g de pulpa de mango en un vaso de precipitado y se desengraso con éter, después se agregó 200 mL de ácido sulfúrico al 1.25% caliente y se puso a reflujo durante 30 min. Se filtró en caliente a través de una tela en un Buchner, lavándose con agua destilada caliente hasta la eliminación de la reacción ácida. Con ayuda de 200 mL de NaOH al 1.25% se transfirió todo el material que pudo haber quedado en la tela al vaso de precipitado



de la reacción anterior, luego se calentó por 30 min, al cabo de los cuales se filtró de nuevo a través de la tela. Se lavó con agua caliente para eliminar la reacción alcalina. El residuo se filtró a través del crisol de Gooch. El contenido del crisol se llevó a una estufa cerrada y se secó hasta peso constante a una temperatura no mayor 110°C, se enfrió y se pesó, después se calcino el crisol y su contenido en una mufla a 550°C de una a dos horas, se enfrió y se pesó (Ramírez *et al.* 2012; Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_m} \times 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde: P<sub>1</sub> es el Peso en gramos del crisol calcinado, P<sub>2</sub> el Peso en gramos del crisol vacío y P<sub>m</sub> el Peso en gramos de la muestra.

Contenido de cenizas: Se pesaron 2 g de muestra en una capsula de porcelana previamente tarada, esta se llevó a una mufla con una temperatura de 300°C aproximadamente, la muestra se calcino completamente aumentando la temperatura hasta 600°C por 6 horas. Transcurrido el tiempo necesario se apagó la mufla y se esperó a que la temperatura baje hasta 120°C aproximadamente, entonces se retiró el crisol con el residuo (cenizas) y se colocó en un desecador. Por último, al cabo de por lo menos 40 minutos, se determinó el peso de las cenizas en una balanza analítica (Ramírez *et al.* 2012; Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_1 - P_2}{P_m} \times 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Dónde: P<sub>1</sub> es el Peso en gramos del crisol con cenizas, P<sub>2</sub> es el peso en gramos del crisol vacío, P<sub>m</sub> es el Peso en gramos de la muestra.

Contenido de grasa: Se pesaron 100 g de pulpa en un cartucho de papel filtro y se transfirió a un equipo soxhlet, posteriormente se adiciono éter de petróleo suficiente para extraer las grasas en un balón previamente tarado, este proceso se llevó a cabo durante una hora, luego se evaporo el solvente del balón y se pesó con el contenido de grasa extraído (Ramírez *et al.* 2012; Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

$$\% \text{ Grasas} = \frac{P_1 - P_2}{P_m} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3)}$$



Dónde:  $P_1$  es el Peso en gramos del balón con grasa,  $P_2$  el Peso en gramos del balón vacío y  $P_m$  el Peso en gramos de la muestra.

Contenido de proteínas: Se pesó 0.5 g de pulpa y se colocaron en un frasco digestor, luego se añadieron 8 mL de ácido sulfúrico concentrado y posteriormente 0,20 g de catalizador ( $K_2SO_4 + CuSO_4$ ). La muestra se colocó en una cabina de extracción para realizar la digestión, este proceso duro hasta cuando la solución tomo un color verde manzana transparente, posteriormente se dejó enfriar, y se le adicionaron 150 mL de agua aproximadamente, 14 mL de hidróxido de sodio al 50 % y se destilo por 40 minutos, el destilado se recogió en 6 mL de ácido bórico al 4% el cual contenía una solución indicadora mixta (rojo de metilo-azul de metileno). Una vez terminada la destilación, se valoró la solución con ácido sulfúrico 0.02 N (Ramírez *et al.* 2012; Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

$$\% N = \frac{V \times N \times 1,4}{g \text{ de muestra}} \text{ (Ecuación 4)}$$

V= Volumen de ácido sulfúrico gastado en la valoración.

N= Normalidad del ácido.

% proteínas= %N x 6,25

Contenido de humedad: Se entiende por humedad residual la cantidad de agua que posee cualquier material en equilibrio con la atmósfera que lo rodea. Para la realización de esta prueba se pesó 3 g de pulpa en una cápsula de porcelana, posteriormente se colocó el recipiente que contiene la muestra pesada, en una estufa a una temperatura de 100-105°C por espacio de 4 a 6 horas. Luego se retiró de la estufa y se enfrió en un desecador, para pesar una vez frío el producto. Se determinó la pérdida de peso (Ramírez *et al.* 2012; Morillas-Ruiz *et al.* 2012). Los resultados se expresaron en tanto por ciento mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_m} \times 100 \text{ (Ecuación 5)}$$



Dónde:  $P_1$  es el peso en gramos de la cápsula con el alimento a analizar,  $P_2$  el peso en gramos de la cápsula después del calentamiento y  $P_m$  el Peso en gramos de la muestra.

Contenido de Carbohidratos: Los carbohidratos se estimaron por diferencia, como se muestra en la ecuación abajo indicada (Ramírez et al. 2012; Morillas-Ruiz et al. 2012):

$\% \text{Carbohidratos totales} = 100 - (\% \text{humedad} + \% \text{proteína} + \% \text{grasa} + \% \text{ceniza})$

### **(Ecuación 6)**

### **Determinación de minerales**

Las muestras secas y calcinadas (cenizas) fueron tratadas con HCl de acuerdo al método recomendado por la AOAC. Los minerales fosforo, calcio y hierro se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

### **3.3 Etapa 3. Determinación de la actividad antioxidante y el contenido de fenoles**

Para determinar la actividad antioxidante de las microcápsulas se emplearon tres metodologías: fenoles totales, radical 1,1 difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH•) y radical catión del ácido 2,2'-Azino-bis-(3-Etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS•+).

### **Determinación de fenoles totales**

El contenido de fenoles totales se determinó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, se utilizó como reactivo una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se reducen al oxidar los compuestos fenólicos, originando óxidos azules de wolframio ( $W_8O_{23}$ ) y molibdeno ( $Mo_8O_{23}$ ). Se construyó una curva patrón usando como estándar ácido gálico entre 50 – 500  $\mu\text{g/mL}$ . Se diluyó el extracto correspondiente a una concentración en la cual el contenido de fenoles se encontrará dentro del intervalo de la curva patrón. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico / 100 mg de muestra. Las



lecturas de las absorbancias se realizaron a 760 nm en un espectrofotómetro UV visible Thermo Scientific™ GENESYS 10S (Granados-Conde *et al.* 2016, Rojano *et al.* 2011).

### **Método del radical DPPH•**

La actividad captadora de radicales libres DPPH• se determinó empleando el método descrito por Silva *et al.* (Silva *et al.* 2004). Con algunas modificaciones. 75  $\mu$ L de muestra fueron adicionados a 150  $\mu$ L de una solución metanólica de DPPH• (100  $\mu$ g/mL) y se incubó a temperatura ambiente durante 30 min, luego de los cuales se determinó espectrofotométricamente la desaparición del radical DPPH• a 550 nm en lector de microplacas Multiskan Ex (Thermoscientific) (Granados-Conde *et al.* 2017, Granados-Conde *et al.* 2012). Se utilizó ácido ascórbico como control positivo de captación de los radicales DPPH• (25 ppm). La IC<sub>50</sub> se determinó evaluando varias concentraciones seriadas de la muestra mediante análisis de regresión lineal. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  E.S.M del porcentaje de captación del radical DPPH• relativo al grupo control.

### **Método del radical ABTS•+**

La actividad captadora del radical libre ABTS• se determinó empleando el método descrito por Re *et al.* (Re *et al.* 1999) con algunas modificaciones. El radical ABTS• se formó tras la reacción de ABTS 3.5 mM con 1.25 mM de persulfato potásico (concentración final). Las muestras serán incubadas entre 2-8°C y en oscuridad durante 16-24h. Una vez formado el radical ABTS• se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia de  $0.7 \pm 0.05$  a 734 nm. A un volumen de 190  $\mu$ L de la dilución del radical ABTS• se le adicionó 10  $\mu$ L de la muestra en estudio y se incubó a temperatura ambiente durante 5 minutos, luego de transcurrido este tiempo se determinó espectrofotométricamente la desaparición del radical ABTS• a 734 nm en el lector de microplacas Multiskan Ex (Thermoscientific) (León *et al.* 2015, Granados *et al.* 2014). Se utilizó ácido ascórbico como control positivo de captación de los radicales ABTS• (4 ppm). La IC<sub>50</sub> será determinado evaluando las concentraciones seriadas de la muestra mediante análisis de regresión lineal. Los



resultados se expresaron como la media  $\pm$  E.S.M del porcentaje de captación del radical ABTS• relativo al grupo control.

### **3.4 Etapa 4. Microencapsulación por spray drying de la pulpa de mango variedad tipo chancleta utilizando maltodextrina como agente encapsulante.**

La microencapsulación se realizó tomando 300 g de Maltodextrina los cuales fueron adicionados a 700 g de pulpa de mango con agitación constante. La preparación se homogenizó con Ultra-Turrax Ultraturax IKA T-10 Basic a 14000 rpm y durante 15 min y se almacenó a 4°C hasta ser alimentada al secador por aspersión (Zapata *et al.* 2013).

La mezcla fue alimentada a un Mini Spray Dryer Buchi modelo B-290 (BÜCHI Labortechnik, Germany). Con una velocidad de alimentación de 10 mL/min. La temperatura de entrada y salida se mantuvo entre 170°C  $\pm$  5°C y 70°C  $\pm$  5°C, respectivamente. Las microcápsulas obtenidas fueron colectadas en un empaque de polietileno autosellable y almacenadas en un cuarto con humedad y temperatura controlada a 45% y 20 $\pm$ 5°C (Gil-Garzón *et al.* 2011, Matiz *et al.* 2015).

### **3.5 Etapa 5. Caracterización de las microcápsulas**

#### **Morfología y tamaño de partícula**

Para la medición de las partículas se empleó un microscopio NIKON ECLIPSE E-100 (lente de 40X). Muestras muy pequeñas de microcápsulas fueron colocadas sobre porta objetos que posteriormente eran ubicados en la cuadrícula del equipo. Se observó la morfología, tamaño y bordes de las partículas (Gil-Garzón *et al.* 2011, Pájaro-Castro *et al.* 2017).

### **3.6 Etapa 6: Análisis sensorial.**

Se ejecutó una prueba hedónica, la cual se destinó a medir cuánto agrada o desagrada el producto. Para esta prueba se utilizó una escala categorizada de cinco puntos. La evaluación se realizó con un panel de 50 jueces entrenados. Las



evaluaciones se efectuaron en el jugo rehidratado utilizándose un formato previamente diseñado.

### **3.7 Etapa 7. Análisis Estadístico**

Todos los ensayos se realizaron por sextuplicado. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  DE (desviación estándar). Las diferencias significativas se determinaron mediante análisis de ANOVA seguido de test de Dunnett o de Tukey, o según el caso.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización fisicoquímica y bromatológica de las microcápsulas y de la pulpa de mango

Los resultados obtenidos en los análisis químicos realizados en la pulpa de mango (Tabla 8) son similares a los incluidos en la tabla Composición de Alimentos de Centro América (2007) y las tablas Peruanas de Composición de Alimentos (2008).

**Tabla 6. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de las Microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedades chancleta.**

Parámetros evaluados	Pulpa de <i>M. indica</i> L /100 g	Microcápsulas de pulpa de <i>M. indica</i> L / 100g
Ceniza (g)	0,53±0,03	0,39±0,06
Humedad (g)	80,83±0,76	1,86±0,06
Proteína (g)	0,90±0,01	0,55±0,05
Grasas (g)	0,03 ±0,03	0,01 ±0,01
Fibra cruda (g)	2,23±0,21	1,07±0,12
Carbohidratos (g)	17,27±0,29	97,21±0,05
Vitamina C (mg)	22,67±0,29	14,93±0,06
pH	4,0±1,0	5,07±0,25
Sólidos solubles (°Brix)	14,30 ± 0,2	35,21 ± 0,5
% Acidez (ácido cítrico)	0,5±0,50	0,33±1,8
Tamaño de Partícula (µm)	NA	5,92±2,18

El contenido de agua en los alimentos, la forma molecular y su localización dentro del producto alimenticio, son factores que afectan de modo significativo a características específicas como apariencia, textura, color, etc. Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido de agua varían entre un 60 y un 95% en alimentos naturales. En los tejidos vegetales y animales, existe dos formas generales: el agua libre y el agua ligada. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad y es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo del contenido de agua (humedad) (Morillas-Ruiz *et al.* 2012).



En los resultados se puede observar que la pulpa de mango evaluada tiene un alto contenido de humedad, lo cual indica que los frutos de dónde provenía la pulpa evaluada eran jugosos, habiendo obtenido un valor de 80,83%. Sin embargo, este parámetro depende de las condiciones climáticas. Las microcápsulas estudiadas presentaron un contenido de humedad de  $1,86 \pm 0,06$  %

Las frutas contienen 0,1-1,5% de compuestos nitrogenados, de ellos las proteínas constituyen un 35-75%; los aminoácidos también se encuentran bien representados. La fracción de los compuestos nitrogenados solubles está formada como promedio por un 50% de aminoácidos libres. Todos los demás compuestos nitrogenados son bastante escasos. También cabe resaltar que la mayor parte de la fracción proteica, la cual se encuentra sometida a grandes cambios dependientes de la clase de fruta y su grado de madurez, está constituida por enzimas (Morillas-Ruiz *et al.* 2012). La cantidad de proteína en las frutas es baja presentando una buena conservación de esta en las microcápsulas ver (Tabla 8). Con respecto al contenido de lípidos no suele superar 1g/100g en frutas. La fracción lipídica de las frutas comprende acilglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos, carotenoides, triterpenoides y ceras (Morillas-Ruiz *et al.* 2012). En la Tabla 8 se puede observar que la pulpa analizada presenta valores bajos de grasa ( $0,03 \pm 0,01$ ) al igual que las microcápsulas ( $0,01 \pm 0,01$ ).

La fibra alimentaria o fibra dietética está constituida por fibra soluble (pectinas) y fibra insoluble (celulosa) en una proporción que varía según el vegetal. La fracción soluble de la fibra, es decir, las pectinas, se encuentran principalmente en la piel de las frutas (manzana, melocotón, etc.), y el organismo al ser incapaz de romper su enlace, no tiene valor calórico, por lo que puede usarse en el control de la obesidad, además de disminuir la respuesta glicémica. Además, disminuye los niveles de LDL y colesterol total, con el consiguiente efecto preventivo de alteraciones cardiovasculares. Por otro lado, también se les atribuye propiedades purificadoras, al eliminar toxinas (Morillas-Ruiz *et al.* 2012). Se obtuvo un rango de contenido en fibra en la pulpa de ( $2,23 \pm 0,21$ ) presentando una disminución en las microcápsulas a ( $1,07 \pm 0,12$ ).



El contenido de carbohidratos totales es muy variable entre frutas, encontrándose en frutas entre el 1 al 8%. Los carbohidratos responsables de estos altos valores en el mango son: la sacarosa, seguida por fructosa y glucosa (Morillas-Ruiz *et al.* 2012).

Los alimentos cuentan con diversos componentes dentro de los que se encuentran los minerales, algunos esenciales para el organismo, por esto es necesario conocer las cantidades que contienen los frutos del mango. Se observó un alto contenido de minerales con un valor de cenizas entre  $(0,53 \pm 0,03)$  y una disminución en las microcápsulas a  $(0,39 \pm 0,06)$  debido a la volatilización de estos o alguna interacción entre los componentes. Probablemente pertenecientes a minerales como el fósforo, calcio y hierro. Berlitz y Grosch (1999) en sus tablas de composición de alimentos indican que el mango tiene un contenido mineral de 0,5% resultado similar al reportado en el presente estudio.

El término vitamina C comprende la suma de ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico. Al igual que otras frutas, el contenido en vitamina C en los mangos difiere debido a las variaciones del genotipo, los factores climáticos, las prácticas agrícolas y la fase de maduración, presentándose una gran variación en el contenido de ácido ascórbico que va desde 9,79 a 186 mg por 100 g de pulpa de mango (Ribeiro y Schieber 2010). Moreira *et al.* (2001) de 37 mg/100 g, valores similares al reportado en la presente investigación  $(22,67 \pm 0,29)$  y presenta una disminución en las microcápsulas a  $(14,93 \pm 0,06)$ .

El pH y la acidez son dos de los parámetros con mayor variabilidad debido que los ácidos orgánicos contenidos en el fruto verde se van transformando o degradando a medida que el fruto respira. Los ácidos en el fruto verde se acumulan ya que las rutas respiratorias, tienen velocidades de reacción menores a las rutas sintéticas, como es el caso de la fotosíntesis, por ende, todos los ácidos están almacenados en el complejo citoplasmático celular. Cuando el fruto comienza a madurar, la glucosa comienza a degradarse para que se inicie el ciclo respiratorio del fruto provocando un movimiento de los ácidos orgánicos internos para activar las diferentes rutas metabólicas (Quintero *et al.*, 2013). El comportamiento del pH y la acidez se observa en la (tabla 8).



Ramírez *et al*, (2012) afirman que la mayoría de las frutas tropicales tiene un pH entre 2,6 y 5,8, rango en el cual se encuentran los valores obtenidos para las pulpas de mango. Desde el punto de vista tecnológico, el pH en las frutas, es un parámetro muy importante en el control del desarrollo de poblaciones de microorganismos, responsable de la actividad de sistemas enzimáticos, en el proceso de clarificación de jugos y bebidas, en la estabilidad de los mismos y de otros productos elaborados a partir de frutas; así como en la producción de jalea y mermelada cuya firmeza, color y flavor están determinados por la concentración de iones hidrógenos.

#### 4.2 Contenido de minerales de las microcápsulas y de la pulpa de mango

Aunque las frutas no sean ricas en minerales, juegan un papel muy importante en el equilibrio de la dieta humana, especialmente porque la composición de las frutas difiere de la de otros alimentos, de origen animal o vegetal. El mineral más abundante es el calcio según Menchú (2007) en su tabla de composición de Alimentos de Centroamérica. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación (Tabla 9).

**Tabla 7. Contenido de minerales de las microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedades chancleta.**

Parámetros evaluados	Pulpa de <i>M. indica</i> L/100 g	Microcápsulas de pulpa de <i>M. indica</i> L/100 g
Calcio (mg)	17,67±0,58	11,63±0,55
Fosforo (mg)	14,67±0,58	10,35±0,31
Hierro (mg)	0,41±0,07	0,31±0,02

En tal sentido es importante resaltar que el tratamiento mínimo o escaldado (90°C por 5min.) no tiene efecto sobre el contenido mineral de la pulpa de mango evaluada. El orden de importancia de los minerales encontrados en la pulpa de mango fue el siguiente: Calcio > Fósforo > Hierro, los resultados obtenidos son similares a los reportados por Berlitz y Grosch (1997) en sus tablas de composición de alimentos y Cabezas (2009) en las tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Las microcápsulas estudiadas presentaron un buen contenido de minerales. Las concentraciones de calcio, fosforo y hierro son



11,63±0,55 mg, 10,35±0,31 mg y 0,31±0,02 mg respectivamente lo que quiere decir que se conservaron en gran medida.

#### 4.3 Actividad antioxidante de las microcápsulas y de la pulpa de mango

Los compuestos fenólicos cuantificados en los extractos de las frutas son de gran importancia debido a que constituyen un grupo de metabolitos secundarios que se consideran antioxidantes naturales con múltiples beneficios biológicos para el ser humano, tales como la prevención de enfermedades cardiovasculares y degenerativas. En frutas se ha encontrado que los principales compuestos presentes son, en su mayoría, ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, no obstante, también se han encontrado fitoquímicos como vitamina C (ácido ascórbico), ácido fólico (vitamina B) y β-carotenos (provitamina A), lo que permite establecer que el consumo de frutas incrementa la ingesta de compuestos bioactivos con múltiples propiedades para la salud humana. Es importante resaltar que existen varios factores internos y externos que afectan la calidad y/o cantidad de los compuestos fenólicos en las plantas, como la diversidad genética (variedad y origen de la muestra), etapa de madurez, variables ambientales (intensidad de la luz, clima, temperatura, uso de fertilizantes, heridas), método de extracción, procesamiento y almacenamiento (Rojano *et al.* 2011).

**Tabla 8. Actividad antioxidante de las microcápsulas y la pulpa de *M. indica* L variedad chancleta.**

Parámetros evaluados	Pulpa de <i>M. indica</i> L media / DE	Microcápsulas de pulpa de <i>M. indica</i> L media / DE	Control positivo (ácido ascórbico) media / DE
DPPH• IC <sub>50</sub> (µg/mL)	95,11/1,0	110,54/1,5	14.98/0.33
ABTS•+ IC <sub>50</sub> (µg/mL)	48,75/0,9	65,33/1,0	3.00/0.50
Fenoles totales (mg AG / 100 mg microcápsulas)	85,00/1,00	73,11/1,54	---

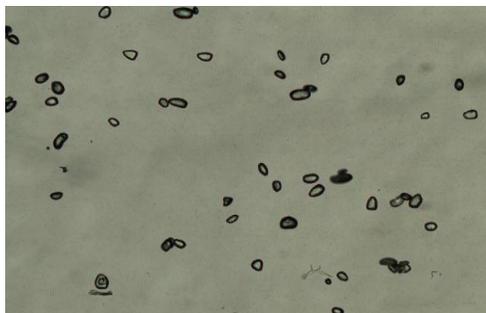
Los valores de IC<sub>50</sub> para el ensayo de DPPH• y ABTS• encontrado fue de 110,54±1,5 µg/mL y 65,33± 1,0 µg/mL respectivamente presentando menor actividad antioxidante que el grupo control la cual fue para DPPH• y ABTS•



14.98/0.33  $\mu\text{g/mL}$  y 3.00/0.50  $\mu\text{g/mL}$  respectivamente. La actividad antioxidante de estos productos hortofrutícolas puede relacionarse con el contenido de fenoles totales la cual según los resultados obtenidos al presentarse una disminución en el contenido de fenoles totales luego de la microencapsulación se mostró una disminución en la actividad antioxidante de las microcápsulas, que puede deberse a la degradación térmica de los fenoles y otros metabolitos antioxidantes, que son compuestos termolábiles. En la degradación térmica los compuestos químicos sufren cambios significativos en su estructura (pérdida de uno o más átomos de la estructura fundamental) debido a la acción de altas temperatura, resultando en una pérdida de las propiedades del compuesto. En el secado por aspersión se alcanzan temperaturas de entrada del aire superiores a  $80^{\circ}\text{C}$ , esto conlleva al rompimiento de los grupos químicos funcionales por hidrólisis, tanto en la cadena principal como en los sustituyentes laterales de los compuestos antioxidantes. Falcão *et al.* (2003) señalan que además de la temperatura, el oxígeno es otro de los agentes específico en la destrucción de compuestos antioxidantes, este puede causar degradación de las antocianinas (compuestos fenólicos) por un mecanismo de oxidación directo y/o por oxidación indirecta, lo cual explicaría la pérdida de estos compuestos durante todo el proceso.

#### **4.4 Tamaño de partícula de microcápsulas y rendimiento.**

El tamaño de partícula es muy importante en el estudio de este tipo de productos debido a que menor tamaño de partícula es mayor la velocidad de disolución. En la figura 12 se pueden observar las microcápsulas obtenidas las cuales presentaron un perfil esferoidal en su mayoría y un tamaño de partícula de  $5,92\pm 2,18 \mu\text{m}$  el cual está por debajo de los valores reportados por caez-jaraba (2012) donde el menor tamaño de partícula tuvo un valor de  $7,047\pm 0,040 \mu\text{m}$  a una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 11.** Tamaño de partícula de microcápsulas de mango (*M. indica* L) variedad chancleta

Se obtuvo un rendimiento de  $58.9 \pm 1,02$  % resultado mayor a los obtenidos por caez-jaraba, (2012) donde a una temperatura de entrada de  $160$  °C y un contenido de maltodextrina del 12.5% obtuvieron un rendimiento por debajo al 50%. Para lo cual Lopez *et al.* (2009) y García *et al.* (2004) indican que la maltodextrina es uno de los elementos más empleados para mejorar el rendimiento en los productos obtenidos por atomización; ya que al ser oligosacárido aumenta los °Brix (sólidos totales) y por lo tanto el rendimiento. Sin embargo se esperaba un rendimiento mucho mayor al obtenido lo cual se puede explicar por la mayor adherencia que presenta la maltodextrina durante la atomización en las paredes de la cámara que concuerda con Arrazola *et al.* (2014) quienes microencapsularon berenjena utilizando maltodextrina y observaron que las pérdidas de polvo durante el secado por pulverización asociadas al bajo rendimiento se debieron principalmente a la aglomeración de algunas partículas del polvo que se deposita sobre la pared de la cámara secadora, y en el ciclón.

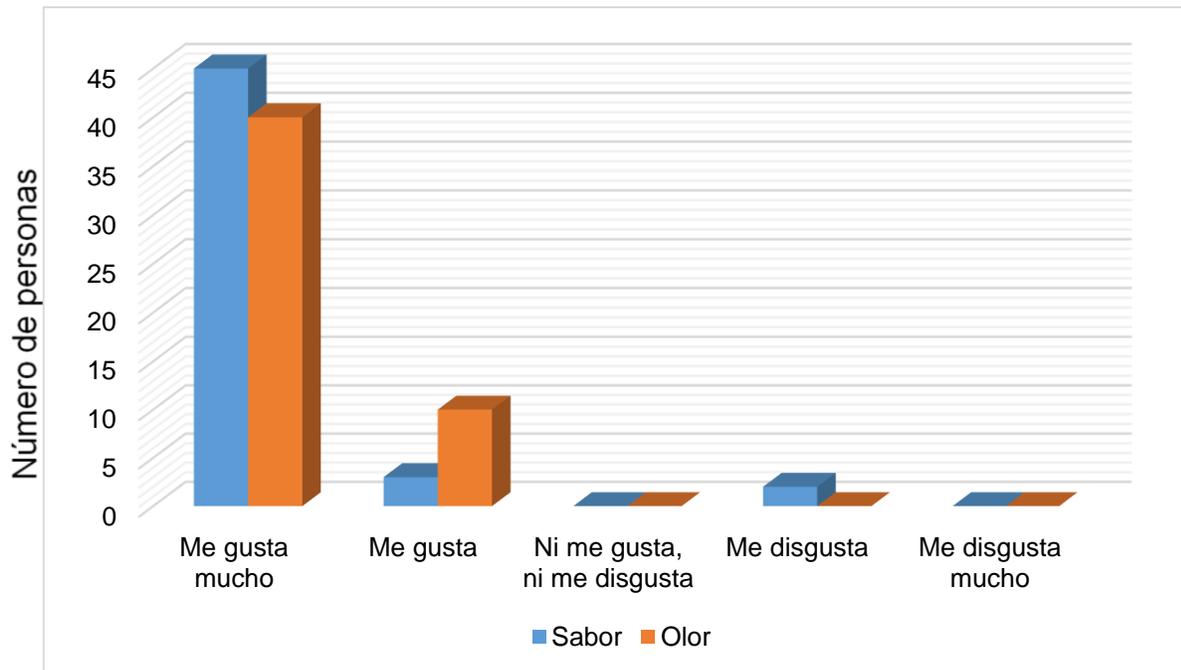
#### 4.5 Rehidratación de las microcápsulas.

Se agregó 10 g de pulpa de mango seca en 100 mL de agua a una temperatura y presión estándar. La cual se disolvió por completo en 76 segundos, lo cual se puede justificar en el tamaño de partícula debido que a menor tamaño de partícula, será mayor la velocidad de disolución porque se aumenta la superficie de contacto entre el disolvente y el soluto.



#### 4.6 Análisis sensorial de la pulpa de mango rehidratada

Esta es una prueba donde se le pide al consumidor que valore el grado de satisfacción general (liking) que le produce un producto utilizando una escala que le proporciona el analista.



**Figura 12.** Análisis sensorial de la pulpa de mango (*M. indica* L) variedad chancleta rehidratada

La evaluación se realizó con un panel de 50 jueces entrenados, se evaluaron las variables sabor y olor obteniendo los siguientes resultados el producto agrado a los jueces en su gran mayoría valorando el sabor y olor con me gusta mucho en un 90% y un 80% respectivamente, una poca cantidad valoro el sabor y el olor con me gusta en un 6% y un 20% respectivamente y solo un 4% opto por me disgusta el sabor por lo que se puede decir que la pulpa rehidratada puede conservar el sabor y el olor del fruto natural y por lo tanto se puede consumir como una bebida instantánea.



## 5. CONCLUSIONES

El secado por aspersión fue una técnica adecuada para la deshidratación de la pulpa de mango debido a que aumentó la estabilidad química alargando el tiempo de vida útil del producto y se conservó en gran medida las características organolépticas y nutricionales de la pulpa después del secado.

A una temperatura de entrada de 170°C y una temperatura de salida de 70°C se presentó una disminución de la actividad antioxidante al degradarse los fenoles por el efecto de la temperatura, lo que ocasiona cambios en la estructura fundamental de la molécula al ser esta termolábil.

Al agregar la maltodextrina se dio un aumento en el contenido de carbohidratos en la pulpa deshidratada esto se debe al contenido de maltodextrina la cual es un polímero de glucosa la cual es un carbohidrato a la vez se aumento los sólidos totales con lo que se buscó aumentar el rendimiento.

Sensorialmente el jugo rehidrato tuvo muy buena aceptación entre los penalistas por lo cual la pulpa deshidratada puede ser otra opción de comercialización además del fruto fresco.



## 6. RECOMENDACIONES

Dentro de un Proyecto de investigación como este es recomendable aplicar la técnica de secado por aspersion a diferentes frutos, mirar el comportamiento de las propiedades de estos con el fin de que en un futuro esto pueda ser visto como oportunidad de negocios y de generar trabajo.

Otra recomendación importante es estudiar la técnica más a fondo para buscar la manera aumentar el rendimiento y la conservación de las propiedades tanto nutricionales como organolépticas del fruto o de no investigar que otras técnicas pueden ser aplicadas mediante las cuales se logre este objetivo.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar G, Fávaro-Trindade C, Ferreira C. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*. 2012; 90:37-42.

Arrazola, G.; Herazo, I.; Alvis, A. Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum elongata* L.) mediante secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información Tecnológica* 2014. 25(3): 31-42.

Alvarado, J. 2012. Situación actual y perspectivas de la cadena Productiva del Mango en Colombia Disponible en: [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_217\\_Situaci%C3%B3n%20actual%20y%20perspectivas%20de%20la%20cadena%20Productiva%20del%20Mango%20en%20Colombia.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_217_Situaci%C3%B3n%20actual%20y%20perspectivas%20de%20la%20cadena%20Productiva%20del%20Mango%20en%20Colombia.pdf)

Alcentral. 2010. Guía de frutas y verduras del mercado central de Buenos Aires. Disponible en: [http://www.alcentral.com.ar/fh\\_mango.html](http://www.alcentral.com.ar/fh_mango.html). [20 agosto 2016].

Astray, G., J. Mejuto, R. Rial, C. González and J. Simal. 2009. A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1631-1640.

Bastos, D., K. Araujo and M. Leao. 2009. Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-capsul based edible film. *Journal of Microencapsulation* 26(2): 97-103.

Berlitz HD, Grosch W. *Tablas de Composición de Alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza. España; 1999.

Castaño J. Mango a tutiplén en Malagana (Mahates - Bolívar). 2012. <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/bolivar/mango-tutiplen-en-malagana-mahates-bolivar76208>. [20 agosto 2016].



Castro A, Cardozo J, Isaza L, López A, Rodríguez S. Propuesta para el desarrollo de un clúster frutícola en el departamento de Cundinamarca. [Tesis de Pregrado]. Bogotá. Universidad del Rosario. 2011. Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2279/1020734967-2011.pdf;jsessionid=AAF4542849D07639AA04F926D831A1B7?sequence=1>

Champagne, C. and P. Fustier. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology* 18(2): 184-190.

Cortés, C. Encapsulación de *Lactobacillus casei* mediante secado por atomización utilizando aguamiel como agente encapsulante. Tesis Licenciatura en Ingeniería de Alimentos, Universidad de las Américas Puebla, México. 2009.

Esquivel-González BE, Ochoa-Martínez LA, Rutiaga-Quiñones OM. Microencapsulación mediante secado por aspersion de compuestos bioactivos. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. 2015; 16(2):180-192.

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

Favaro C, Santana A, Monterrey E, Trindade M, Netto F. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*. 2010; 24(4): 336-340.

Falcão, L. Estabilidade de antocianinas extraídas de uvas Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) em solução tampão, bebida isotônica e iogurte. Mestre em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil. 226 pp. 2003.

Ferreira, I., S. Rocha and M. Coelho. 2007. Encapsulation of antioxidants by spray-drying. *Chemical Engineering Transactions* 11: 713-717.



Fuchs, M., C. Turchiuli, M. Bohin, M. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. Peyrat and E. Dumoulin. 2006. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75(1): 27-35.

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

Granados-Conde C, Yáñez-Rueda X, Santafé-Patiño GG. Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Calycolpus moritzianus* y *Minthostachys mollis* de Norte de Santander. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 2012; 10: 12-23.

Granados C, Yáñez Y, Acevedo D. Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Myrcianthes leucoxylla* de norte de Santander (Colombia). *Información Tecnológica*. 2014; 25(3), 11-16.

Granados-Conde C, Torrenegra-Alarcón ME. Actividad antioxidante y contenido fenólico del peciolo de *Rheum rhabarbarum*. *Revista Cubana de Farmacia* 2016. 50(4).

Granados-Conde C, Torrenegra-Alarcón ME, Yáñez-Rueda X. Evaluación de la actividad antioxidante de aceite esencial de *Myrcianthes leucoxylla* obtenido por dos métodos de extracción. *Revista Cubana de Farmacia* 2017. 51(1).

Gil-Garzón M, Alzate-Tamayo L, Sánchez-Camargo A, Millán-Cardona L. Secado por aspersion: una alternativa para la conservación de los compuestos bioactivos y aromáticos del extracto de ajo (*Allium sativum* L.). *Revista Lasallista de Investigación*. 2011; 8: 40-52.

Gharsallaoui A, Roudaut A, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*. 2007; 40(9): 1107-1121.



Gonçalves A, Fernandes P, Rodrigues de F, Sales T, Correia da C. Effect of anacardic acid on oxidative and color stability of spray dried egg yolk. LWT - Food Science and Technology. 2014; 55:466-471.

Guevara-Breton N, Lopez-Malo A, Jimenez-Munguia M. Optimización de la encapsulación de *L. casei* y *L. reuteri* con maltodextrina en un secador por atomización. XIII congreso nacional de biotecnología y bioingeniería. 2009. <http://www.smbb.com.mx/>, [20 agosto de 2016].

Guevara A, Cancino K. Metodos apropiados para inactivar o controlar el deterioro microbiologico en alimentos. 2008

Jiménez-Aguilar DM, Ortega-Regules AE, Lozada-Ramírez JD., Pérez-Pérez MCI, Vernon-Carter EJ, Welti-Chanes J. Color and chemical stability of spray dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. Journal of Food Composition and Analysis. 2011; 24:889-894.

Kuskoski M, Asuero A, Troncoso A, Mancini-Filho J, Fett R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. Ciencia e Tecnologia de Alimentos. 2005; 25 (4): 726-732.

León G, Torrenegra M, Osorio MR, Gil J. Extracción, caracterización y actividad antioxidante del aceite esencial de *Plectranthus amboinicus* L. Revista Cubana de Farmacia. 2015;49(4):708-718.

Lopez, B.; Carbajal, L.; Millan, L. Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca*) para someter a secado por aspersion. Universidad de Antioquia. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 2009. 16(3): 287-296.

López O. Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersion. Rev Cubana Farm. 2010; 44(3):381-389.

López D, Gómez M. Preparación de microesferas mediante secado por aspersion. Rev. Cubana Farm. 2008; 42(3).



Madene, A., J. Scher, and S. Desobry. 2006. Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21, 2006.

Matiz GE, León G, Fuentes K. Microencapsulación de aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) en matrices poliméricas de almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*) modificado. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéutica*. 2015; 44(2): 189-207.

Maji, T., I. Baruah, S. Dube and M. Hussain. 2007. Microencapsulation of Zanthoxylum limonella oil (ZLO) in glutaraldehyde crosslinked gelatin for mosquito repellent application. *Bioresource Technology* 98(4): 840-844.

Martin M, Morales M, Gallardo V, Ruiz M. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharm*. 2009; 50 (1): 43 – 50.

Menchú MT, Méndez H. Tabla de composición de Alimentos de Centroamérica. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP)/Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2007; 2.

Miravet G, Alacid M, Obón J. 2009 Secado por Atomización de zumo de granada. 18-22 Disponible en: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1807/pfm92.pdf?sequence=1>

Morillas-Ruiz JM, Delgado-Alarcón JM. Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutr. clín. diet. hosp*. 2012; 32(2):8-20.

Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. Tablas de Composición de Alimentos. Ediciones Piramide. Madrid. España; 2006.

Murúa, B., C. Beristain and 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.



Muthuselvi, L. and A. Dhathathreyan. 2006. Simple coacervates of zein to encapsulate gitoxin. *Colloids and Surfaces* 51(1): 39-43.

Mujumdar, A.S. (1995). *Handbook of industrial drying*. Ed. Marcel Dekker, Inc., New York. p.p. 263-309.

Ospina S, Hernandez E, Lozano C. Estudio experimental del proceso de fermentación de residuos agroindustriales del mango (*Mangifera Indica* L) usando *Saccharomyces cerevisiae*. Universidad Catolica De Manizales. Colombia. 2012.

Parize A, Rozone T, Costa I, Fávere V, Laranjeira M, Spinelli A, Longo E. Microencapsulation of the natural urucum pigment with chitosan by spray drying in different solvents. *African Journal of Biotechnology*. 2008; 7(17): 3107-3114.

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

Pájaro-Castro NP, León-Méndez G, Osorio-Fortich MR, Torrenegra-Alarcón ME, Roperio J. Microencapsulación del aceite esencial de *Cinnamomum verum* J. mediante spray drying y su potencial actividad antioxidante. *Revista Cubana de Farmacia* 2017. 51(3).

Parra-Huertas RA. Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 2010; 63: 5669-5684.

Pennington J, Fisher R. Food component profiles for fruit and vegetable subgroups. *Journal Composition and Analysis*. 2010; 23: 411- 418.

Rai, M., P. Asthana, S. Kant, V. Jaiswal and U. Jaiswal. 2009. The encapsulation technology in fruit plants: A review. *Biotechnology Advances* 27(6): 671-679.

Ramírez R, Arenas L, Acosta K, Yamarte M, Sandoval L. Efecto del escaldado sobre la calidad nutricional de pulpa de Guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2012; 13(1): 48-57.



Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 1999; 26: 1231-1237.

Ribeiro SMR, Schieber A. Bioactive compounds in mango (*Mangífera indica* L.) bioactive foods in promoting health: Fruits and vegetables. Elsevier Inc. 2010: 507-523

Rodríguez-Huezo ME, Durán-Lugo R, Prado-Barragán LA, Cruz-Sosa F, Lobato-Calleros C, Álvarez-Ramírez J, Vernon-Carter EJ. Pre-selection of protective colloids for enhanced viability of *Bifidobacterium bifidum* following spray-drying and storage, and evaluation of aguamiel as thermoprotective prebiotic. *Food Research International*. 2007; 40:1299-1306.

Rojano BA, Vahos ICZ, Arbeláez AFA, Martínez AJM, Correa FBC, Carvajal LG. Polifenoles y actividad antioxidante del fruto liofilizado de palma naidi (*açaí colombiano*) (*Euterpe oleracea* Mart). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 2011; 64: 6213-6220.

Snow, R.H. (2003). *Spray Dryers. A guide to performance evaluation*. American Institute of Chemical Engineers. NY.

Semyonov D, Ramon O, Kaplun Z, Levin L, Gurevich N, Shimoni E. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. *Food Research International*. 2010; 43(1):193-202.

Silva BM, Andrade PB, Valentão P, Ferreres F, Seabra RM, Ferreira MA. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) Fruit (Pulp, Peel, and Seed) and Jam: Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004; 52: 4705-4712.

Sozer, N and J. Kokini. 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology* 27(2):82-89.

Schrooyen, P., R. Meer and C. Kruif. 2001. Microencapsulation: its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society* 60(4): 475-479.



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.

Téc. Magali Parzanese, 2014. Ficha N° 20, Tecnologías para la Industria Alimentaria Microencapsulación. Disponible en: [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_20\\_Microencapsulacion.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microencapsulacion.pdf)

Tovar, J. 2013. Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregion cafetera. Tesis de pregrado. 13-19. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3636/54763T736.pdf;jsessionid=735F81834E176C693423F49281942CEF?sequence=1>

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.

Villena, M., Morales, H., Lara, G. y R. Martínez. 2009. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica* 50(1): 43-50.

Villamizar, L. y F. Martínez. 2008. Determinación de las condiciones de microencapsulación de un baculovirus entomopatógeno mediante coacervación con Eudragit S100®. *Revista Vitae* 15(1): 123-131.

Vilstrup P. *Microencapsulation of Food Ingredients*. Ed. Leatherhead International Limited, Surrey, UK. 2004: 1- 47.

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



Quintero V, Giraldo G, Lucas J, Vasco J. Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2013; 11(1): 10 – 18.

Wandrey C, Bartkowiak C, Harding S. Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing. 2010: 83-86.

Ye A, Anema S, Singh H. Behaviour of homogenized fat globules during the spray drying of whole milk. International Dairy Journal. 2007; 17(4): 374-382.

Young S, Sarda X, Rosenberg M. Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. Journal of Dairy Science. 1993; 76(10):2878-2885.

Zapata K, Cortes FB, Rojano BA. Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de guayaba agria (*Psidium araca*). Información Tecnológica. 2013; 24(5):103-112.



## 8. ANEXOS

### ANEXO 1.

NOMBRE \_\_\_\_\_ EDAD \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL PRODUCTO \_\_\_\_\_

Pruebe el producto que se presenta a continuación.

Por favor marque con una X, el cuadro que esta junto a la frase que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar.

#### Sabor

- Me gusta mucho
- Me gusta
- Ni me gusta, ni me disgusta
- Me disgusta
- Me disgusta mucho

#### Olor

- Me gusta mucho
- Me gusta
- Ni me gusta, ni me disgusta
- Me disgusta
- Me disgusta mucho

#### Comentarios

---

---

---

Muchas gracias.