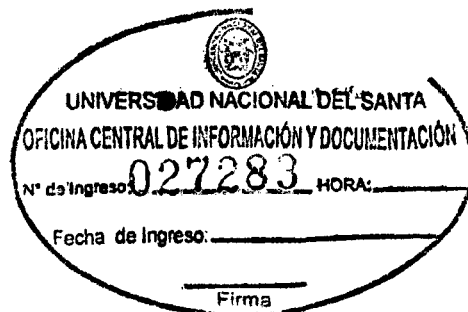
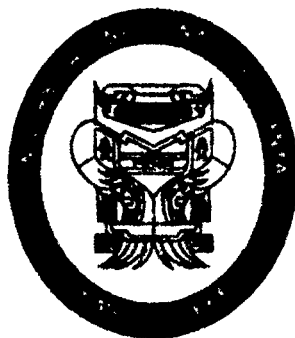




**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



---

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN DEL ZUMO  
DE TORONJA (*Citrus paradisi*)”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**TESITAS :**

**BACH. HUERTAS GUTIERREZ GERMÁN FELIX EDUARDO  
BACH. MORENO GONZALES ALEX MARIO**

**ASESOR :**

**Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTÍNEZ**

**NUEVO CHIMBOTE - PERU  
ENERO 2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR**

El presente trabajo de tesis titulado: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN DEL ZUMO DE TORONJA (*Citrus paradisi*)”, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de Asesor. Designado por RESOLUCION DECANATURAL N° 474-2013-UNS-FI.

**Ms. Williams Castillo Martínez**

**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN DEL ZUMO  
DE TORONJA (*Citrus paradisi*)”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**TESISTAS:**

- **Bach. HUERTAS GUTIERREZ GERMAN FELIX EDUARDO**
- **Bach. MORENO GONZALES ALEX MARIO**

**SUSTENTADA EL DIA 07 DE ENERO DEL 2015 Y APROBADA POR EL  
SIGUIENTE JURADO**

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Jenaro Paredes Zavaleta  
**PRESIDENTE**

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Jorge Domínguez Castañeda  
**SECRETARIO**

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Williams Castillo Martínez  
**INTEGRANTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado fortaleza, voluntad e iluminación, quien siempre me enseñó que ante cualquier dificultad uno no debe caer; sino levantarse y seguir luchando por lo que quiere conseguir, que con el todo se puede.

A mis padres, hermanos y demás familiares por brindarme la confianza necesaria y apoyo incondicional, porque han contribuido para llevar a cabo y culminar una etapa importante en mi vida.

A todas las personas que brindaron información para la realización del presente trabajo de investigación.

**ALEX MARIO MORENO GONZALES**

## DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional, que gracias a ellos estoy culminando una etapa muy importante en mi vida. Y gracias al afecto y comprensión brindada que ayudó a cumplir con mis objetivos satisfactoriamente.

Al docente universitario: **Ms. Williams Castillo Martínez**, quien con su asesoramiento hizo posible este trabajo de investigación.

**ALEX MARIO MORENO GONZALES**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida que me ha permitido tener, y las metas que su voluntad ha hecho posible conseguir.

De igual manera agradezco a todos los profesores que me inculcaron los conocimientos adquiridos durante mi vida universitaria, en especial al **Ms. Williams Castillo Martínez**, asesor de este trabajo de investigación, por su apoyo y sus conocimientos compartidos, a los **Ingenieros John Gonzales y Lenin Palacios**, amigos y responsables de los laboratorios donde se desarrolló nuestra investigación.

**GERMÁN F. E. HUERTAS GUTIERREZ**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres **Germán y Pércida**, por su apoyo incondicional, su sacrificio para permitirme estudiar y su amor innegable.

A mis hermanos **Lorenzo, Percy, Mónica y Evelyn**, por su paciencia, comprensión y cariño profundo.

A mi abuela **Clotilde**, mi segunda mamá.

**GERMÁN F. E. HUERTAS GUTIERREZ**



# INDICE

## RESUMEN

## ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN .....	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
<b>2.1. MICROENCAPSULACIÓN .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. APLICACIONES DE LA MICROENCAPSULACIÓN.....	5
2.1.2. PROCESOS PARA PREPARAR MICROCAPSULAS .....	6
<b>2.2. MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....</b>	<b>15</b>
2.2.1. LA OPERACIÓN DE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	15
2.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	16
2.2.3. ETAPAS DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	17
2.2.4. PRINCIPALES VARIABLES DEL PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....	25
<b>2.3. MICROENCAPSULACIÓN DE ZUMOS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN .....</b>	<b>27</b>
2.3.1. LOS ZUMOS Y SU MICROENCAPSULACIÓN.....	27
2.3.2. MICROENCAPSULACIÓN DEL ZUMO DE TORONJA. ....	32
2.3.3. POLVOS DESHIDRATADOS DE FRUTAS .....	45
2.3.4. EFECTO DE LAS TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS TEJIDOS EN LAS FRUTAS .....	55
<b>2.4. VITAMINA C.....</b>	<b>59</b>
2.4.1. DEFINICIÓN .....	59
2.4.2. CARACTERÍSTICAS.....	60
2.4.3. FUNCIÓN .....	60
2.4.4. TOXICIDAD .....	62
2.4.5. ESTABILIDAD DE LA VITAMINA C .....	63
<b>2.5. REHIDRATACIÓN DE POLVOS .....</b>	<b>64</b>
<b>2.6. ISOTERMAS DE SORCIÓN .....</b>	<b>65</b>
2.6.1. MODELOS PARA DETERMINAR ISOTERMAS D ADSORCIÓN .....	68
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	70
<b>3.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>70</b>
<b>3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....</b>	<b>70</b>
3.2.1. MATERIA VEGETAL .....	70
3.2.2. AGENTE ENCAPSULANTES.....	71
3.2.3. MATERIALES .....	73
3.2.4. REACTIVOS E INSUMOS.....	74
3.2.5. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN.....	74
<b>3.3. MÉTODOS .....</b>	<b>83</b>
3.3.1. TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	83

3.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA.....	85
3.3.3. SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	87
3.3.4. PESADO.....	88
3.3.5. ENVASADO.....	88
<b>3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>90</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ZUMO FRESCO .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2. CARACTERIZACIÓN DEL ZUMO CONCENTRADO .....</b>	<b>92</b>
4.2.1. ZUMO CONCENTRADO SIN ENCAPSULANTE .....	92
4.2.2. ZUMO CONCENTRADO CON ENCAPSULANTE .....	93
4.2.3. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE VITAMINA C EN EL ZUMO CONCENTRADO.....	94
<b>4.3. ATOMIZACIÓN DEL ZUMO CONCENTRADO DE TORONJA.....</b>	<b>95</b>
4.3.1. INFLUENCIA DE LOS ENCAPSULANTES EN EL PROCESO DE ATOMIZACIÓN.....	95
4.3.2. NIVEL DE RETENCIÓN DE VITAMINA C EN LA ATOMIZACIÓN .....	101
<b>4.4. ISOTERMAS DE SORCIÓN .....</b>	<b>104</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>116</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>121</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura general de una microcápsula.....	4
Figura 2: Imágenes de microcápsulas de diferentes diámetros con un mismo volumen de material activo y de material de cubierta.....	5
Figura 3: Formación de microcápsulas por coacervación compleja.....	8
Figura 4: Esquema del sistema de boquilla de dos fluidos sumergida.....	9
Figura 5: Cámara de Würster.....	13
Figura 6: Sistema de microencapsulación por discos giratorios.....	14
Figura 8: Por orden: imágenes de atomizador de rueda giratoria, boquilla a presión de un fluido y boquilla a presión de dos fluidos.....	22
Figura 9: Tipos de flujo. Por orden: flujo co-corriente, contracorriente y combinado.....	24
Figura 10: Esquema de un ciclón utilizado para la separación de partículas.....	25
Figura 11: Esquema de la transición vítrea.....	30
Figura 12: Algunos productos de micro-encapsulación comerciales.....	32
Figura 13: Toronja.....	35
Figura 14: Toronja utilizada en los ensayos de secado.....	70
Figura 15: Atomizador.....	75
Figura 16: Esquema Mini Spray DryerIC40D.....	76
Figura 17: Vaso porta muestra y rotor.....	77
Figura 18: Manómetro que permite ajustar la presión.....	77
Figura 19: Display.....	77
Figura 20: Tobera de atomización.....	78
Figura 21: Inicio de la atomización.....	78

Figura 22: Recipiente de recogida de polvo.....	79
Figura 23: Espectofotometro visible.....	80
Figura 24: Rotavapor.....	80
Figura 25: pH-metro.....	80
Figura 26: Estufa eléctrica.....	81
Figura 27: Balanza analítica.....	81
Figura 28: Analizador de Actividad de agua.....	82
Figura 29: Centrífuga.....	82
Figura 30: Equipo de Baño María.....	83
Figura 31: Equipo para la atomización del zumo de Toronja.....	88

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición Nutricional de la Toronja. ....	41
Cuadro 2: Composición Nutricional del Zumo de Toronja .....	42
Cuadro 3: Vitaminas y Minerales del Zumo de Toronja.....	43
Cuadro 4: Parámetros para la atomización del zumo fresco de toronja .....	88
Cuadro 5: Cuadro del experimento unifactorial en DCA.....	90
Cuadro 6: Análisis Físicoquímico del zumo fresco .....	91
Cuadro 7: Análisis Físicoquímico del zumo concentrado de Toronja .....	92
Cuadro 8: Caracterización del zumo concentrado de Toronja con agente encapsulante .....	93
Cuadro 10: Caracterización del zumo atomizado de Toronja con agente encapsulante.....	95
Cuadro 11: Contenido de Vitamina C y nivel de retención (%).....	101
Cuadro 12: Análisis de Varianza para el porcentaje de retención de Vitamina C para diferentes formulaciones analizadas .....	103
Cuadro 13. Valores experimentales de contenido de humedad de equilibrio a 25 ° C para las muestras producidas con diferentes agentes portador. ....	104
Cuadro 14. El ajuste de las isotermas de adsorción de polvo de toronja producida con parámetros diferentes agentes portadores. ....	108

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rango de tamaños de gota obtenidos en el atomizado.....	19
Tabla 2: Tamaños de partícula obtenidos mediante secado por atomización .....	31
Tabla 3: Formulaciones de las distintas mezclas .....	87

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Diagrama de flujo para la obtención experimental de zumo atomizado de Toronja .....	89
<small>_Toc409336071</small> Gráfico 2: Variación del % Humedad y % Sólidos totales .....	96
Gráfico 3: Variación de la $a_w$ y % Humedad en el zumo atomizado de Toronja ..	96
Gráfico 4: Efecto de las diferentes formulaciones en el % de retención de vitamina C.....	102
Gráfico 5: Isotermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de GAB. ....	106
Gráfico 6: Isotermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de BET Lineal. ....	107
Gráfico 7: Isotermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de GAB. ....	109

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito conocer la influencia de las formulaciones del encapsulante a base de Maltodextrina (M) y Goma arabiga (G) sobre las propiedades fisicoquímicas que sirven para identificar la calidad de un producto deshidratado por atomización, como son la humedad, sólidos totales, actividad del agua, pH, y contenido de vitamina C.

Se trabajó con fruta madura, de la cual se extrajo el zumo con la ayuda de un extractor. Este zumo tuvo las siguientes características: Grados Brix 14.00, pH 3.52, acidez total 1.26 % (en base al ácido cítrico), y 42.81 mg de Ácido ascórbico/100ml de zumo. Este zumo fue concentrado a 20° Brix, elevando el contenido del material activo (ácido ascórbico) y otros componentes.

Los dos encapsulantes empleados fueron usados en base a las siguientes formulaciones: 100% M; 75% M + 25% G; 50% M + 50% G; 25% M + 75 G% y 100% G; todos estos porcentajes en base al contenido de sólidos solubles del zumo concentrado.

Estas formulaciones fueron deshidratadas por atomización con el fin de poder ver la mayor retención de la vitamina C, obteniéndose mejores resultados con 100% de Goma arábica con una retención de 96.75% de vitamina C.

## ABSTRACT

The present research was to determine the influence of the encapsulant formulations based Maltodextrin (M) and gum arabic (G) on the physicochemical properties that serve to identify the quality of a spray-dried product, such as moisture, solid total, water activity, pH, color and vitamin C.

We worked with ripe fruit, from which the juice extracted with the aid of an extractor. This juice had the following characteristics: 14.00 Brix, pH 3.52, 1.26% Total acidity (based on citric acid), and ascorbic 42.81 mg / 100ml of juice acid. This juice was concentrated to 20 ° Brix, raising the content of the active material (ascorbic acid) and other components.

Encapsulating the two employees were used based on the following formulations: 100% M; 75% M + 25% G; 50% 50% M + G; 25% M + 75% and 100% G G; these percentages based on soluble solids content of the concentrated juice.

These formulations were spray dried in order to see the greater retention of vitamin C, obtaining better results with 100% gum arabic with a retention of 96.75% vitamin C.



## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de frutas se ha convertido en una gran demanda por los nutrientes y vitaminas que estas contienen, es por ello que las tendencias en la alimentación han dado un giro hacia lo natural buscando productos saludables, nutritivos y de fácil preparación; productos con un mínimo tratamiento y con menor agregado de ingredientes sintéticos, de tal modo que estos contribuyan a preservar la salud y hasta curar. (Boucher, 1999)

Los productos deshidratados son muy solicitados ya que son totalmente naturales, son ricas fuentes de fibra, tienen un valor nutricional comparable con el producto en fresco y pueden ser consumidos a cualquier hora. Algunas de sus vitaminas, en especial las hidrosolubles (vitamina C, B1, B2, B6, B12, etc.) se disminuye su contenido al someter el producto al calor, mientras que las liposolubles (vitamina A, D, E, etc.) permanecen casi inalterables, igualmente sucede con los minerales. No obstante, para obtener alimentos deshidratados de buena calidad es imprescindible realizar ensayos experimentales de secado para cada tipo de producto, mediante el registro de peso a diferentes intervalos, para poder establecer de manera correcta, las condiciones óptimas de secado, en las que se mantenga lo mejor posible el valor nutricional del producto. (Juntamay, 2010)

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MICROENCAPSULACIÓN

Los microencapsulación es el proceso por el cual partículas individuales o gotas de un material activo (core) se rodean por una cubierta (shell) para producir cápsulas 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" (Vila Jato, 1997).

La microcápsula más simple posee una estructura que está compuesta por dos elementos, el material activo y una delgada pared que envuelve el 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 esfera de  $1\ \mu\text{m}$  de diámetro se consiguen áreas de  $6000\ \text{cm}^2/\text{mL}$ , 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 a la relación de diámetros (interno vs externo) debe ser 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  $\mu\text{m}$  tendrá de 0.1  $\mu\text{m}$ . Así la protección del material activo será más efectiva en las partículas más grandes.

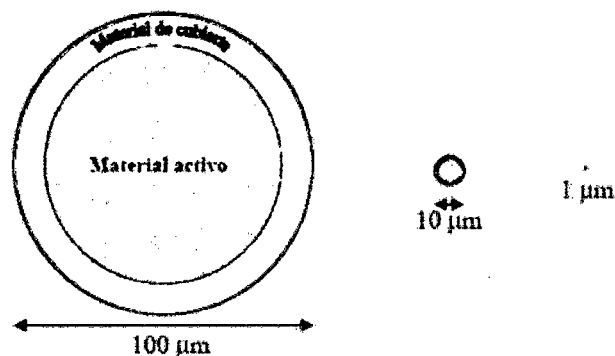


Figura 2: Imágenes de microcápsulas de diferentes diámetros con un mismo volumen de material activo y de material de cubierta.

### 2.1.1. Aplicaciones de la Microencapsulación

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.

En el caso de microencapsulados de componentes alimenticios la función del encapsulado ofrece muy diferentes posibilidades.

- Proteger los componentes alimenticios susceptibles de oxidación o descomposición del oxígeno, el agua y la luz.
- Mejorar el manejo de líquidos, convirtiéndolos en sólidos para que se puedan incorporar en otros preparados alimenticios. El transporte del material sólido resulta mucho más rentable, debido a su menor peso y mayor manejabilidad.
- 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 a un determinado pH.

### **2.1.2. Procesos para preparar microcápsulas**

Como visión general de la microencapsulación, decir que existen algunos tipos de procesos que están basados exclusivamente en fenómenos físicos, otros usan reacciones químicas de polimerización para producir la pared de la cápsula, y otras combinan los métodos físicos y químicos. Como existen muchos tipos de microencapsulación se van a clasificar de acuerdo con la bibliografía consultada en dos grupos (Vilstrup, 2004).

**Procesos de microencapsulación de tipo A**, basados en procesos químicos: Entre los procesos de microencapsulación tipo A se encuentra: coacervación compleja, polímero-polímero incompatible, y proceso de inyección sumergido.

**Procesos de microencapsulación de tipo B**, basados en procesos físicos. Secado por atomización (spray drying), enfriamiento tras atomización (spray chilling), recubrimiento en lecho fluidizado, disco giratorio con orificios múltiples.

#### **Tipo A. Microencapsulación por métodos químicos.**

##### **a) *Coacervación compleja (Hellman, 2000)***

Coacervación compleja es el proceso de separación de fases que tiene lugar de forma espontánea cuando en un medio acuoso se mezclan dos o más coloides que presentan carga opuesta (policación y polianión), como consecuencia de la atracción electrostática que sufren. En los procedimientos de microencapsulación por coacervación compleja se utilizan generalmente combinaciones de una proteína y un polisacárido, en concreto gelatina y goma arábiga (goma acacia) respectivamente. En el proceso de microencapsulación por coacervación el aspecto más importante que hay que tener en cuenta es el control de pH, ya que determina la ionización de ambos coloides, así como la proporción relativa en que se mezclan estos y la concentración polimérica total.

**Procesos de microencapsulación de tipo A**, basados en procesos químicos: Entre los procesos de microencapsulación tipo A se encuentra: coacervación compleja, polímero-polímero incompatible, y proceso de inyección sumergido.

**Procesos de microencapsulación de tipo B**, basados en procesos físicos. Secado por atomización (spray drying), enfriamiento tras atomización (spray chilling), recubrimiento en lecho fluidizado, disco giratorio con orificios múltiples.

#### **Tipo A. Microencapsulación por métodos químicos.**

##### **a) *Coacervación compleja (Hellman, 2000)***

Coacervación compleja es el proceso de separación de fases que tiene lugar de forma espontánea cuando en un medio acuoso se mezclan dos o más coloides que presentan carga opuesta (policación y polianión), como consecuencia de la atracción electrostática que sufren. En los procedimientos de microencapsulación por coacervación compleja se utilizan generalmente combinaciones de una proteína y un polisacárido, en concreto gelatina y goma arábiga (goma acacia) respectivamente. En el proceso de microencapsulación por coacervación el aspecto más importante que hay que tener en cuenta es el control de pH, ya que determina la ionización de ambos coloides, así como la proporción relativa en que se mezclan estos y la concentración polimérica total.

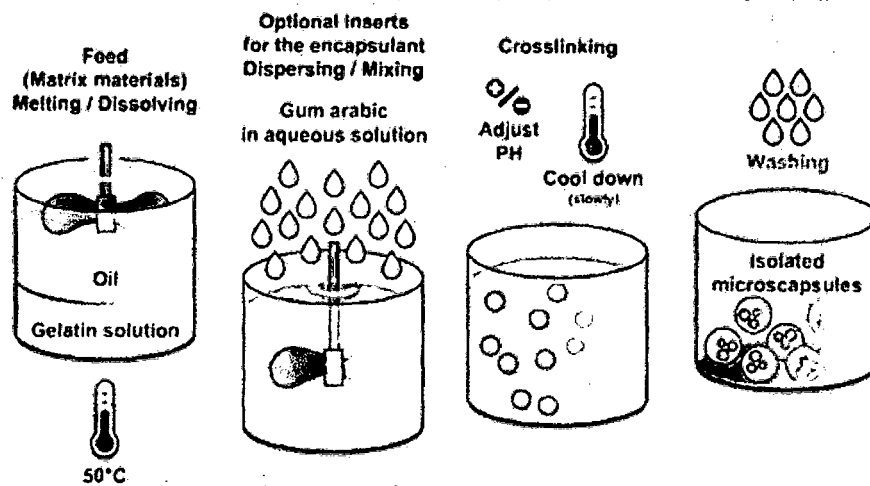


Figura 3: Formación de microcápsulas por coacervación compleja.

**b) Polímero-polímero incompatible**

Se basa en inducir la separación de fases añadiendo un polímero incompatible con el polímero fundador de la cubierta. Un polímero incompatible es aquel polímero que presenta una mayor solubilidad en el disolvente que el propio polímero de recubrimiento, no teniendo, en cambio, afinidad por el material que se va a encapsular. Por lo tanto, a medida que se añade el polímero incompatible, se produce la desolvatación del de recubrimiento, que se separa y deposita alrededor de las partículas suspendidas en el medio.

**c) Procesos de inyección sumergida**

Es un proceso en el que una copa perforada, la cual contiene la fase acuosa, se sumerge en un baño de aceite. La fase del agua de esta emulsión es una disolución concentrada de un polímero soluble en agua. La gelatina es un ejemplo específico.

Se rota la copa, que está sumergida en el aceite, de tal modo que en la fase del aceite se forma una corriente de gotitas de una emulsión aceite/agua. Controlando la temperatura del baño de aceite la fase externa de las gotitas de la emulsión se sacan y gelifican para crear cápsulas de aceite cargados del gel que pueden ser aisladas y secadas. Cuando están aisladas las cápsulas consisten en un número de gotitas pequeñas del material activo dispersadas a través de una matriz del material de la pared.

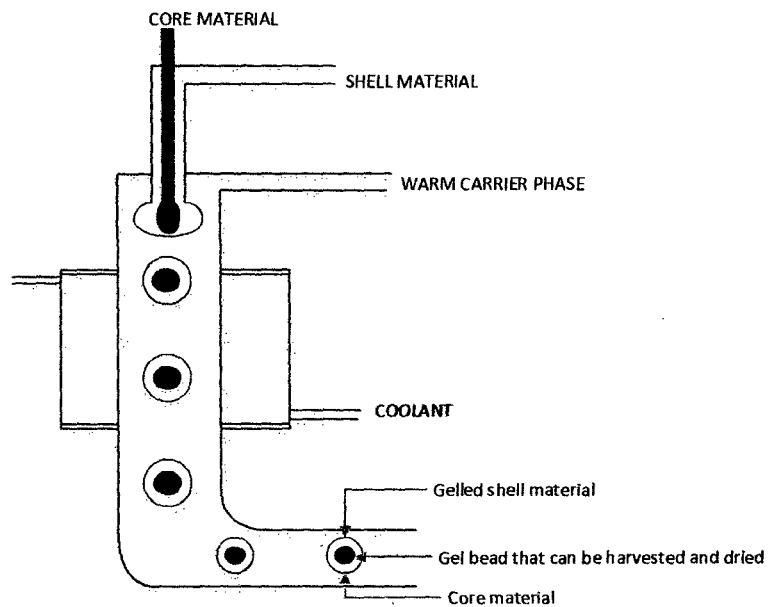


Figura 4: Esquema del sistema de boquilla de dos fluidos sumergida.



## **Tipo B. Microencapsulación por métodos físicos**

### **a) *Secado por atomización***

Consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como disolución o como una dispersión, en forma de finas gotas sobre una corriente de gas calentado. Cuando las pequeñas gotas del líquido se ponen en contacto con el gas a mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del disolvente, formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra disuelto en él (Hellman, 2000).

Un equipo de secado por atomización se compone, esencialmente, de un sistema de alimentación de líquido, un dispositivo de atomización, que por lo general consiste en una boquilla de atomización, una cámara de secado y un sistema colector del producto seco.

Para efectuar la microencapsulación, el material de recubrimiento se disuelve en un disolvente apropiado y en esta disolución se dispersa la sustancia, sólida o líquida, que va a servir como material activo. La dispersión, en estado líquido, preparada en estas condiciones, se suele introducir en la cámara de secado con aire en contracorriente. El aire caliente proporciona el calor de evaporación requerido para la separación del disolvente, produciéndose en esta forma la microencapsulación. Por otra parte, las partículas sólidas se microencapsulan sometiendo a secado por atomización una suspensión de ellas en una

disolución del agente de recubrimiento. Cuando el disolvente se evapora, el material de recubrimiento envuelve las partículas.

El producto que se obtiene por este procedimiento está constituido por microcápsulas de forma aproximadamente esférica y de un tamaño que varía entre 5 y 600 micras y que, casi siempre, presenta una cubierta porosa. Por esta razón cuando se procesan materiales por este método es necesario emplear una baja proporción del ingrediente que va a constituir el material activo ya que, para asegurar una adecuada protección, es necesario que la cubierta ocupe un porcentaje importante de la microcápsula total.

#### ***b) Enfriamiento tras atomización***

Este método es muy similar al de secado por atomización. El material se dispersa en un medio líquido y se somete posteriormente a atomización. La diferencia reside en que, en este procedimiento, se usa la sustancia de recubrimiento fundida y tras ser sometida a atomización se produce un enfriamiento que provoca su solidificación produciéndose, de esta manera, la microencapsulación de la sustancia que se encuentra dispersa (Hellman, 2000).

### **c) *Recubrimiento en lecho fluido***

En este procedimiento la microencapsulación se produce al suspender las pequeñas partículas que forman el material activo en un lecho de aire, u otro gas, al mismo tiempo que se dispersa sobre ellas, en forma de fina lluvia, una disolución del material de recubrimiento. La película se forma por evaporación del disolvente el cual a su vez, es separado por el aire o el gas que abandona el sistema (Raghavan, 2007). Este procedimiento lo desarrolló inicialmente Würster. El aparato en el que se lleva a cabo, se denomina cámara de Würster y consiste en una columna vertical, estrecha en la parte inferior y más ancha en la superior. La microencapsulación se realiza introduciendo una corriente de aire desde el fondo; la velocidad del aire en la parte más estrecha de la columna es considerable, de tal manera, que las partículas que van entrando en esta zona, son de inmediato levantadas hacia la parte superior. En la parte más ancha de la columna, la velocidad del aire disminuye notablemente haciendo que el aire no sea capaz de sostener las partículas en suspensión, provocando la caída de estas hacia la zona central o región de trabajo. La velocidad de la corriente de aire en la zona de trabajo puede ser regulada mediante toberas colocadas a una cierta altura.

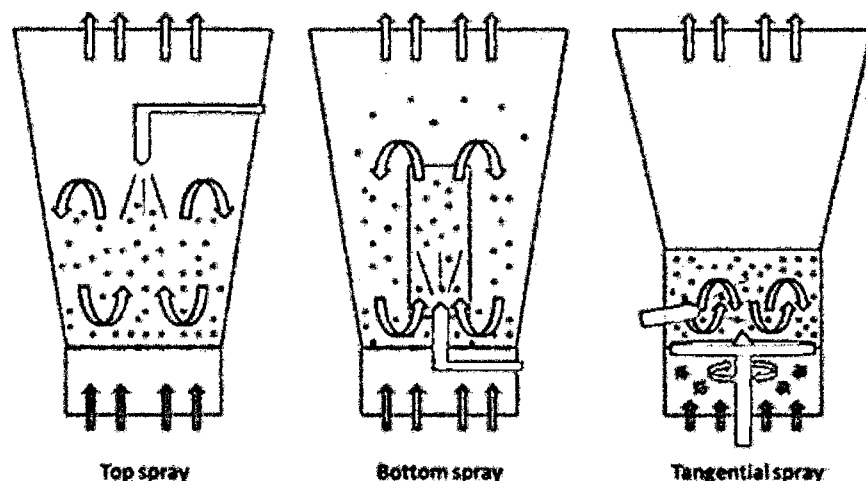


Figura 5: Cámara de Würster.

La microencapsulación por recubrimiento en lecho fluido se aplica ampliamente como tecnología farmacéutica para producir microgránulos de acción sostenida, para mejorar las características de flujo de las partículas y para el recubrimiento de numerosas sustancias en tecnología de alimentos y otras industrias relacionadas.

#### ***d) Disco giratorios con orificios múltiples***

Este procedimiento aprovecha la fuerza centrífuga para proyectar el material activo contra la película del material que formará la cubierta de la microcápsula. Al chocar las partículas del material activo contra la película, esta las envuelve produciendo la microencapsulación.

Este procedimiento de microencapsulación se lleva a cabo en un aparato que consiste, esencialmente, en un disco giratorio que tiene dispuestos orificios en su parte externa. La figura 6,

representa un esquema del aparato utilizado en la microencapsulación por este procedimiento. El material activo se introduce en el sistema mediante tolvas de alimentación y por medio de un dispositivo que los conduce hasta el centro del disco. Al girar esta, la fuerza centrífuga proyecta el material activo a la periferia, impulsándolo hacia los orificios que están dispuestos en la parte externa del cilindro. Por su parte el material de recubrimiento se introduce por dispositivos que lo hacen circular en la periferia del cilindro justo en la salida de los orificios que este posee. Al chocar las partículas con la película de recubrimiento se produce un englobamiento del material activo y cuando las fuerzas centrífugas de la masa del material activo y del material de recubrimiento sobrepasan la fuerza de cohesión de la película, se forman pequeñas cápsulas que se proyectan hacia fuera (Vilstrup, 2004).

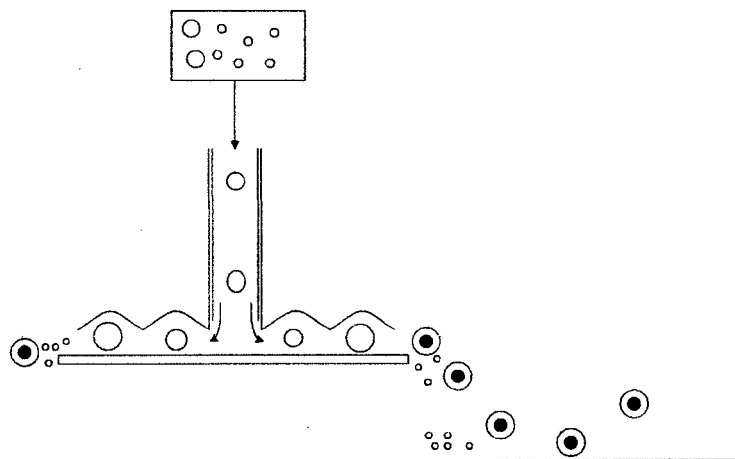


Figura 6: Sistema de microencapsulación por discos giratorios.

## **2.2. MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

### **2.2.1. La operación de secado por atomización**

En la industria la obtención de productos en polvo a partir de materiales líquidos se lleva a cabo por medio de un proceso de secado por atomización (figura 7). El proceso de secado por atomización es capaz de transformar una disolución, una emulsión, una suspensión o una dispersión líquida en un producto totalmente seco y estable.

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 recogidas 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. Las ventajas frente a la liofilización son un rendimiento mayor, unos tiempos de procesamientos más cortos y su menor coste.

corrosión y de selección de materiales costosos 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 las temperaturas de funcionamiento del gas puede extenderse de 150 a 600 °C la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos.

Las desventajas del secado por atomización son:

- 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.

### **2.2.3. Etapas del proceso de secado por atomización**

Veamos en detalle las tres etapas del proceso de secado por atomización indicadas anteriormente: atomización, mezcla de aerosol-aire y evaporación de la humedad del producto, separación

del producto seco del aire de salida, así como los equipos utilizados en cada una de ellas:

**a) 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 1: Rango de tamaños de gota obtenidos en el atomizado.

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

Los más usados a nivel industrial son los atomizadores de rueda giratoria y los atomizadores de boquilla a presión de un líquido. El diseño del cilindro de secado (compartimiento de secado) está influenciado por el tipo de atomizador utilizado.

Las características de los atomizadores se explican a continuación.

#### **e) Ruedas giratorias**

El diámetro del orificio de atomización y las revoluciones de la rueda influyen en el tamaño de la partícula resultante (figura 8). El tamaño de partícula puede ser variado cambiando la velocidad del atomizador con respecto a la velocidad periférica de la rueda. Una rueda con un diámetro grande que funciona a una velocidad fija producirá partículas pequeñas, mientras que una rueda de diámetro pequeño que funcione a la misma velocidad fija producirá partículas más grandes.

Las ruedas tienen pocas aberturas para que la alimentación líquida salga de la rueda. Esto da lugar a una mayor cantidad de alimentación que es forzada fuera de cada

agujero, así se crea una partícula más grande (aproximadamente 30-50 micras).

El sistema utiliza un compartimiento de secado con una relación longitud/diámetro baja que permite que las partículas se sequen en dirección horizontal antes de golpear las paredes.

**f) Boquillas a presión de un fluido**

Las boquillas a presión de un fluido crea el aerosol como consecuencia de presiones que oscilan de 5 a 7 MPa (50-70 bar) y que ejerce el líquido al pasar a través del orificio de la boquilla. El diámetro del orificio es generalmente pequeño, de 0.4 a 4 mm, y la capacidad generalmente de la boquilla no excede de 100 L/h. cuando el caudal de entrada es elevado se pueden utilizar varias boquillas en el compartimiento de secado. El compartimiento de secado suele tener una relación longitud/diámetro alta.

Con este tipo de boquilla es posible producir las gotitas dentro de una gama estrecha de diámetros y las partículas secadas son generalmente esferas huecas.

Las boquillas a presión de un fluido no son convenientes para suspensiones altamente concentradas y materiales abrasivos debido a su tendencia a obstruir y a erosionar el orificio de la boquilla. El consumo de energía de una boquilla

a presión de un fluido es muy bajo en comparación con el del atomizador de rueda (Mujumdar, 1995).

**g) Boquillas a presión de dos fluidos**

El sistema de dos fluidos utiliza una boquilla que trabaja con aire comprimido o vapor para atomizar el líquido. En este caso la alimentación se mezcla con el aire fuera del cuerpo de la boquilla.

Aproximadamente son necesarios  $0.5 \text{ m}^3$  de aire comprimido para atomizar 1 Kg de líquido. La capacidad de una sola boquilla no excede generalmente los 1000 Kg/h de alimentación. Los aerosoles de alimentaciones poco viscosas se caracterizan por tamaños de gotita de medio a bajo y un alto grado de homogeneidad, con alimentaciones altamente viscosas, se producen tamaños más grandes de la gotita pero la homogeneidad no es tan alta.

Estas boquillas producen gotitas grandes o pequeñas según el cociente aire-líquido. El alto coste del aire comprimido (rango de presiones, 1.5-8 bares) llega a ser importante para la economía de estas boquillas, que tienen el consumo de energía más alto de los tres tipos de atomizadores (Mujumdar, 1995).

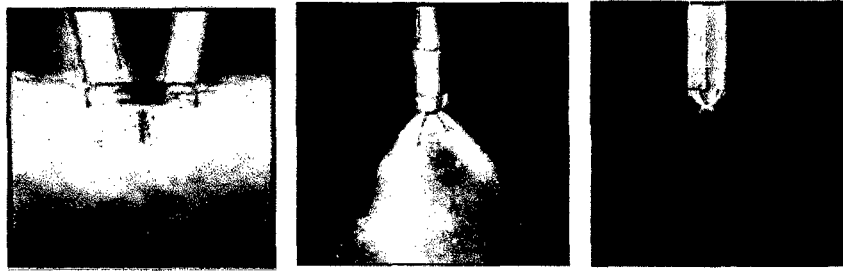


Figura 8: Por orden: imágenes de atomizador de rueda giratoria, boquilla a presión de un fluido y boquilla a presión de dos fluidos.

**b) 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 9).

- Flujo co-corriente
- Flujo contracorriente
- Flujo combinado

A continuación se verá con detalle cada una de estas posibilidades.

- h) **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.
- i) **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.
- j) **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.

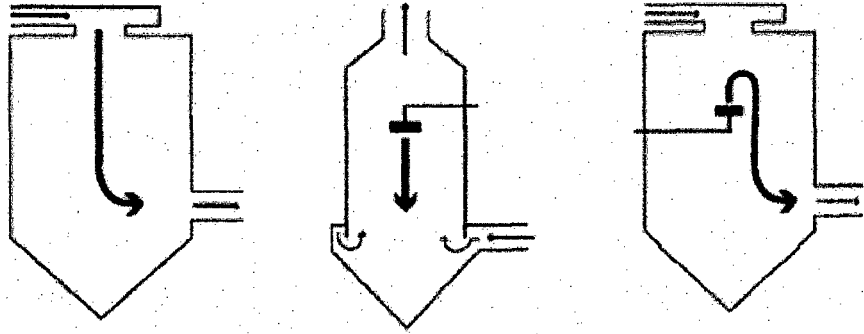


Figura 9: Tipos de flujo. Por orden: flujo co-corriente, contracorriente y combinado

**c) 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.

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.

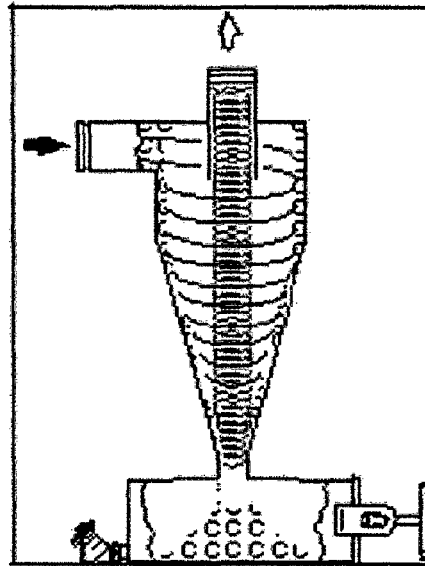


Figura 10: Esquema de un ciclón utilizado para la separación de partículas.

#### 2.2.4. Principales variables del proceso de secado por atomización

- 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.
- 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.

- Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización (Tinlet). Esta temperatura se puede controlar mediante la resistencia eléctrica del equipo.
- 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

La optimización de estos parámetros se hace generalmente por un proceso de "ensayo y error", si bien es posible predecir la influencia de cada una de estas variables de manera individual.



## **2.3. MICROENCAPSULACIÓN DE ZUMOS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN**

### **2.3.1. Los zumos y su microencapsulación**

El secado por atomización de los zumos de frutas es una operación de proceso en un solo paso que transforma los zumos en un producto en polvo. La formulación en polvo facilita el transporte al reducir el peso, y también preserva el producto de la degradación bacteriana al disminuir drásticamente la actividad del agua.

Los zumos presentan por naturaleza un elevado contenido de azúcares como glucosa y fructosa y ácidos orgánicos como ácido cítrico, málico y tartárico, lo que les confiere una característica diferencial a la hora de conseguir que un zumo por eliminación de su contenido en agua se transforme en una presentación en polvo.

Estos compuestos tienen temperaturas de transición vítrea bajas y ya sea con los secadores por atomización utilizados en la industria alimentaria para transformar disoluciones, emulsiones o dispersiones de un producto (estado líquido) en productos en polvo, o bien con el uso de liofilizadores, nos encontramos con los problemas de pegajosidad (stickiness) y de elevada higroscopicidad con los productos obtenidos. El término "stickiness" hace referencia a los fenómenos de cohesión partícula-partícula y de adhesión partícula-pared que presentan los polvos obtenidos, que dificulta su presentación en estado polvo y

mancha las paredes de los cilindros de pulverización (Dolinsky et al., 2000). Al quedar en la pared del compartimiento de secado como un jarabe da lugar a bajas producciones del producto y a problemas operacionales. La cohesión es una propiedad interna del polvo y una medida de las fuerzas que mantienen unidas las partículas, mientras que la adhesión es una propiedad interfacial y una medida de las fuerzas que mantienen las partículas unidas a otro material.

La mayor causa de la pegajosidad en polvos amorfos de zumos es la acción plastificante del agua en la superficie, que da lugar a la adhesión y cohesión (Boonyai et al., 2004).

Este fenómeno depende no solo de las propiedades de los materiales sino también de las condiciones aplicadas en el secado. La evaporación rápida en el secado por atomización produce partículas en estado amorfo que presentan una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) baja.  $T_g$  es una medida de un fenómeno de transición de fase, donde un material pseudo líquido pegajoso (gomoso) se transforma en un material pseudosólido en estado vítreo.

La transición ocurre a lo largo de un rango de temperaturas entre la temperatura de transición vítrea inicial ( $T_{g\text{onset}}$ ) y la final ( $T_{g\text{endset}}$ ). Este intervalo varía entre 10 y 30 °C. Imaginemos un material pseudolíquido (pegajoso) que se está moviendo hacia el estado pseudo-sólido vítreo (no pegajoso). Cuando la temperatura en la

superficie de una gota atomizada ( $T_d$ ) es mucho mayor que la  $T_g$ , esta gota presenta una fuerza cohesiva baja (fluidéz alta) comparada con la fuerza adhesiva en la interfase gota equipo. Cuando la temperatura está cercana a la  $T_g$  final la fuerza cohesiva del material aumentará sustancialmente debido a la menor fluidéz. Cuando la temperatura del material cae por debajo de la temperatura vítrea inicial se completa la transición y se obtiene un material vítreo. Puesto que la transición vítrea ocurre en un rango de temperatura, es necesaria una escala de tiempo para completar el proceso. Resulta razonable establecer una temperatura de compensación que ofrezca una escala de tiempo suficientemente larga que permita la transición. Un valor de 10 °C de compensación de temperatura permite un tiempo suficiente para conseguir un estado seguro de no adhesión.

El alto contenido en azúcares de bajo peso molecular y ácidos orgánicos disminuye la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) por debajo de la temperatura de preparación del producto, incluso a la temperatura de salida del secado. Esto conlleva a la existencia de un estado pseudolíquido de material amorfo, que es responsable de la cohesión interpartículas y de la adhesión de las partículas a las paredes del cilindro de atomización. Cuanto mayor sea esta diferencia de temperatura ( $\Delta T = T_p - T_g$ ) mayor será el grado de pegajosidad.

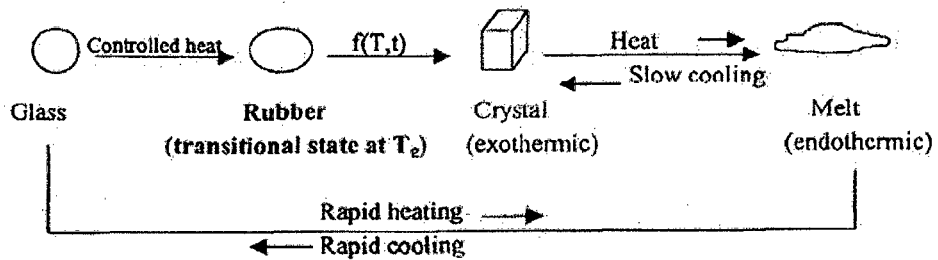


Figura 11: Esquema de la transición vítrea.

Una solución a este problema de pegajosidad es el uso de cilindros de pulverización de doble pared o el uso de aire seco para enfriar. Otra solución al problema es la utilización de productos ayudantes de secado. Estos ayudantes de secado son productos envolventes o encapsuladores que mezclados con la muestra líquida evitan la pegajosidad y aglomeración del producto obtenido.

Los encapsulantes comunes utilizados en la industria incluyen los carbohidratos, las gomas y los ésteres de celulosa. Los ayudantes de secado más ampliamente utilizados para obtener polvos del zumo de fruta son productos de almidón parcialmente hidrolizados. Estos polímeros de la D-glucosa tienen un sabor neutro, color blanco, carecen de olor, son fácilmente digeridos y son bien tolerados. Se clasifican generalmente según su grado de hidrólisis, expresado como equivalente de dextrosa (DE). Las maltodextrinas tienen un DE de menos de 20, según la agencia alimentaria de los Estados Unidos, mientras que los polímeros de glúcidos con DE mayores de 20 se consideran como jarabes de glucosa.

Aun cuando se ha investigado mucho sobre el proceso de secado por atomización, todavía sigue siendo un proceso con algunas incertidumbres y dificultades. Una razón es la alta influencia en el comportamiento de secado de las características de los materiales y otro es la compleja dinámica de fluidos en el secador por atomización.

La formulación en polvo está ampliamente extendida en el campo de la alimentación. Podemos encontrar una amplia gama de productos alimenticios en polvo, algunos de ellos podrían ser café soluble, cacao, papillas para bebés, queso, leche, pigmentos y muchos más. El secado por atomización se utiliza también para secar productos químicos-farmacéuticos, latex, caucho, polvos de cerámica, detergentes y otros productos (Mujumdar, 1995).

Tabla 2: Tamaños de partícula obtenidos mediante secado por atomización

Producto	Tamaño
Leche	30-250 $\mu\text{m}$
Café	80-400 $\mu\text{m}$
Pigmentos	10-200 $\mu\text{m}$
Productos farmacéuticos	5-50 $\mu\text{m}$
Otros productos químicos	10-1000 $\mu\text{m}$

Obtener zumos en polvo es muy atractivo desde el punto de vista industrial, es un sector con gran proyección, encontrándose muchas aplicaciones tanto en el sector de la alimentación como en el de productos nutraceúticos y de cosmética.

027283

En la figura 12 se muestran fotografías de algunos de los productos ofrecidos por estas empresas.



Figura 12: Algunos productos de micro-encapsulación comerciales.

## **2.3.2. Microencapsulación del zumo de Toronja.**

### **2.3.2.1. La Toronja**

#### **A. Origen de la Toronja**

La planta es oriunda del sudeste asiático y se cultiva en países de clima intertropicales. La dispersión de los cítricos desde sus lugares de origen se debió fundamentalmente a los grandes movimientos migratorios. Es una hibridación natural que se dio en las islas Barbados en el siglo XVII, entre un naranjo dulce y un pummelo (*Citrus grandis*). La auténtica expansión de la toronja ha sido en América. La producción de toronja a nivel mundial supera los 3,8 millones de toneladas, siendo Estados Unidos el productor líder con más de 2,3 millones de toneladas y el 45% destinado al consumo en fresco. Le siguen en

importancia países como Argentina, Cuba, Chipre, Israel, México, Mozambique y Sudáfrica.

## **B. Descripción de la Toronja**

La toronja o pomelo (*Citrus x paradisi*) es un árbol de la familia de las rutáceas, cultivado por su fruta. Es un híbrido, probablemente producido de forma espontánea entre la pampelmusa (*Citrus maxima*) y la naranja dulce (*Citrus x sinensis*).

Se clasifican según la tonalidad de su pulpa. Las variedades blancas o comunes, son las que tienen la pulpa de color amarillo, y a pesar de ser las más cultivadas cada vez más se ven desplazadas por las variedades pigmentadas. Éstas últimas dan Toronjas con la pulpa de tono rosa y rojizo y deben su color al pigmento licopeno. Su popularidad y consumo se ha incrementado en las dos últimas décadas en muchos países. El llamativo color sólo se produce si las temperaturas de cultivo son elevadas.

La Toronja combina la forma de una naranja grande y el color amarillo de un limón, aunque también existen variedades de color verde, semejante a la piel de la lima. La tonalidad de la pulpa de las toronjas es variada y atractiva y va desde el color amarillo, al rojo, pasando por el anaranjado. El contenido en

carotenoides, pigmentos que le confieren el color anaranjado-rojizo, por tanto, será mayor cuanto más oscuro sea el tono de la pulpa, independientemente del color de la piel. Los carotenoides destacan en el campo de la nutrición por su función antioxidante, y consecuentemente, ejercen una acción preventiva en la enfermedad cardiovascular.

### **C. Características Morfológicas**

Familia: Rutaceae.

Género: Citrus.

Especie: Citrus paradisi Macf.

#### **BOTÁNICA**

Porte: Reducido. Tronco corto y copa compacta. Brotes color púrpura. Escasa espinosidad.

Hojas: Medio-grandes, algo vellosas, con alas grandes, nervios muy marcados y olor típico.

Flores: Grandes de color verdoso y estambres reducidos.

Fruto: Hesperidio. Consta de: exocarpo (flavedo: presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo: pomposo y de color blanco) grueso y endocarpo (pulpa: presenta tricomas con jugo) blanco, rosa o rojo. De tamaño grande y forma redonda y algo aplastada. Superficie con glándulas prominentes con aceites.





Figura 13: Toronja

#### **D. Variedades**

Las variedades de las toronjas pueden clasificarse en dos grupos. En el primer grupo se incluyen las variedades blancas o comunes, siendo la variedad Marsh la más importante. En el segundo grupo engloba las variedades pigmentadas, que están adquiriendo mayor popularidad entre los consumidores.

##### *Variedades blancas o comunes:*

- Duncan: árbol vigoroso, grande y muy productivo; su fruto es de mayor tamaño que el de la variedad Marsh y el árbol es más resistente al frío. Sabor excelente, pulpa muy firme y jugosa, buena acidez y niveles de azúcar elevados, dando un sabor equilibrado, rico y dulce. Elevado número de semillas (30-50 por fruto), pero a pesar de ello sigue siendo el punto de referencia en cuanto a calidad. La presencia de semillas no es un obstáculo para su industrialización dados el sabor y la firmeza de los gajos,

siendo una variedad muy indicada para la transformación en zumo.

- Marsh (Marshseedles): se obtuvo a partir de semilla de la variedad Duncan. Procede de Florida (EE.UU.). Árbol vigoroso y muy productivo, de tamaño grande y más sensible al frío. El fruto es algo más pequeño que Duncan, pero el número de semillas es mucho menor (2-3 por fruto). El contenido de zumo es alto y dicho zumo es dulce, aunque con acidez elevada al comienzo de la campaña. Esta variedad permanece más tiempo en el árbol (hasta tres meses), aunque a finales de campaña la acidez es baja y el sabor un tanto insípido. Es la variedad más importante del mundo, adecuada para la industria de zumo y de gajos.

#### ***Variedades pigmentadas:***

Deben su color al pigmento licopeno, a diferencia de las naranjas, en las que el color se debe a las antocianinas. El licopeno se genera cuando las temperaturas son elevadas. La popularidad de las toronjas pigmentadas se ha incrementado en las dos últimas décadas en muchos países, aunque no ha ocurrido así en Japón.

- Burgundy: probablemente se originó a partir de la variedad Thompson. Es una variedad tardía que se mantiene en el árbol hasta comienzos del verano en buenas condiciones comerciales. La corteza es lisa y su color no acompaña a la intensa coloración interna en tono marrón. Escaso número de semillas (1-2), pulpa firme, muy jugosa, con sabor dulce y nada amargo. Su calidad interna es considerada inferior en comparación con otras variedades pigmentadas y apenas se cultiva en la actualidad.
- Ruby (Ruby red, Redblush, Henninger): estas variedades se originaron en la misma zona de Texas, probablemente al mismo tiempo y muchos expertos piensan que se trata de la misma variedad. Mutación espontánea de Thompson. Sin semillas. Madura aproximadamente al mismo tiempo que la toronja Thompson, pero presenta mejor calidad interna y mejor pigmentación interna y externa. La intensidad de la pigmentación aumenta con la temperatura ambiente. Es la primera variedad de toronja rosa que permitió una rápida identificación por la coloración externa sin necesidad de ser partida. Excepto por el color, es prácticamente idéntica a la variedad Marsh en cuanto a características del fruto, aunque presenta menos semillas. Es una de las variedades más cultivadas a escala mundial, aunque pronto será superada por

variedades más recientes. A partir de mutaciones de esta variedad se han introducido otras dos: Rio Red y Ray Ruby.

- Star Ruby: fue obtenida mediante la irradiación de una semilla de la variedad Hudson en Texas en 1959. La pulpa es de coloración más intensa y la coloración externa es superior a la de las variedades más recientes. Presenta escasas semillas (1-2, en algunos frutos). La corteza es muy delgada, el contenido de zumo es muy alto y el sabor más dulce y menos amargo que el de Marsh y otras variedades pigmentadas. Es la toronja estándar o modelo con el que se suelen comparar otras variedades. La irradiación también ha supuesto algunos inconvenientes que se manifiestan en la reordenación genética: el árbol es de crecimiento lento, compacto y de poco desarrollo; asimismo es muy sensible a la podredumbre del cuello y a herbicidas y puede presentar acanaladuras en la madera producidas por el virus de la Tristeza antes que las variedades Marsh y Ruby. Mientras que muchas variedades pueden almacenarse en buenas condiciones comerciales durante varios meses. Star Ruby tiende a desarrollar podredumbre peduncular (diploidía) a las pocas semanas. El tamaño del fruto se ve afectado por el escaso vigor del árbol, tendiendo a ser pequeño, lo que supone un gran inconveniente, ya que sólo los frutos de

gran tamaño alcanzan precios verdaderamente altos en el mercado.

- Thompson o PinkMarsh: fue la primera variedad pigmentada sin semillas. Se originó como mutación espontánea de MarshSeedles en florida en 1913. Las características del árbol y del fruto son muy similares a las de la variedad Marsh, ya que sólo difiere en dos aspectos: es de madurez algo más precoz y la pulpa es ligeramente rosa en la zona próxima a las membranas de los gajos, aunque este color tiende a mitigarse con el paso del tiempo.

#### **E. Composición Nutricional**

El agua es el principal componente de este cítrico, por lo que toronja posee un escaso valor calórico, a expensas básicamente de los hidratos de carbono. La cantidad de fibra no es representativa y ésta se encuentra sobre todo en la parte blanca entre la pulpa y la corteza, por lo que su consumo favorece el tránsito intestinal.

En cuanto a las vitaminas, destaca por su riqueza en vitamina C (el aporte en vitamina C de una toronja, supera en 30 mg la ingesta diaria recomendada para este nutriente), y en menor cuantía en ácido fólico. El contenido en carotenoides, pigmentos

que confieren a los vegetales el color anaranjado-rojizo, no es significativo salvo en las variedades de pulpa de color oscuro, con independencia del color de la piel.

Respecto al contenido mineral, destacan el potasio y en segundo lugar, el magnesio. Abundan en la toronja los ácidos málico, oxálico, tartárico y cítrico, éste último potencia la acción de la vitamina C; responsables de su sabor y de los que dependen varias de las propiedades que se le atribuyen a la toronja.

La vitamina C interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones.

La provitamina A o beta caroteno se transforma en vitamina A en nuestro organismo conforme éste lo necesita. Dicha vitamina es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico. Ambas vitaminas, cumplen además una función antioxidante. El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis material genético y la formación anticuerpos del sistema inmunológico. Y el potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, que interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.

Cuadro 1: Composición Nutricional de la Toronja.

COMPONENTES	Por 100 g de porción comestible	Por unidad (375 g)
Energía (Kcal)	31	79
Proteínas (g)	0,8	2,0
Lípidos totales (g)	0,1	0,3
AG saturados (g)	—	—
AG monoinsaturados (g)	—	—
AG poliinsaturados (g)	—	—
$\omega$ -3(g)	—	—
$\omega$ -6(g)	6,8	0,0
6(g) Colesterol(mg)	1,6	17,3
Hidratos de carbono (g)	90,7	4,1
Fibra (g)		231,3
Agua (g)		
Calcio (mg)	23	58,7
Hierro (mg)	0,1	0,3
Yodo ( $\mu$ g)	—	—
Magnesio (mg)	9	23,0
Zinc (mg)	Tr	Tr
Sodio (mg)	3	7,7
Potasio (mg)	200	510,0
Fósforo (mg)	20	51,0
Selenio ( $\mu$ g)	1	2,6
Tiamina (mg)	0,05	0,13
Riboflavina (mg)	0,02	0,05
Equivalentes niacina (mg)	0,4	1,0
Vitamina B6 (mg)	0,03	0,08
Ácido Fólico ( $\mu$ g)	26	66,3
Vitamina B12( $\mu$ g)	0	0,0
Vitamina C (mg)	36	91,8
Vitamina A: Eq.Retinol ( $\mu$ g)	2	5,1
Vitamina D ( $\mu$ g)	0	0,00
Vitamina E (mg)	0,19	0,5

Fuente: Moreiras y col., 2007.

### 2.3.2.2. Zumo de Toronja

El zumo de Toronja se encuentra entre los alimentos bajos en sodio ya que 100 g. de este alimento contienen tan solo 1,30 mg.

Entre las propiedades nutricionales del zumo de Toronja cabe destacar que tiene los siguientes nutrientes:

Cuadro 2: Composición Nutricional del Zumo de Toronja

COMPONENTES		Por 100 g de porción comestible	
Calorías		43,62 kcal.	
Grasa		0,10 g.	
Colesterol		0 mg.	
Sodio		1,30 mg.	
Carbohidratos		10,10 g.	
Fibra		0,10 g.	
Azúcares		10,10 g.	
Proteínas		0,53 g.	
Vitamina A	1 ug.	Vitamina C	36 mg.
Vitamina B12	0 ug.	Calcio	9,30 mg.
Hierro	0,57 mg.	Vitamina B3	0,20 mg.



**Cuadro 3: Vitaminas y Minerales del Zumo de Toronja**

Componente	Cantidad
A	0.983 µg eq. de retinol
B1 Tiamina	0.033 mg
B2 Riboflavina	0.018 mg
B6 Piridoxina	0.02 mg
C Ac. Ascórbico	35.2 mg
E	0.186 mg eq. de alfa-tocoferol
Calcio	9.43 mg
Zinc	0.113 mg
Hierro	0.567 mg
Magnesio	7.74 mg
Potasio	150 mg
Yodo	1.01 µg

### **2.3.2.3. Zumo de Toronja en la Industria Alimentaria.**

Los zumos de frutas más demandados son los de naranja, manzana, piña y TORONJA. La conveniencia, la imagen, el bienestar y los diferentes sabores son los aspectos que tienen en cuenta los consumidores en el momento de decidir la compra.

Países Europeos como Alemania, Países Bajos, Francia, España e Italia son los mercados más atractivos para los países en vía de desarrollo, con productos tropicales (exóticos) y orgánicos.

El zumo de frutas designa el producto susceptible de fermentación, pero no fermentado, obtenido a partir de frutas sanas y maduras, frescas o conservadas por el frío, de una o varias especies, que posea el color, el aroma y el sabor característicos de los zumos de la fruta de la que procede. Se podrá reincorporar el aroma, la pulpa y las células que haya perdido con la extracción.

El zumo de frutas a base de concentrado es el producto obtenido al incorporar al zumo de frutas concentrado, el agua extraída en el proceso de concentración. El agua añadida deberá presentar las características adecuadas, especialmente desde el punto de vista químico, microbiológico y organoléptico, con el fin de garantizar las propiedades esenciales del zumo.

El zumo de frutas concentrado es el producto obtenido a partir de zumo de frutas de una o varias especies por eliminación física de una parte determinada del agua. Cuando el producto esté destinado al consumo directo, dicha eliminación será de al menos un 50%.

El zumo de frutas deshidratado o en polvo es el producto obtenido a partir de zumo de frutas de una o varias especies por eliminación física de la totalidad del agua.

### **2.3.3. Polvos Deshidratados de Frutas**

La deshidratación de alimentos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. La utilización del sol para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más ancestral y menos costoso de conservación. Diversos autores indican que en el paleolítico, hace 400.000 años, se secaban al sol alimentos, carnes y pescados especialmente. Hoy todavía se utiliza en la deshidratación de frutas: higos, uvas, melocotones, etc. (Vanaclocha, 2003).

#### **2.3.3.1. Propiedades de polvos instantáneos**

Los polvos de deshidratados de frutas, con humedades entre el 3% y el 4% (H), son utilizados en la industria de dulces, caramelos blandos, repostería, alimentos para niños, industria de saborizantes de alimentos, heladería, productos lácteos, bebidas, entre otros usos (Jaya & Das, 2003).

La producción de jugos de frutas se clasifica entre jugos cítricos y jugos no cítricos. Los primeros, están conformados especialmente por carbohidratos (aproximadamente el 60% de los sólidos son monosacáridos o disacáridos). Esta composición es el principal factor responsable de las dificultades que se presentan durante las operaciones de deshidratación de jugos cítricos concentrados. El ácido cítrico se concentra durante el secado, y se constituye en un criterio de calidad. Los jugos de frutas no cítricas, tienen

principalmente carbohidratos, siendo el mayor porcentaje azúcares reductores. Hay presencia de ácidos orgánicos entre 0.5% y 1% (Mafart, 1994).

Un producto instantáneo es aquel que requiere muy poco esfuerzo para reconstituirse. El proceso de dispersión o disolución de un polvo se divide en 4 fases, y el comportamiento de sus propiedades físicas asociadas con esas etapas, conforma el concepto de propiedades instantáneas (Freudig, Hoge Kamp, & Schubert, 1999; H. Schubert, 1993). En la primera etapa conocida como remojo o humedecimiento, el líquido penetra dentro de los poros de las partículas de polvo; en la segunda, las partículas se sumergen debajo de la superficie del líquido; en la tercera se dispersan con una pequeña energía de agitación y en la etapa final las partículas forman la solución si son solubles en el líquido, o permanecen suspendidas (H. Schubert, 1987). La secuencia durante la reconstitución de un alimento en polvo y la facilidad para que ocurra el proceso, dependen en gran parte de la naturaleza del producto. Los atributos tales como la humectabilidad, la dispersabilidad y la solubilidad son usados para caracterizar a los polvos instantáneos. Para que un polvo exhiba buenas características de reconstitución y para que sea llamado instantáneo, se requiere un equilibrio apropiado entre estas propiedades. Los factores que influyen sobre estas propiedades son el tamaño y densidad de las partículas y las

propiedades de superficie. Las partículas no se mojan con facilidad si entre ellas y el líquido hay una elevada tensión superficial. (Lewis, 1993).

#### **2.3.3.2. Humectabilidad**

Es la capacidad que tienen las partículas de adsorber agua sobre la superficie, dando así inicio a la reconstitución del jugo (Brennan, Butters, Cowell, & Lilley, 1998). También puede definirse como la facilidad que tiene el polvo de empaparse con un líquido por efecto de fuerzas capilares que controlan la velocidad de la etapa (Freudig et al., 1999). Esta propiedad depende en gran parte del tamaño de las partículas; si son partículas grandes forman poros grandes. La alta porosidad, pero sin exceder la porosidad crítica, y los pequeños valores del ángulo de contacto entre la superficie del poro y la de penetración en el agua, también contribuyen a mejorar la humectabilidad del polvo (Freudig et al., 1999). Las partículas pequeñas, que ofrecen una gran relación área/masa, no se humedecen individualmente, sino que forman grumos quedando cubiertas por una capa superficial mojada, la cual reduce la velocidad con que el agua penetra hacia el interior de las partículas del grumo. Incrementando el tamaño de partícula y/o aglomerándolas, se puede reducir la tendencia a la formación de grumos (Brennan et al., 1998).

La composición de la superficie de los polvos juega también un papel importante durante el proceso de remojo, ya que la presencia de algún componente hidrofóbico deteriora la humectabilidad del producto. Si las partículas se disuelven en el líquido y estas tienen poros grandes, aumenta la velocidad de humectación en la mayoría de los casos. Al mismo tiempo, si la viscosidad del líquido aumenta considerablemente por la disolución de las partículas, puede haber un efecto negativo sobre el tiempo de humectabilidad a pesar de tener poros grandes. Cuando hay una velocidad de humectación lenta, puede haber hinchazón de las partículas y tener como resultado una tasa de humectabilidad que tiende a cero (H. Schubert, 1993). Así mismo, si se disminuye el ángulo de contacto con la adición de agentes humectantes, se disminuye la tensión superficial y se mejora la humectabilidad.

La segunda etapa de la reconstitución corresponde al hundimiento de las partículas por debajo de la superficie del líquido. La facilidad de hundirse dentro del agua, depende principalmente de la masa, tamaño y la densidad de las partículas y no propiamente de la facilidad de remojo. Las partículas grandes y densas generalmente son más rápidas para sumergirse que las livianas, pero la presencia de aire dentro de ellas pueden afectar su capacidad de hundimiento (Barbosa-Cánovas, Ortega-Rivas, Juliano, & Yan, 2005). La

tasa de humectación es el paso que limita la velocidad de disolución de sustancias pulverulentas (Lewis, 1993).

El trabajo de Kim y colaboradores (2002), demostró que el contenido de azúcar (sacarosa) en el polvo tiene mayor influencia sobre las propiedades instantáneas que el contenido de grasa mostrando la humectabilidad una correlación lineal negativa con el contenido de azúcar; una buena humectabilidad no necesariamente lleva a una alta solubilidad (Kim, Chen, & Pearce, 2002).

Diversos estudios han mostrado la relación entre las propiedades físicas, químicas y la composición de la superficie de los polvos con las propiedades de instantaneidad de un polvo. Los resultados para una mezcla de polvo de cacao y azúcar, indican buenas propiedades instantáneas para tamaños de partículas  $> 0.4$  mm mientras que para partículas  $< 0,2$  mm esta propiedad no es buena; los valores de dispersabilidad obtenidos están entre el 50% y el 95%; la humectabilidad entre 10 y 22 segundos (Shittu&Lawal, 2007). Los malos resultados en la humectabilidad para partículas muy pequeñas, son la razón por la cual en muchos productos se utiliza aglomerantes, pues al aumentar el tamaño de las partículas se mejora esta propiedad.

El método estático para medir la humectabilidad de un polvo en laboratorio es adecuado si las partículas tienen una

densidad aparente mayor que la del agua, de tal manera que la capacidad de hundimiento al fondo del líquido sea buena. Ha sido utilizado frecuentemente para medir esta propiedad (Freudig et al., 1999; Fuchs et al., 2006; Kim et al., 2002).

#### **2.3.3.3. Solubilidad**

La solubilidad es la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en el agua. Los factores que afectan la solubilidad de los sólidos en líquidos son las fuerzas intermoleculares entre el soluto y el solvente y la temperatura. El efecto de la temperatura se puede predecir basándose en el principio de Le Chatelier. Si bajo condiciones de equilibrio el calor total de disolución es exotérmico, la solubilidad disminuye con el aumento de temperatura y en forma inversa, si es endotérmico, la solubilidad aumenta con el aumento de temperatura. La agitación y la pulverización no aumentan la solubilidad de un sólido en un líquido, solo aceleran la llegada del punto de saturación. La solubilidad de equilibrio a temperatura constante de una sustancia, es la solubilidad de su forma más estable en equilibrio con su solución y es la forma en que se obtiene el más alto punto de fusión (Mortimer, 1983).

La literatura reporta trabajos que demuestran que la solubilidad de un polvo instantáneo está directamente relacionada con su microestructura. Las formas cristalinas y



amorfos de las superficies de los polvos presentan diferencias y amorfas de las superficies de los polvos presentan diferencias en los tamaños y forma de las partículas, las propiedades químicas, su estabilidad química, la solubilidad en agua y la higroscopicidad (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005). A mayor grado de superficies amorfas, se incrementa la solubilidad de los polvos en agua y a mayor presencia del estado cristalino, se disminuye su solubilidad ya que le confiere una mayor organización de las partículas (Gombas, Antal, Szabo-Revesz, marton, & Eros, 2003). Los sólidos amorfos tienen una mayor solubilidad y velocidad de disolución que la del estado cristalino (Yu, 2001).

Varias investigaciones han establecido correlaciones entre la duración y la severidad del proceso de secado con la velocidad y grado de rehidratación, indicando que hay una rehidratación más rápida y completa rehidratación con la disminución del tiempo de secado. Esto se explica por un menor encogimiento durante el secado rápido de sólidos y por lo tanto por la presencia de paredes intercelulares definidas vacías que promueven un incremento en la rata de rehidratación (McMinn & Magee, 1997). La solubilidad tiene que ver con las propiedades sensoriales ya que afecta la percepción del sabor. Las bebidas de polvo de fruta deben ser totalmente solubles a diferencia de bebidas como el cacao que contiene sólidos insolubles. El azúcar y la humedad del polvo

de cacao afectan las características del polvo instantáneo. (Shittu&Lawal, 2007).

#### **2.3.3.4. Color**

El color es un importante atributo de la calidad de los alimentos deshidratados, y un indicador del proceso mismo, además de ser uno de los atributos organolépticos de mayor impacto sobre la decisión de los consumidores de adquirir un producto (Avila & Silva, 1999). En la mayoría de los productos alimenticios deshidratados se presentan reacciones de pardeamiento no enzimático, las cuales muestran una tasa máxima a humedades intermedias, debido al doble papel que juega el agua, al actuar como solvente y como producto de la reacción y por lo tanto como inhibidor. Para bajos valores de actividad de agua  $a_w$ , el agua no tiene adecuada movilidad, constituyéndose en un factor limitante. La adición de agua, promueve la reacción debido a que cuando está en mayor proporción en un material, adquiere capacidad de actuar como solvente. Para valores altos de  $a_w$ , el agua diluye los reactantes, inhibiendo la reacción pardeamiento. Si bien, el punto máximo de pardeamiento depende del producto, los jugos de frutas concentrados y los productos de humedad intermedia son los más susceptibles al pardeamiento no enzimático. Para diferentes alimentos, entre ellos las frutas

deshidratadas, la velocidad de pardeamiento a una determinada temperatura aumenta cuando se incrementa el contenido de agua por encima de un máximo, el cual depende de cada producto (Karel, 1975). El pardeamiento enzimático tiene baja posibilidad de ocurrir durante tratamientos térmicos ya que las enzimas responsables se desnaturalizan a altas temperaturas (Murat & Onur, 2000).

Las reacciones de pardeamiento no solo son un factor que afecta la calidad de los productos deshidratados, sino que también afecta sus propiedades nutricionales, ya que se disminuye la digestibilidad de las proteínas y hay pérdida de aminoácidos esenciales (Murat & Onur, 2000). Los tratamientos térmicos generalmente llevan a cambios en el color de la superficie del producto, y estos siguen una cinética de primer orden (Nindo, Sun, Wang, Tang & Power, 2003). La reacción de Maillard depende de la temperatura y del tiempo que dura el tratamiento térmico (Ho, Chou, Chua, Mujumdar & Hawlader, 2002).

Se han realizado trabajos para determinar la influencia del sistema de secado sobre el color de las muestras obtenidas. Silva e Ignatiadis hicieron una revisión de trabajos sobre degradación del color por tratamientos térmicos y la cinéticas para algunas frutas y vegetales, encontrando que la mayoría

de los reportes indican que son de primero y cero orden (Avila & Silva, 1999).

El color de un producto se puede especificar con tres coordenadas obtenidas con el colorímetro. El sistema que utiliza la escala CIELAB, que define  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , es el que se emplea con mayor frecuencia para medir color en los alimentos.  $L^*$  mide la luminosidad,  $b^*$  indica el cambio de color de azul a amarillo, y  $a^*$  indica el cambio de verde a rojo (Avila & Silva, 1999).

La diferencia de color total  $\Delta E$  entre el patrón (pulpa) y el polvo final obtenido, se calcula mediante la expresión (Jaya & Das, 2003):

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_p^*)^2 + (a_0^* - a_p^*)^2 + (b_0^* - b_p^*)^2}$$

Donde:

$L_0^*$ ,  $a_0^*$  y  $b_0^*$  son valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del patrón y  $L_p^*$ ,  $a_p^*$ ,  $b_p^*$  son los del polvo.

#### **2.3.4. Efecto de las tecnologías de deshidratación sobre las propiedades de los tejidos en las frutas**

La calidad de los productos deshidratados es muy importante en las decisiones de compra para este tipo de productos. El color es uno de los primeros atributos que evalúa el consumidor, seguidos de sabor, textura y valor nutritivo (Barret et al., 2010; Andrés et al., 2007; Askari et al., 2009). A continuación se presentan los efectos en la textura, contenido vitamínico y propiedades organolépticas, al aplicar algunas tecnologías de deshidratación en tejidos de frutas. Así como el efecto en el consumo energético.

##### **2.3.4.1. Efecto de la textura**

Las propiedades físicas de los tejidos vegetales son susceptibles de cambio durante el proceso de secado. El encogimiento es uno de los principales cambios físicos que se produce. Es el resultado del colapso de los capilares durante la evaporación del agua, que tiene un impacto negativo en la calidad de los productos. Al principio, la contracción provoca cambios en la forma del producto. Estos cambios se deben a los esfuerzos desarrollados mientras el agua se retira del tejido. (Mayor et al., 2011).

Autores como Wu et al., (2010) encontraron en rodajas de manzana que la energía de microondas tiene un impacto en la dureza, aumentando el encogimiento con el incremento en

los niveles de potencia, atribuido a la disminución en los niveles de protopectina en las células. Igualmente Contreras et al., (2007) obtuvo al combinar deshidratación osmótica con microondas que ambas tecnologías aumentan la resistencia mecánica y la rigidez en los tejidos. De acuerdo con (Sagar & Kumar, 2010) los cambios químicos asociados con los cambios de textura en frutas y hortalizas son la cristalización de la celulosa, la degradación de pectina y gelatinización del almidón.

El encogimiento reduce el número y tamaño de los poros (Lewicki; 1998), afectando la calidad del producto en términos de rehidratación y textura (Genskow; 1998). Algunos autores han encontrado relación lineal entre encogimiento y contenido de humedad, por ejemplo en manzanas secas en un horno a 70°C (Witrowa et al., 2009). Efecto en contenido vitamínico

Las frutas son ricas en vitamina C, la cual es relativamente inestable al calor, oxígeno y la luz. (Marques et al., 2006), Sagar & Kumar, 2010).

La retención de este nutriente es un índice de calidad de productos deshidratados. De acuerdo con Lin et al., (1998) si el contenido de vitamina C es retenido, los otros nutrientes también son generalmente conservados. Autores como Santos & Silva, (2008); Ramallo & Mascheroni, (2011); Kharaisheh et al., (2004) y Bohm et al., (2006) afirman que los

parámetros como la temperatura y el tiempo de secado influyen en las pérdidas de vitamina C, afectando la calidad en los productos (Chou & Chua, 2001).

En tratamientos osmóticos el incremento de la temperatura afecta en mayor medida el contenido de vitamina C en comparación con la concentración de la solución (heng et al., 1990). Bóruez et al., (2010) argumenta también que en este proceso al reutilizar la solución se reducen las pérdidas de vitamina.

En procesos de microondas ésta vitamina se afecta por el incremento en los niveles de potencia (Wu et al., 2010); sin embargo en comparación con procesos como secado por aire caliente por microondas permite mayor retención debido a los bajos niveles de oxígeno (Sablani, 2006; Santos & Silva, 2008).

En tecnologías de liofilización las bajas temperaturas y el vacío permiten mayor retención de vitamina C en las frutas alcanzando valores hasta el 97% (Fahloul et al., 2009; Cui et al., 2008).

#### **2.3.4.2. Efecto en propiedades organolépticas**

En términos sensoriales la calidad de los productos deshidratados se ve afectada al aplicar procesos como calentamiento por microondas. En estos procesos altos niveles de potencia y largos tiempos de proceso deterioran el producto a nivel sensorial especialmente en términos de sabor y apariencia, debido al sobrecalentamiento que se puede presentar en el tejido (Li et al., 2010b; Jiang et al., 2010).

Autores como (Sham et al., 2001 y Han et al., 2010) han encontrado que la aplicación de microondas con vacío permite mejorar la calidad en los productos puesto que pueden ser desarrollados a más bajas temperaturas. De acuerdo con (Marques et al., 2006) las diferencias en el "Flavor" entre la fruta fresca y deshidratada se debe a las pérdidas de compuestos volátiles durante las pérdidas de humedad. El flavor es la combinación de sensaciones de sabor y aroma que se pueden percibir para ese caso en las frutas. El flavor puede tener el mayor impacto en la aceptación y en el deseos de consumir un producto de nuevo (Barrett et al., 2010).

Una de las tecnologías de deshidratación que permite obtener productos de alta calidad es la liofilización (Xu et al., 2006). De acuerdo con (Huang et al., 2009 y Krokida et al., 1998) ésta tecnología permite mayor retención de sabor, color y



aroma en los productos en comparación con otras tecnologías de secado.

En procesos de deshidratación osmótica es posible que los productos se obtengan o más dulces o más salados dependiendo del tipo de soluto en la solución, así mismo se pueden obtener productos menos ácidos lo cual es favorable en algunos casos (Jiang et al., 2010; Tortoe, 2010). De acuerdo con Konopacka et al., (2009) los procesos osmóticos no solamente afectan el sabor sino también el perfil de textura en fruta deshidratada. Igualmente autores como Changrue et al., (2008) afirman que este proceso pueden influir positivamente en la aceptación del sabor y la apariencia de fresas deshidratadas sometidas a calentamiento con microondas.

## **2.4. VITAMINA C**

### **2.4.1. Definición**

Vitamina C (nombres químicos: ácido ascórbico y ascorbato) es uno de los seis carbonos lactona que se sintetiza a partir de la glucosa y la galactosa, en las plantas. El ser humano y otros primates y algunas especies animales carecen de la enzima 1-gulonolactona oxidasa que es capaz de catalizar la conversión de la glucosa en vitamina C, por lo que necesitan ingerirla en la dieta. Se lo puede encontrar en la

naturaleza en las frutas y verduras frescas, y en algunas glándulas animales (suprarrenales, hipófisis y cuerpo lúteo). (Tillmans, J., 1928).

La dosis diaria recomendada (DDR) de vitamina C es de 60 mg. La falta de la dieta de ácido ascórbico en la especie humana, ocasiona la enfermedad carencial denominada escorbuto. (Lehninger, A., 1999).

#### **2.4.2. Características**

La vitamina C o ácido ascórbico tiene características reductoras por sus dos grupos donadores de protones, también es hidrosoluble y termolábil y se oxida con facilidad; el proceso de oxidación depende de la presencia de metales de transición tales como el hierro y el cobre, también influye la temperatura, la concentración de sales y azúcares, el pH, oxígeno, enzimas, catalizadores metálicos, aminoácidos, oxidantes y los reductores inorgánicos. Con los desplazamientos de equilibrio del ácido L-ascórbico (forma reducida) y ácido L-dehidroascórbico DHAA (forma oxidada) es importantes mencionar que el primero es susceptible a formar complejos con metales de transición y el segundo a degradación enzimática. (Lucero, O., 2005)

#### **2.4.3. Función**

Las funciones de la vitamina C están basadas en sus propiedades de oxidación-reducción. La vitamina C actúa como cofactor enzimático en al menos 8 reacciones enzimáticas. Tres de ellas están implicadas en las hidroxilaciones de la lisina/prolina, dos en la biosíntesis de la

carnitina, dos en las síntesis de hormonas y una en el metabolismo de la tirosina. (Documenta, Geigy; 1975).

La vitamina C aumenta la resistencia a la infección mediante una serie de efectos cuyos mecanismos no están del todo dilucidados: aumento de la actividad inmunológica de los linfocitos, aumento la producción de interferón y aumento de la integridad de las membranas mucosas. (Lehninger, A.; 1999 y Peterkofsky, B.; 1991).

Actúa como un antioxidante fisiológico; repara a los antioxidantes naturales como el tocoferol y neutraliza los radicales libres, como por ejemplo los nitritos y nitratos presentes en productos cárnicos preparados y embutidos. Los nitratos y nitritos aumentan la probabilidad de desarrollar cáncer. (Documenta, Geigy; 1975).

Participa en la formación de huesos, dientes, reparación de huesos y cicatrización de tejidos y piel, al actuar como cofactor enzimático hidrolizando la prolina para formar la hidroprolina necesaria para la síntesis de colágeno, la proteína más importante en los tejidos de sostén (cartílagos, matriz ósea, ligamentos, piel, tendones, etc.) . (Documenta, Geigy; 1975).

Participa en la maduración de los eritrocitos, la utilización del hierro y la mantención normal de la hemoglobina evitando la anemia hipocromica, esto se explica por la acción del ácido ascórbico sobre el metabolismo del hierro, ya que reduce el hierro férrico a ferroso para permitir su absorción intestinal y participa en la transferencia de hierro

desde la transferrina plasmática a la ferritina hepática. (Anónimo, 2009).

Disminuye los niveles de tensión arterial y previene la aparición de enfermedades vasculares. Mejora el estreñimiento por sus propiedades laxantes. (Norman W., 1974 y Peterkofsky, B; 1991).

#### **2.4.4. Toxicidad**

Los únicos efectos adversos que se pueden producir después de dosis altas de (2-3 g/día) son diarrea y molestias gastrointestinales, por efectos osmóticos de la vitamina no absorbida en el lumen intestinal. Aunque teóricamente las dosis masivas de vitamina C podrían ocasionar cálculos renales, debido a que el oxalato es un producto final del catabolismo de ascorbato, los estudios clínicos realizados solo han demostrado una ligera oxaluria en los pacientes tratados con dosis elevadas de ácido ascórbico. Sin embargo, se recomienda prudencia en los casos en que haya historia de cálculos renales. (Kubler W, Gehler J., 1970 y Schmidt Kh et al., 1981).

El exceso de ácido ascórbico eliminado en la orina puede falsear los resultados de la glucosa, dando falsos positivos. (Anónimo, 2009).

#### **2.4.5. Estabilidad de la vitamina C**

La vitamina más sensible o lábil es el Ácido Ascórbico o Vitamina C, que se pierde fácilmente por parámetros tales como, oxidación e interacción con otros metales (Castillo 2002). García (2005) menciona también que la vitamina C es sensible al calor, a la deshidratación, y al almacenamiento; la acidez, en cambio reduce la pérdida.

Para estudiar la pérdida de la vitamina C, hay que tener en claro que el ácido L-ascórbico tiene una oxidación reversible a ácido dehidroascórbico, y que este último es muy inestable a la acción del calor. Los factores que aceleran esta reacción de oxidación son: el oxígeno del aire, la presencia de luz, los álcalis, la presencia de metales como el Cobre (Castillo 2002).

El AA es conocido como una vitamina termolábil; varios autores, (Johnson y Vieira, citados por Gutiérrez y otros Marzo, 2007) han estudiado la cinética de degradación térmica en jugos y frutas naturales, bajo diferentes condiciones de tratamiento; por ejemplo, la oxidación del AA al ácido dehidroascórbico y dicetogulónico, hace que se pierda la actividad vitamínica, razón por la cual, el seguimiento de la variación en la concentración del AA en alimentos, es relevante para establecer los mecanismos que afectan su estabilidad y por tanto influyen en el tiempo de vida útil de los mismos (Gutiérrez y otros Marzo, 2007).

Otra forma de destrucción del ácido ascórbico es a través de las reacciones de oxidación efectuadas por la enzima ácido ascórbico oxidasa que puede estar presente y no recibe la correcta inactivación al inicio del proceso; la fruta en mal estado puede originar el ingreso de oxígeno dentro de la fruta, para el aceleramiento de la degradación de la vitamina C (Castillo 2002).

## **2.5. REHIDRATACIÓN DE POLVOS**

En la rehidratación de alimentos es de suma importancia analizar los fenómenos de transferencia de materia, los cambios en las propiedades nutricionales y sensoriales, así como los factores que influyen en este proceso. (Marín E., Lemus R., Flores B., Vega A. 2006)

La rehidratación se puede considerar como una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado con o sin pre tratamientos al secado. En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan de forma normal. (Marín E., Lemus R., Flores B., Vega A. 2006)

En resumen, en el fenómeno de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua dentro del material deshidratado, b) la

lixiviación de solutos y c) el hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad del agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial. Las variables operacionales del secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación y la capacidad de retención de agua, que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento.

Estos índices pueden disminuir o aumentar, ya sea por una desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares.

## **2.6. ISOTERMAS DE SORCION**

El conocimiento de las características de adsorción de agua, de la humedad crítica y la actividad e agua, es de interés en numerosas aplicaciones en la ciencia y la tecnología de los alimentos, como por ejemplo, para hacer predicciones de la vida útil y de la aceptabilidad de productos que se deterioran por ganancia de humedad, para evaluar los riesgos de deterioro en relación con la oxidación de los lípidos, el pardeamiento no enzimático, las reacciones enzimáticas, el desarrollo de microorganismos, y el secado para

evaluar la fuerza impulsora y determinar el punto final óptimo de secado en relación con la estabilidad del producto (Chuzel, 1992) y para el modelado y la simulación de operaciones de secado. Por otra parte, en alimentos deshidratados que tiene que absorber agua para ser consumidos, la velocidad de rehidratación es una propiedad importante que, en lo posible, se debe mantener lo suficientemente alta.

El agua contenida en los tejidos animales y vegetales no se encuentra distribuida uniformemente debido a complejos deshidratados que se establecen con proteínas, carbohidratos, lípidos y otros constituyentes. Es así como en algunos alimentos se crean zonas microscópicas que no permiten la presencia del agua, distribuyéndose esta heterogéneamente; por lo tanto, el agua de un producto no tiene las mismas condiciones en todos los puntos. De aquí que esta distribución del agua, ha llevado a los conceptos de agua libre y agua ligada (algunos autores utilizan los términos agua congelable para la libre y agua no congelable para la ligada). El agua libre es la principal responsable de la actividad acuosa de un producto, es la que está disponible para ser retirada fácilmente por calentamiento o secado, y es la que se congela primero (Badui, 1999). La relación de concentraciones entre el agua libre y el agua ligada varía dependiendo del producto y la cantidad de agua que contenga; en los productos deshidratados esta relación es muy baja. Se ha definido la capa molecular BET (Brunawer, Emmett y Teller, 1938), como la cantidad de disolvente (agua) por gramo de sólido que puede cubrir una molécula del producto, la cual está fuertemente unida al sólido, su fugacidad es baja, y por lo tanto su presión de vapor es reducida, generando una actividad acuosa



baja. Este concepto es importante ya que se puede relacionar con diferentes aspectos físicos y químicos que deterioran los alimentos. Adicionalmente, mediante el cálculo de la monocapa de BET se puede determinar la cantidad de agua límite para especificar los sitios polares en sistemas de alimentos deshidratados (Rahman, 1995).

Las capas de agua se forman encima de la primera capa y que no se están directamente sobre la superficie de la molécula se consideran como agua libre. Si bien es cierto que el agua ligada tiene cierta movilidad debido a que ejerce una presión de vapor baja, y el agua libre está unida a otras moléculas de agua o retenida por otros constituyentes del producto impidiendo que se libere del alimento por medio de pequeños esfuerzos mecánicos, estos conceptos son solo teóricos, pero permiten entender el comportamiento real de la actividad acuosa d los productos.

La relación funcional entre la actividad del agua y el contenido de humedad en el equilibrio a una temperatura dad, se representa mediante las isotermas de sorción del producto. También representan la higroscopicidad el producto o sea la capacidad de absorber agua a unas condiciones determinadas de humedad relativa y temperatura. Las isotermas cambian con la temperatura, y generalmente, para una misma actividad de agua al aumentar la temperatura, disminuye el contenido de agua del producto y por lo tanto la higroscopicidad del producto disminuye (Chuzel, 1992).

### 2.6.1. Modelos para determinar isotermas d adsorción

Se han realizado muchas investigaciones para representar las isotermas de adsorción por medio de expresiones matemáticas. La bibliografía reporta más de 30 expresiones, la mayoría de ellas revisada por Chiriffe e Iglesias, 1978 y citado por (McMinn & Magee, 2003).

La primera expresión más conocida apareció en 1938 y es conocida como el modelo de BET (Brunauer, Emmett y Teller) (rahman, 1995), el cual se basa en la cinética, la matemática estadística y en consideraciones termodinámicas. Posteriormente en 1985, aparece el modelo de GAB (Guggenheim – Anderson – de Boer), el cual es un modelo semiteórico e 3 parámetros y corresponde a una extensión del modelo de dos parámetros de BET y es considerado como uno de los modelos que más se ajustan a los datos experimentales con alimentos en un amplio rango de valores de  $a_w$  (McMinn & Magee, 2003; Rahman, 1995).

$$\text{GAB: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w)(1 + (C - 1) \cdot k \cdot a_w)}$$

Dónde:

$X_m$ , es la humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.

$C$ , es la constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.

**k**, es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

$$\text{BET: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)}$$

Dónde:

**X<sub>m</sub>**, es la humedad del producto correspondiente a una capa mono molecular de agua adsorbida

**C**, constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los Laboratorios la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

- Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales
- Laboratorio de Análisis y composición de Productos Agroindustriales
- Laboratorio de Operaciones Unitarias y Automatización

#### 3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

##### 3.2.1. Materia Vegetal

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó fruta con calidad estándar.

La fruta utilizada fue TORONJA (Citrus Paradesi), la cual se cultiva en la actualidad en nuestro país Los calibres utilizados en los ensayos variaron entre 10 y 14cm de diámetro.



Figura 14: Toronja utilizada en los ensayos de secado.

Durante el desarrollo del proyecto se trabajó con fruta traída de la sierra de Casma, compradas en el Mercado La Perla - Chimbote.

El manejo que se le dio a la fruta, después de hacer la recepción en el laboratorio fue almacenamiento en refrigeración, esto con el fin de preservar las condiciones de producto fresco. La metodología para los análisis físico-químicos.

### **3.2.2. Agente Encapsulantes**

#### **a) Goma arábica**

La goma arábica (denominado E-414 en la industria alimenticia dentro de los Números E y acacia gum según la lista de aditivos de la Unión Europea) es un polisacárido de origen natural que se extrae de la resina de árboles subsaharianos (Acacia senegal y Acacia seyal) como parte del proceso de cicatrización de éstos conocido como gummosis. Esta resina de color ámbar se recolecta normalmente a mano una vez seca. El consumo de goma arábica industrializada (sea en chicles, pastillas, etc.) puede producir alergias y dañar la actividad de diversas enzimas.

Químicamente se trata de un polisacárido con cantidades variables de D-galactosa, L-arabinosa, L-ramnosa y algunos ácidos derivados como el ácido D-glucorónico o el 4-O-metil-D-ácido glucorónico.

Se trata de una sustancia de color amarillento a pardo, inflamable aunque con un elevado punto de inflamación (>250 °C), muy soluble

en agua (aprox. 500 g/l) y con un LD50 > 16.000 mg/kg. (Marques L., Silveira A. and Freire J. 2006).

#### **b) Maltodextrina**

La Maltodextrina es un producto obtenido por hidrólisis enzimática parcial del almidón de maíz. Es un polvo blanco, soluble en agua, de sabor neutral o ligeramente dulce. Dependiendo del grado de conversión -Dextrosa Equivalente-, se diferencian tres tipos. Propiedades y aplicaciones Maltodextrina se emplea en fabricación de alimentos como agente de volumen, agente de transporte, agente de textura y encapsulador de sabores. Se aplica en embutidos, alimentos infantiles, polvos para helados, bebidas cítricas en polvo, bizcochuelos, alimentos en polvo, alimentos instantáneos, aromas, chocolates, confituras, panificación y otros.

Puede ser definida como un polímero de glucosa. Estas moléculas poliméricas son metabolizadas de forma rápida en el organismo humano, contribuyendo, en individuos saludables, a un aumento exponencial de insulina (pico de insulina) en la corriente sanguínea. Sabiendo que los carbohidratos son los principales fuentes de energía de nuestro organismo, glucógeno muscular hepático, correspondiendo a la mayor parte de las calorías ingeridas por el ser humano, en una dieta saludable, el carbohidrato debe estar presente cerca del 60%, para que las proteínas no tengan que desviarse de sus funciones específicas, como la construcción de tejidos

musculares, para la obtención de energía, como consecuencia es común el consumo e indicación de maltodextrina para practicantes de actividades físicas de fuerza como el fisiculturismo y de resistencia como ciclismo o maratón, proporcionando energía durante estas actividades físicas, intensas y de larga duración, retrasando la fatiga, gracias a la liberación gradual de glucosa en la sangre.

Este carbohidrato puede aumentar del nivel energético muscular, dando más fuerza, evitando el catabolismo muscular (pérdida de músculos) y también ayuda a evitar la fatiga.

Una cucharada de sopa (aproximadamente 10 gramos) de maltodextrina corresponde a 40 Kcal. (Marques L., Silveira A. and Freire J. 2006).

### **3.2.3. Materiales**

- Baño María
- Colador
- Cuchillo artesanal
- Embudo
- Espátula
- Gradillas
- Micro pipeta de 1ml.
- Papel aluminio

- Papel filtro
- Pipetas graduadas de 5 y 10 ml.
- Pizeta
- Placas petri
- Probetas: 20, 50, 100 y 500 ml.
- Recipientes
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación: 50, 100, 250, 500 y 1000 ml

#### **3.2.4. Reactivos e Insumos**

- Ácido Ascórbico (QP)
- Ácido oxálico (solución al 0,4%)
- Agua destilada
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Solución coloreada 2-6 Diclorofenolindofenol

#### **3.2.5. Equipos e Instrumentación**

##### **a) SPRAY DRYER Marca: DIDACTA ITALIA N° matricula 4920**

El equipo a escala laboratorio utilizado para secar mediante atomización las muestras líquidas anteriores es un Mini Spray Dryer IC 40D, como el que se ilustra en la figura 15.



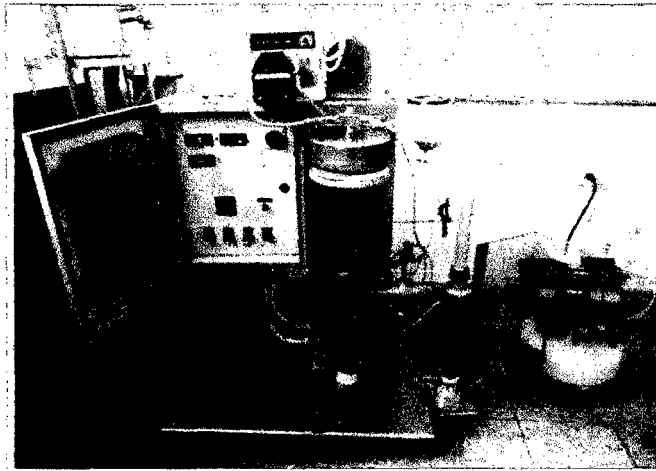


Figura 15: Atomizador

El Spray Dryer, funciona en flujo en paralelo, es decir, el producto pulverizado y el aire seco se desplazan en el mismo sentido, obteniendo partículas en un rango que varía ente 1-25 micras ( $\mu\text{m}$ ).

Uno de los aspectos fundamentales del secado por atomización, es la dispersión de la muestra. Este equipo utiliza para la atomización una boquilla a presión de dos fluidos. El equipo consta de los siguientes componentes:

1. Boca de aspiración, en la cual se produce la entrada de aire.
2. Calefacción eléctrica, esta consta de una resistencia eléctrica, la cual permite calentar el aire de entrada.
3. Entrada de la corriente de aire estabilizada en la cámara de secado y boquilla de atomización.
4. Cámara de secado o cilindro de pulverización, la cual está encargada de recibir el producto atomizado procedente de la tobera o boquilla. En su parte más baja tiene un pequeño recogedor que recibe los sólidos más gruesos (partículas de

mayor tamaño). El cilindro de pulverización sirve de enlace entre la entrada de producto atomizado y aire, y el ciclón. Tiene una altura de 50 cm y un diámetro de 15 cm.

5. Ciclón para separar el producto (polvo) de la corriente de aire.
6. Recipiente de recogida para el polvo seco.
7. Filtro de salida, el cual evita que el aire expulsado a la atmósfera contenga polvo, haciendo pasar la corriente de aire de salida por un filtro.
8. Aspirador, el cual genera la corriente de aire necesaria para el secado.

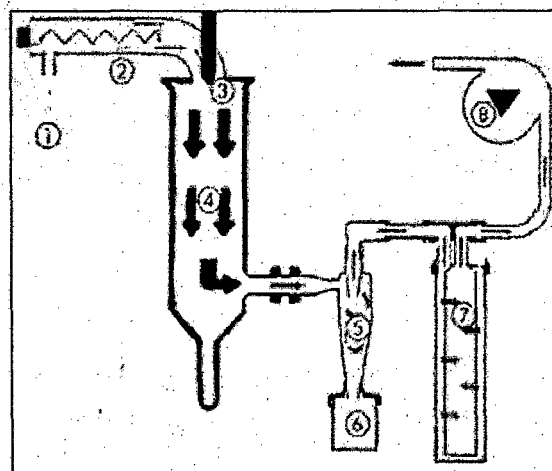


Figura 16: Esquema Mini Spray Dryer IC40D

La puesta en marcha del secador por atomización es:

- ✓ Encender el interruptor general del equipo.
- ✓ Introducir la goma de silicona de la bomba peristáltica hasta el fondo de un vaso de precipitado con agua destilada. Comprobar que la goma está aprisionada por el rotor.

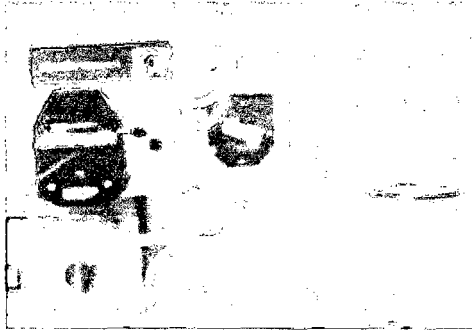


Figura 17: Vaso porta muestra y rotor.

- ✓ Ajustar la presión al valor seleccionado.

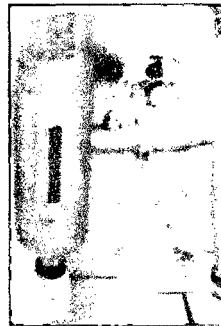


Figura 18: Manómetro que permite ajustar la presión.

- ✓ Poner en marcha la aspiración al valor seleccionado.
- ✓ Seleccionar la temperatura del aire de entrada y poner en marcha la calefacción.



Figura 19: Display.

- ✓ Esperar que se alcance la temperatura seleccionada.

- ✓ Encender el compresor que suministra el caudal de aire de atomización
- ✓ Ajustar el caudal de la bomba peristáltica de alimentación al valor preestablecido, y ponerla a continuación en marcha. Cuando el agua llegue a la tobera se iniciará la atomización.

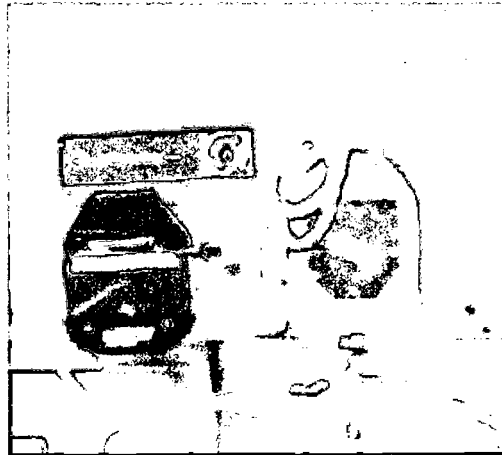


Figura 20: Tobera de atomización.

- ✓ Observar la temperatura de salida y esperar a que se alcance un valor estable.
- ✓ El proceso de atomización y secado se inicia, y el polvo comienza a aparecer en el recipiente de recogida.

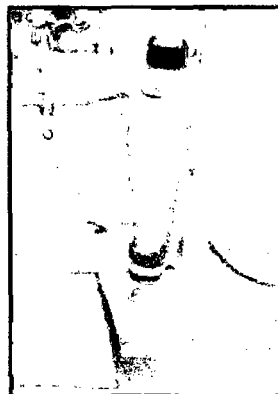


Figura 21: Inicio de la atomización.

- ✓ Se apaga la aspiración y se procede a abrir el recipiente de recogida de polvo. Con la ayuda de un pincel se recoge todo el polvo que se encuentra adherido en el interior del ciclón así como el situado en la tapa metálica de la parte inferior del ciclón.

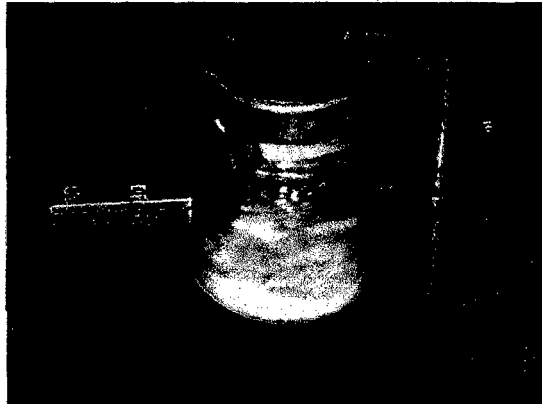


Figura 22: Recipiente de recogida de polvo.

- ✓ En cada ensayo se anotan las observaciones correspondientes, indicando si ha habido algún tipo de condensación de agua o el grado de suciedad del cilindro de atomización.
- ✓ Finalizado el experimento se desmonta el cilindro de atomización, el ciclón y el recipiente de recogida de polvo seco, limpiándose todo cuidadosamente, y quedando listo para el siguiente experimento.

**b) ESPECTROFOTÓMETRO UV. VISIBLE – UNICO 2100**

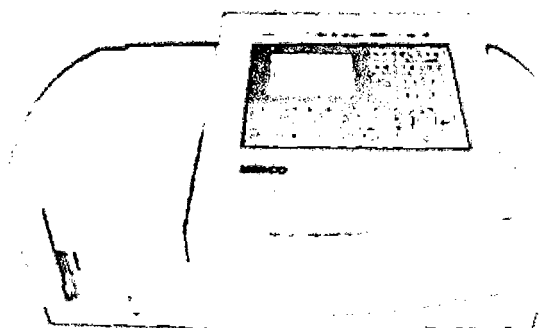


Figura 23: Espectrofotometro uv visible

**c) EVAPORADOR ROTATORIO, Marca HEILPOLPH**



Figura 24: Rotavapor

**d) PH-METRO, ORION STAR**

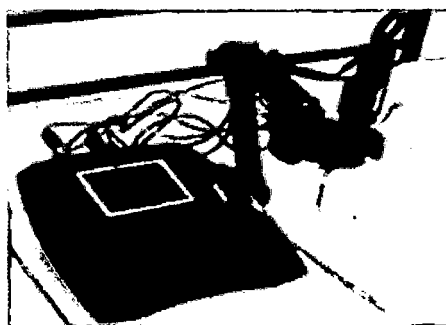


Figura 25: pH-metro

**e) ESTUFA ELÉCTRICA**

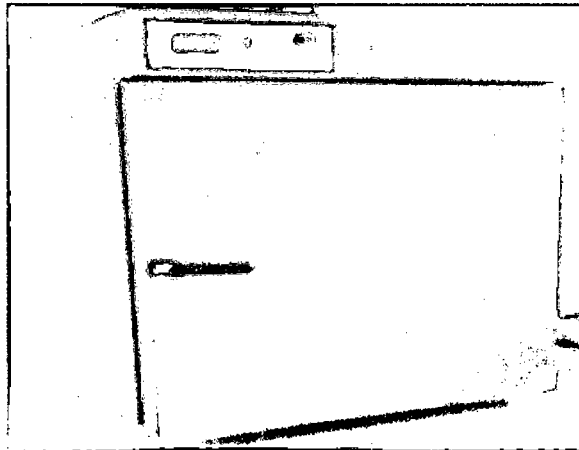


Figura 26: Estufa eléctrica

**f) BALANZA ANALÍTICA, PRECISA**

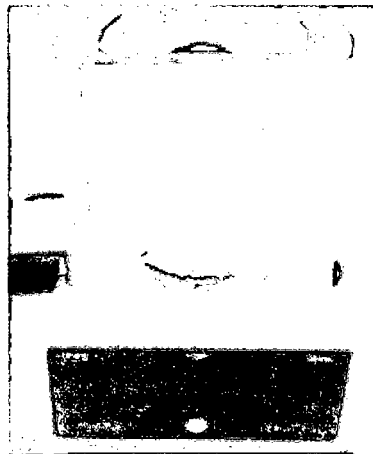


Figura 27: Balanza analítica

**g) ANALIZADOR ACTIVIDAD DE AGUA, Modelo HYGROLAB 3**

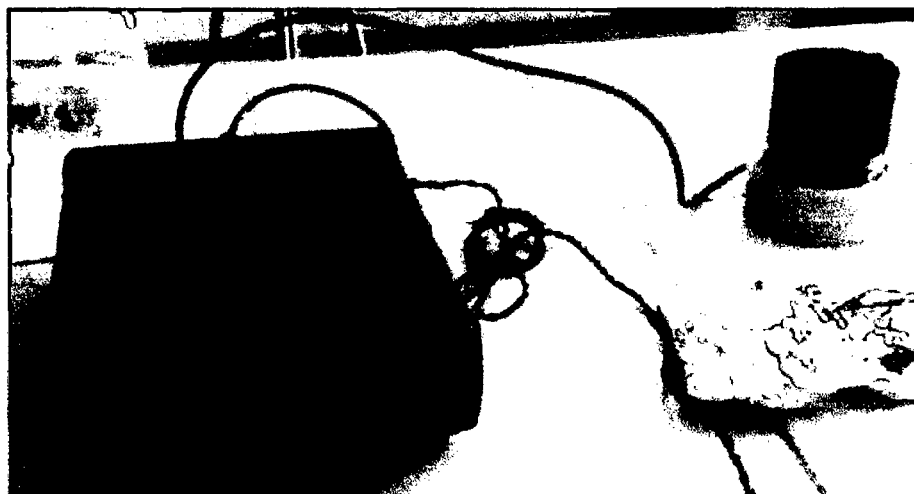


Figura 28: Analizador de Actividad de agua

**h) CENTRÍFUGA, Marca SIGMA 2-6E**

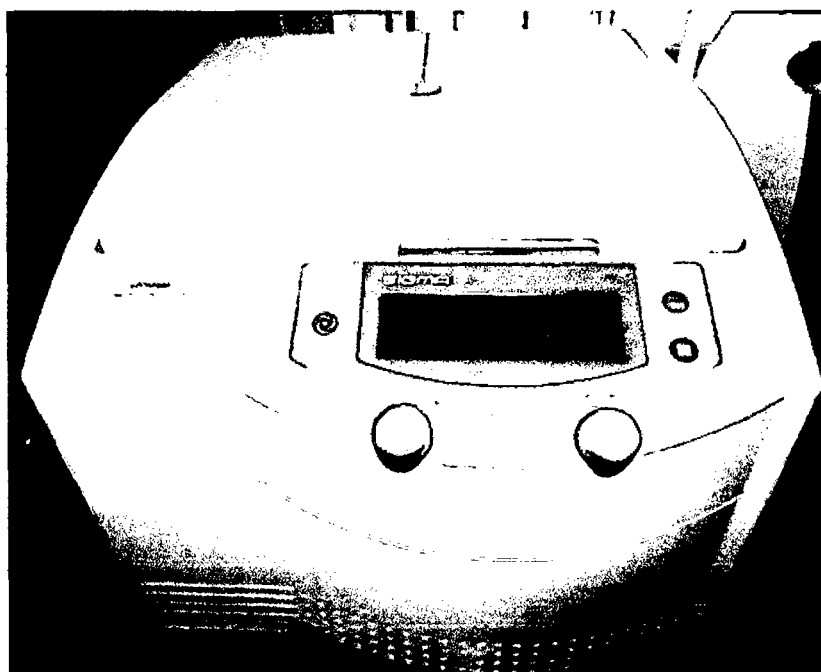


Figura 29: Centrifuga



## i) EQUIPO DE BAÑO MARÍA

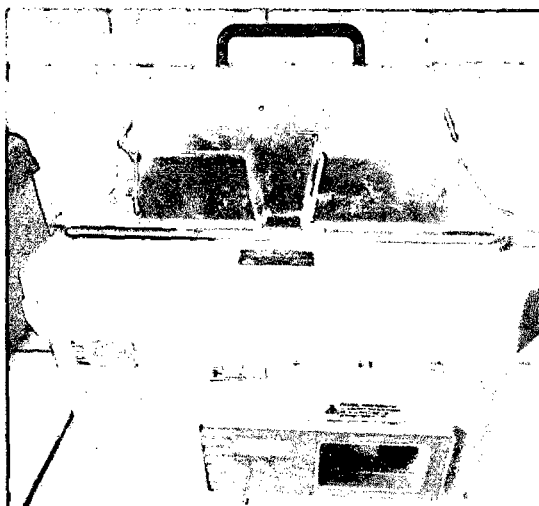


Figura 30: Equipo de Baño María

## 3.3. MÉTODOS

### 3.3.1. Técnicas Analíticas

#### 3.3.1.1. Humedad

La determinación del contenido de humedad fue por efecto de la gravimetría en estufa a temperatura de 55°C, según el método AOAC N° 981.05 (1980).

$$\text{Humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Donde:

$P_1$ = Peso de la placa más muestra

$P_2$ = Peso de la placa más muestra seca

$m$ = Peso de la muestra

### 3.3.1.2. Sólidos Totales

El porcentaje de sólidos totales se obtendrá por la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad.

### 3.3.1.3. Sólidos Solubles

Esta variable se realizó con el refractómetro calibrado a 20°C con una escala de 0-30 °Brix, se tomó como muestra una gota de zumo de Toronja que se colocó en el prima del refractómetro y posteriormente se realizó la lectura, obteniéndose como resultado los sólidos solubles del Toronja expresada en °Brix.

### 3.3.1.4. pH

Extraer el jugo, mezclar, homogenizar y colar, luego enjuagar el electrodo ya calibrado con agua destilada, sumergir el electrodo en una cantidad suficiente de la sustancia a medir, ya que esta puede conducir a graves errores de medición. Después de un tiempo de espera, cuando ya no varíe el pH, se hace la medición.

### 3.3.1.5. Acidez Titulable

La acidez total fue determinada según el método AOAC N° 950.07 (1984). Sus resultados son expresados en porcentaje de ácido cítrico.

$$\%Acidez = \frac{V_{(gasto\ de\ NaOH)} \times N_{(NaOH)} \times Meq_{(Ácido\ cítrico)}}{V_{muestra}} \times 100$$

Donde:

Normalidad del NaOH= 0,1

Mili equivalentes del ácido cítrico= 0,064

### **3.3.1.6. Ácido ascórbico (Vitamina C)**

El análisis de ácido ascórbico se realizó en el Laboratorio de Análisis y composición de Productos Agroindustriales al zumo fresco de Toronja, zumo concentrado y a los 5 tipos de tratamiento con encapsulantes, antes y después de la etapa de secado.

La determinación de Vitamina C fue determinada en zumo, basado en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindofenol (Methods of Vitamin Assay, 1974).

## **3.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA**

### **3.3.2.1. Obtención de Zumo**

#### **a. Recepción de la materia prima**

La recepción es la entrada de las toronjas al laboratorio, se realiza el control de peso de la fruta, es muy importante verificar que materia prima sea de primera calidad, debiendo reunir las siguientes características: ser fresca, sana y madura.

#### **b. Selección y Clasificación**

La selección se realizará mediante una inspección o control visual, eliminando aquellas toronjas que presenten magulladuras o algún tipo de anomalías agronómicas; también se realizará una clasificación (de tamaño), esto con la finalidad de tener un producto final uniforme.

**c. Lavado y desinfectado**

Se realizará un lavado con agua fría por inmersión para eliminar las impurezas que podrían tener, es decir la suciedad y los microorganismos adheridos a la superficie. Adicionalmente se llevará a cabo un desinfectado, para lo cual se sumergirá a la fruta en una solución diluida de hipoclorito de sodio (50ppm) por 15 minutos.

**d. Extracción del Zumo**

Esta operación se realizó con un extractor de zumos, se filtró todos los sólidos residuales presentes en el zumo de toronja.

**3.3.2.2. Acondicionamiento del Zumo**

El acondicionamiento de los agentes encapsulantes: Maltodextrina y Goma Arábica agregados al zumo de toronja se realizó a temperatura ambiente para evitar la pérdida de vitamina C, la adición de los agentes fue lenta y con agitación para obtener una mayor homogenización:

La mezcla Maltodextrina y Goma Arábica se realizaron en las siguientes proporciones.

Tabla 3: Formulaciones de las distintas mezclas

<b>MEZCLA</b>	<b>FORMULACIÓN</b>
MEZCLA 1	100% Maltodextrina
MEZCLA 2	75 % Maltodextrina + 25% de Goma arábica
MEZCLA 3	50 % Maltodextrina + 50% de Goma arábica
MEZCLA 4	25 % Maltodextrina + 75% de Goma arábica
MEZCLA 5	100% Goma arábica

Estas formulaciones se encuentran directamente relacionadas respecto a la cantidad de sólidos totales de la pulpa de Toronja, manteniéndose un testigo con fines de comparación. Los aditivos se incorporaron al zumo haciendo uso de un agitador de tubos, (teniendo en cuenta lo pequeño de la muestra a deshidratar), para lograr una mayor uniformidad en la mezcla

### **3.3.3. SECADO POR ATOMIZACIÓN**

Para este secado se empleó unos 150 ml de zumo fresco de Toronja, que se depositó en el vaso de alimentación del equipo, el cual estaba envuelto por papel aluminio, para evitar cualquier contacto con la luz. Se tuvo en cuenta la realización de una serie de pruebas preliminares, para poder llegar a determinar los parámetros óptimos del proceso, los cuales no influenciaran en el contenido de vitamina C.

Cuadro 4: Parámetros para la atomización del zumo fresco de toronja

PARÁMETRO	VALOR
CONCENTRACIÓN DEL ZUMO	20° Brix
FLUJO DE ALIMENTACIÓN	0.44 Lt/h
TEMPERATURA DE ENTRADA	150°C
TEMPERATURA DE SALIDA	23°C - 101°C

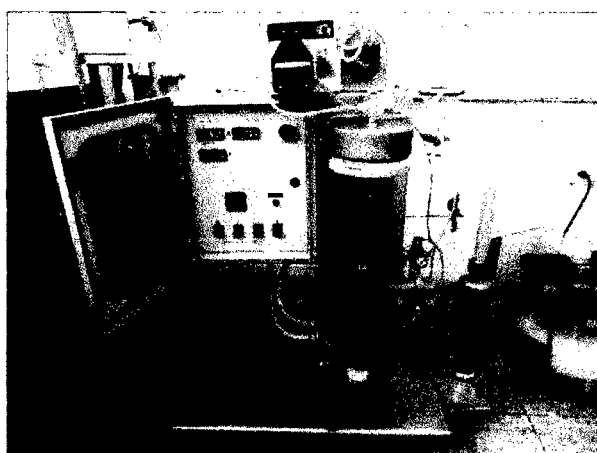


Figura 31: Equipo para la atomización del zumo de Toronja

#### 3.3.4. PESADO.

Se procedió a pesar para determinar la relación zumo/producto, para determinar el peso exacto se usó una balanza analítica de alta precisión.

#### 3.3.5. ENVASADO.

El producto se envasa para evitar que gane humedad y conservar sus características para su posterior evaluación, en este caso se utilizó papel aluminio para proteger de la luz.

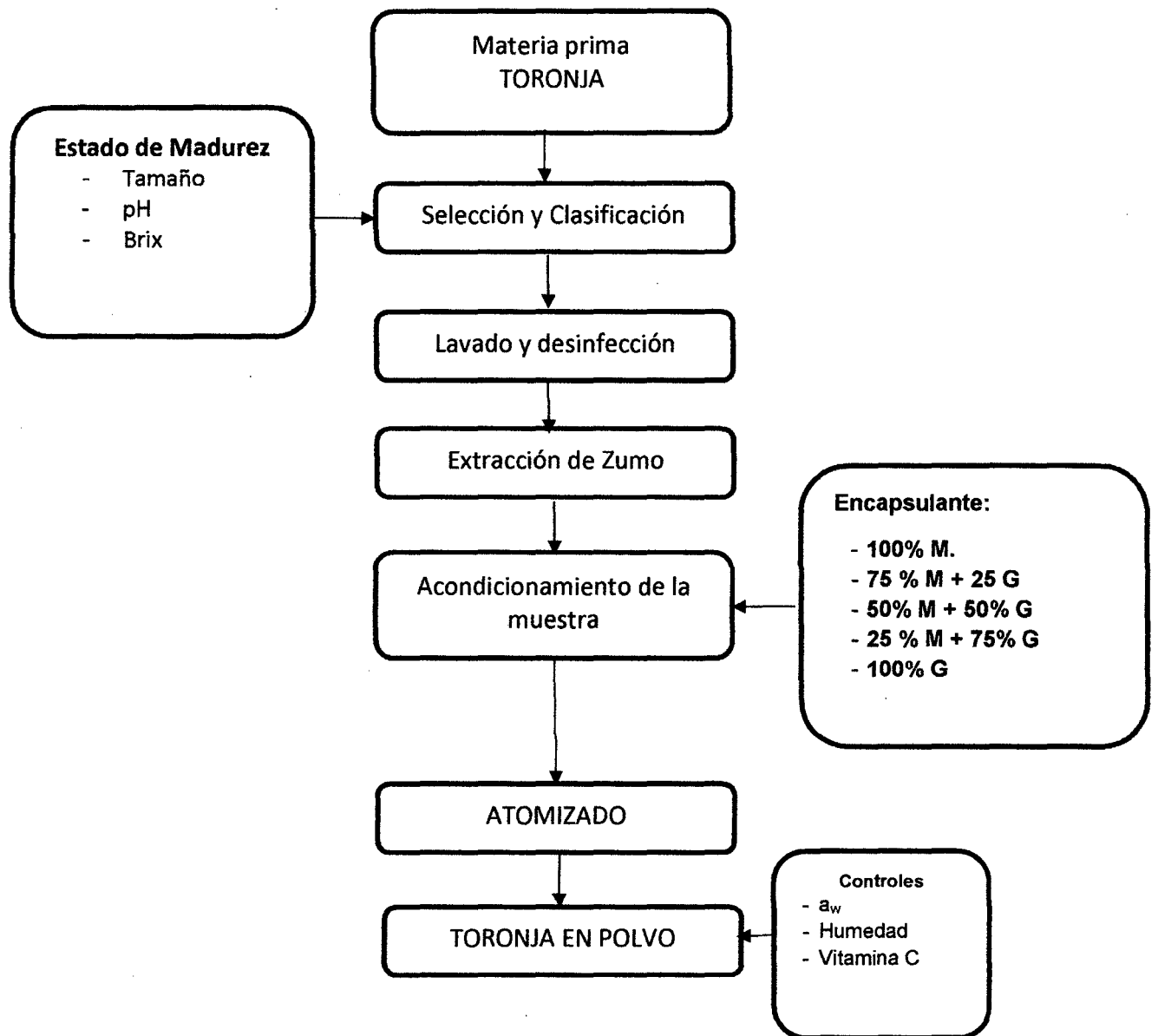


Gráfico 1: Diagrama de flujo para la obtención experimental de zumo atomizado de Toronja

### 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental consiste en la realización de un diseño unifactorial completamente aleatorizado con 3 repeticiones, para cada formulación de las mezclas de los 2 encapsulantes (Maltodextrina y Goma Arábica), planteándose 5 formulaciones, según el experimento ( $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ ), Incluyendo a un testigo.

Controles:

- $a_w$
- Humedad
- Rendimiento
- Vitamina C

Cuadro 5: Cuadro del experimento unifactorial en DCA

		FORMULACIONES				
PROCESO	0%	100% MALTODEXTRINA	75% MALTODEXTRINA + 25% GOMA ARÁBIGA	50% MALTODEXTRINA + 50% GOMA ARÁBIGA	25% MALTODEXTRINA + 75% GOMA ARÁBIGA	100% GOMA ARÁBIGA
ATOMIZACIÓN	R <sub>1</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>16</sub>
	R <sub>2</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>14</sub>	R <sub>17</sub>
	R <sub>3</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>18</sub>



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ZUMO FRESCO

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado al zumo fresco de Toronja

Cuadro 6: Análisis Fisicoquímico del zumo fresco

<b>COMPONENTES</b>	<b>CANTIDAD (/100 gr. zumo)</b>
HUMEDAD	<b>87.62%</b>
BRIX	<b>14</b>
pH	<b>3.52</b>
ACIDEZ TITULABLE	<b>1.26 %</b>
ÁCIDO ASCÓRBICO	<b>42.81 mg/100gr.</b>

Las características tanto fisicoquímicas como organolépticas que permiten obtener diversos productos transformados con elevado rendimiento, siendo una de las importantes características el alto contenido de ácido Ascórbico 42.81 mg/100gr y especial color, aroma y sabor son parámetros que sin duda favorecen al aprovechamiento industrial.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DEL ZUMO CONCENTRADO

### 4.2.1. ZUMO CONCENTRADO SIN ENCAPSULANTE

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado al zumo concentrado de Toronja, los cuales se muestran en el cuadro 7:

Cuadro 7: Análisis Fisicoquímico del zumo concentrado de Toronja

<b>COMPONENTES</b>	<b>CANTIDAD ( /100 gr. zumo)</b>
HUMEDAD	<b>79.83%</b>
SÓLIDOS TOTALES	<b>20.17%</b>
SÓLIDOS SOLUBLES	<b>19</b>
pH	<b>3.12</b>
ACIDEZ TITULABLE	<b>7.04</b>
ÁCIDO ASCÓRBICO	<b>58.56 mg/100gr</b>

En general la vitamina C, muestran valores similares en comparación con los reportados en estudios anteriores, mientras que el resto de los componentes funcionales resultaron ligeramente inferiores (Iguar et al., 2010; Iguar et al., 2011; Moraga et al., 2012).

Righetto (2002) concentró el zumo de acerola verde desde 5.2 hasta 20° Brix para darle al cítrico características de alimento funcional. El zumo de toronja fue concentrado hasta los 19° Brix, no con el fin de elevar su contenido de ácido ascórbico, sino para que con la eliminación de agua en el zumo, procesos de secado, como el de la atomización se optimicen en tiempo (al haber menos solvente a eliminar) y cantidad de sólidos a obtener.

#### 4.2.2. ZUMO CONCENTRADO CON ENCAPSULANTE

En el cuadro 8, se detallan los agentes encapsulantes utilizados, sus respectivas formulaciones y los diferentes análisis realizados al zumo:

Cuadro 8: Caracterización del zumo concentrado de Toronja con agente encapsulante

MUESTRA	° Brix	% Humedad	% Sólidos totales	pH
100% MALTODEXTRINA	25.5 ± 0.7	70.93 ± 1.5	29.07 ± 0.9	3.14 ± 0.03
75 % MALTODEXTRINA + 25% GOMA ARÁBIGA	27 ± 0.3	70.56 ± 1.4	29.44 ± 0.8	3.13 ± 0.05
50% MALTODEXTRINA + 50% GOMA ARÁBIGA	26 ± 0.5	72.15 ± 0.9	27.85 ± 0.5	3.12 ± 0.03
25% MALTODEXTRINA + 75% GOMA ARÁBIGA	26.5 ± 0.9	72.63 ± 1.2	27.37 ± 0.9	3.13 ± 0.1
100% GOMA ARÁBIGA	27 ± 0.5	70.50 ± 1.1	29.49 ± 0.6	3.14 ± 0.09

Bakan (1973) menciona que el proceso de microencapsulación ocurre en 3 etapas bajo agitación constante: (a) formación de un sistema trifásico, contiendo fase líquida (vehículo para mezcla de componentes), fase constituida del material a ser encapsulado y fase del material de pared; (b) deposición del material de pared (polímero) en torno a las partículas del núcleo; (c) solidificación del material de pared formando la microcápsula

#### 4.2.3. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE VITAMINA C EN EL ZUMO CONCENTRADO

A continuación, se muestra contenido de Vitamina C del zumo concentrado de Toronja, con y sin agente encapsulante, según sea el caso.

Cuadro 9: Cuadro comparativo del contenido de Vitamina C en el zumo concentrado de Toronja con y sin agente encapsulante

FORMULACIÓN	VITAMINA C (mg %) ZUMO CONCENTRADO SIN ENCAPSULANTE	VITAMINA C (mg %) ZUMO CONCENTRADO CON ENCAPSULANTE
100% Maltodextrina	55.7629 ± 0.78	49.3476 ± 0.55
75% Maltodextrina + 25% Goma Arábica	58.4716 ± 0.34	52.2068 ± 0.76
50% Maltodextrina + 50% Goma Arábica	53.2981 ± 0.67	46.7527 ± 0.23
25% Maltodextrina + 75% Goma Arábica	58.3881 ± 0.87	52.1322 ± 0.33
100% Goma Arábica	53.3636 ± 0.24	48.0753 ± 0.49

En el cuadro 09, se puede apreciar que el contenido de vitamina C del zumo concentrado con encapsulante es menor al sin encapsulante, ya que ha ocurrido la encapsulación y/o atrapamiento de este principio activo, con lo que se logra la formación de las micro-cápsulas.

### 4.3. ATOMIZACIÓN DEL ZUMO CONCENTRADO DE TORONJA

#### 4.3.1. INFLUENCIA DE LOS ENCAPSULANTES EN EL PROCESO DE ATOMIZACIÓN

En el cuadro 10: se detallan los agentes encapsulantes utilizados, sus respectivas formulaciones y los diferentes análisis realizados al zumo:

Cuadro 10: Caracterización del zumo atomizado de Toronja con agente encapsulante.

MUESTRA	% Humedad	% Sólidos totales	a <sub>w</sub>	pH
100% MALTODEXTRINA	4.29 ± 0.5	95.71 ± 1.5	0.259 ± 0.04	3.23 ± 0.5
75 % MALTODEXTRINA + 25% GOMA ARÁBIGA	5.25 ± 0.3	94.75 ± 0.9	0.271 ± 0.01	3.22 ± 0.1
50% MALTODEXTRINA + 50% GOMA ARÁBIGA	5.19 ± 0.4	94.91 ± 0.5	0.265 ± 0.07	3.25 ± 0.3
25% MALTODEXTRINA + 75% GOMA ARÁBIGA	6.13 ± 0.6	93.67 ± 0.8	0.287 ± 0.03	3.24 ± 0.4
100% GOMA ARÁBIGA	6.22 ± 0.7	92.89 ± 0.4	0.292 ± 0.02	3.28 ± 0.7

En el gráfico 2 y 3, se detalla la variación del % Humedad, % Sólidos totales y actividad de agua en el zumo atomizado de Toronja.

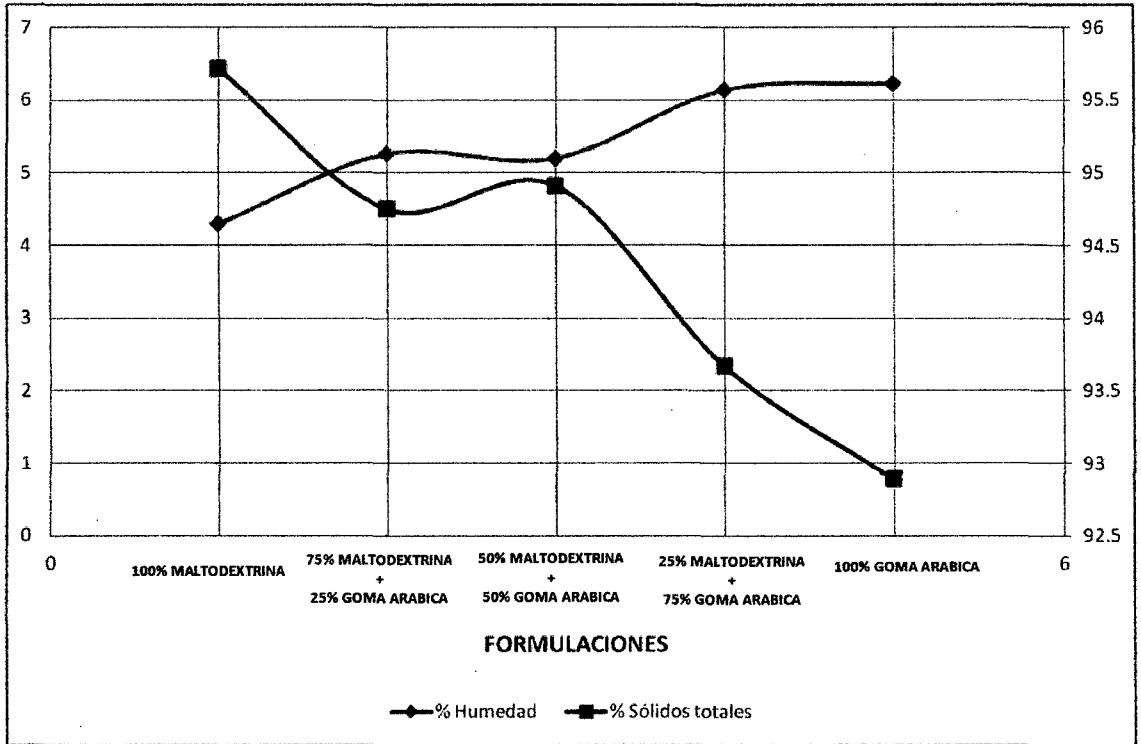


Gráfico 2: Variación del % Humedad y % Sólidos totales

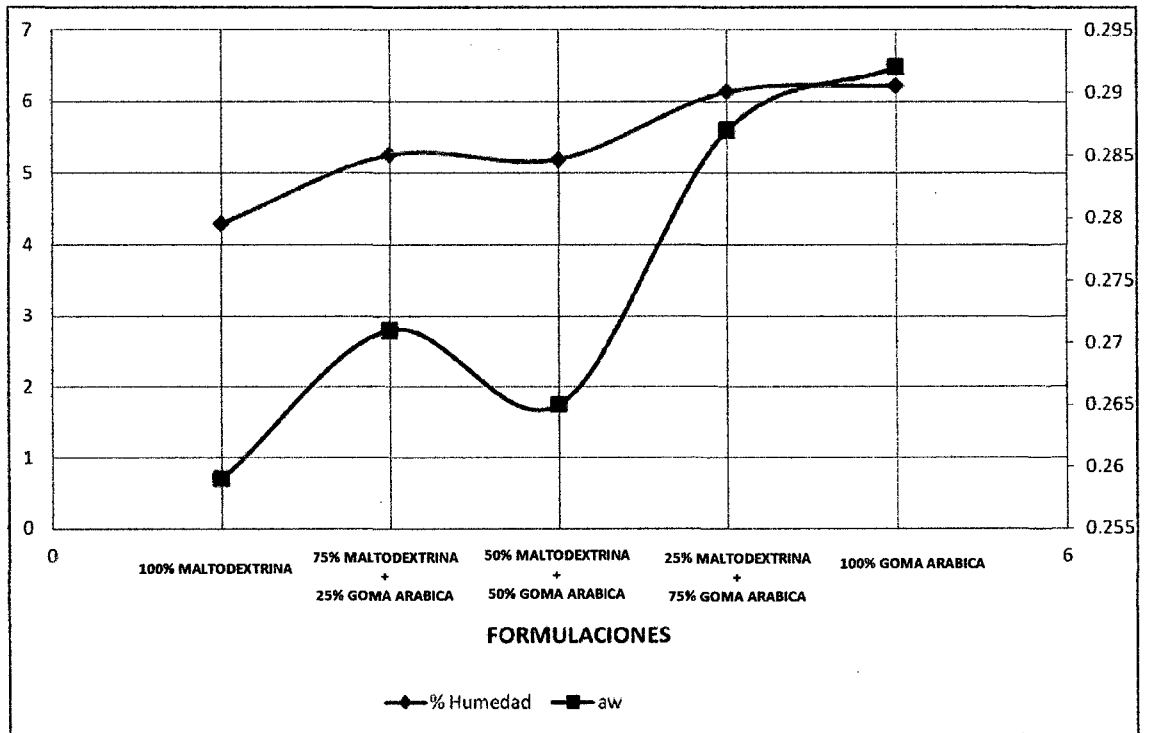


Gráfico 3: Variación de la  $a_w$  y % Humedad en el zumo atomizado de Toronja

Vásquez, L. (1990) Menciona que se puede afirmar que la maltodextrina da soluciones de bajas viscosidades con un mayor contenido de sólidos frente a la goma arábica. Se observa que a mayor porcentaje de sólidos solubles, el contenido de humedad es menor.

La goma arábica actuó aumentando la viscosidad de la masa ayudando de esta manera a la formación de una matriz consistente y homogénea, esta estructura amplia y esponjosa favorece a la eliminación de moléculas de agua. La goma arábica posee características como emulsificante y aporta estabilidad tanto a gotas recién formadas como a los polvos a largo plazo (Verbeken et al., 2003; Dickinson, 2009). Su alto peso molecular, alta solubilidad y baja viscosidad permiten una mejor atomización de licuados de frutas (Verbeken et al., 2003; Gharsallaoui et al., 2007; Frascareli et al., 2012). Tiene varias aplicaciones en el ámbito alimentario una de ellas es en bebidas de cola, cítricas y dietéticas, debido a su estabilidad y aporte en semejanza a la pulpa de los zumos de frutas naturales (Dickinson, 2003; Verbeken et al., 2003).

Goula & Adamopoulos et al. (2005) mencionan que la humedad residual de los polvos influye en otras propiedades del polvo como la densidad volumétrica y la solubilidad. Un menor contenido de humedad favorece la solubilidad de los polvos, disminuye su higroscopicidad y aumenta su temperatura de transición vítrea (Tg),

debido a que el efecto plastificante del agua disminuye. Kha et al. (2010) señalan que si el contenido de humedad es alto se tiene un mayor grado de agregación debido a la naturaleza gomosa del producto.

Ceballos (2008) menciona que el polvo producido por aspersion son partículas muy finas de tamaño muy pequeño, a diferencia del secado por atomización que presenta partículas muy quebradizas y sin forma definida.

Mara Righetto (2003) reporta que la morfología de los productos obtenidos por atomización demuestra la formación de microcápsulas de forma esférica muy finas.

Araujo Dib Taxi (2001) observa que la formación de cápsulas demuestra que el proceso de recubrimiento del zumo de Toronja por parte de los encapsulantes.

Inicialmente las gotas fueron dispersadas individualmente en un gran volumen del secador, evitando la aglomeración aunque el alto contenido de humedad de las partículas produce la pegajosidad de las mismas. Hacia las partes bajas de la cámara de secado o en las zonas de recirculación de aire, las partículas ya son sólidas y no deberían presentar el comportamiento pegajoso (gomoso) ni aglomerarse. Sin embargo, debido a la presencia del alto contenido de azúcares, la superficie de las gotas permanecieron plásticas por la



alta temperatura del producto, la cual es generalmente aproximada a la temperatura de salida del producto (Goula & Adamopoulos, 2005). Quek et al. (2007) y Moreira et al. (2009) también obtuvieron muestras con menor % humedad al aumentar la temperatura en su trabajo con jugo de sandía y polvo de acerola, respectivamente, producido mediante secado por pulverización, utilizando maltodextrina como agente portador. El uso de temperaturas más altas implica una mayor tasa de transferencia de calor a las partículas, lo que conduce a un aumento de la evaporación de agua del producto, resultando en polvos con menor % humedad.

Candela – Cadillo et al., 2005, Quek et al., 2007 y Tonon et al., 2009, mencionan que la humedad disminuye a mayor temperatura de entrada existe un gradiente más grande entre el flujo atomizado y el aire de secado, resultando en una fuerza motriz para una mayor evaporación del agua y por lo tanto la producción de polvos con menor contenido de humedad.

Keyon (1988) afirma que las maltodextrinas con DE (dextrosa equivalente) bajas no son muy higroscópicas.

BeMiller (1996), señala que la maltodextrina con DE mayores, tienen mayor capacidad de absorber humedad.

La maltodextrina utilizada tenía un DE con valor 10, lo que justifica que la formulación con 50% maltodextrina que observamos en la gráfica, sea la que tenga menor humedad y por tanto tendencia a ser

menos higroscópica. Nótese que a medida que disminuye su participación en las mezclas, se produce ligeros incrementos en la humedad de las otras formulaciones.

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

Quek et al, (2007), menciona que todas las muestras presentaron valores de actividad de agua ( $a_w$ ) por debajo de 0.3, lo que fue positivo para la estabilidad del producto en polvo, ya que habrá menos agua disponible para el desarrollo de los microorganismos en crecimiento así como para las reacciones bioquímicas indeseables lo que asegura una vida útil más larga al producto.

Fennema, (1996), menciona que la actividad de agua ( $a_w$ ) es una de las propiedades más importantes procesamiento, preservación y almacenamiento de alimentos, que cuantifica el grado de fijación de agua en el producto y por lo tanto su disponibilidad para actuar como disolvente y participar en las transformaciones químicas, bioquímicas y microbiológicas

#### 4.3.2. NIVEL DE RETENCIÓN DE VITAMINA C EN LA ATOMIZACIÓN

En el cuadro 11 se detalla el contenido de Vitamina C en el zumo atomizado rehidratado y su nivel de retención, expresado en porcentaje.

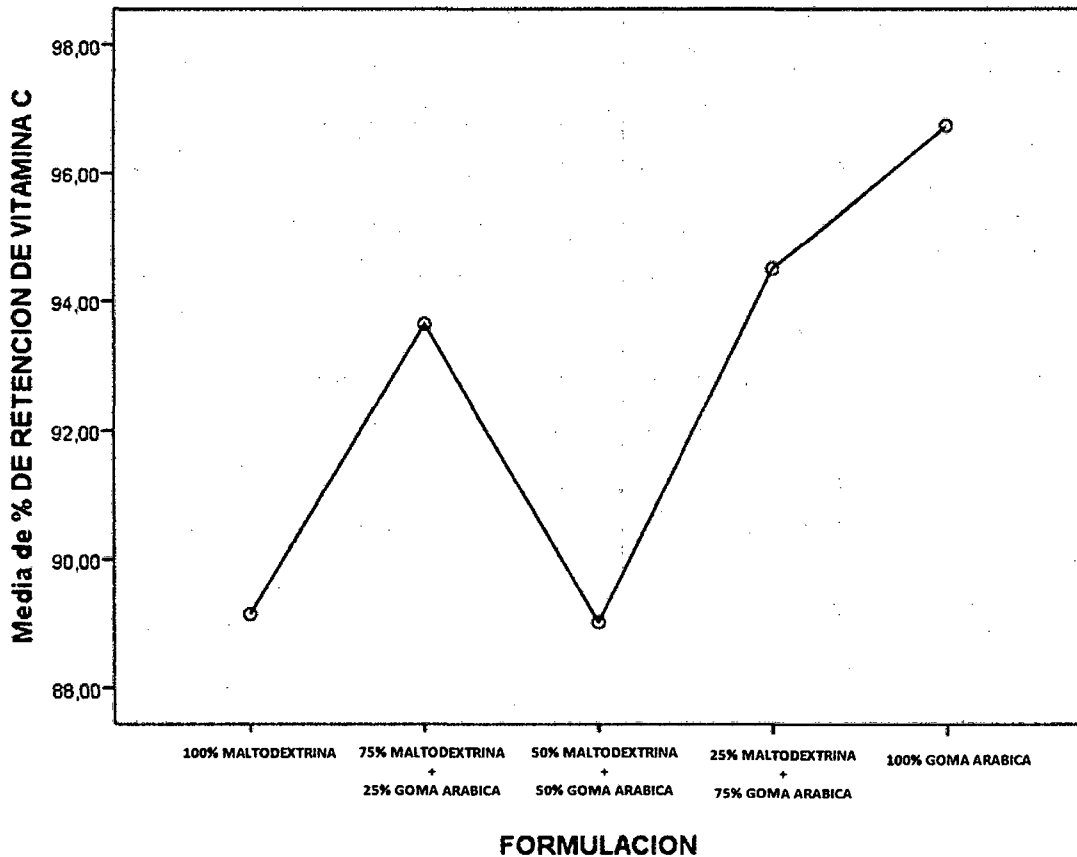
Cuadro 11: Contenido de Vitamina C y nivel de retención (%)

FORMULACION DEL AGENTE ENCAPSULANTE	VITAMINA C (mg)*	RETENCIÓN DE VITAMINA C (%) **	RETENCIÓN DE VITAMINA C (%) **
	43.8626	88.89	
100% MALTODEXTRINA	44.4629	90.10	89.16 ± 0.49
	43.6627	88.48	
75 % MALTODEXTRINA + 25% GOMA ARÁBIGA	48.8331	93.54	
	48.6356	93.15	93.66 ± 0.34
	49.2378	94.30	
50% MALTODEXTRINA + 50% GOMA ARÁBIGA	41.7588	89.32	
	41.3534	88.46	89.036 ± 0.29
	41.7567	89.32	
25% MALTODEXTRINA + 75% GOMA ARÁBIGA	49.4023	94.78	
	49.0098	94.01	94.53 ± 0.26
	49.4045	94.78	
100% GOMA ARÁBIGA	46.4825	96.68	
	47.1877	98.14	96.75 ± 0.78
	45.8833	95.43	

\*Contenido de Vitamina C para el zumo atomizado rehidratado

\*\* % Retención de Vitamina C (En base al zumo concentrado más encapsulante y el zumo Atomizado rehidratado)

Chumpitaz (1995), Reineccius (1991) y Rosenberg (1991) señalan que la goma arábica es el más utilizado en los procesos de microencapsulamiento por atomización, porque es un buen agente emulsionante, facilita el proceso de secado y muestra una buena retención de compuestos volátiles, por lo general, superior al 85%.



Grafica 4: Efecto de las diferentes formulaciones en el % de retención de vitamina C

Según la gráfica 4 indica, que la retención de uno de nuestros materiales activos más degradables (Vitamina C) es superior a la indicada anteriormente, alcanzando niveles hasta del 96%, para una formulación de 100% de Goma Arábica, matriz encapsulante de

excelente propiedad antioxidante y protectora para todo compuesto activo, fácilmente degradable en condiciones normales.

**Cuadro 12: Análisis de Varianza para el porcentaje de retención de Vitamina C para diferentes formulaciones analizadas**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre grupos</b>	139.881	4	34.970	52.424	.0001
<b>Dentro de grupos</b>	6.671	10	.667		
<b>Total</b>	146.551	14			

En el Cuadro 12 se puede observar el análisis de varianza para la Variable porcentaje de retención de Vitamina C, según el p-valor de 0.0001 se determina que hay diferencia significativa en los resultados obtenido para las diferentes formulación al 5 % de confiabilidad. (p-Valor menor de p-Tabular = 0.05, al 95% de confiabilidad)

#### 4.4. ISOTERMAS DE SORCIÓN

Los resultados experimentales obtenidos con un contenido de humedad de equilibrio a 25 ° C para las muestras producidas con diversos agentes portadores, 8 almacenadas en soluciones salinas saturadas con diferentes actividades de agua se muestran en el Cuadro 14.

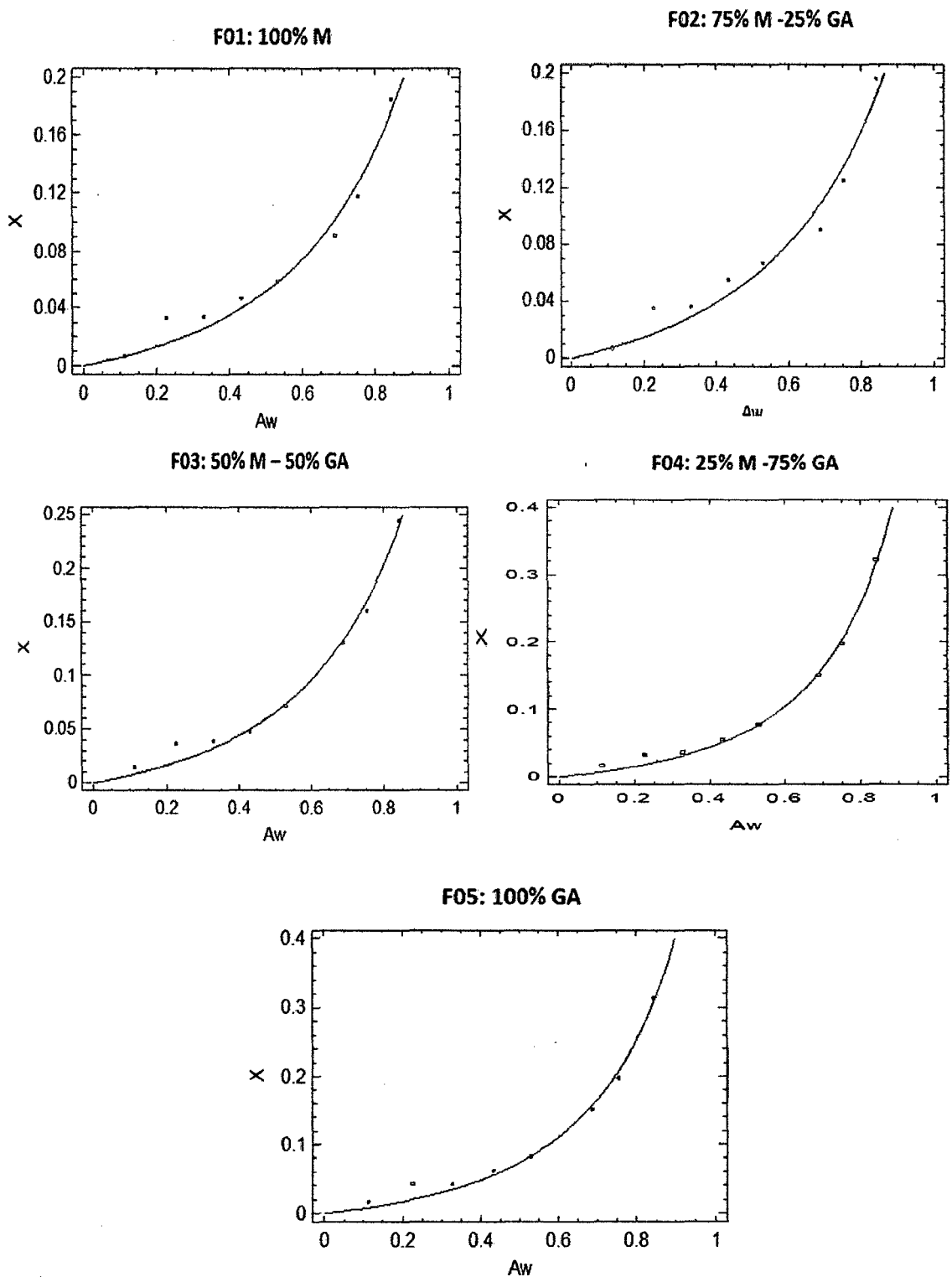
Cuadro 13. Valores experimentales de contenido de humedad de equilibrio a 25 ° C para las muestras producidas con diferentes agentes portador.

aw	Humedad de equilibrio, Xe (g/g material seca)				
	F01	F02	F03	F04	F05
<b>0. 112</b>	0.0068± 0.0001	0.0071± 0.0002	0.0142±0.0003	0.0171± 0.0004	0.0167± 0.0003
<b>0. 226</b>	0.0328± 0.0020	0.0350± 0.0018	0.0370± .0019	0.0332± 0.0017	0.0429± 0.0004
<b>0. 328</b>	0.0340± 0.0002	0.0363± 0.0018	0.0390±0.0003	0.0362± 0.0020	0.0418± 0.0017
<b>0. 432</b>	0.0470± 0.0006	0.0550± 0.0008	0.0482±0.0012	0.0553± 0.0017	0.0627± 0.0011
<b>0. 529</b>	0.0581± 0.0019	0.0671± 0.0021	0.0715±0.0005	0.0775± 0.0008	0.0822± 0.0011
<b>0. 689</b>	0.0907± 0.0004	0.0897± 0.0003	0.1305±0.0005	0.1501± 0.0010	0.1505± 0.0007
<b>0. 753</b>	0.1180± 0.0003	0.1250± 0.0001	0.1604±0.0023	0.1969± 0.0003	0.1974± 0.0019
<b>0. 843</b>	0.1850± 0.0041	0.1960± 0.0031	0.2447±0.0057	0.3221± 0.0032	0.3145± 0.0033

F01: 100% Maltodextrina; F02: 75% Maltodextrina + 25% Goma Arábica; F03: 50 Maltodextrina + 50% Goma Arábica; F04: 25% Maltodextrina + 75% Goma Arábica; F05: 100% Goma Arábica.

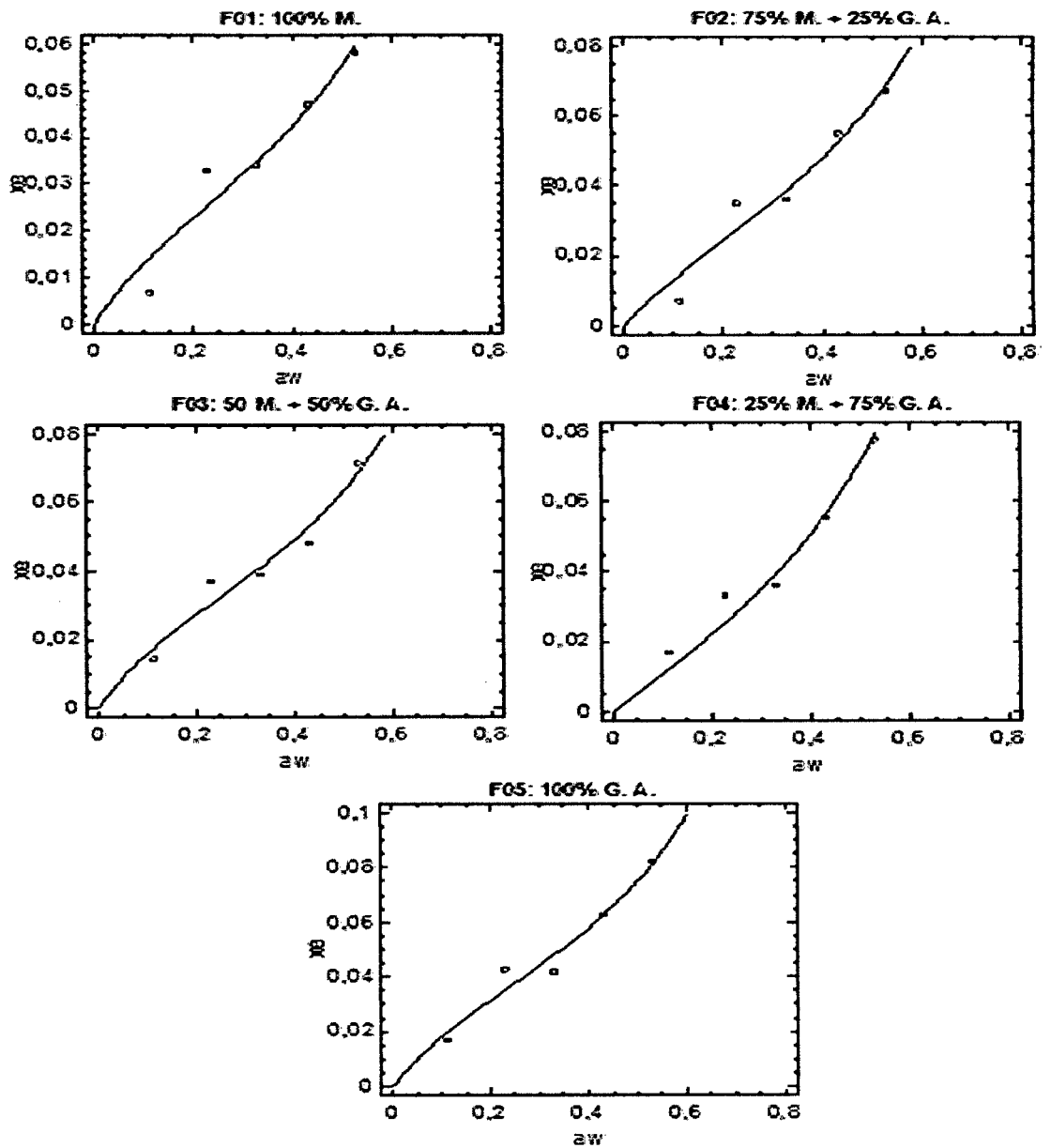
Los datos experimentales de las isothermas de sorción para polvo de toronja producido con diferentes formulaciones de agentes encapsulantes se ajustaron para varios modelos de la literatura y fueron representados en los gráficos N° 05 y N°06 para los modelos de GAB y BET respectivamente. Los parámetros estimados para cada modelo se presentan en el Cuadro 14.

Se puede observar en la Grafica 6 que el modelo de BET ajusta a una  $a_w$  desde 0.112 hasta 0.529, porque el modelo de BET es una ecuación valida en intervalos de actividad acuosa de 0.1 a 0.5 supone que existe un número fijo de sitios activos y que no hay interrelación de una molécula con las otras adyacentes a ella, además supone que la segunda y demás capas superiores de agua se comportan como líquido puro. Este comportamiento se puede observar claramente en las diferentes formulaciones con agentes encapsulantes.



Grafica 5: Isothermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de GAB.





Grafica 6: Isotermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de BET Lineal.

Cuadro 14. El ajuste de las isothermas de adsorción de polvo de toronja producida con parámetros diferentes agentes portadores.

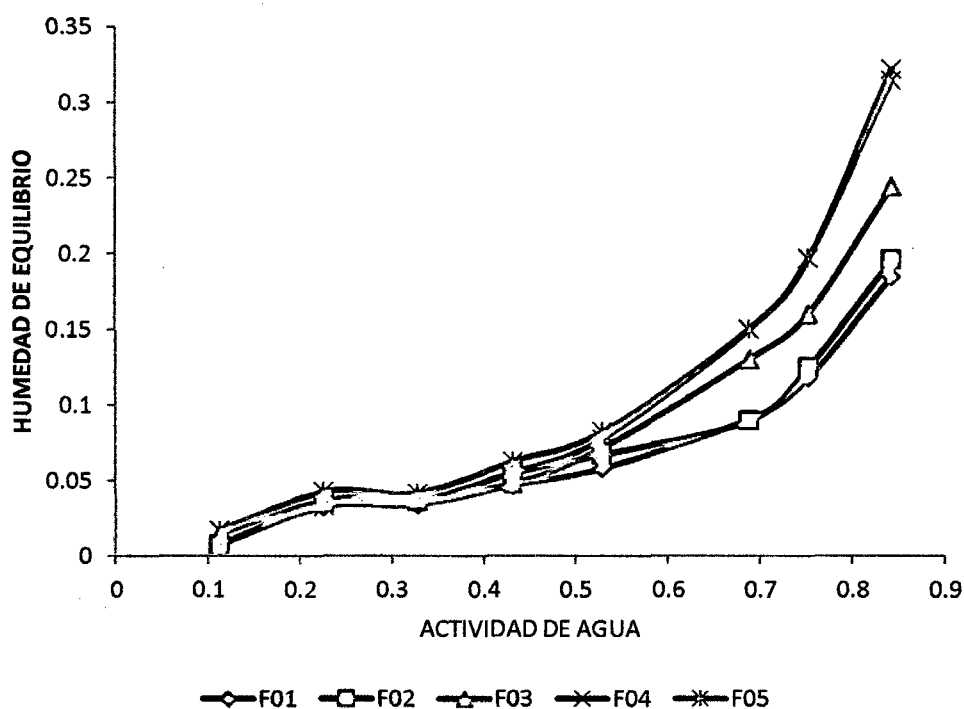
MODELO	PARÁMETRO	Formulación de encapsulante				
		F01	F02	F03	F04	F05
GAB	$X_m$	0,257	0,206	0,347	0,326	0,323
	$C_{GAB}$	0,289	0,404	0,247	0,210	0,254
	$K_{GAB}$	0,690	0,699	0,716	0,809	0,779
	$R^2$	0,970	0,957	0,988	0,994	0,988
BET	$X_m$	0,033	0,040	0,037	0,0546	0,0447
Modelo Lineal	$C_{BET}$	4,782	3,781	5,649	1,897	5,219
	$R^2$	0,921	0,936	0,943	0,951	0,954

F01: 100% Maltodextrina; F02: 75% Maltodextrina + 25% Goma Arábica; F03: 50 Maltodextrina + 50% Goma Arábica; F04: 25% Maltodextrina + 75% Goma Arábica; F05: 100% Goma Arábica.

Donde:  $X_e$  es el contenido de humedad de equilibrio (g de agua / g de sólidos secos),  $X_m$  es la humedad monocapa molecular (g de agua / g de sólidos secos),  $C_{BET}$ ,  $C_{GAB}$ ,  $K_{GAB}$ , son constantes.

De acuerdo a la Cuadro 14, los modelos mostraron un buen ajuste a los datos experimentales de humedad de equilibrio con valores de  $R^2$  cercanos a 1 y los valores medios relativos de desviación generalmente por debajo de 10% (excepto para las muestras producidas con maltodextrina 100%, que mostraron desviaciones ligeramente más grandes). Los Modelos GAB y BET son los más utilizados en la literatura. En este trabajo, los dos modelos (BET y GAB) tenían valores de  $R^2$  y desviación media relativa muy similares entre sí. Como los valores de  $R^2$  calculados por el modelo GAB

fueron ligeramente superiores y la desviación relativa promedio fue menor (F02), y teniendo en cuenta su buena base teórica, este modelo fue utilizado para representar las isothermas de absorción de polvo de zumo de Toronja (Grafica 7).



F01: 100% Maltodextrina.; F02: 75% Maltodextrina + 25% Goma F03: 50% Maltodextrina + 50% Goma Arábica; F04: 25% Maltodextrina + 75% Goma Arábica; F05: 100% Goma Arábica.

**Grafica 7:** Isothermas de sorción de zumo de Toronja en polvo producida con diferentes agentes portadores, ajustados por el modelo de GAB.

Las curvas presentaron un formato tipo III, según la clasificación de Brunauer (Brunauer, Emmett y Teller, 1938). Este tipo de curva también fue observado por Dib Taxi (2001) en el jugo de camu-camu microencapsulado con maltodextrina y goma árabe, por Nogueira (2002) en el extracto de

inulina de achicoria en polvo puro o microencapsulado con almidón hidrolizado y almidón modificado para Gabas et al. (2007) de pulpa de piña añadió maltodextrina o goma árabe y se seca al vacío, y Wang, Chen y Zhang (2008) grosella liofilizada.

El valor de  $X_m$  (en la humedad monocapa) calculado por los modelos de BET y GAB es de particular interés ya que indica la cantidad de agua que está fuertemente adsorbido a sitios específicos en la superficie de la comida, y se considera como el valor óptimo para asegurar estabilidad (Fennema, 1996). Los valores obtenidos para  $X_m$  polvo de zumo de toronja variaron desde 3,3 hasta 5,5% según el modelo BET, y del 20,6 al 34,7%, de acuerdo con el modelo de GAB, valores similares a los reportados por Righetto y Netto (2005) para la cereza en polvo por atomización y Moraga, Martínez-Navarrete y Chiralt (2006) para el kiwi liofilizado. Silva, Silva y Peña (2008) construyeron las isotermas de adsorción de polvo comercial acai producido mediante secado por aspersion y sin adición de adyuvantes y obtuvieron un valor de humedad en monocapa igual al 7,7% a 25 ° C.

Pérez-Alonso et al. (2006) construido isotermas de sorción para F03 y F05 y también tenía valores más bajos para  $X_m$  en F01 (6,96-7,35%) que en la F05 (8,11 a 11,0%), a temperaturas de 25, 35 y 40C.

Los autores atribuyeron estos resultados a una combinación de factores tales como la conformación y la topología de los sitios / hidrófilos e hidrófobos de moléculas adsorbidas en su interfaz.

De acuerdo con la Grafica 7, parece que hasta 0.532 para actividades de agua, el aumento de humedad de equilibrio era pequeña en comparación con la humedad golpear en actividades de agua más altos, que también fue observado por Righetto y Netto (2005) y Gabas et al. (2007). En esta última región, el agua tiene una fuerte influencia en la estabilidad del polvo, ya que al ser en forma de moléculas libres puede disolver los componentes, resultando en una aceleración de reacciones indeseables.

Como también puede verse en la Grafica 7, la muestra producida con maltodextrina era el que tenía la higroscopicidad más baja, seguido de la F02. Las muestras producidas con la F04 y F05 mostraron higroscopicidades similares entre y superior a los otros dos. Esta diferencia en la adsorción de agua se puede explicar por la estructura química de cada agente. F04 y F05 tienen un gran número de ramas con grupos hidrófilos en su estructura y, por lo tanto, pueden absorber fácilmente el agua del aire ambiente. La F03 es menos hidrolizada, con menos grupos hidrófilos, y consecuentemente adsorbentes menos agua. La maltodextrina es un derivado del almidón de maíz, lo que explica su menor higroscopicidad.

Cai y Corke (2000), y Ersu Yurdagel (2007), trabajando con microencapsulación de antocianinas y betacianinas, respectivamente, utilizando diferentes maltodextrinas, reveló un incremento con el aumento de la higroscopicidad. Los autores atribuyeron este aumento de la higroscopicidad de las maltodextrinas de menor peso molecular con un DE

superior, que contiene cadenas más cortas y por lo tanto más grupos hidrófilos. Righetto y Netto (2005) y Gabas et al. (2007), trabajando con el secado de zumo y pulpa de piña, respectivamente, utilizando F04 y F05, también tenía isothermas de sorción similares muchas veces (higroscopiedades muy cerca) para los polvos producidos con estos dos agentes portadores.

Se observaron algunos cambios en las características físicas de los polvos almacenados a diferentes humedades relativas (Grafica 7). Cuando se almacena a humedades relativas de hasta 43% ( $K_2CO_3$ ), las partículas se mantuvieron en forma de un polvo suelto, para todos los agentes portadores utilizados. A una humedad relativa de 53% ( $Mg(NO_3)_2$ ), las partículas comenzaron a mostrar la formación de agrupaciones que no aflojar con tanta facilidad. En ambientes con una humedad más alta, los cambios físicos fueron más evidentes. A humedades relativas superiores al 69% (KI), las muestras producidas con maltodextrinas y goma arábica mostraron la formación de muy duro, cúmulos oscuras, pareciendo un "sólido" resultado de la compactación. Una humedad relativa 75% (NaCl), estas muestras fueron sólidos y muy oscuro. Cuando se almacena a una humedad relativa más alta (84%), las muestras producidas con la F04 y F05 estaban con la aparición de un "líquido muy pegajoso." La muestra producida la F01 mostraron partículas similares a los que se almacenan a 53%, observando el oscurecimiento y aumento de la aglomeración, con el aumento de la humedad relativa.

Según Aguilera, Del Valle y Karel (1995), la aglomeración es un fenómeno dañino en el que un polvo de flujo completamente libre se transforma en grumos, y luego formando un aglomerado sólido, y finalmente un material adhesivo, lo que resulta en la pérdida de la función y la disminución de la calidad. La formación de puentes es la etapa inicial de apelmazamiento y se produce como resultado de la deformación de la superficie, estableciendo puntos de contacto entre las partículas, sin una reducción medible en la porosidad. Según los autores, en el comienzo de la aglutinación, estos pequeños puentes entre las partículas pueden ser impresionados con una agitación suave. La siguiente etapa es la sinterización que implica una consolidación irreversible de los puentes, pero se mantiene la porosidad del sistema, lo que resulta en grupos de partículas con integridad estructural. La compresión es una etapa aún más avanzada y se asocia con una marcada pérdida de la integridad del sistema, como resultado del engrosamiento de los puentes entre partículas debido a la reducción de los espacios entre las partículas y la deformación de los grupos bajo presión. En la etapa final de la aglomeración, los puentes desaparecen como resultado de la licuefacción de la muestra, debido al alto contenido de humedad, lo que resulta en la solubilización de las fracciones de bajo peso molecular.

## V. CONCLUSIONES

- 5.1. El zumo de toronja de variedad blanca presenta la siguientes características fisicoquímicas: Grados Brix 14.00, pH 3.52, acidez titulable 1.26 % (en base al ácido cítrico), y 42.81 mg de Ácido ascórbico/100ml de zumo.
- 5.2. De las 5 formulaciones evaluadas: F01=100% M, F02=75% M + 25% GA, F03 = 50% M + 50% GA, F04 = 25%M + 75% GA y F05= 100% GA. La formulación óptima es de 100%GA (F05) con una retención de la Vitamina C en un 96% y un % H de 6,22% y la formulaciones con bajo rendimiento son F01 y F03 con un porcentaje de 89% de retención de Vitamina C y un %H de 4,29% y 5,19% respectivamente.
- 5.3. Las isotermas de Sorcion de las formulaciones de encapsulante empleadas se ajustan a los modelos de:

$$\text{BET: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)}$$

$$R^2 = 0.921 - 0.954 \text{ (en un rango de } a_w \text{ de 0.1 a 0.5)}$$

$$\text{GAB: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w)(1 + (C - 1) \cdot k \cdot a_w)}$$

$$R^2 = 0.957 - 0.994$$

Siendo la muestra producida con 100 % maltodextrina (F01) la que presenta la higroscopicidad más baja.



## VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. El equipo Spray Drying para el proceso de secado por Atomización debería contar con un filtro fino, ya que la mayor pérdida de producto en el producto se centra en la separación gas-sólido que se da en el ciclón del equipo.
- 6.2. Para realizar un completo estudio de la deshidratación del zumo de una fruta; se debería ser un análisis de azúcares reductores y no reductores; para verificar que azúcares contiene esta y en que concentración se encuentra. Porque estos azúcares influyen directamente en la higroscopicidad de la una muestra deshidratada.
- 6.3. Para un análisis más preciso y exacto; en cuanto a rehidratación; se sugiere que siga el ejemplo de este trabajo los cuales especificamos en los anexos. Ya que así impedirá que se elimine vitamina c por oxígeno o luz (momento de separar la muestra de las bandejas de acero inoxidable).
- 6.4. En el análisis de vitamina c; al momento de agregar la solución coloreada (2.6 diclorofenolindofeno) el tiempo que debe de transcurrir para medir la muestra debe ser mínimo; menor a 15 segundos; ya que este colorante es muy sensible a la luz y a temperaturas altas. Es por ello que se mantiene en refrigeración y en frasco ámbar.
- 6.5. Es sugiere que el análisis de la vitamina c de sus muestras se realicen el mismo día ya que al transcurrir el tiempo la vitamina c se degrada; aunque este extremadamente protegido con papel aluminio e incluso en campanas de secado. Esta recomendación es para que tenga precisión en sus medidas y sus datos no sean confusos.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- 6.1. Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. (2004). Physical properties of powered pineapple (*Ananascomosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of FoodEngineering* 64, 285-287.
- 6.2. Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. (1997). A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar rich foods. *Drying Technology* 15, 2509-2525.
- 6.3. Boonyai, P., Bhandari, B., Howes, T. (2004). Stickiness measurements techniques for food powders: a review. *Powder Technology* 145, 34-46.
- 6.4. D.Drogoudi, P., Tsipouridis, C. (2005). Physical and chemical characteristics of Pomegrates. *HortScience* 40(5), 1200-1203.
- 6.5. Dolinsky, A., Maletskaya, K. y Snezhkin, Y. (2000). Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convetive drying methods. *Drying Technology* 18, 747-758.
- 6.6. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *FoodResearch International* 40, 1107-1121.
- 6.7. Hellman, J. (2000)"Farmacotécnia Teórica y Práctica", Vol. I – VIII. Ed. Continental, México.
- 6.8. Jaya, S., & Das, H. (2003), A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21(7), 1215-1234.

- 6.9. Karel, M, (1975), Stability of low and intermediate moisture. In F. S. a. Technology (Ed.), Freeze drying and advanced food technology (pp. 643-674), London: Academic Press Inc Ltda.
- 6.10. Khraisheh, M. A. M, McMinn, W. A. M, and Magee, T. R. A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. FoodResearch International, 37: 497-503.
- 6.11. Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 26(3), 197-212.
- 6.12. Kira, R. S., Sawyer, R., & Egan, H. (1996). Composición y análisis de alimentos de Pearson (Segunda en español ed.). México: Compañía Nacional Continental, S.A.
- 6.13. Konopacka D; Jesionkowsk A; Klewichi R & Bonazzi C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit Journal of Horticultural Science & Biotechnology Isafruit Special Issue 80-84.
- 6.14. Krokida, M.K.; Karathanos, V.T.; Maroulis, Z.B. (1998) Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. Journal of FoodEngineering, 35: 369-380.
- 6.15. Kubler W, Gehler J. (1970). On the kinetic of the intestinal absorption of ascorbic acid: a contribution to the calculation of an absorption process that is not proportional to the dose. International Journal of Vitamin and Nutrition Research, (estadosUnidos) Volumen 40. (N° 20) Pp. 442-453.

- 6.16. Lewicki, P. P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1: 1-22.
- 6.17. Lewis, M.J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado* (J. Z. T. y J. P. B. Lera, Trans, Primera en español ed.), Zaragoza: Acribia.
- 6.18. Lehninger, A. *Bioquímica*. Barcelona – España Editorial Omega. 1999. 20p.
- 6.19. Li Z., Raghavan G. S. V. and Orsat V. (2010b). Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering* 99: 478-483.
- 6.20. Lin, T. M.; Durance, T. D.; Scaman C.H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze-dried carrot slices. *Food Research International*, 31 (2): 111-117.
- 6.21. Lucero, O. (2005). *Técnicas de Laboratorio de Bromatología y Análisis de Alimentos*. Riobamba-Ecuador. Centro de copiado de la ESPOCH. Pp. 6-28.
- 6.22. Mafart, P. (1994). *Ingeniería Industrial Alimentaria* (Vol. Volumen I Procesos físicos de conservación). Zaragoza; Editorial Acribia S.A.
- 6.23. Masters, K. (1991). *Spray drying handbook* (Quinta ed.). New York: Logman Scientific and Technical.
- 6.24. Marques L., Silveira A. and Freire J. (2006). Freeze drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, 24: 457-463.
- 6.25. McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (1997), *Physical Characteristics of Dehydrated Potatoes Part II*. *Journal of Food Engineering*, 33, 49-55.
- 6.26. Mortimer, C. (1983). *Química*. México: Grupo editorial iberoamericana.

- 6.27. Murat, O., & Onur, D. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 45, 17-24.
- 6.28. National Research Council (1989) *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. National Academy Press, Washington.
- 6.29. Negiz, A., Lagergren, E.S., & Cinar, A. (1995). Mathematical Models of Cocurrent Spray Drying. *Int. Chemical Engineering* 34, 3289-3302.
- 6.30. Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., & Powers, J. R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 36, 507-516.
- 6.31. Norman W. (1974). *Conservación de Alimentos*. México. Editorial Continental. 300 p.
- 6.32. Orrego, A.C.E. (2003). *Procesamiento de alimentos*: Universidad nacional de Colombia Sede Manizales.
- 6.33. Perry, Robert H. (1984). *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Sexta edición. Mc Graw Hill.
- 6.34. Perry, R. H., Green, D.W., & Maloney, J.O. (1994). *Perry. Manual del Ingeniero Químico* (Sexta ed. Vol. V). México: McGraw Hill.
- 6.35. RAHMAN, SHAFIUR M. (2003). *Manual de conservación de los Alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- 6.36. Ramallo L.A., Mascheroni R. H. (2011). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 2011

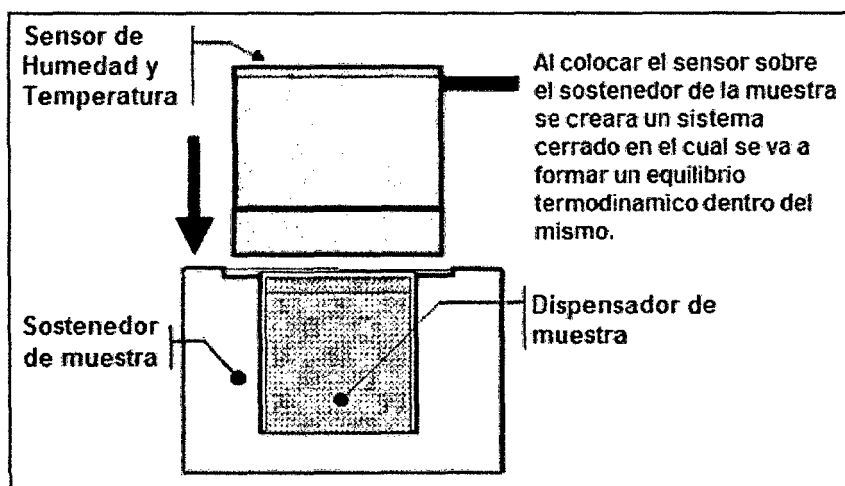
- 6.37. Rey, L. (1975). Some basic facts about freeze drying. In S.A. Goldblith (Ed.), *Freeze drying and advanced technology* (pp. 730). London.
- 6.38. Reineccius, G. (2001). Multiple-core encapsulation: the spray drying of food ingredients. Eds. American Chemical Society, Washington-United States of America, p.55-66.
- 6.39. Sablani SS (2006) Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *DryingTechnol* 24: 428-432.
- 6.40. Sagar V. R. and Suresh Kumar P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *JournalFoodScienceTechnology* 47: 15-26.
- 6.41. Santos PHS & Silva MA (2008), Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables a review. *DryingTechnology* 26: 1421-1437.

# **VIII.ANEXOS**

## ANEXO I

### Determinación de Actividad de agua

- Conectar el equipo en el computador. Encender el computador y el equipo de actividad de agua, luego ejecutar el programa Hygrowin V. 2.1.1. Esperar que el computador reconozca el equipo.
- Seleccionar el modo de medida en el computador. (Estándar o Rápido)
- Coloque la muestra a analizar dentro del sostenedor de muestra.
- Ponga el sensor encima del sostenedor de la muestra.
- Comience la medida haciendo Click con el ratón en el botón Start que corresponde al sensor a usar. El botonStart inmediatamente cambia a Stop.
- Cuando se termina la medida (Aproximadamente 5 minutos - modo rápido), los resultados aparecen en un fondo verde y a la vez el computador dará una señal de que se concluyó la medida.





## ANEXO II

### Cálculo de la concentración de vitamina C para cada zumo:

#### *Para el zumo fresco de Toronja:*

Se tuvo en cuenta la concentración teórica del zumo (*50.6 mg*); es por ello que necesitamos diluir nuestra muestra; ya que la ecuación de la curva de la vitamina C que se realizó está en un rango de concentración de vitamina c de *1mg/100ml-5mg/100ml*. Para hallar el volumen de muestra a diluirse se aplicó la siguiente fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

En la aplicación de esta fórmula, se tiene por objetivo calcular  $V_1$  que se tiene que extraer del zumo fresco, para que sea diluido en una Fiola de *50ml* ( $V_2$ ). Suponiendo que el zumo fresco tiene *50.6 mg* de vitamina C ( $C_1$ ) y el  $C_2$  es la concentración de la curva que se le da a *3mg/100ml*. Es así que aplicando todo los datos podemos hallar el  $V_1$ ; que se tiene que extraer del zumo para ser diluido en la Fiola.

Para hallar el verdadero valor de concentración de vitamina C de la muestra se tiene en cuenta el **factor de dilución**; que es:

$$Fd = \frac{\text{volumen de fiola}(50ml)}{\text{volumen de muestra}(V1)}$$

**Para el zumo concentrado de Toronja:**

Para este cálculo se tuvo en cuenta que el concepto de concentrar significa eliminar agua; y que los sólidos solubles se concentren; así se incrementa la concentración de sólidos solubles, vitamina c, etc.

Aplicando este criterio; en la dilución de la muestra, se utilizó la fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Pero en este caso el  $C_2$  ya no sería  $3\text{mg}/100\text{ml}$ ; porque la concentración rebotaría por lo menos a  $6\text{mg}-6.5\text{mg}/100\text{ml}$  ya que está concentrado; y es un dato errado tomar este valor ya que la curva se construyó con valores de  $1-5\text{mg}/100\text{ml}$ .

Es por ello que luego de varias pruebas exploratorias llegamos a la conclusión de que el rango más indicado sería  $C_2 = 1\text{mg}/100\text{ml}$ ; con este valor la concentración de vitamina C después de analizar salía aproximado a  $3\text{mg}/100\text{ml}$ .

De la misma manera que el anterior el  $V_1$  es el volumen a encontrar para diluirlo.  $C_1$  es la concentración anterior encontrada que es aproximada al teórico; el  $V_2$  es el volumen de  $50\text{ml}$  es donde se diluye la muestra (esto se realizó en una Fiola de  $50\text{ml}$ , siendo enrazada).

Después, esta muestra es analizada; y para esto se preparan 4 tubos, los cuales tienen cada uno diferente preparación; obteniéndose en el N° 4 la muestra a analizar. Obteniéndose así el  $L_1$  y  $L_2$  para la aplicarlo en la ecuación y hallar la concentración de vitamina C; la cual después tiene que ser multiplicada por el factor de dilución que fue explicada anteriormente.

## 1. Encendimos el equipo del **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VITAMINA C:**

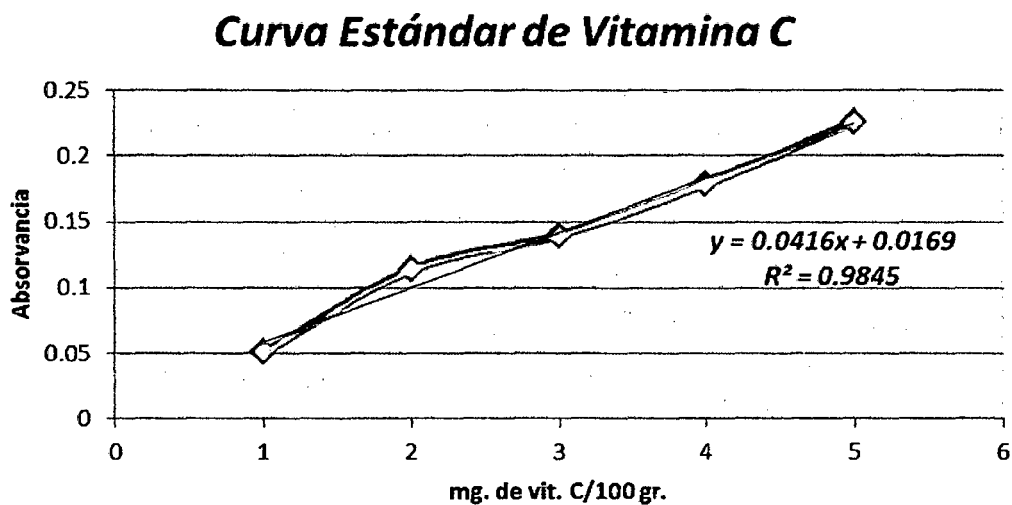
### Preparación de la curva estándar de vitamina C

- Espectrofotómetro Uv –Visible.
- En la pantalla del escritorio de la computadora hicimos click en el icono spectra Manager.
- Programamos en el icono QuantitativeCalibration los parámetros a lo que deseamos medir la longitud de onda en este caso fue 520 nm, guardamos el método.
- Luego hicimos doble click en QuantitativeAnalysis, seleccionamos file – new ok buscamos el método en la data en donde guardamos abrir y el equipo está listo para operar.
- Paralelamente, preparamos 4 tubos prueba enumerarlos del I al IV y agregar lo siguiente:
  - I, 10ml de agua destilada
  - II, 1ml de ácido oxálico al 0.4% + 9 ml de solución Coloreada.
  - III, 1ml de ácido oxálico al 0.4% + 9 ml de agua destilada.
  - IV, 1ml de E. T. Nº 1 + 9ml de solución coloreada.
- Hicimos las lecturas de absorvancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm de la siguiente manera:
  - Ajustar a cero la absorvancia usando I.
  - Leer la absorvancia del tubo II (L1)
  - Ajustar a cero la absorvancia con la solución del tubo III.
  - Leer la absorvancia del tubo IV (L2)

**Nota:** Las lecturas de L1 y L2 deben hacerse en 15 segundos después de su preparación. Construir la curva estándar con las concentraciones 1, 2, 3, 4 y 5 de ac. Ascórbico (mg/100ml) en la abscisa y la absorbancia.

### ***Determinación de la curva de calibrado para la vitamina C***

A continuación se presenta la curva estándar de vitamina C, la cual nos sirvió como patrón para hallar las concentraciones adecuadas a utilizar para cada ensayo de la investigación:



***Figura 28 - Curva de calibrado para la Vitamina C***

### **Análisis de Vitamina C en la muestra**

- Pesamos 5 gramos de la muestra.
- En un solución de ácido oxálico al 0.4% adicionamos los 5 gramos de muestra en 35 ml de este ácido.
- Centrifugamos la muestra de la fruta por un tiempo de 15 minutos a 4000 rpm
- Tomamos una alícuota del sobrenadante del centrifugado y luego determinamos  $L_1$  como se describió anteriormente.
- En el tubo III colocamos 1ml de filtrado (muestra) más 9 ml de agua destilada y con esta ajustar a cero la absorbancia.
- En el tubo IV colocamos 1ml del filtrado (muestra) más 9ml de solución coloreada y registrar la absorbancia  $L_2$  después de 15 segundos.
- Calculamos  $(L_1 - L_2)$  y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar.

Una vez obtenidos los parámetros de ( $L_1$  Y  $L_2$ ), procedimos a hallar la concentración de ácido ascórbico tanto en el zumo concentrado como el no concentrado.

#### ***Para el zumo concentrado + encapsulante:***

Para el cálculo de esta concentración; se utilizó el mismo valor  $V_1$  anterior ya que al agregarle los agentes encapsulantes; la disminución de vitamina C es poca. Esto se debió ya que al agregarle más masa el volumen se incrementa; y si lo vemos del punto de vista de concentración de vitamina C, si el volumen se incrementa y la masa de vitamina c se mantiene constante entonces

la concentración disminuye; es por ello que después de medir la vitamina c cae en un rango de 2 a 2.5 mg/100ml.

***Cálculo de la concentración de rehidratado de atomización:***

Para hallar la concentración del rehidratado; también se utilizó la fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

En donde C1 es la concentración anteriormente hallada del zumo concentrado + encapsulante. El V1 es el volumen a hallar en la ecuación; la C2 es 3mg/100ml y por último el V2 es 50ml que es el volumen en el cual se diluye la muestra.

Después esta muestra se llevó a analizar: preparándose así los 4 tubos anteriormente explicados. Luego se analizó las absorbancias de los cuatro tubos. Las muestras de L1 y L2 se debe analizar en un tiempo no mayor de 15 segundos después de su preparación.

## ANEXO III

### Rehidratación del zumo Atomizado para la cuantificación de vitamina C:

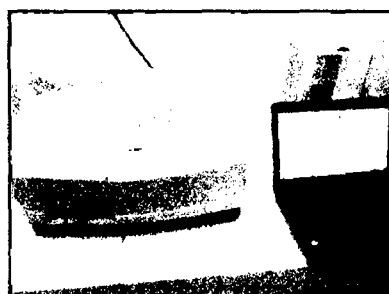
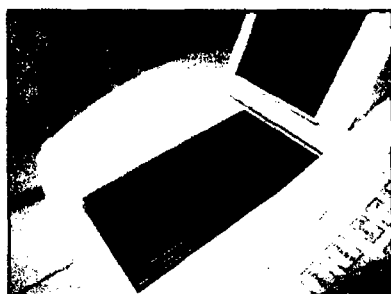
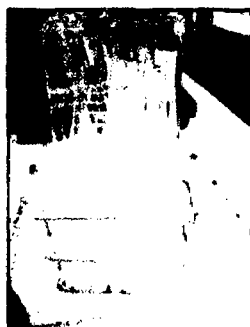
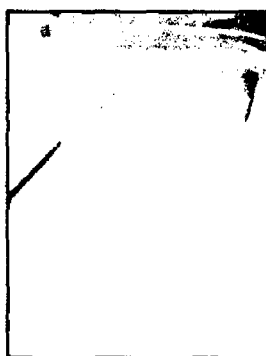
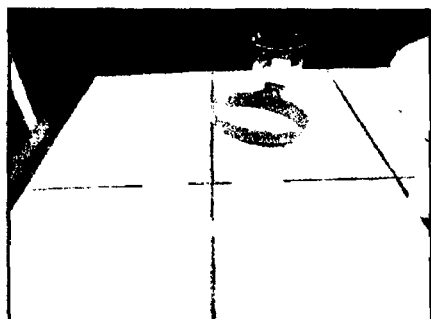
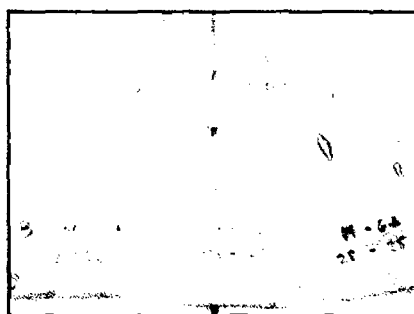
Para la rehidratación del polvo atomizado de Toronja; se trabajó en base a humedades y pesos.

1. Primero se trató de adecuar vasos de vidrio (conservas) en la recepción del polvo atomizado. De estos vasos se consiguieron un promedio de 8 a 10 para poder trabajar sin dificultad.
2. Antes de ingresar la muestra al proceso de atomizado se coloca en una placa y se mide la humedad de ella.
3. Luego se atomizó una primera muestra (volumen de 100ml). Después de la atomización se pesó y se llevó a la estufa por un lapso de 2h a 100°C para ver la humedad del producto.
4. Después se colocó otra muestra de 250ml; de la misma formulación anterior; la cual después del proceso se pesó y se le restó el peso del vaso receptor; para hallar el peso del producto atomizado.
5. Teniendo el peso del producto y las humedades de este y del zumo concentrado + encapsulante; entonces se hidrató la muestra. Para este hidratado primero se halló los sólidos totales que tiene el producto atomizado; el cual se halló restando 100%-%humedad; este resultado se obtuvo en porcentaje y se le multiplicó a la cantidad de masa que contenía el producto obteniendo así los sólidos totales en gramos.

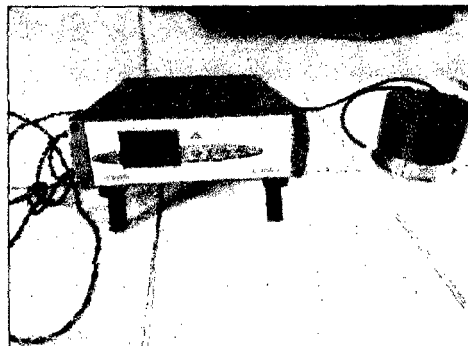
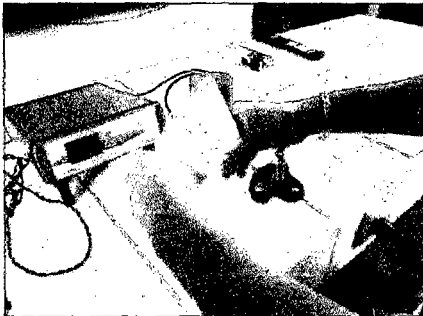
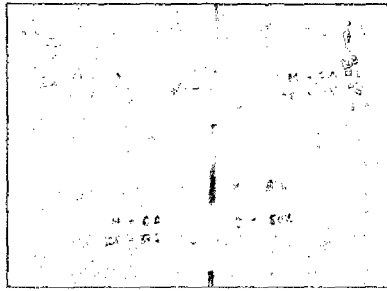
6. Luego se comparó la masa de sólidos totales (materia seca) con el % de sólidos del zumo concentrado + encapsulante; es decir la muestra antes de ingresar al proceso de atomización.
  
7. En esta comparación se realiza una operación matemática denominada regla de tres, la cual nos ayuda a obtener la cantidad de agua que debe tener nuestra muestra para que se similar o igual a la inicial.
  
8. Obteniéndose esta cantidad de agua que debe tener la muestra se le resta los gramos de agua que contiene el polvo atomizado; y esta diferencia es el agua que se le debe agregar al polvo atomizado.



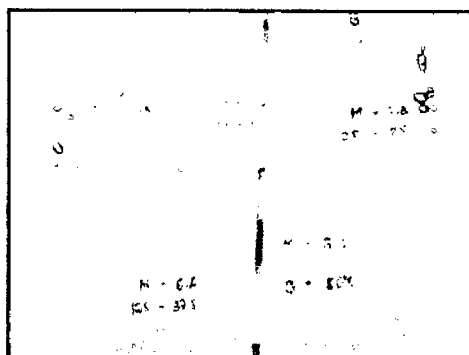
# DETERMINACIÓN DE VITAMINA C POR ESPECTROFOTOMETRÍA



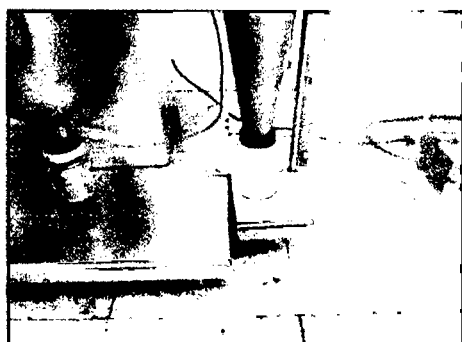
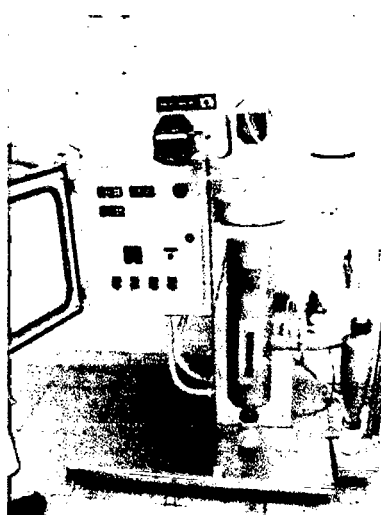
# ACTIVIDAD DE AGUA



# ISOTERMAS



## OBTENCIÓN DE PRODUCTO ATOMIZADO





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“CATALOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACION Y TESIS ASAMBLEA  
NACIONAL DE RECTORES”**

**Resolución N° 1562-2006-ANR**

**I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):**

- **UNIVERSIDAD:** Universidad Nacional del Santa
- **FACULTAD:** Ingeniería
- **ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL:** Ingeniería  
Agroindustrial
- **TITULO PROFESIONAL:** Ingeniero Agroindustrial
- **DENOMINACION DEL TRABAJO DE INVESTIGACION:**  
“OPTIMIZACION DEL PROCESO DEATOMIZACION DE  
ZUMO DE TORONJA (*Citrus paradisi*)”
- **AUTORES:**  
DNI: 45998785, HUERTAS GUTIERREZ GERMÁN FELIX  
EDUARDO  
DNI: 46515759, MORENO GONZALES ALEX MARIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**II. CONTENIDO DEL RESUMEN:**

• **TIPO DE INVESTIGACION**

La investigación adquiere un carácter DESCRIPTIVO – APLICATIVO. Descriptivo porque busca describir las características de un problema en estudio, además de adjuntar las alternativas soluciones a las actividades críticas del proyecto durante su desarrollo. Aplicativo debido a que para la empresa que se tomó como referencia, este sistema de gestión es un estándar prioritario para el inicio de los proyectos de la empresa para su próxima certificación.

• **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cómo influye el material microencapsulante en las características físico-químicas y la estabilidad higroscópica en el proceso de secado de zumo de toronja por atomización?



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



- **OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL**

Conocer la influencia de las formulaciones del encapsulante a base de Maltodextrina (M) y Goma Arabiga (GA) sobre las propiedades fisicoquímicas que sirven para identificar la calidad del zumo de toronja deshidratado por atomización.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Caracterizar fisicoquímicamente el zumo de toronja.

Determinar la concentración óptima del material micro-encapsulante.

Determinar la estabilidad del secado por atomización del zumo de toronja mediante Isotermas de Sorción.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



- **BREVE REFERENCIA AL MARCO TEORICO**

Para Sara Abu Sabbah[1] (2011) la toronja presenta en su pulpa o parte comestible (endocarpio) contiene fibra en su mayoría pectina que puede ayudar a prevenir el estreñimiento, ayudar a mantener la saciedad y favorecer la captación de colesterol de la bilis. El aporte de nutrientes varía con la variedad del fruto, las cuales podemos clasificar en dos grupos: las variedades blancas y las rosadas y rojizas, estas últimas con un aporte mayor de carotenoides entre ellos, el licopeno que confieren el color característico además del poder antioxidante. Estos carotenoides, en el cuerpo se transforman en vitamina A necesaria para la visión y para fortalecer el sistema inmunológico.

Aunque en menor proporción a la naranja contiene vitamina C (50,6mg) por cada 100g) además de hierro (2mg), calcio (34mg) y fósforo (16mg). Es un fruto bajo en sodio y alto en potasio, característica adecuada para pacientes hipertensos o con enfermedades cardiovasculares y deportistas. La concentración de potasio permite que la pulpa de la toronja sea diurética.

Según la pagina web Alimentación Sana [2], las posibilidades de tomar el pomelo o toronja son dos: fresco, aprovechamos su fibra rica en pectina, que se encuentra principalmente en la capa blanca que hay justo debajo de la piel y entre los gajos; y en





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



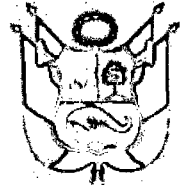
zumo, una buena alternativa al de naranja o limón, o combinado con los anteriores. Un zumo elaborado con dos pomelos cubre el 100 por cien de las recomendaciones de esta vitamina, que desempeña funciones tan importantes como favorecer el buen funcionamiento del sistema de defensas.

Para Paul G. Muller y René Riel[3] (1990) La micro encapsulación de partículas diminutas de alimento es un avance más reciente, se han elaborado nuevas técnicas que han sido aprobadas a escala industrial. Su poderío para producir comidas muy especiales es enorme. Esta tecnología conviene a los países de América Latina y el Caribe porque disponen de amplios recursos en cuanto a ingredientes tales como especias, vitaminas, aceites, pasas, nueces y otros. El secado por atomización es el más utilizado en la industria alimentaria. Consiste en secar por atomización una suspensión del material que se quiere recubrir en una solución que será el material de recubrimiento.

Parra Huertas, Ricardo[4] afirma que la encapsulación es una técnica que permite el empaquetamiento de alimentos, o materiales como aceites, bacterias probióticas, enzimas, lactosuero, pigmentos vegetales, minerales, vitaminas y aditivos alimenticios. Los principales agentes utilizados para encapsular son polivinil alcohol, alginatos, lípidos, carbohidratos, gomas y proteínas; esta encapsulación se lleva a cabo a través de



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



procesos físicos o mecánicos; en los procesos químicos se encuentran, coacervación, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento en liposomas, inclusión molecular y en los procesos mecánicos están las técnicas de co-cristalización, secado congelamiento/enfriamiento, extrusión y por último se encuentra la técnica de secado por aspersion, siendo esta la más importante y utilizada en la industria alimentaria



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



• **CONCLUSIONES**

1. El zumo de toronja de variedad blanca presenta la siguientes características fisicoquímicas: Grados Brix 14.00, pH 3.52, acidez titulable 1.26 % (en base al ácido cítrico), y 42.81 mg de Ácido ascórbico/100ml de zumo.
2. De las 5 formulaciones evaluadas: F01=100% M, F02=75% M + 25% GA, F03 = 50% M + 50% GA, F04 = 25%M + 75% GA y F05= 100% GA. La formulación óptima es de 100%GA (F05) con una retención de la Vitamina C en un 96% y un % H de 6,22% y la formulaciones con bajo rendimiento son F01 y F03 con un porcentaje de 89% de retención de Vitamina C y un %H de 4,29% y 5,19% respectivamente.
3. Las isotermas de Sorcion de las formulaciones de encapsulante empleadas se ajustan a los modelos de:

$$\text{BET: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)}$$

$$R^2 = 0.921 - 0.954 \text{ (en un rango de } a_w \text{ de 0.1 a 0.5)}$$

$$\text{GAB: } X = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w)(1 + (C - 1) \cdot k \cdot a_w)}$$

$$R^2 = 0.957 - 0.994$$

Siendo la muestra producida con 100 % maltodextrina (F01) la que presenta la higroscopicidad más baja.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



- **RECOMENDACIONES**

1. El equipo Spray Drying para el proceso de secado por Atomización debería contar con un filtro fino, ya que la mayor pérdida de producto en el producto se centra en la separación gas-sólido que se da en el ciclón del equipo.
  2. Para realizar un completo estudio de la deshidratación del zumo de una fruta; se debería ser un análisis de azúcares reductores y no reductores; para verificar que azúcares contiene esta y en que concentración se encuentra. Porque estos azúcares influyen directamente en la higroscopicidad de la una muestra deshidratada.
  3. Para un análisis más preciso y exacto; en cuanto a rehidratación; se sugiere que siga el ejemplo de este trabajo los cuales especificamos en los anexos. Ya que así impedirá que se elimine vitamina c por oxígeno o luz (momento de separar la muestra de las bandejas de acero inoxidable).
- En el análisis de vitamina c; al momento de agregar la solución coloreada (2.6 diclorofenolindofeno) el tiempo que debe de transcurrir para medir la muestra debe ser mínimo; menor a 15 segundos; ya que este colorante es muy sensible a la luz y a temperaturas altas. Es por ello que se mantiene en refrigeración y en frasco ámbar.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



• **BIBLIOGRAFIA**

1. Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. (2004). Physical properties of powered pineapple (Ananascomosus) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of FoodEngineering* 64, 285-287.
2. Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. (1997). A semi- empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar rich foods. *Drying Technology* 15, 2509-2525.
3. Boonyai, P., Bhandari, B., Howes, T. (2004). Stickiness measurements techniques for food powders: a review. *Powder Technology* 145, 34-46.
4. D.Drogoudi, P., Tsipouridis, C. (2005). Physical and chemical characteristics of Pomegrates. *HortScience* 40(5), 1200-1203.
5. Dolinsky, A., Maletskaya, K. y Snezhkin, Y. (2000). Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convetive drying methods. *Drying Technology* 18, 747-758.
6. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *FoodResearch International* 40, 1107-1121.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



7. Hellman, J. (2000) "Farmacotécnica Teórica y Práctica", Vol. I – VIII. Ed.
8. Continental, México.
9. Jaya, S., & Das, H. (2003), A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21(7), 1215-1234.
10. Karel, M, (1975), Stability of low and intermediate moisture. In F. S. a. Technology (Ed.), *Freeze drying and advanced food technology* (pp. 643-674), London: Academic Press Inc Ltda.
11. Khraisheh, M. A. M, McMinn, W. A. M, and Magee, T. R. A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37: 497-503.
12. Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 26(3), 197-212.
13. Kira, R. S., Sawyer, R., & Egan, H. (1996). *Composición y análisis de alimentos de Pearson* (Segunda en español ed.). México: Compañía Nacional Continental, S.A.
14. Konopacka D; Jesionkowsk A; Klewichi R & Bonazzi C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



perception of osmo-treated dried fruit Journal of Horticultural Science & Biotechnology Isafruit Special Issue 80-84.

15. Krokida, M.K.; Karathanos, V.T.; Maroulis, Z.B. (1998) Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. Journal of FoodEngineering, 35: 369-380.
16. Kubler W, Gehler J. (1970). On the kinetic of the intestinal absorption of ascorbic acid: a contribution to the calculation of an absorption process that is not proportional to the dose. International Journal of Vitamin and Nutrition Research, (estadosUnidos) Volumen 40. (N° 20) Pp. 442-453.
17. Lewicki, P. P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. International Journal of FoodProperties, 1: 1-22.
18. Lewis, M.J. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado (J. Z. T. y J. P. B. Lera, Trans, Primera en español ed.), Zaragoza: Acribia.
19. Lehninger, A. Bioquímica. Barcelona – España Editorial Omega. 1999. 20p.
20. Li Z., Raghavan G. S. V. and Orsat V. (2010b). Temperature and power control in microwave drying. Journal of FoodEngineering 99: 478-483.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



21. Lin, T. M.; Durance, T. D.; Scaman C.H. (1998).  
Characterization of vacuum microwave, air and freeze-dried  
carrot slices. *FoodResearch International*, 31 (2): 111-117.
22. Lucero, O. (2005). *Técnicas de Laboratorio de Bromatología y  
Análisis de Alimentos*. Riobamba-Ecuador. Centro de copiado  
de la ESPOCH. Pp. 6-28.
23. Mafart, P. (1994). *Ingeniería Industrial Alimentaria (Vol.  
Volumen I Procesos físicos de conservación)*. Zaragoza;  
Editorial Acribia S.A.
24. Masters, K. (1991). *Spray drying handbook (Quinta ed.)*. New  
York: Logman Scientific and Technical.
25. Marques L., Silveira A. and Freire J. (2006). Freeze drying  
characteristics of tropical fruits. *DryingTechnology*, 24: 457-  
463.
26. McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (1997), Physical  
Characteristics of Dehydrated Potatoes Part II. *Journal of  
FoodEngineering*, 33, 49-55.
27. Mortimer, C. (1983). *Química*. México: Grupo editorial  
iberoamericana.
28. Murat, O., & Onur, D. (2000). Analysis of color development  
during roasting of hazelnuts using response surface  
methodology. *Journal of FoodEngineering*, 45, 17-24.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



29. National Research Council (1989) Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. NationalAcademyPress, Washington.
30. Negiz, A., Lagergren, E.S., & Cinar, A. (1995). Mathematical Models of Cocurrent Spray Drying. Int. ChemicalEngineering 34, 3289-3302.
31. Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., & Powers, J. R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). LebensmittelWissenschaft and Technologie, 36, 507-516.
32. Norman W. (1974). Conservación de Alimentos. México. Editorial Continental. 300 p.
33. Orrego, A.C.E. (2003). Procesamiento de alimentos: Universidad nacional de Colombia Sede Manizales.
34. Perry, Robert H. (1984). Perry's Chemical Engineers Handbook. Sexta edición. Mc Graw Hill.
35. Perry, R. H., Green, D.W., & Maloney, J.O. (1994). Perry. Manual del Ingeniero Químico (Sexta ed. Vol. V). México: McGraw Hill.
36. RAHMAN, SHAFIUR M. (2003). Manual de conservación de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



37. Ramallo L.A., Mascheroni R. H. (2011). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. Food and Bioproducts Processing, 2011
38. Rey, L. (1975). Some basic facts about freeze drying. In S.A. Goldblith (Ed.), Freeze drying and advanced technology (pp. 730). London.
39. Reineccius, G. (2001). Multiple-core encapsulation: the spray drying of food ingredients. Eds. American Chemical Society, Washington-United States of America, p.55-66.
40. Sablani SS (2006) Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. Drying Technol 24: 428-432.
41. Sagar V. R. and Suresh Kumar P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. Journal Food Science Technology 47: 15-26.
42. Santos PHS & Silva MA (2008), Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables a review. Drying Technology 26: 1421-1437.