

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
DE ALIMENTOS**



“MICROENCAPSULACIÓN DE PULPA DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.), MEDIANTE SECADO POR LIOFILIZACIÓN”.

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PORRAS TRUJILLO, FRANCIS JUNIOR

PROMOCIÓN 2010 - I

Tingo María – Perú

2012



Q02

P78

Porras Trujillo Francis Junior

"Microencapsulación de pulpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.), mediante secado por liofilización"

131 páginas; 32 cuadros; 31 fgs.; 100 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Industrias Alimentarias - 2012

1. CARAMBOLA 2. MICROENCAPSULACION 3. COLOR
4. LIOFILIZACION 5. ISOTERMAS 6. ANTIOXIDANTES



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156

Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 13 de Diciembre de 2012, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **PORRAS TRUJILLO, Francis Junior**, titulada:

“MICROENCAPSULACIÓN DE PULPA DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola*), MEDIANTE SECADO POR LIOFILIZACIÓN”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto Actualizado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 13 de Diciembre de 2012

Ing. Mg. Pedro A. Vejarano Jara
Presidente

Ing. Mg. Gunter Daza Rengifo
Miembro

Ing. Jaime E. Basilio Atencio
Miembro

Ing. Mg. Roberto Davila Trujillo
Asesor

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas por
darme la sabiduría para culminar
ésta meta.

A mis padres Zósimo y Juana por
haberme brindado todo su amor y
apoyo.

A mis hermanos: Janeth, Edilia,
Rosmery, Miriam, Hilda, Giovana,
Henry, Katherine.

A mis sobrinos David, Valeria,
Steven, Dana, Abdel.

A mis Abuelos Sarco y Feliciano.

A mis tíos en especial a Miguel,
Victor, Demetria, Reyda, Lidia.

A todos mis primos.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios.
- A mis padres por su amor y comprensión.
- A toda mi familia, por el amor, el cariño, la confianza y el apoyo que me dieron durante todo este tiempo.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos académicos y vivir una importante etapa de mi vida.
- A mis amigos del colegio y de la universidad, por estar siempre cerca de mí, por apoyarme en los momentos difíciles y compartir sus vidas conmigo.
- A los docentes y trabajadores de la facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNAS.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Carambola.....	4
2.1.1 Identificación taxonómica.....	4
2.1.2 Descripción.....	4
2.1.3 Origen y distribución.....	6
2.1.4 Ecología y adaptación.....	6
2.1.5 Tecnología de cosecha y poscosecha.....	6
2.1.6 Usos.....	7
2.1.7 Composición química y valor nutricional.....	7
2.2 Microencapsulación.....	9
2.2.1 Historia.....	9
2.2.2 Principios y objetivos.....	9
2.2.3 Técnicas de encapsulación	11
2.2.3.1 Liofilización o <i>freeze drying</i>	13
2.2.4 Mecanismos de liberación.....	18
2.2.5 Caracterización de las microcápsulas.....	20
2.2.5.1 Isotermas de adsorción.....	20
2.2.5.2 Solubilidad.....	24
2.2.5.3 Humectabilidad.....	26
2.2.5.4 Color.....	28

2.3	Material formador de pared.....	31
2.3.1	Goma arábiga.....	31
2.3.1.1	Estructura y composición.....	31
2.3.1.2	Propiedades de la goma arábiga.....	32
2.3.2	Maltodextrina.....	33
2.3.2.1	Estructura y composición.....	33
2.3.2.2	Propiedades de la maltodextrina.....	33
2.4	Material de reserva.....	34
2.4.1	Carotenoides.....	35
2.4.1.1	Estructura.....	36
2.4.1.2	Estabilidad y degradación.....	40
2.4.1.3	β – caroteno.....	43
2.4.1.4	La microencapsulación de carotenoides.....	45
2.4.2	Vitamina C.....	50
2.4.2.1	Estructura.....	50
2.4.2.2	Estabilidad.....	50
2.4.2.3	Microencapsulación de ácido ascórbico.....	52
2.4.3	Polifenoles.....	52
2.4.3.1	Microencapsulación de polifenoles.....	58
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
3.1	Lugar de ejecución.....	60
3.2	Materia prima y solutos.....	61
3.3	Materiales, equipos y reactivos.....	61
3.3.1	Materiales.....	61

3.3.2	Equipos.....	61
3.3.3	Reactivos.....	61
3.4	Métodos y procedimientos.....	62
3.4.1	Métodos de análisis.....	62
3.4.2	Procedimiento experimental para la obtención de las microcápsulas de carambola.....	63
3.4.3	Determinación de carotenoides totales.....	67
3.4.4	Determinación de carotenoides superficiales.....	67
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	71
4.1	Caracterización de la materia prima.....	71
4.2	Balance de materia.....	73
4.3	Caracterización de las microcápsulas.....	76
4.3.1	Humedad.....	76
4.3.2	Solubilidad.....	77
4.3.3	Humectabilidad.....	78
4.4	Estudio de las propiedades higroscópicas de las microcápsulas de carambola.....	79
4.4.1	Efecto de la adición de carbohidratos de alto peso molecular sobre la absorción de agua de las microcápsulas de carambola.....	79
4.5	Estabilidad de las microcápsulas.....	84
4.5.1	Compuestos carotenoides.....	84
4.5.1.1	Carotenoides superficiales.....	84
4.5.1.1	Carotenoides encapsulados.....	87

4.5.2	Vitamina C.....	96
4.5.3	Polifenoles totales.....	100
4.6	Análisis de colorimetría.....	104
4.6.1	Parámetro colorimétrico L*.....	104
4.6.2	Parámetro colorimétrico a*.....	106
4.6.3	Parámetro colorimétrico b*.....	107
4.6.4	Croma.....	109
4.6.5	Angulo de tono.....	111
4.6.6	Variación total de color ΔE	112
V	CONCLUSIONES.....	114
VI	RECOMENDACIONES.....	116
VII	ABSTRACT.....	117
VIII	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	119
IX	ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Composición de la carambola en base a 100 g de la parte comestible.....	8
2 Métodos físicos, químicos y fisicoquímicos utilizados para la encapsulación de compuestos.....	12
3 Modelos de isotermas de sorción utilizados para el ajuste de los datos experimentales.....	24
4 Importancia de la encapsulación de algunos ingredientes utilizados en la industria de alimentos.....	34
5 Polifenoles, estructura, clases, sus especificaciones y propiedades biológicas.....	54
6 Composición, propiedades fisicoquímicas y color de la pulpa de carambola.....	72
7 Resumen del balances de masa para polvo microencapsulado con goma arábica.....	74
8 Resumen del balances de masa para polvo microencapsulado con maltodextrina.....	75
9 Valores experimentales de la humedad de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.....	76
10 Valores experimentales de la solubilidad de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.....	77

11	Valores experimentales de humectabilidad de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.....	78
12	Valores de actividad de agua (a_w) y humedad de equilibrio en base seca (W_e) para las microcápsulas de pulpa de carambola a 27 ± 2 °C.....	79
13	Parámetros de los modelos de isothermas de adsorción de las microcápsulas de carambola liofilizada, con sus respectivos valores de coeficiente de correlación (R^2) y error relativo medio (ERM).....	82
14	Estabilidad de carotenoides superficiales (mg/100g) de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.....	84
15	Porcentaje de Retención de carotenoides superficiales de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.....	85
16	Resultados de regresión lineal para la degradación de carotenoides superficiales utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.....	87
17	Estabilidad de carotenoides encapsulados (mg/100g) en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	88
18	Porcentaje de retención de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	89
19	Resultados de regresión lineal para la degradación de carotenoides encapsulados utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.....	91
20	Cuadro comparativo referente a la estabilidad de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared.....	94

21	Estabilidad de la vitamina C (mg/100g) encapsulada en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	96
22	Porcentaje de retención de vitamina C encapsulada en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	97
23	Resultados de regresión lineal para la degradación vitamina C utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.....	99
24	Estabilidad de polifenoles encapsulados (mg EAG/100g) en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C	101
25	Porcentaje de retención de polifenoles encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	101
26	Resultados de regresión lineal para la degradación de polifenoles utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.....	103
27	Comportamiento del parámetro colorimétrico L* (luminosidad) en función al tiempo.....	105
28	Comportamiento del parámetro colorimétrico a* (verde - rojo) en función al tiempo.....	106
29	Comportamiento del parámetro colorimétrico b* (azul - amarillo) en función al tiempo.....	108
30	Comportamiento de la cromaticidad en función al tiempo.....	110
31	Comportamiento del ángulo de tono en función al tiempo.....	111

32	Comportamiento de la variación total de color ΔE en función al tiempo.....	113
33	Análisis de varianza para humedad.....	135
34	Análisis de varianza para solubilidad.....	135
35	Análisis de varianza para humectabilidad	136
36	Análisis de varianza para porcentaje de retención de carotenoides superficiales.....	136
37	Análisis de varianza para porcentaje de retención de carotenoides encapsulados.....	137
38	Análisis de varianza para porcentaje de retención de vitamina C.....	137
39	Análisis de varianza para porcentaje de retención de polifenoles totales.....	138
40	Análisis de varianza para luminosidad.....	138
41	Análisis de varianza para a^*	139
42	Análisis de varianza para b^*	139
43	Análisis de varianza para cromaticidad.....	140
44	Análisis de varianza para ángulo de tono.....	140
45	Análisis de varianza para la variación total de color ΔE	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fruto de Carambola.....	5
2	Estructura general de una microcápsula.....	10
3	Modelos de microcápsulas.....	11
4	Estructura porosa de los alimentos liofilizados.....	14
5	Diagrama de fases del agua en el que se muestra el fenómeno de sublimación del hielo.....	15
6	Fases de la liofilización.....	16
7	Microcápsulas de polifenoles preparadas a través de diferentes métodos.....	18
8	Tipos de isothermas de sorción para alimentos descritos por BET.....	23
9	En este diagrama a^* y b^* son coordenadas de cromaticidad, a^* y b^* indican direcciones de colores: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección del azul, el centro es acromático	30
10	Estructura química de los carotenoides.....	37
11	Esquema de degradación de carotenoides a compuestos de bajo peso molecular.....	42
12	Estructura química del β - caroteno.....	44
13	Estructura química del ácido ascórbico.....	51

14	Flujograma de operaciones para la obtener carambola en polvo por liofilización.....	66
15	Esquema experimental de la investigación.....	69
16	Esquema de operaciones para balance de masa.....	73
17	Isotermas de adsorción de agua de las microcápsulas de pulpa de carambola a 27 ± 2 °C.....	80
18	Estabilidad de carotenoides superficiales de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.....	85
19	Cinética de degradación de orden cero para carotenoides superficiales de carambola liofilizadas almacenadas a 27 ± 2 °C.....	86
20	Estabilidad de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	89
21	Cinéticas de degradación de orden cero para carotenoides encapsulados de carambola liofilizadas almacenadas a 27 ± 2 °C...	90
22	Estabilidad de la vitamina C encapsulada en diferente materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.....	97
23	Cinéticas de degradación de orden cero para vitamina C de carambola liofilizada almacenada a 27 ± 2 °C.....	98
24	Estabilidad de polifenoles encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización, almacenados a 27 ± 2 °C.....	102
25	Cinéticas de degradación de orden cero para polifenoles de carambola liofilizadas almacenadas a 27 ± 2 °C.....	102

26	Variaciones ocurridas en el parámetro de color L^* en función al tiempo, para las microcápsulas almacenadas a 27 ± 2 °C.....	105
27	Variaciones ocurridas en el parámetro de color a^* en función al tiempo, para las microcápsulas almacenadas a 27 ± 2 °C.....	107
28	Variaciones ocurridas en el parámetro de color b^* en función al tiempo, para las microcápsulas almacenadas a 27 ± 2 °C.....	108
29	Variaciones ocurridas en la cromaticidad en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.....	110
30	Variaciones ocurridas en el ángulo de tono en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.....	112
31	Variación total de color en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.	113
32	Liofilizador con sus partes principales.....	133
33	Curva patrón para la determinación de la concentración de vitamina C (ppm).....	134
34	Curva patrón para la determinación de la concentración de polifenoles totales (mg/ml)	134

RESUMEN

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) es una fuente de antioxidantes. Los objetivos de este estudio fueron: caracterizar la materia prima utilizada para la obtención de un producto liofilizado en polvo; estudiar el efecto de la temperatura de congelación, en las variables de calidad de un polvo de carambola, determinar el efecto de la adición de maltodextrina y goma arábica sobre las propiedades de sorción de vapor de agua del polvo de carambola; microencapsular la pulpa de carambola, mediante secado por liofilización para comparar la efectividad de dos materiales de pared (goma arábica y maltodextrina) en términos de protección al núcleo (antioxidantes); evaluar la estabilidad del color de los productos en polvo: sin soluto, con maltodextrina y con goma arábica. La investigación se realizó en los laboratorios de la universidad nacional agraria de la selva. Se utilizaron como métodos de análisis: carotenoides totales (ZHOU *et al*, 2004). Carotenoides superficiales (WAGNER y WHARTESEN, 1995). Polifenoles totales (SANDOVAL *et al*, 2001). Solubilidad (CEBALLOS, 2008). Humectabilidad (FREUDIG *et al*, 1999; KIM *et al*, 1999). Color (CEBALLOS, 2008). Isotermas de adsorción (CHUZEL, 1992; GABAS *et al*, 2007). Las operaciones para la obtención de las microcápsulas fueron las siguientes: cosecha, transporte, recepción, selección – clasificación, pesado, lavado - desinfección, pelado, licuado, refinado, acondicionamiento, liofilización, envasado y almacenado. El análisis estadístico fue realizado usando el diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial. El contenido de vitamina C en la materia prima fue 31,905 mg/100g, carotenoides 24,308 mg/100g, polifenoles totales

91,647 mg EAG/100g. La temperatura de congelación y la adición de goma arábica o maltodextrina en la liofilización de carambola influyeron en las variables de calidad de un polvo deshidratado. A los 60 días de almacenamiento; la mayor retención de carotenoides superficiales corresponde a las microcápsulas con maltodextrina 14,24 % y para los carotenoides encapsulados corresponde a las microcápsulas con goma arábica 94,14 % la retención de ácido ascórbico y polifenoles fue similar en las microcápsulas con goma arábica y maltodextrina (≈ 88 %) y (≈ 80 %) respectivamente. La adición de goma arábica y maltodextrina a la pulpa de carambola disminuyó la higroscopicidad de los productos, también evito el oscurecimiento de las microcápsulas durante el almacenamiento, la menor variación total de color corresponde a las microcápsulas con goma arábica 21,00 unidades.

Palabras claves: carambola, microencapsulación, liofilización, isoterma, antioxidantes, color.

I INTRODUCCIÓN

Según TRUJILLO (2007), es de gran importancia para el desarrollo de la industria nacional, realizar trabajos de investigación que permitan entender mejor el comportamiento de materias primas exóticas de nuestro país, como es el caso de la carambola (*Averrhoa carambola L.*) y así abrir nuevas posibilidades de comercialización.

Los recientes avances en la alimentación y la ciencia de la nutrición apoyan la idea de que la dieta juega un papel importante en la mejora de la salud, prevención y mitigación de ciertas enfermedades y parte importante del estilo de vida saludable. Existe una tendencia creciente de los consumidores por los alimentos funcionales porque tienen una variedad de beneficios a la salud humana.

La carambola es un alimento funcional ya que contiene muchos compuestos bioactivos tales como: polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico.

Estos compuestos bioactivos son susceptibles a la degradación debido a condiciones ambientales como temperatura, humedad, luz, oxígeno y su interacción con otros ingredientes alimentarios y por lo tanto, pierden su actividad biológica y su valor nutritivo se ve comprometido.

La microencapsulación es una tecnología que se utiliza con el fin de proteger a estos compuestos bioactivos sensibles a la degradación.

La liofilización es una técnica que se emplea para microencapsular alimentos.

MOSQUERA (2010), manifiesta que la presencia de ácidos y azúcares en las frutas, hace que sus productos en polvo presenten bajos valores de temperatura de transición vítrea. Son además sistemas con bajos valores en contenido de agua, lo cual les predispone a la higroscopicidad haciéndoles menos estables. Para contrarrestar este fenómeno, se han incorporado a los procesos de producción de polvos alimenticios con altos contenidos de azúcares sustancias que funcionan como vehículos durante el proceso de secado y como encapsulantes capaces de actuar como barrera frente a la adsorción de agua. Estos compuestos no modifican significativamente la estructura del producto puesto que son de origen orgánico, poseen muy buena solubilidad y el efecto en el sabor y el color en la mayoría de los casos se considera imperceptible.

La finalización de este trabajo genera información útil que puede ser utilizada para la producción de polvo de carambola microencapsulado y las condiciones de almacenamiento adecuadas.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Caracterizar la materia prima (*Averrhoa carambola L.*), utilizada para la obtención de un producto liofilizado en polvo.
- Estudiar el efecto de la temperatura de congelación, la adición de goma arábica y maltodextrina en las variables de calidad de un polvo de carambola (humedad, solubilidad, humectabilidad).
- Determinar el efecto de la adición de maltodextrina y goma arábica sobre las propiedades de sorción de vapor de agua del polvo de carambola.
- Microencapsular la pulpa de la carambola mediante secado por liofilización, para comparar la efectividad de dos tipos de materiales de pared (goma arábica y maltodextrina) en términos de protección al núcleo (vitamina C, carotenoides y polifenoles totales).
- Evaluar la estabilidad del color de los productos de carambola en polvo: sin solutos, con maltodextrina y con goma arábica.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Carambola

2.1.1 Identificación taxonómica

CALZADA (1980) menciona para la carambola la siguiente clasificación botánica.

Reino	:Plantae
Subreino	:Tracheobionta
División	:Magnoliophyta
Clase	:Magnoliopsida
Subclase	:Rosidae
Orden	:Oxalidales
Familia	:Oxalidaceae
Genero	:Averrhoa
Especie	:A. carambola.

2.1.2 Descripción

El árbol de la carambola, puede tener un tronco simple o ramificado y su altura varía de pequeña a mediana (7 a 10 m.). El área media de la copa (0,9 a 2,1 m.) es la zona de mayor producción de frutos. La carambola exhibe un follaje denso con hojas grandes, alternas, compuestas (GONZÁLEZ, 2000).

Las flores se disponen en inflorescencias, estas se desarrollan en las axilas de las hojas sobre pequeños pedicelos, concentrándose hacia la periferia del árbol; nacen de ramitas, ramas más gruesas y ocasionalmente en el tronco, se caracterizan por ser panículas de tonalidades rojas, blancas y púrpuras (GONZÁLEZ, 2000).

El fruto (Figura 1) es una baya carnosa de forma ovoide a elipsoidal variada, con cinco a seis aristas (raramente 4 - 8) longitudinales y redondeadas que lo dotan de una típica sección en forma de estrella cuando se cortan transversalmente. Tienen de (5 a 15 cm.) de longitud, la cáscara es delgada, de un color que varía entre la gama del verde, amarillo y naranja según el grado de madurez, es lisa y con una cutícula cerosa. La pulpa en estado maduro es jugosa, presenta un aroma agradable, exhibe un color amarillo de claro a oscuro, es translúcida, crujiente, jugosa y sin fibras y contiene de una a cinco semillas. Las variedades buenas tienen un sabor agradable que varía de agridulce a dulce. Los frutos son más dulces cuando maduran en los árboles. Los frutos se demoran de 60 a 75 días de la floración hasta madurar, dependiendo de la variedad, prácticas de producción y el tiempo. Los frutos maduros se dañan fácilmente y deben manipularse con gran cuidado (GONZÁLEZ, 2000).



Figura 1. Fruto de carambola

2.1.3 Origen y distribución

La carambola (*Averrhoa carambola L*), es originaria de Asia Tropical. Actualmente esta fruta se encuentra presente en numerosos lugares de los trópicos y subtrópicos, en países tales como: Australia, Brasil, China, Estados Unidos, Francia, Haití, Indochina, Malasia, México, Perú, Colombia y Tailandia (VILLEGAS, 1998).

2.1.4 Ecología y adaptación

Requiere de temperaturas medias entre 18 y 28 °C, sin presencia de heladas, el cultivo además requiere una humedad de 80 a 98 %, con precipitación pluvial entre 1200 a 2500 mm por año. Se la encuentra cultivada en zonas con altitudes desde 0 a 800 m.s.n.m. Crecen en varios tipos de suelo con buen drenaje. El cultivo crece mejor cuando el pH del suelo es moderadamente ácido a neutro (pH 5,0 – 6,8) (ZEDÓN, 1994).

2.1.5 Tecnología de cosecha y poscosecha

La cosecha se realiza manualmente, esta se la hace cuando el color amarillo comienza a desarrollarse. Se debe depositar el fruto en lechos de recolección de un material blando, en jabas de madera de 52 x 35 x 18; luego los frutos se ponen a la sombra en cajas (referencia 13 Kg.) hasta que se transportan a las empacadoras para el lavado, selección, empaclado y almacenamiento. Los frutos son perecederos, pueden conservarse a temperatura ambiente, con buena aireación y bajo sombra de 5 a 10 días, luego se inicia el deterioro. La pulpa puede conservarse en refrigeración por tiempo prolongado (TRUJILLO, 2007).

2.1.6 Usos

La carambola se vende principalmente como fruta fresca, sin embargo, se procesa también en encurtidos, néctares, salsas, vino y jaleas, aunque en escala limitada (TRUJILLO, 2007).

2.1.7 Composición química y valor nutricional

El fruto de la carambola tiene pocas calorías (36 - 57 Cal/100 gramos), constituye una buena fuente de potasio y una fuente moderada de vitaminas A y C, que como antioxidantes, contribuyen a reducir el riesgo de múltiples enfermedades, entre ellas, las cardiovasculares, las degenerativas e incluso el cáncer (TRUJILLO, 2007).

Es recomendable su consumo para todas las edades, deportistas y sobre todo para aquellas personas que sufren de situaciones de estrés y defensas disminuidas, anemia y estreñimiento, diabetes, hipertensión arterial o afecciones de vasos sanguíneos y corazón. Su contenido de potasio deberán tenerlo en cuenta las personas que padecen de insuficiencia renal y que requieren de dietas especiales controladas en este mineral (TRUJILLO, 2007).

Por su riqueza en oxalato de calcio su consumo no conviene en caso de litiasis renal (cálculos oxalato cálcicos) (TRUJILLO, 2007).

En el Cuadro 1 se muestra la caracterización química del fruto de carambola.

Cuadro 1. Composición de la carambola en base a 100 g de la parte comestible.

Componentes	Cantidad
Agua	90 g
Carbohidratos	9 g
Fibra	0,6 g
Proteínas	0,5 g
Grasa	0,3 g
Fosforo	18 mg
Calcio	5 mg
Hierro	0,4 mg
Vitamina A	90 mg
Vitamina C	35 mg
Niacina	0,3 mg
Tiamina B1	0,04 mg
Riboflavina B2	0,02 mg

Fuente: CALZADA (1980)

2.2 Microencapsulación

2.2.1 Historia

En 1960, se iniciaron estudios en la microencapsulación de los alimentos por el Instituto de Investigación del Suroeste de los Estados Unidos, con la microencapsulación de aceites esenciales para evitar la oxidación y la pérdida de sustancias volátiles y para controlar la liberación de aroma. Más allá de los olores, la aplicación de esta tecnología se ha extendido a la incorporación de aditivos e ingredientes naturales que cambian la textura, mejorar la calidad nutricional, aumentar la vida útil o las propiedades de control de los alimentos procesados, por ejemplo, colorantes, acidulantes, conservantes, vitaminas, minerales y otros (RÉ, 1998).

Para el año 2002, más de 1000 patentes relacionadas con los procesos de microencapsulación y sus aplicaciones, 300 de estas patentes se asocia específicamente con la microencapsulación de ingredientes alimentarios (GOUIN, 2004).

2.2.2 Principios y objetivos

La tecnología de microencapsulación de embalaje corresponde al que se aplica a capas delgadas de polímero en las gotas de sólidos, líquidos o materiales gaseosos, las partículas de forma que se llama microesferas que pueden liberar su contenido bajo condiciones específicas y la velocidad (SPARKS, 1981).

El material encapsulado puede ser conocido como núcleo, fase interna o de relleno, mientras que el encapsulante se puede llamar shell, revestimiento, material de la pared o membrana (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007).

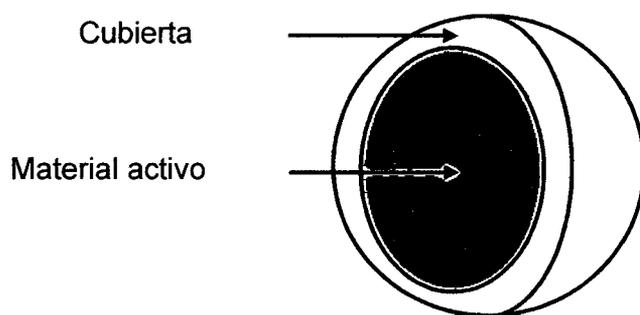


Figura 2. Estructura general de una microcápsula.

Algunos expertos clasifican las capsulas en dos grupos: el grupo que caracteriza las verdaderas microcápsulas, donde el núcleo está claramente concentrada en la región central, rodeada por un conjunto de películas y el grupo en el cual el núcleo se dispersa uniformemente en una matriz, clasificado como un sistema de matriz (microesferas) (AZEREDO, 2005).

A su vez, DEPYPERE (2003), defiende la idea de que la encapsulación de verdad, no hay exposición de la superficie del material de relleno, lo que sucede en las microesferas, siendo esta la principal diferencia entre microcápsulas y microesferas.

Las microcápsulas pueden tener más de un núcleo, o varias paredes para el mismo núcleo (CONSTANT, 2002). En cuanto al tamaño, las cápsulas se pueden clasificar en tres categorías: macro ($> 5000 \mu\text{m}$), micro (de $0,2$ a $5000 \mu\text{m}$) y nanocápsulas ($<0,2 \mu\text{m}$) (NORI, 1996).

En la Figura 3 se muestra algunos de los principales modelos de microcápsulas.

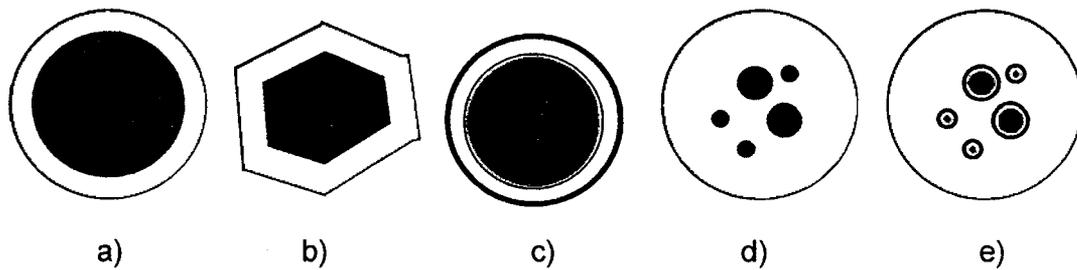


Figura 3. Modelos de microcápsulas. a) Microcápsula simple b) Simple, irregular c) Dos paredes, d) Vários núcleos e) Agrupación de microcápsulas. Fuente: CONSTANT (2002).

De acuerdo con SHAHIDI y HAN (1993), la industria alimentaria emplea la microencapsulación por varias razones: para reducir la reactividad del material del núcleo con el medio ambiente, proteger contra condiciones ambientales adversas, proteger contra las condiciones perjudiciales en el tracto intestinal, disminuyendo la velocidad de evaporación o transferencia del relleno (fase interna) en el medio, facilitar el manejo del material encapsulado, promover la liberación controlada, enmascarar sabores y olores desagradables y promover la dilución homogénea del material encapsulado en una formulación alimenticia.

2.2.3 Técnicas de encapsulación

Varios métodos se emplean para encapsular, entre los que destacan los que se citan en el Cuadro 2. La elección del método de encapsulación depende de una serie de factores como el tamaño de partícula requerido, las propiedades físicas y químicas del núcleo y la pared, la aplicación del producto final deseado, mecanismos de liberación, la escala y el costo de producción (JACKSON y LEE, 1991).

Cuadro 2. Métodos físicos, químicos y fisicoquímicos empleados para la encapsulación de compuestos.

Clasificación de los métodos	Métodos de encapsulación
Métodos físicos	<ul style="list-style-type: none"> -Extrusión estacionaria -Boquilla sumergida -Extrusión centrifuga -Boquillas vibrante -Secado por aspersion -Disco giratorio con múltiples orificios -Bandeja de recubrimiento -Con suspensión neumática -Enfriamiento tras aspersion -Liofilización -Recubrimiento con lecho fluidizado
Métodos químicos	<ul style="list-style-type: none"> -Polimerización interfacial -Inclusión molecular -Polimerización en situ
Métodos fisico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> -Coacervación simple -Coacervación compleja -Atrapamiento en liposomas -Lipoesferas -Evaporación de solvente

Fuente: MADENE (2006)

2.2.3.1 Liofilización o *freeze drying*

El proceso de encapsulación se puede lograr mediante la liofilización de una suspensión del material de núcleo de un material de pared (AZEREDO, 2005). La liofilización o *freeze-drying* es un método de deshidratación de materiales congelados por el proceso de sublimación en alto vacío, es decir el agua es retirada de los alimentos sin someterlas a altas temperaturas, comunes en los procesos de deshidratación (80 - 90 °C) (MARTINS, 2000). Esta técnica puede ser utilizada para deshidratar alimentos líquidos como café y el jugo, pero es especialmente utilizado en el secado de alimentos sólidos de alto valor como las fresas, camarones y champiñones. Estos tipos de alimentos, tienen delicados sabores y colores, poseen atributos como textura y apariencia que no son bien preservados por cualquier método de secado (FELLOWS, 2006). La liofilización minimiza los cambios que normalmente ocurren durante el secado, así como el uso de bajas temperaturas, los alimentos congelados tienen pocas posibilidades de romper o deformar su estructura cuando pierde su humedad (POTTER y HOTCHKISS, 1998).

Las principales ventajas de este método son: mantienen la forma original, su valor nutritivo, las características sensoriales y la reducción de procesos tan indeseables como la desnaturalización proteica, pérdida de compuestos volátiles, formación de capas duras y impermeables, migración de sólidos solubles hacia la superficie durante el secado y la dificultad de rehidratación (MARQUES *et al.*, 2006).

Las desventajas de la liofilización son los altos costos fijos, operacionales y el elevado tiempo de proceso (MARQUES *et al.*, 2006).

La liofilización apenas afecta la textura de los alimentos, casi no provoca en ellos retracción alguna y no endurece su capa superficial.

La estructura porosa de los alimentos (Figura 4) hace que su rehidratación sea muy rápida. Sin embargo, son alimentos frágiles que deben protegerse de eventuales daños mecánicos (FELLOWS, 2006).

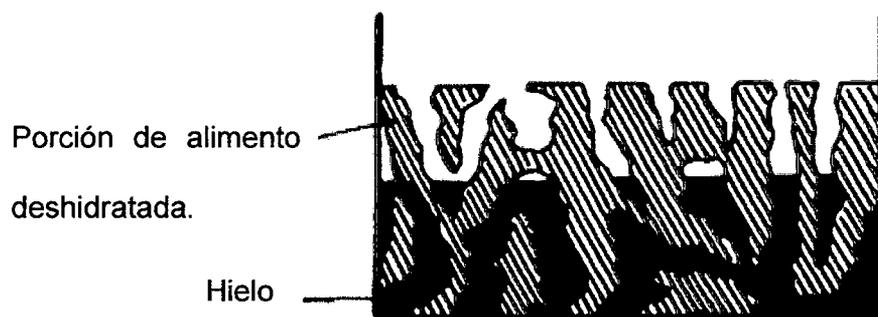


Figura 4. Estructura porosa de los alimentos liofilizados. Fuente: Fellows (2006).

El fundamento físico para la liofilización es la coexistencia de tres estados del agua (sólido, líquido y gaseoso) bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Por lo tanto a una temperatura de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 610 Pa se obtiene el llamado punto triple del agua (Figura 5), lo que permite su paso directamente del estado sólido a gaseoso sin pasar por líquido, es decir, la sublimación (BARBOSA, 2006).

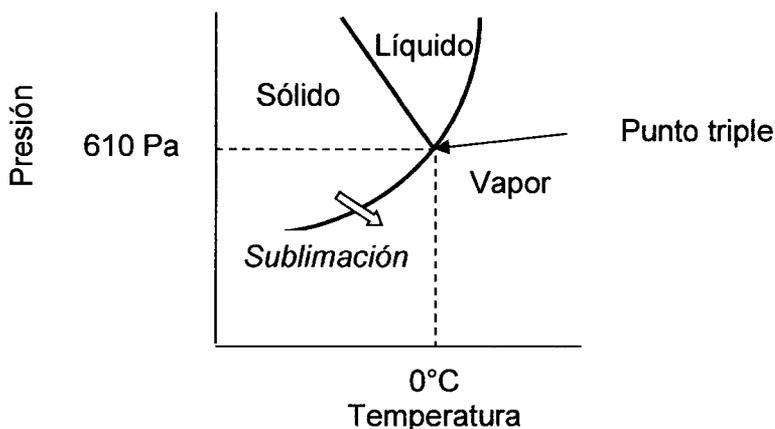


Figura 5. Diagrama de fases del agua en el que se muestra el fenómeno de sublimación del hielo. Fuente: Fellows (2006).

El proceso de liofilización se desarrolla en tres fases: congelación, secado primario y secado secundario.

La congelación es una fase importante, debe ser rápido para que se formen microcristales de hielo que no perjudiquen la membrana celular de la estructura del alimento. Cuando la congelación es lenta, se forman cristales grandes que rompen la membrana celular, acarreado pérdida del líquido citoplasmático y consecuentemente, encogimiento del alimento que varía mucho el aspecto. En la congelación rápida, la estructura del alimento se mantiene intacta, conservando su forma original y luego se hidrata normalmente (FELLOWS, 2006).

En el secado primario es la etapa donde el solvente es eliminado por sublimación al vacío y con aplicación de calor (BOSS *et al.*, 2004).

Para la liofilización de alimentos se requieren presiones de alrededor de 130 - 260 Pascal, se elimina alrededor del 90 % del agua, lo que lleva al producto una humedad del orden del 15 %. Se elimina el hielo libre (FELLOWS, 2006).

El secado secundario es el de desorción del agua ligada, que puede ser de cristalización, agua dispersada en un material vítreo, agua intracelular o agua absorbida, para eliminarla, se realiza un evaporación bajo vacío, manteniendo la misma presión o menor que durante la desecación primaria y elevando la temperatura del producto hasta 20 - 60 °C, según la naturaleza del alimento, el contenido de agua se reduce hasta el 2% (FELLOWS, 2006).

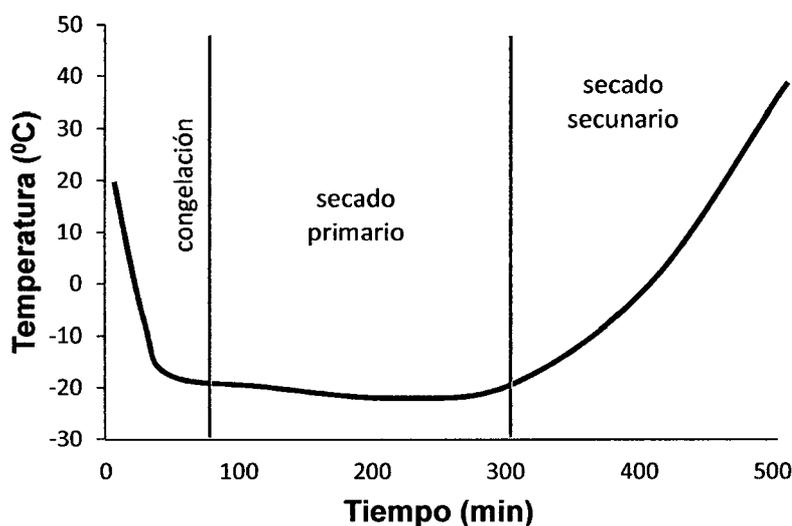


Figura 6. Fases de la liofilización. Fuente: Fellows (2006)

El contenido de humedad del alimento seco es un factor crítico que afecta su vida durante el almacenamiento. Muchos alimentos liofilizados son higroscópicos por lo que deben envasarse en condiciones de mínima humedad, y además pueden ser sensibles a la oxidación, por lo tanto los productos liofilizados se deben envasar manteniendo el vacío o romperlo en atmósfera de nitrógeno o de anhídrido carbónico secos. Los envases utilizados deben cumplir las mismas exigencias que los utilizados para los demás productos deshidratados: ser impermeables al vapor de agua y al oxígeno y proteger al producto frente a daños mecánicos (FELLOWS, 2006).

Los liofilizadores consisten esencialmente en una cámara a vacío dotada de unas bandejas donde se coloca el alimento a liofilizar, y de unos calentadores para suministrar el calor latente de sublimación, para la condensación del vapor se emplean serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con objeto de mantenerlos libres de hielo, los vapores no condensables son eliminados mediante bombas de vacío. Los métodos utilizados para el suministro calórico a la superficie del alimento pueden ser vía conducción, radiación y microondas. En la práctica, la más baja presión de la cámara económicamente viable es cerca de 13 Pascal y la temperatura del condensador es cerca de $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (FELLOWS, 2006).

Cabe resaltar que las capsulas liofilizadas generalmente presentan formas irregulares diferentes de otras técnicas de Microencapsulación. Las estructuras de las microcápsulas obtenidas por los principales métodos de encapsulación son presentados en la Figura 7, donde es posible visualizar las diferencias entre ellas se percibe que las cápsulas preparadas por *spray drying* poseen formatos regulares, prácticamente esféricos, pero a su vez la liofilización, coacervación y la cocrystalización forman cápsulas con formatos irregulares y indefinidos. Diferentes de esos métodos, donde un compuesto encapsulado está disperso en una matriz encapsulante, la inclusión molecular y los liposomas son técnicas donde un material encapsulado queda protegido en una cavidad o región hidrofóbica y/o hidrofílica.

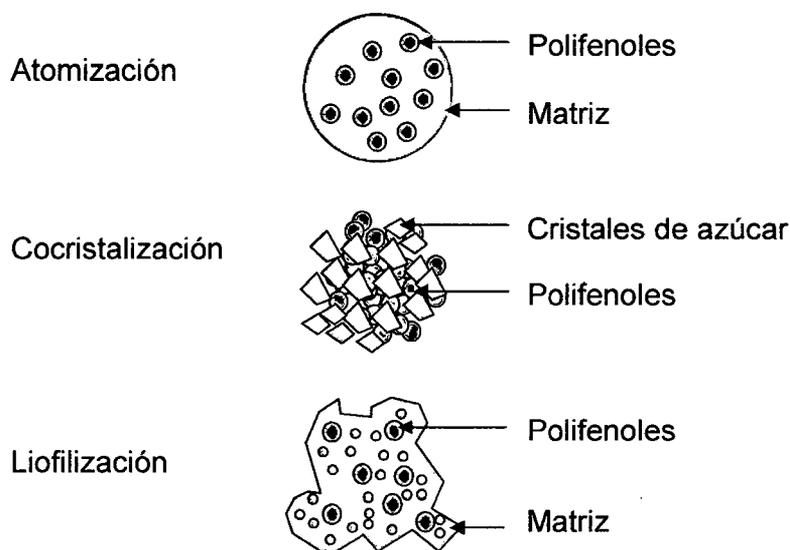


Figura 7. Microcápsulas de polifenoles preparadas a través de diferentes métodos.

Fuente: FANG y BHANDARI (2010).

2.2.4 Mecanismos de liberación

Según GOUIN (2004), la encapsulación permite que el núcleo pueda aislarse del ambiente externo hasta que el lanzamiento es deseado, es decir, esta técnica permite una liberación en el lugar y momento adecuado.

La liberación del material activo (núcleo) de las microcápsulas puede ocurrir a través de la alteración mecánica, por la acción de la temperatura, por la acción del pH, la solubilidad en el medio, a través de la biodegradación, y también por difusión (WHORTON, 1995). La difusión se produce principalmente cuando la pared de la microcápsulas está llena, la tasa de liberación se rige por las propiedades químicas del núcleo y el material de encapsulado, así como algunas propiedades físicas de la pared como la estructura de la matriz y el tamaño de los poros (SHAHIDI y HAN, 1993).

El estado físico del material de la pared corresponde a otro factor importante, los materiales en el estado vítreo son generalmente mas impermeables que en estado elastomérico, por lo que la liberación de la estructura del núcleo se produce cuando la matriz vítrea sufre una transición a un estado elastomérico, dando una mayor movilidad (AZEREDO, 2005). La liberación se produce cuando se activa la degradación por las enzimas como las lipasas y proteasas degradan las proteínas o lípidos, respectivamente. Cuando el material de la pared es una cera o grasa, y esta cápsula se ingiere es decir, la liberación del núcleo en el cuerpo por lo general se produce por la degradación del material de la pared por la acción de las lipasas (DEPYPERE, 2003). El material de la pared, cuando se coloca en un medio soluble, se puede disolver por completo, liberando rápidamente el núcleo y comienza a expandirse, favoreciendo la liberación. La activación por el agua es el mecanismo más común de la liberación en la industria alimentaria, ya que la mayoría de los encapsulantes son solubles en agua (AZEREDO, 2005).

El compuesto activo también puede tener su liberación controlada a través del pH de una solución, pues cambios de pH, resultan cambios en la solubilidad del material de la pared en el agua, permitiendo la liberación del material activo (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Cambios en la temperatura puede favorecer la liberación del núcleo, ya que materiales sensibles a la temperatura colapsan o expanden una cuando se alcanza temperatura crítica y otros materiales liberan el núcleo a través de la fusión del material de la pared (que puede ser, por ejemplo, un lípido o modificado o una cera) por el aumento de temperatura (DEPYPERE, 2003).

Además de los mecanismos mencionados, podría acabar con las microcápsulas cuando se aplica presión a la pared del mismo, por ejemplo, durante la masticación, lo que permite la liberación de compuestos de sabor en la goma de mascar (BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

2.2.5 Caracterización de las microcápsulas

2.2.5.1 Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción relacionan la cantidad de agua de un alimento con su actividad de agua (o humedad relativa de la atmosfera que circunda el alimento) una vez alcanzado el equilibrio a temperatura constante (CHUZEL, 1992).

El conocimiento de las características de adsorción de agua, de la humedad crítica y la actividad del agua, es de interés en numerosas aplicaciones en la ciencia y 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 en el secado para evaluar la fuerza impulsora y determinar el punto final óptimo de secado en relación con la estabilidad del producto y para el modelado y la simulación de operaciones de secado. Por otra parte, en alimentos deshidratados que tienen que absorber agua para ser consumidos, la velocidad de rehidratación es una propiedad importante que, en lo posible, se debe mantener lo suficientemente alta (CHUZEL, 1992).

El agua contenida en los tejidos de animales y vegetales no se encuentra distribuida uniformemente debido a complejos hidratados 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 ésta 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) (BADUI, 1999).

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 de 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 que se forman encima de la primera capa y que no 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 de los productos (CHUZEL, 1992).

La relación funcional entre la actividad del agua y el contenido de humedad en el equilibrio a una temperatura dada, se representan mediante las isotermas de sorción del producto. También representan la higroscopicidad del 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).

Dependiendo de la naturaleza de los alimentos, cinco tipos de isotermas pueden ocurrir, como se describe a continuación. Estos cinco tipos fueron descritos en (BRUNAWER, EMMETT Y TELLER, 1938) (Figura 8).

Tipo I - se conoce como la isoterma de Langmuir y se obtiene mediante la adsorción de gases en una capa monomolecular de sólidos porosos.

Tipo II - es la isoterma sigmoide obtenida por los productos solubles y está representada por una curva asintótica.

Tipo III - isoterma de Flory - Huggins, se produce por la adsorción de sustancias disolventes o sustancias como el glicerol, por debajo de la temperatura de transición vítrea.

Tipo IV - describe la adsorción de un sólido generado por la máxima hidratación de los sitios de adsorción hidrofílicos.

Tipo V - isoterma de adsorción multicapa de BET, observado por la adsorción de vapor de agua, relacionada con los tipos II y III.

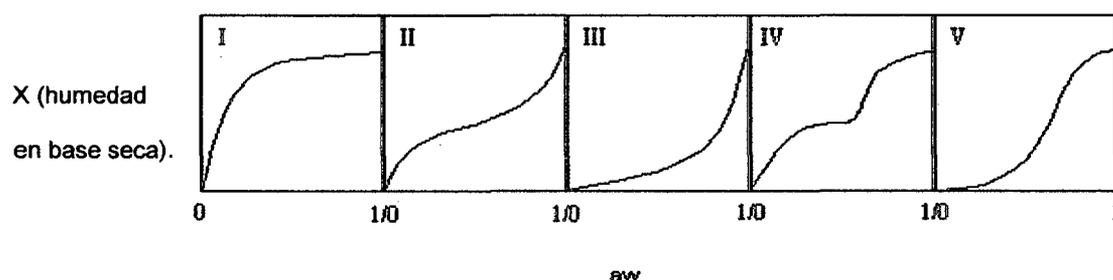


Figura 8. Tipos de isotermas de sorción para alimentos descritos por BET.

Fuente: MATHLOUTHI y ROGÉ (2003).

Las isotermas más comúnmente en los alimentos corresponden con el tipo II.

Ecuaciones teóricas, semi-empíricas y empíricas son propuestas para estimar condiciones de equilibrio de los materiales biológicos.

Cuadro 3. Modelos de isotermas de sorción utilizados para el ajuste de los datos experimentales.

Nombre de la ecuación.	Ecuación.
BET	$\frac{a_w}{(1 - a_w)X} = \frac{1}{X_M C} + \frac{(C - 1)a_w}{X_M}$
GAB	$\frac{x}{x_M} = \frac{CKa_w}{(1 - ka_w)(1 - ka_w + cka_w)}$
Oswin	$X = A\left(\frac{a_x}{1 - a_w}\right)^B$
Henderson	$(1 - a_w) = -A \exp(-BX)$
Smith	$X = A + (B \log(1 - a_w))$
Peleg	$x = k_1 a_w^{n1} + k_2 a_w^{n2}$
Chirife	$x = e^{A+BLn(c-Lna_w)}$

Fuente: MATHLOUTHI y ROGÉ (2003).

X, humedad de equilibrio (g agua/g de sólidos secos), a_w actividad de agua, X_M (humedad de monocapa) e A, B, C, K, n son constantes de las ecuaciones.

2.2.5.2 Solubilidad

Según MORTIMER (1983), 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.

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.

CANO-CHAUCA (2005) menciona que la solubilidad de un polvo instantáneo está directamente relacionada con su microestructura. Las formas cristalinas 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.

GOMBAS *et al* (2003) manifiestan que 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.

Según MCMINN - MAGEE (1997), 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 velocidad de rehidratación.

SHITTU – LAWAL (2007) menciona que 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.

2.2.5.3 Humectabilidad

Es la capacidad que tienen las partículas de adsorber agua sobre la superficie, dando así inicio a la reconstitución del jugo (BRENNAN *et al.*, 1998). FREUDIG *et al.* (1999) dicen que es la facilidad que tiene el polvo de empaparse con un líquido por efecto de fuerzas capilares. 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.

BRENNAN *et al.* (1998) mencionan que 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. Incrementado el tamaño de partícula y/o aglomerándolas, se puede reducir la tendencia a la formación de grumos,

SCHUBERT (1993) dice que 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 disminuye 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 humectabilidad que tiende a cero. 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.

BARBOSA - CÁNOVAS (2005) manifiesta que la facilidad de hundirse dentro del agua, depende principalmente de la masa, tamaño y de 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.

KIM (2002) menciona 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.

SHITTU - LAWAL (2007) dice que existe una 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. 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.

2.2.5.4 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 (ÁVILA y SILVA, 1999).

Según PEREZ (2007), el estudio del color en los alimentos tiene una gran importancia en la industria de los alimentos debido a que se está usando como herramienta para la automatización y control de procesos de la elaboración de diversos productos y en el control de calidad del producto acabado.

KAREL (1975) manifiesta que en la mayoría de los productos alimenticios deshidratados se presentan reacciones de pardeamiento no enzimático, las cuales se incrementan 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 de 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.

MURAT y ONUR (2000) dicen que el pardeamiento enzimático tiene baja posibilidad de ocurrir durante tratamientos térmicos ya que las enzimas responsables se desnaturalizan a altas temperaturas

NINDO *et al* (2003) mencionan que 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.

Según ÁVILA y 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 alimentos. L^* mide la luminosidad, b^* indica el cambio de color de azul a amarillo, y a^* indica el cambio de verde a rojo.

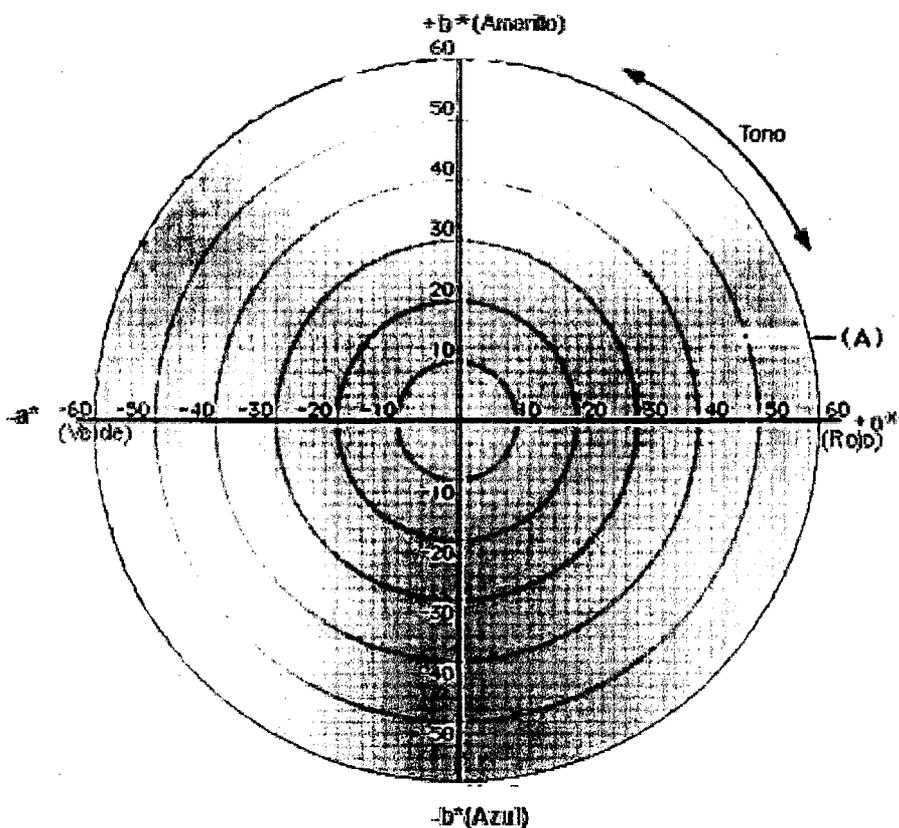


Figura 9. En este diagrama a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad, a^* y b^* indican direcciones de colores: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección del azul, el centro es acromático.

2.3 Material formador de pared

2.3.1 Goma arábica

2.3.1.1 Estructura y composición

La goma arábica (GA) es un biopolímero obtenido del exudado del árbol acacia, de la familia *Leguminosae*, originaria de Egipto, es extraída y pulverizada con procesos limpios, a partir de diversas especies de acacia, predominando las especies *Senegal* y *Seyal*. La estructura química de la GA corresponde a un complejo polisacárido que contiene pequeñas cantidades de material nitrogenado. El polisacárido es una cadena ramificada, su peso molecular varía entre de 250 000 y 1 millón. La cadena lineal está compuesta de unidades (1,3) β -D galactopiranosil y ramificaciones a los lados de (1,6) β -D galactopiranosil- 4 -O metil-glucurónico, las cuales, a su vez, están unidas a ramas más pequeñas compuestas por L- ramnosa - D- acidoglucurónico, D- galactosa - (1,3) y L- arabinosa y L- arabinosa (1,3) - L- arabinosa (1,3) L-arabinosa. El material nitrogenado es de carácter proteico, corresponde hasta al 10% del peso total, y en particular en las especies *Senegal* y *seyal* está alrededor del 2%. Por esta razón se ha denominado a la GA como complejo proteico-arabinogalactano. La fracción proteica está constituida por 400 residuos aminoácidos, con 18 aminoácidos diferentes, de los cuales el 50% corresponde a hidroxiprolina, serina y prolina, y se considera que muy probablemente la unión al polisacárido se presenta por la vía hidroxiprolina unida a residuos de arabinosa. La GA o complejo proteico-arabinogalactano, por sus características estructurales presenta un carácter amfifílico, lo que le permite absorber en superficies lipofílicas,

actuar como coloide protector y, por ende, como un buen agente formador de películas; adicionalmente, presenta baja viscosidad y comportamiento newtoniano a concentraciones inferiores al 35% (SHIGA *et al.*, 2001).

2.3.1.2 Propiedades de la goma arábica

La goma arábica, se ha utilizado principalmente como agente encapsulante para la microencapsulación en el secado por atomización debido a su excelente capacidad emulsificante y baja viscosidad en soluciones acuosas, contribuye a la estabilidad de alimentos deshidratados. El alto peso molecular de la goma arábica, en comparación con el de los solutos presentes en las frutas, hace que su incorporación aumente el peso molecular promedio del sistema, lo que se puede relacionar con un aumento en la temperatura de transición vítrea del producto de fruta en polvo, mejorando su estabilidad. Además, proporciona buena retención de sustancias volátiles y confiere protección efectiva frente a la oxidación. Sin embargo, su aplicación en la industria alimentaria es limitada en comparación con las maltodextrinas debido a que es menos soluble a temperatura ambiente (SHIGA *et al.*, 2001).

La goma arábica es uno de los materiales formadores de película más efectivo para microencapsular; sin embargo, el costo y su limitada disponibilidad comercial, han restringido su uso a nivel industrial (SHIGA *et al.*, 2001).

2.3.2 Maltodextrina

2.3.2.1 Estructura y composición

La maltodextrina resulta de la hidrólisis ácida suave de los granos de almidón. La estructura de la maltodextrina está conformada por unidades de β -D-glucosa unidos por puentes glucosídicos (1 \rightarrow 4) con una longitud de cadena de 5 – 10 unidades de glucosa por molécula. Comercialmente se clasifica por el contenido de dextrosa equivalente (DE). En polvo y con un DE menor de 20 es insabora e inodora. La maltodextrina de 10 DE tiene una densidad de 1.41 g/cm³ y un peso molecular de 1800 g/mol, está compuesta por: Monosacáridos 0,8 %, disacáridos 2,9 %; trisacáridos 4,4 %; tetrasacáridos 3,8 %; pentasacáridos y superiores 88,1 %; cenizas 0,6 % (PARAMO *et al.*, 2007)

2.3.2.2 Propiedades de la maltodextrina

Las maltodextrinas son utilizadas principalmente en materiales que presentan dificultades para su deshidratación, tales como jugo de frutas, condimentos y endulzantes, ya que reducen los problemas de adherencia y aglomeración durante el almacenamiento, mejorando así la estabilidad del producto.

En el secado por atomización de jugo de mango, el producto adicionado con maltodextrina tuvo un alto grado de solubilidad alcanzando valores del orden del 90 % (CANO - CHAUCA *et al.*, 2005).

2.4 Material de reserva

Diversos tipos de ingredientes pueden ser encapsulados.

Cuadro 4. Importancia de la encapsulación de algunos ingredientes utilizados en la industria de alimentos.

Tipo de ingrediente	Propiedades esperadas por la microencapsulación
Aromatizantes	Previene la oxidación, la volatilización y aglomeración, posibilita la liberación controlada y la conversión de aromas líquidos en sólidos.
Ácidos y bases	Evita la oxidación y permite la disolución en temperaturas específicas
Lípidos	Disminuye la susceptibilidad al oxígeno
Enzimas	acelera el tiempo de la maduración
Microorganismos	Aumenta la productividad en reactores, posibilita la reutilización del cultivo, protege contra el oxígeno, temperaturas bajas, medios ácidos y básicos.
Edulcorantes	Disminuye la higroscopicidad, aumenta la fluidez, resistencia a altas temperaturas y prolonga la sensación de dulzura.
Colorantes	Protege contra la oxidación, permite la solubilización en alimentos.
Vitaminas y minerales	Aumenta la estabilidad, enmascara posibles sabores extraños, evita posibles alteraciones de color, permite la liberación controlada en el tracto intestinal.

Fuente: Kumar (2007).

2.4.1 Carotenoides

Los pigmentos carotenoides son un grupo de compuestos ampliamente distribuidos en la naturaleza y son responsables de las coloraciones amarillas, anaranjadas y rojas de frutos y vegetales (COULTATE, 2004). La fuente clásica de los carotenoides corresponde a las plantas, pero se pueden encontrar en animales y microorganismos (OLIVER, 2000). Según FENNEMA (2000), las fuentes importantes son el tomate (licopeno), zanahorias (α y β caroteno), el pimiento rojo (capsantina), calabazas y calabacines (β -caroteno), maíz (luteína y zeaxantina) y camote (α -caroteno). Cabe señalar que todas las verduras de hoja verde contienen carotenoides, pero su color está enmascarado por la clorofila, que es el pigmento dominante. Muchos factores influyen en el contenido de estos pigmentos en las plantas, por ejemplo, las etapas de madurez de la planta, la exposición a la luz, el clima durante el desarrollo de la planta, el uso de pesticidas y de fertilizantes y el tipo de suelo (FENNEMA, 2000).

El principal papel de los carotenoides en la dieta de los humanos y otros animales es su capacidad de actuar como precursores de la vitamina A, para esto es que requiere la estructura de los retinoides (con el anillo de β -ionona), se estima que los carotenoides pro-vitamínicos A, presentes en frutas y verduras proporcionan entre el 30 y el 100 % de las necesidades de vitaminas de las poblaciones humanas, siendo el β -caroteno el carotenoide que tiene la mayor actividad de provitamina A (FENNEMA, 2000).

2.4.1.1 Estructura

Los carotenoides son compuestos liposolubles, polisoprenóides y se pueden dividir en dos grandes grupos: los carotenos o carotenoides de hidrocarburos compuesta únicamente por átomos de carbono e hidrógeno y las xantofilas que son derivados oxigenados de hidrocarburos que contienen al menos una función de oxígeno, tales como hidroxil, ceto, epoxi, grupos de ácido carboxílico o metoxi como se muestra en la Figura 10 (QUIRÓS, 2006).

La base estructural de los carotenoides se compone de unidades de isopreno ligadas covalentemente en forma cabeza - cola o cola - cola, con el fin de crear una molécula simétrica. Algunos carotenoides se derivan de esta estructura primaria de 40 átomos de carbono, otras estructuras cíclicas contienen grupos cíclicos terminales, mientras que otras tienen sólo uno o ninguna ciclización como el licopeno. Además, otros carotenoides pueden tener menor esqueleto de carbono que se conoce como apocarotenoide (como la bixina) (FENNEMA, 2000).

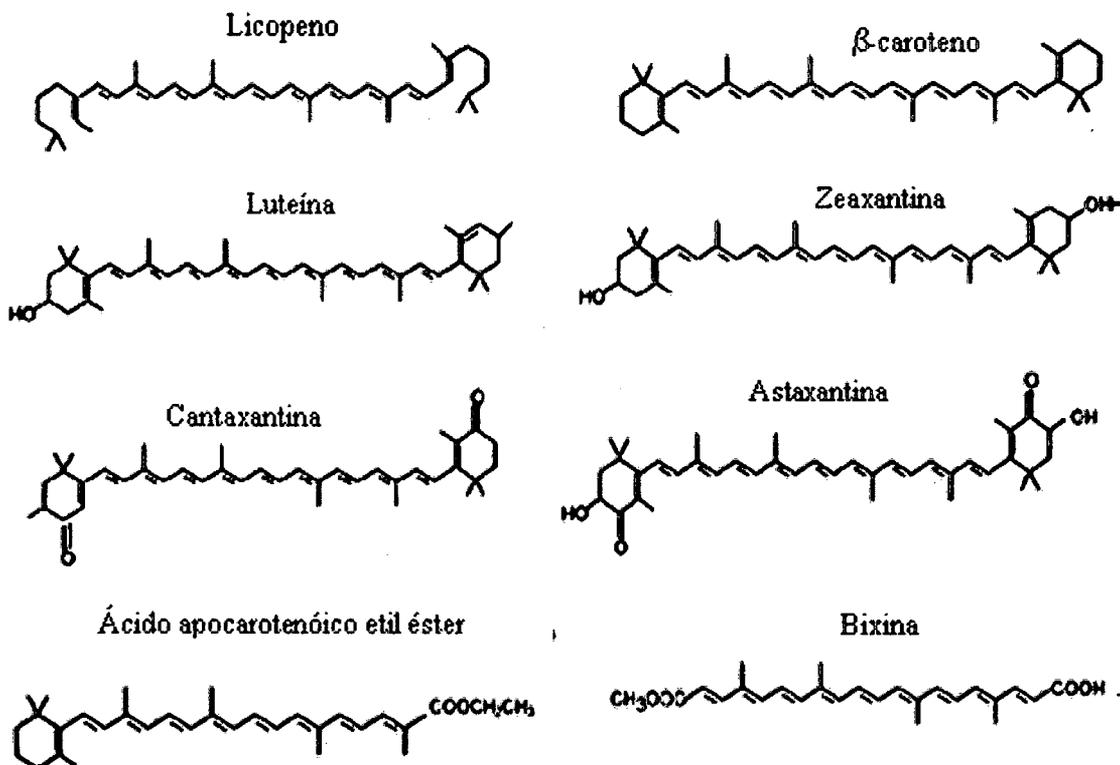


Figura 10. Estructura química de carotenoides. Fuente: Fontana *et al.* (2000).

La principal característica estructural de los carotenoides es un sistema de dobles enlaces conjugados, que es el cromóforo responsable de la fuerza de color y también por su efecto protector contra diversas enfermedades crónicas como el cáncer, cataratas, esclerosis múltiple y la aterosclerosis (KRISTAL, 2004). Según AGGARWAL y SHISHODIA (2006) estudios epidemiológicos recomiendan el consumo de frutas y verduras para prevenir el cáncer y otras enfermedades, pero sus compuestos activos en un nivel molecular, y sus mecanismos de acción aún no se comprende bien. Dos teorías explican el poder de los carotenoides en la prevención de algunas enfermedades, el primero corresponde a la actividad

pro-vitamina A, y la segunda es que los carotenoides tienen actividad antioxidante (EDGE y MCGARVE, 1997).

Se sabe que la acción antioxidante de los carotenoides es una función del número de dobles enlaces conjugados, que influyen directamente en la desactivación de los radicales libres degenerativos y también por su capacidad de retener y atrapar los radicales peroxilo ($R00^\circ$), generados durante la peroxidación de lípidos (ANDERSON, 1996).

Los radicales libres representan una especie química (átomos y moléculas con electrones no apareados) producidos de forma continua, durante los procesos metabólicos, que actúan como mediadores para la transferencia de electrones en varias reacciones bioquímicas, juegan un papel importante en el metabolismo. Los radicales libres son los orgánulos citoplasmáticos principales fuentes que metabolizar el oxígeno, nitrógeno y cloro, lo que genera un gran número de metabolitos (SHAMI y MOREIRA, 2004), o sea el término de los radicales libres es utilizado para nombrar especies químicas que contienen uno o más electrones no apareados en orbitales externos. Esta situación de inestabilidad hace que los radicales libres sean altamente reactivos, pudiendo reaccionar con cualquier compuesto cerca de su órbita externa, y por lo tanto, pasan a actuar como agente oxidante o reductor (MOREIRA, 2004).

Dentro de los radicales libres están incluidos: el dióxido de nitrógeno (NO_2), el óxido nítrico (NO), el hidropéroxido (HO_2), el hidroxilo (OH), superóxido (O_2^-) y el oxígeno singlete ($1O_2$) (ANTUNES y BIANCHI, 1999).

Entre los radicales antes mencionados el hidroxilo se considera el más reactivo, causando lesiones a las células. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), aunque no es un radical libre, es capaz de atravesar la membrana nuclear y causar daños a la molécula de ADN (ANDERSON, 1996). El oxígeno singlete se pueden producir en presencia de oxígeno molecular, fotosensibilizadores a la luz, los carotenoides son conocidos por desactivar el oxígeno singlete, proporcionando así la protección contra el daño oxidativo celular. Entre los carotenoides, el licopeno tiene una mayor capacidad de secuestrar el oxígeno singlete, siendo dos veces mayor que el β -caroteno y diez veces mejor que el α -tocoferol (DI MASCIO, 1991).

Hay al menos tres posibles mecanismos para la reacción de los carotenoides con las especies de radicales (KRINSKY y YEUM, 2003). Estos incluyen (a) formación de aductos, (b) la transferencia de electrones a los radicales, o (c) abstracción de hidrógeno alílico. Estos tres mecanismos se describen brevemente a continuación.

(a) Adición de los radicales - la formación de aductos: reacciones en el que un radical peroxilo (ROO°) se pueden agregar en cualquier parte de la cadena de un carotenoide, dando como resultado la formación de un radical de carbono centrado en ($ROO-CAR^\circ$) (KRINSKY y YEUM, 2003). La reacción propuesta se muestra en la siguiente ecuación:



(B) La transferencia de electrones: reacciones que dan lugar a la formación de un radical de carotenoides como el catión radical

(CAR^{o+}) y aniones radicales (CAR⁻) o la formación de un radical alquil (CAR^o). Cuando, por ejemplo, el licopeno reacciona con el radical superóxido (O₂⁻), la transferencia de electrones se produce con la formación del anión radical, CAR⁻, como se muestra en la ecuación (2) (KRINSKY y YEUM, 2003):



(C) Eliminación de hidrógeno, la reacción fue sugerido por WOODALL *et al.* (1997), quien observó la formación de 4-metoxi y 4,4 - dimetoxi, derivados de caroteno cuando se hace reaccionar con el iniciador de radicales AIBN (2,2-azo-bis-isobutironitrila) y AMVN (2,2'- azo-bis (2,4-dimetil-valeronitrila)) en presencia de pequeñas cantidades de metanol. Las reacciones de propuestas se muestran en las ecuaciones (3) y (4).



2.4.1.2 Estabilidad y degradación

Los carotenoides son en general estables en sus ambientes naturales, teniendo su estructura *todo-trans*, pero cuando se somete a la luz, los ácidos y al calor, puede ocurrir una pérdida o degradación, volviéndose más lábil. Además, puede haber pérdida de la intensidad del color (COULTATE, 2004). La pérdida o alteración de los carotenoides durante el procesamiento y almacenamiento puede ocurrir a través de la eliminación física, y debido a que son compuestos altamente insaturados, por isomerización geométrica y la oxidación enzimática y no enzimática (RODRÍGUEZ y AMAYA, 1999).

Los carotenoides son degradados principalmente por la oxidación no enzimática y enzimática, lo que dependerá de la disponibilidad de oxígeno y la estructura de los carotenoides. Es estimulado por la presencia de calor, luz, metales, enzimas y peróxidos y es inhibida por antioxidantes. Se sabe que el daño oxidativo se incrementa con la destrucción de las estructuras celulares de los alimentos, el aumento de la porosidad y la superficie de la matriz, la duración de la permeabilidad al oxígeno de almacenamiento, y la transmisibilidad de la luz en el almacenamiento. La oxidación no enzimática se caracteriza generalmente por una fase de latencia, seguido de una rápida desaparición de los carotenoides, de acuerdo con un mecanismo de radicales libres (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008). Los productos de degradación son muy complejos, y se caracteriza para el β - caroteno durante la oxidación y tratamientos térmicos. Durante la oxidación, epóxidos y compuestos carbonílicos son formados inicialmente. Las oxidaciones dan como resultado la formación de cadenas cortas de mono y dioxigenados, incluyendo compuestos de epóxy- β -ionona. En general, los epóxidos se forman en el anillo final, a pesar de la escisión oxidativa puede ocurrir por varios sitios a lo largo de la cadena. Las autooxidación dan como resultado el blanqueo de los carotenoides y la pérdida de su color (FENNEMA, 2000). La actividad enzimática en especial de la lipoxigenasa acelera la degradación oxidativa de los carotenoides, esto ocurre debido a la oxidación de ácidos grasos insaturados catalizada por la lipoxigenasa para producir peróxidos que reaccionan con los carotenoides (FENNEMA, 2000).

En general, la oxidación de los carotenoides se acompaña de isomerización, tanto los isómeros *cis* y *trans* están sujetos a la oxidación (Figura 11). Las etapas iniciales de la oxidación de la participación epoxidación y la división con la formación de apocarotenóides. Los resultados de la fragmentación posterior de compuestos de bajo peso molecular, similares a los producidos por la oxidación de los ácidos grasos. Ahora desprovistos de color o la actividad biológica conocida, estos compuestos pueden dar lugar a sabores deseables o sabores extraños indeseables (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008).

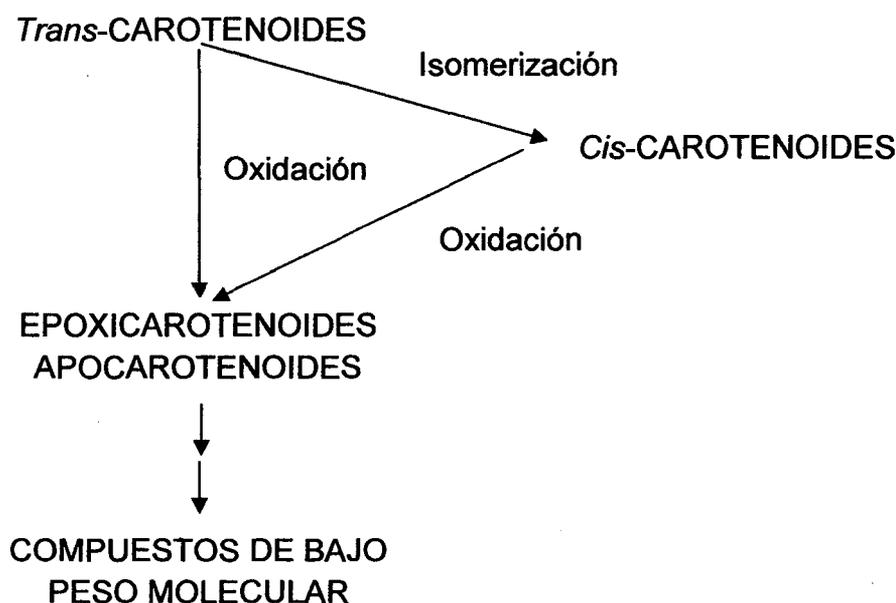


Figura 11. Esquema de degradación de carotenóides a compuestos de bajo peso molecular. Fuente: RODRIGUEZ *et al* (1999).

Las reacciones de isomerización son fácilmente inducidas por el tratamiento térmico, la exposición a solventes orgánicos, el continuo contacto con ciertas superficies activas, el tratamiento con ácidos y

soluciones de iluminación. En teoría, un gran número de posibles configuraciones geométricas puede ser resultado de la isomerización, debido al elevado número de enlaces dobles presentes. El β -caroteno tiene potencialmente 272 formas *cis*, pero debido al impedimento estérico, sólo un número limitado puede ocurrir. La isomerización afecta la actividad de pro-vitamina A, aunque no afecta el color de los carotenoides. La pro-vitamina A de la actividad de los isómeros *cis*-caroteno varía en función de la forma isomérica de 13 a 53% en comparación con el todo-*trans* de configuración (FENNEMA, 2000).

Al ser sometido a altas temperaturas (alrededor de 190 ° C), los carotenoides forman productos de degradación como ioneno, tolueno, m-xileno y 2,6 dimetilnaftaleno, o perder todas sus características (WONG, 1995), Sin embargo, el blanqueamiento es conocido por influir en el contenido de carotenoides debido a la inactivación de la lipoxigenasa. La congelación crea algunos cambios en su contenido (FENNEMA, 2000).

2.4.1.3 β - caroteno.

El β -caroteno es un importante miembro de la familia de los carotenoides, que se encuentra en muchas frutas y verduras (zanahorias, batatas, calabaza, papaya, mango, carambola, durazno, espinaca, brócoli, col (KANDLAKUNTA *et al.* 2008).

La estructura molecular básica consta de ocho unidades isoprenoides, que contiene cuarenta átomos de carbono y dos anillos en el extremo de la cadena de dobles enlaces conjugados (Figura 12), junto con la larga cadena de responsables del color naranja (RIBEIRO *et al.* 2008)

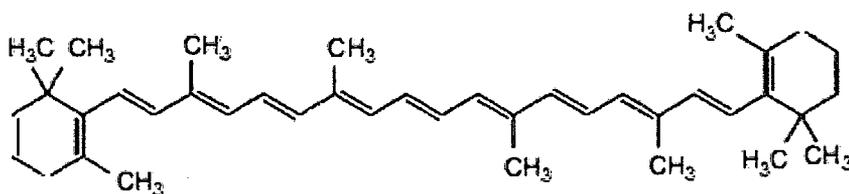


Figura 12. Estructura química de β -caroteno. Fuente: COULTATE (2004).

Teóricamente, este carotenoide posee actividad de pro-vitamina A (DESOBRY *et al.*, 1997) y se convierte en vitamina A (retinol) y ácido retinoico en el cuerpo humano. En su mayor parte, esta conversión se lleva a cabo en los intestinos y el hígado (HENRIQUES *et al.*, 1998).

El *trans*- β -caroteno es el isómero predominante en muchas frutas y verduras, pero el procesamiento térmico puede aumentar sustancialmente la proporción de la geometría de la *cis* en estos alimentos, en particular 13-*cis* -y 9-*cis* (LESSIN, 1997).

Estereoisómeros del caroteno tienen diferentes propiedades químicas y biológicas y difieren en su capacidad antioxidante y su biodisponibilidad (MARX *et al.*, 2003). Desde hace tiempo se atribuye una menor actividad de la vitamina en forma *cis*, en relación a los isómeros *trans* (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008). CARVALHO *et al.* (1995) encontraron diferencias en la actividad pro-vitamina A, el 13 -*mono- cis*- β -caroteno tiene un 53% de la actividad y el *todo-trans* y 9 *mono-cis*, 38%. La biodisponibilidad de isómeros del caroteno es poco conocida. En el suero humano se encuentran en gran forma *todo-trans*, con sólo pequeñas cantidades de 13-*cis* e isómeros 9-*cis* después de la ingesta de caroteno.

Sin embargo, una cantidad de isómeros *cis* están presentes en varios animales y tejidos humanos (STAHL *et al.*, 1992).

Más recientemente, se informó de que el *trans* - caroteno es preferentemente absorbida por los seres humanos (LEVY, 1996),

En cuanto a la actividad antioxidante autores informan que isómeros *cis* presentan un poder superior (in vitro e in vivo), en comparación con el todo-*trans* isómero (HENRIQUES *et al.*, 1998).

2.4.1.4 La microencapsulación de carotenoides

Los estudios que se han dirigido a la encapsulación de carotenoides verifican que la aplicación de esta técnica aumenta la estabilidad de estos compuestos.

DESOBRY *et al.* (1999) encapsularon β -caroteno mediante secado por atomización, utilizando dos tipos de maltodextrinas (DE 15 y DE 4) añadieron glucosa, galactosa y lactosa, para preparar seis maltodextrinas de composiciones diferentes, pero con el mismo valor de equivalente de dextrosa (DE 25). Para ello, una maltodextrina comercial de DE 25 fue utilizada como referencia. La estabilidad de las muestras se evaluó el almacenamiento de los mismos en diferentes ambientes con una humedad (11% y 33%) y temperaturas (25, 35 y 45 ° C). En este estudio, se concluyó que la adición de monosacáridos y disacáridos a la maltodextrina reduce el tamaño de los poros de la red de maltodextrina, lo que limita la difusión de oxígeno y protegiendo el β -caroteno, mientras que la vida media de este compuesto aumentando de 6 semanas a 17 semanas.

MATIOLI y RODRÍGUEZ - AMAYA (2003) mostró un gran rendimiento - ciclodextrina en la estabilización de este mismo compuesto, ya que después de seis meses de , el color original del compuesto se mantuvo.

MATIOLI y AMAYA (2002) estudiaron la estabilidad del licopeno extraído de la guayaba roja, encapsulado en una matriz de goma arábica y maltodextrina mediante secado por aspersión y liofilización. Los autores encontraron que en el segundo período de almacenamiento, si la tasa de degradación de licopeno fue menor, la diferencia fue significativa entre las dos técnicas, y la liofilización mostraron una mayor protección debido a que la vida media aumentó significativamente cuando el material se expuesto a la luz.

SUTTER *et al.* (2006) microencapsularon β -caroteno en una matriz de manitol, por la técnica de liofilización, con el fin de estudiar el efecto de la adición de cationes divalentes y sales de fosfato a esta matriz. Los autores observaron que la presencia de fosfato disminuye o inhibe el proceso de cristalización, es decir, la presencia de fosfato retrasó significativamente la cristalización de manitol a un ritmo muy satisfactorio durante el proceso de secado al aumentar el grado de encapsulación de los carotenoides. Por lo tanto, fue posible confirmar que es necesario para mantener la matriz amorfa de manitol para permitir la interacción de los enlaces de hidrógeno entre manitol y las proteínas u otras biomoléculas, para garantizar la estabilización de las formulaciones liofilizadas. La adición de cationes divalentes mostró un efecto sinérgico, la disminución de la tasa de degradación del compuesto encapsulado.

DESOBRY *et al.* (1997) comparó la liofilización, atomización y secado en tambor en la microencapsulación de β -caroteno en matrices de maltodextrina. En este trabajo los autores encontraron que la liofilización dio lugar a una degradación menor del compuesto activo durante el proceso de secado, pero el secado en tambor de secado mostró una mayor estabilidad del compuesto durante el almacenamiento, que se atribuyó a la menor cantidad de carotenoide superficial y al mayor tamaño de partículas. Cabe señalar que los experimentos se llevaron a cabo en diferentes ambientes con humedad y temperatura controladas, y la humedad no interfiere significativamente en la oxidación, pero las principales diferencias entre las tasas de degradación se encontraron entre 25 y 45 ° C.

SHU *et al.* (2006) demostraron que la microencapsulación de licopeno en la gelatina y sacarosa, mediante secado por aspersión, puede prevenir con eficacia el daño causado por el oxígeno y la luz durante el almacenamiento. Los parámetros estudiados correspondió a las condiciones de secado (temperatura del aire y de la secadora), la relación entre los dos materiales de pared y también para el agente nuclear / encapsulado. En cuanto a los resultados, el porcentaje que dio como resultado una emulsión más estable correspondió a 1:4 (core / material de la pared), ya que la relación entre la gelatina y sacarosa correspondió a 3:7 debido a la viscosidad de la emulsión para ser atomizado, lo que debería permitir la formación de una distribución de partículas de tamaño regular de pequeñas partículas. La viscosidad muy alta puede causar un aumento en el contenido de humedad de los polvos, además, durante el proceso de secado puede

ocurrir una rápida formación de la corteza debido a la baja densidad de las partículas. En cuanto a la temperatura de alimentación fue encontrado un valor óptimo de 55 ° C, las temperaturas más altas llevó a una acumulación de partículas en la pared de la cámara y se dispersa un olor a quemado. Cuando la temperatura del aire de entrada alcanza valores cercanos a 210 ° C promueve los mismos problemas causados por el aumento de la temperatura de la alimentación, lo que resulta en un desequilibrio en el balance entre la tasa de evaporación del agua y la formación de películas.

HIGUERA *et al.* (2004) encapsularon astaxantina en una matriz de quitosano a través de una técnica de evaporación múltiple. Las condiciones de almacenamiento estudiadas fueron 25, 35 y 45 ° C y 33% de humedad relativa. La astaxantina microencapsulado se mantuvo estable durante 8 semanas sin pasar por isomerización o la degradación de los pigmentos.

WARTHESEN y WAGNER (1995) llevaron a cabo pruebas de hidrolizados de almidón con diferentes grados de equivalente de dextrosa (4, 15, 25 y 36.5) para encapsular los carotenoides, los hidrolizados de almidón de 36.5 fue mayor en la retención de caroteno durante el almacenamiento Pero los cuatro almidones promueve una vida útil de 70 a 220 veces mayor que el jugo de zanahoria atomizado.

CAI y CORK (1999) utilizaron una mezcla de almidón de maíz, maltodextrinas, almidón nativo de maíz y almidón modificado de maíz (fosforilado) para encapsular betacianina. Los polvos fueron almacenadas a 25 ° C con 5 y 32% de humedad relativa y a 5% de humedad

relativa, visto que grado de DE más elevados promueven capas más densas y impermeables al oxígeno. Para una humedad de 32% la estabilidad del microencapsulado disminuyó con el aumento de DE, que se debió a la higroscopicidad de los polvos. Los almidones nativos y fosforilado mostraron una menor retención del compuesto, debido a que no se puede crear un sistema de muros densos para proteger a la oxidación la betacianina.

La encapsulación de la oleoresina de paprika (color rojo con base de tinte carotenoides) fue estudiada por Santos *et al.* (2005). Los siguientes factores fueron utilizados como agentes de encapsulación en los gránulos de goma árabe y gránulos porosos de almidón / gelatina. La microscopía electrónica de barrido mostró evidencia de que las microcápsulas preparadas con goma árabe seran más viables debido a que poseía una forma redondeada, cóncava, sin poros o grietas y paredes sólidas. Dado que las cápsulas producidas con gránulos porosos de almidón / gelatina mostró una forma redondeada y la pared formado por la aglomeración de los gránulos con poros o intersticios, lo que puede permitir la oxidación de la oleoresina.

LOKSUWAN (2007) utilizo maltodextrina, almidón nativo y el almidón ácido modificado de tapioca para encapsular caroteno. En este estudio el autor encontró el contenido total y superficial de carotenoides en la microcápsulas después del proceso de secado por aspersión. Se encontró que el almidón ácido modificado conserva un mayor porcentaje del compuesto con una menor concentración en la superficie, lo que indica una mayor eficiencia de la microencapsulación.

2.4.2 Vitamina C

El valor nutricional de la Vitamina C o ácido ascórbico es de gran importancia en la dieta humana ya que contribuye a mantener el colágeno, disminuir los daños por estrés, es un antioxidante y participa en la biosíntesis de aminoácidos. La mayor fuente de vitamina C son las frutas y los vegetales, siendo más abundante en vegetales de hojas, los cítricos y algunas frutas tropicales (YAHIA *et al*, 2001).

La vitamina C corresponde al grupo de las vitaminas hidrosolubles, y como la gran mayoría de ellas no se almacena en el cuerpo por un largo período de tiempo y se elimina en pequeñas cantidades a través de la orina. Por este motivo, es importante su administración diaria, ya que es más fácil que se agoten sus reservas que las de otras vitaminas (FENNEMA, 2002).

2.4.2.1 Estructura

Es una sustancia de color blanco, estable en su forma seca, pero en solución se oxida con facilidad, más aún si se expone al calor. Un pH alcalino (mayor a 7), el cobre y el hierro, también aceleran su oxidación. Su estructura química recuerda a la de la glucosa (en muchos mamíferos y plantas, esta vitamina se sintetiza a partir de la glucosa y galactosa). Se llama con el nombre de vitamina C a todos los compuestos que poseen la actividad biológica del ácido ascórbico (FENNEMA, 2002).

El ácido deshidroascórbico posee también actividad biológica, debido a que en el cuerpo se reduce para formar ácido ascórbico (FENNEMA, 2002)

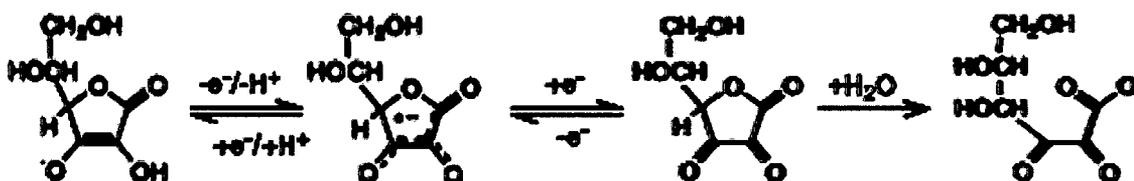


Figura 13. Estructura química del ácido ascórbico

2.4.2.2 Estabilidad

Según NINDO *et al* (2003) , la vitamina C es la más sensitiva de las vitaminas que se encuentran en los alimentos y su estabilidad varía en función de las condiciones ambientales tales como el pH, la concentración de trazas de iones metálicos y de oxígeno, la temperatura. También se ve afectada por el tipo de proceso de deshidratación, el régimen tiempo-temperatura empleados, la intensidad de energía térmica, encontrándose que la mayor retención de vitamina C se da cuando se seca a bajas temperaturas y cortos tiempos. Por este motivo, se usa la evaluación del ácido ascórbico retenido como un método para definir el mejor sistema de secado. La degradación anaeróbica y aeróbica del ácido ascórbico en alimentos con baja humedad ha mostrado que es altamente sensitiva a la actividad del agua, ya que las reacciones se incrementa en función exponencial para rangos de a_w de 0,1 a 0,8.

BADUI (1999) dice que La vitamina C es más estable a la acción del calor a medida que el pH del medio sea más ácido. La degradación de la vitamina C en muestras pulpeadas se debe en gran parte a la oxidación que se presenta por la incorporación de aire durante el despulpado; adicionalmente la vitamina C puede perderse por disolución.

La oxidación no se produce en medio ácido, pero se cataliza por la luz, esto explica que durante el almacenamiento de jugos ácidos de frutas deshidratados es posible que la degradación del ácido ascórbico dependa de la temperatura y de la humedad, siendo menor a medida que la humedad es menor.

2.4.2.3 Microencapsulación de ácido ascórbico

Una solución de quitosano, ácido ascórbico y tripolifosfato fue preparada y secada por aspersión para obtener microcápsulas de ácido ascórbico. Se hizo un estudio de estabilidad almacenando las microcápsulas a 35 °C y a diferentes actividades de agua (0,108 a 0,743) por 60 días. El rendimiento de microencapsulación fue de 78 %. La mejor morfología de las microcápsulas y la menor degradación de ácido ascórbico se presentaron a una actividad de agua de 0,108 y 35 °C durante 60 días de almacenamiento (PULIDO, 2009).

2.4.3 Polifenoles

Los polifenoles son metabolitos secundarios presentes en todas las plantas vasculares, y constituyen una gran familia de sustancias muy variadas, desde moléculas simples a estructuras complejas. Estas sustancias naturales tienen en común la presencia de uno o varios ciclos bencénicos que lleven una o varias funciones hidroxilo, derivados del metabolismo del ácido shikímico y/o poliacetato.

Hasta la fecha, varios miles de compuestos polifenólicos se han caracterizado en las plantas, y agrupados en varias clases. Dentro de cada una de estas clases, las variaciones en torno a la bases químicas se refieren

esencialmente a los grados de oxidación, hidroxilación, metilación, glicosilación y las posibles conexiones a otras moléculas (metabolitos primarios, tales como carbohidratos, lípidos, proteínas o metabolitos fenólicos secundarios, por ejemplo). La literatura muestra que, in vitro y / o in vivo, los polifenoles son capaces de:

- Reducir la inflamación mediante la inhibición del edema.
- Detener el desarrollo de tumores
- Modular el sistema inmune
- Prevenir las perturbaciones óseas incriminadas en la osteoporosis
- Aumento de la resistencia capilar, actuando sobre los componentes de los vasos sanguíneos.
- Proteger el sistema cardiovascular
- Proteger la retina
- Limitar el aumento de peso

Cuadro 5. Polifenoles, estructuras, clases y propiedades biológicas.

	Esqueleto de carbono	Ejemplos	Fuentes	Propiedades biológicas
Acido fenólicos y Cumarinas.				
Ácidos hidroxibenzoicos	C6-C1	Ácido gálico, ácido vanílico, ácido protocatéquico, ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico.	El té, frutas rojas (fresa, frambuesa)	Actividad antimicrobiana
Ácidos hidroxicinámicos	C6-C3	ácido <i>p</i> -cumárico ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido sinápico.	Frutas (kiwi, manzana), cereales (arroz, avena, trigo)	Actividad antiinflamatoria
Cumarinas			Frijol, plantas medicinales	Actividad antiinflamatoria y antiviral.

Estilbenos	C6-C2-C6	Resveratrol	Plantas medicinales	Efectos anti carcinogénico , actividad Antiinflamatoria
flavonoides	C6-C3-C6			La vitamina P el factor
Flavonoles			cebolla, col, brócoli, vino rojo y el té.	protector de los capilares y las venas, a menudo
Flavones			El perejil, el apio, los cereales (el mijo y el trigo) La piel de cítrico.	Propiedades antiinflamatorio, antialérgico, antiviral,
flavanones			la toronja, la naranja, el limón , tomates y plantas aromáticas	anti espasmódico, antibacteriano, antioxidante y
Isoflavones			soya	anti carcinogénico ,
Flavanoles				Hepatoprotector

Formas monoméricas		Catequina, epicatequina	Frutas (albaricoque, cereza, uva, melocotón manzana) té verde y negro, vino rojo.	algunos son poderosos Inhibidores enzimáticos.
Formas de polímero	(C15) _n	Castalina, vescalina	uvas, melocotones, kakis, manzanas, el vino, la sidra, el té, la cerveza.	
Proantocianidinas				
Antocianinas		Cyanidina Pelargonidina	El vino rojo, cereales, raíces, la berenjena, frijoles, cebolla, rábano.	
Ligninas	(C6-C3) ₂	Pinoresinol Steganacina	el centeno, el trigo, la avena, la cebada, el brócoli, las fresas	Hepatoprotector, antimitótico, antiviral, actividades antihipertensivo y citostático Inhibidores de reacciones enzimáticas .

Por desgracia, su uso de estos compuestos naturales valiosos es sustancialmente limitado. Se ha informado de que las concentraciones de polifenoles necesarios para obtener la eficiencia in vitro son generalmente superiores en vivo. De acuerdo con la vía de administración, la eficacia de estos compuestos depende en su biodisponibilidad y la integridad. De hecho, una pequeña proporción de las moléculas se administra por vía oral es absorbida, debido a la falta de tiempo de permanencia gástrica, baja permeabilidad y/o de baja solubilidad (FANG y BHANDARI, 2010).

Su inestabilidad durante el procesamiento de alimentos, distribución o almacenamiento, o en el tracto gastrointestinal (pH, enzimas, presencia de otros nutrientes), los límites de la actividad y los beneficios potenciales para la salud de los polifenoles. El uso tópico de los polifenoles naturales también es delicada debido a su sensibilidad importante factores ambientales, incluyendo propiedades físicas, químicas, y biológicas. Por desgracia, se oxidan muy rápidamente, dando lugar a la aparición progresiva de un color marrón y/o malos olores con una pérdida considerable de la actividad (FANG y BHANDARI, 2010).

Otros problemas relacionados con el consumo de polifenoles en la salud humana tienen que ser resueltos. Un gran número de compuestos polifenólicos de origen natural son interesantes por sus propiedades, sin embargo, en su forma libre, pueden mostrar limitada solubilidad en agua. Además, muchos polifenoles tienen un desagradable gusto que se debe enmascarar antes de su incorporación en los productos alimenticios o medicamentos orales. Por lo tanto, la administración de los compuestos

fenólicos requiere la formulación de un producto acabado la protección de productos capaces de mantener la integridad estructural de los polifenoles hasta el consumo o la administración, la máscara de su sabor, aumentar su solubilidad en agua y la biodisponibilidad, y transmitirlo precisamente, hacia un objetivo fisiológico (FANG y BHANDARI, 2010).

2.4.3.1 Microencapsulación de polifenoles

Hoy en día, maltodextrina es comúnmente mezclado con goma árabe. Una mezcla de maltodextrina (60%) y goma Arábica (40%) se ha utilizado para la encapsulación de procianidinas a partir de semillas de uva. No se observó ningún cambio de procianidinas durante la etapa de secado crítico, la tasa de encapsulación fue de alrededor de 85% y su estabilidad fue mejor (ZHANG *et al*, 2007).

Se llevó a cabo un estudio que muestra la contribución de encapsulación en la estabilidad y la actividad antioxidante de cuatro estructuras de antocianina de un extracto de grosella negro (delfinidina-3-O-glucósido, delfinidina-3-O-rutinósido, cianidina-3-O-glucósido y cianidina 3-O-rutinósido). En este trabajo, el polímero de termogelificación fue β -glucano. Fueron estudiados Los efectos de la temperatura, el pH y la presencia de iones férrico y ferroso sobre la estabilidad y la actividad de soluciones de estas cuatro antocianinas (XION *et al.*, 2006).

La quercetina ha demostrado ser 100 veces más soluble en lípidos encapsulados en nanopartículas recubiertas y estables durante más de diez semanas, no fue detectado ningún producto de la degradación (BARRAS *et al.*, 2009).

Un extracto de té verde de China se encapsuló con éxito, ya sea en caseinato de sodio en cuentas de caseinato de calcio por precipitación ácida de la caseína. Entre las perlas, caseinato de calcio, granos cargados con extracto polifenólico exhibió las mejores propiedades antioxidantes (DEHKHARGHANIAN *et al.*, 2009).

Un extracto rico en polifenoles de frambuesa (*Rubus chamaemorus*) fue estabilizado por liofilización, con dos tipos de maltodextrinas (DE 5-8 y DE18.5) como material de revestimiento. Las partículas liofilizadas eran estables durante largos períodos y proporciona a los polifenoles una protección eficaz contra el fenómeno de oxidación durante su almacenamiento, mientras que la actividad antioxidante se mantuvo idéntica (LAINE *et al.*, 2008).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, Distrito de Rupa - Rupa, Provincia de Leoncio Prado, en la región Huánuco, cuyas coordenadas geográficas son:

Longitud oeste : 75°57'00"

Latitud sur : 09°09'08"

Altitud : 670 m.s.n.m

Los análisis se realizaron en los laboratorios de Análisis de alimentos, Ingeniería de alimentos, Química y en el Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonia.

3.2 Materia prima y solutos

La materia prima que se empleó fue la carambola, adquiridas del fundo "El Agrónomo".

En cuanto a los solutos que fueron utilizados como encapsulantes para la obtención de las microcápsulas, se emplearon maltodextrinas procedentes de almidón de maíz, de equivalencia de dextrosa (Maltodextrina 10 DE) y goma arábiga en polvo, que fueron adquiridas de la empresa Montana S.A.

3.3 Materiales, equipos y reactivos

3.3.1 Materiales

- Cubetas de plástico
- Desecadores
- Micropipetas

3.3.2 Equipos

- Balanza analítica modelo Adam
- Colorímetro marca kónica minolta cr400
- Data trace
- Empacadora de vacío multivac modelo a300/16
- Espectrofotómetro modelo genesys 6 (Thermo Electrón Corporation)
- Licuadora marca Ostericer
- Liofilizador de mesa marca Labotec modelo 12fd
- Ultracongelador marca Presuac

3.3.3 Reactivos

- Ácido ascórbico (Biomedicals, LLC)
- Ácido gálico (Sigma – Aldrich)
- Reactivo folin ciocalteu (Merck)
- 2,6- dicloroindofenol (DCIP)(Sigma – Aldrich)

3.4 Métodos y procedimientos

3.4.1 Métodos de análisis

- Humedad, método gravimétrico (NIELSEN, 2003).
- Ceniza, método gravimétrico N°923/03 de la AOAC (2005).
- Proteína, método kJeldahl.
- Carbohidratos (DUBOIS *et al*, 1956).
- Sólidos solubles (A.O.A.C, 2001).
- Acidez titulable (NIELSEN, 2003).
- Vitamina C (HERNÁNDEZ, 2006).
- Carotenoides totales (ZHOU *et al*, 1994).
- Carotenoides superficiales (WAGNER y WARTHESEN, 1995)
- Polifenoles totales método de Folin- Ciocalteu, reportado por (SANDOVAL *et al*, 2001).
- Solubilidad, método de EASTMAN y MOORE (1984), reportado por (CEBALLOS, 2008).
- Humectabilidad, método estático o test de Freudig modificado y descrito por (FREUDIG *et al.*, 1999; KIM *et al.*, 2002).
- Color, Por reflectancia con un colorímetro marca, kónica minolta (CEBALLOS, 2008).
- Isotermas de adsorción (CHUZEL, 1992; GABAS *et al*, 2007).

3.4.2 Procedimiento experimental para la obtención de las microcápsulas de carambola

Las características y fases del proceso se explican a continuación:

Materia prima

Se utilizó carambola (*Averrhoa carambola L.*), con un grado de madurez adecuado para su consumo, con un contenido de sólidos solubles totales cercanos al 7%.

Cosecha - acopio

Se realizó la cosecha de la carambola cuando el fruto tenía el color de la cáscara un amarillo intenso, que se caracteriza por obtener el mayor contenido de azúcares y alto porcentaje de jugo. El acopio se realizó en el campo.

Transporte

Las frutas fueron llevadas al laboratorio de Ingeniería de Alimentos en cajas de madera con una capacidad de 13 Kilogramos.

Recepción

Se almacenó temporalmente bajo refrigeración.

Selección-clasificación

Durante la selección se eliminaron las frutas magulladas, con picaduras o con hongos, la clasificación se realizó por tamaño, considerando un tamaño promedio de 9,5 cm. Como una fruta de primera categoría.

Pesado

El pesado se realizó para conocer la cantidad inicial de materia prima con la que se inicia el proceso.

Lavado y desinfección

Los frutos una vez pesados se lavaron con agua potable para eliminar la tierra, luego se desinfectó con hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 15 minutos y enjuagados para eliminar todo residuo de hipoclorito de sodio.

Pelado- despepitado

Se realizó de manera manual con cuchillos, se recomienda este método debido a que no afecta las características sensoriales de la carambola (textura, olor), se eliminó la semilla.

Liculado

Los frutos fueron licuados, durante 1 minuto a alta velocidad.

Tamizado.

Se realizó con un tamiz de abertura de 1mm, eliminando parte de la fibra.

Acondicionamiento.

– Pulpa de carambola con maltodextrina (MD)

A la pulpa de carambola se le añadió maltodextrina en la proporción de 1kg/kg de sólidos soluble de la pulpa de carambola con base en la determinación de los °Bx, a las mezcla se le aplicó velocidad alta por 2 minutos en el procesador eléctrico.

– Pulpa de carambola con goma arábica (GA)

A la pulpa de carambola se le añade goma arábica en la proporción de 1kg/kg de sólidos soluble de la pulpa de carambola con base en

la determinación de los °Bx, a la mezcla se le aplica velocidad alta por 2 minutos en el procesador eléctrico.

Liofilización

Se trabajó con las siguientes variables de proceso: tamaño del lote: 210 g, espesor del producto: 0,5 cm, tiempo de secado: 20 h temperatura del condensador ≤ -50 °C, presión de vacío en la cámara: ≤ 15 Pascal. Se liofilizó a tres temperaturas de congelación (-20 °C, -30 °C, -40 °C).

Envasado

Después del secado se envasó en bolsas de aluminio, que luego fueron termoselladas, no se puede sellar al vacío ya que presiones inferiores a 0,95 Atm hacen que las microcápsulas se compactan y pierdan sus propiedades de instantaneidad.

Almacenamiento

Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente (Aprox. 27 °C), por un periodo de 60 días, realizando análisis cada 15 días.

En la Figura 14 se muestra el flujo de operaciones para la obtención de microcápsulas de carambola por liofilización.

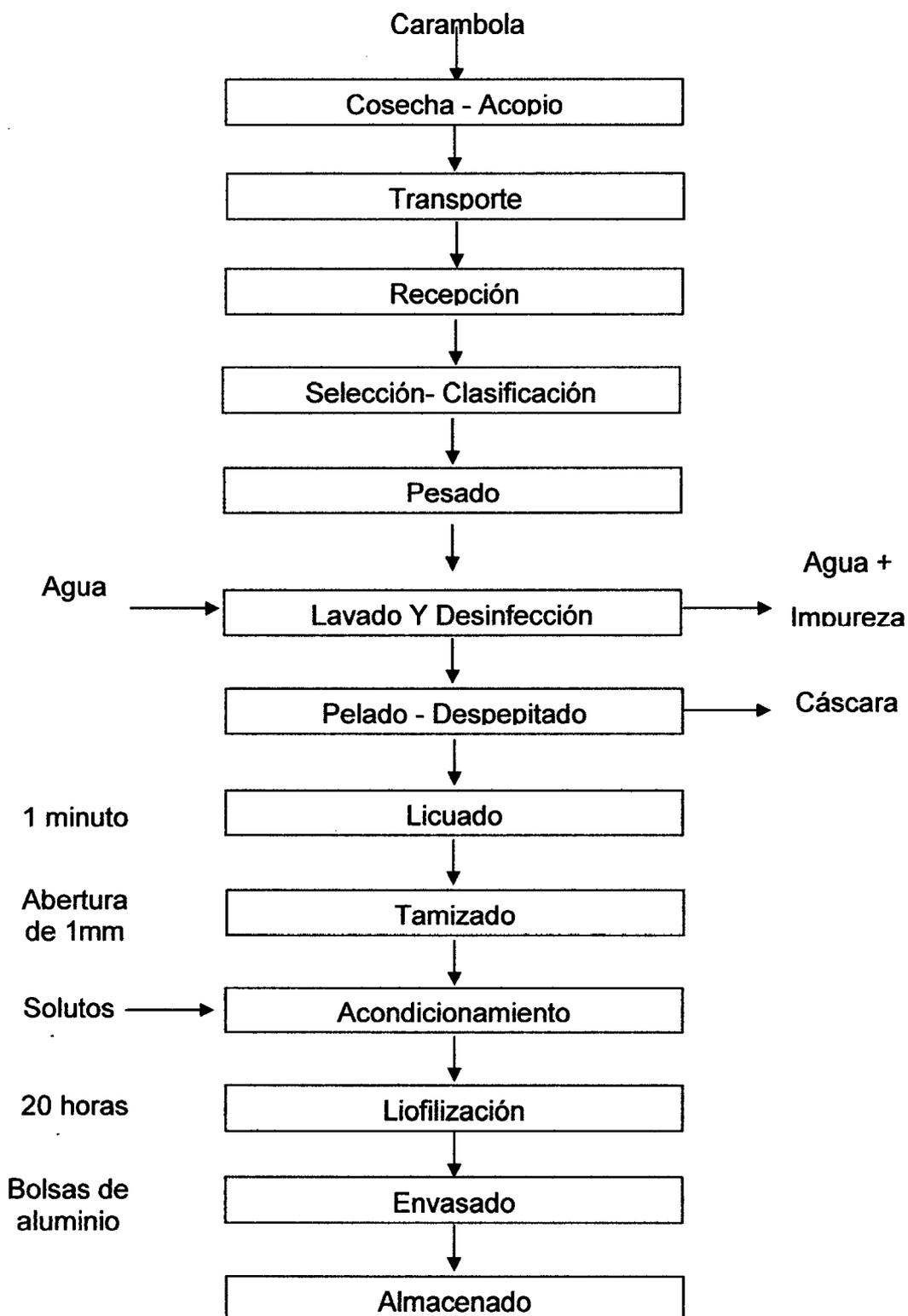


Figura 14. Flujo de operaciones para obtener carambola en polvo por liofilización.

3.4.3 Determinación de carotenoides totales

El contenido total (CT) fue calculado como la cantidad de carotenoides presente en las micropartículas. Para encontrar el contenido total de carotenoides encapsulado, fue seguida la metodología de ZHOU *et al.* (1994), con algunas modificaciones, donde 50 mg de muestra fueron dispersados en 2,5 mL de agua y 20 mL de hexano en un tubo de ensayo (2,5 cm x 10 cm). El tubo fue sellado y agitado durante 5 minutos a temperatura ambiente, luego de la total decoloración. La absorbancia del sobrenadante presente en el hexano fue medida a 454 nm en espectrofotómetro (Genesys 6 thermo).

3.4.4 Determinación de carotenoides superficiales

El contenido superficial de carotenoide, o sea, la cantidad de carotenoides no encapsulado, fue medido siguiendo la metodología descrita por WAGNER y WARTHESEN, (1995) con algunas modificaciones, donde 50 mg de muestra fueron colocadas en un tubo de ensayo y extraídas con 20 mL de hexano. Después de 15 segundos de agitación fue medida la absorbancia de la solución sobrenadante en un espectrofotómetro a 454 nm para determinar la concentración de carotenoides.

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas se analizaron de acuerdo al diseño experimental (Figura 15) y se utilizó el modelo estadístico diseño completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones, los cálculos se realizaron en el programa Statgraphics Centurión.

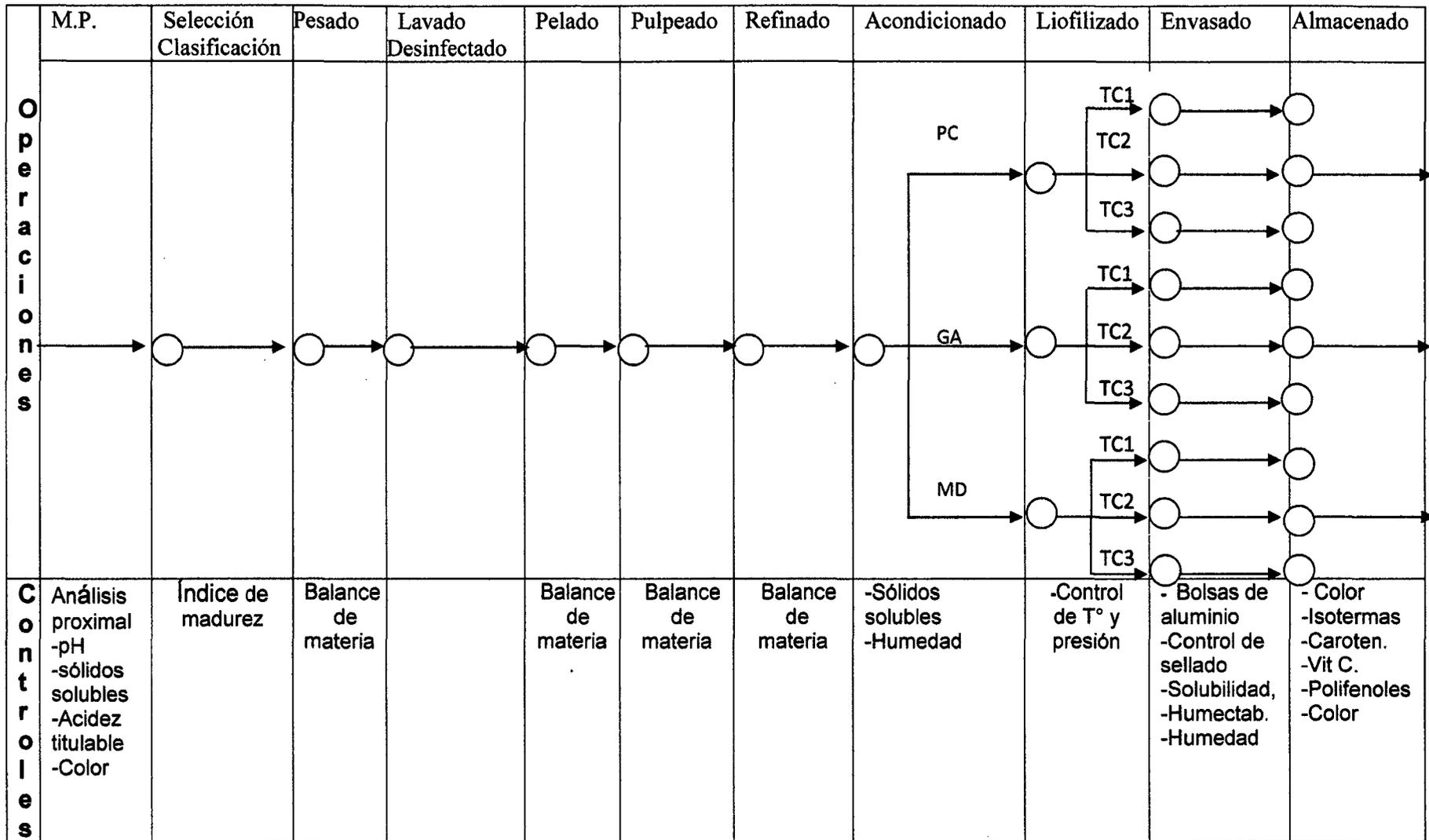


Figura 15. Esquema Experimental de la Investigación.

Donde:

C: Carambola

PC: pulpa de carambola

GA: pulpa de carambola + Goma Arábica

MD: pulpa de carambola + Maltodextrina

TC1: Temperatura de congelación 1 de la muestra (-20 °C)

TC2: Temperatura de congelación 2 de la muestra (-30 °C)

TC3: Temperatura de congelación 3 de la muestra (-40 °C)

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la materia prima

En el Cuadro 6 se presenta la caracterización de la pulpa de carambola. El contenido en agua analizado es alto (90,554 %). Con relación al contenido en azúcares, resultó ser del 5,182 %, del mismo orden que el encontrado en otras frutas como la manzana. Sin embargo, los altos valores obtenidos en cuanto al °Brix pueden estar relacionados con el alto contenido en fibras y ácidos, cuya fracción soluble contribuye al contenido en sólidos solubles de las frutas.

Hoy en día existe una gran variedad de frutas catalogadas como fuentes naturales de compuestos fenólicos, importantes por su reconocida actividad antioxidante. El consumo de alimentos ricos en estos compuestos se ha asociado a la reducción del riesgo a sufrir enfermedades cardiovasculares, apoplejías y ciertas formas de cáncer (KLIMCZAK *et al.*, 2007). La concentración de fenoles obtenida en la pulpa de carambola resultó ser más baja que lo descrito para otras frutas tropicales como la guayaba 179 ± 44 mg/100g (LIM *et al.*, 2007) pero similar al de pomelo 82 ± 3 mg/100g (IGUAL *et al.*, 2010).

Cuadro 6. Composición, propiedades fisicoquímicas y color de la pulpa de carambola.

Componentes mayoritarios (g/100 g de pulpa)	
Agua	90,554 ± 0,737
Carbohidratos	5,182 ± 0,013
Proteínas	0,659 ± 0,006
Cenizas	0,350 ± 0,003
Compuestos bioactivos (mg/100 g de pulpa)	
Vitamina C	31,905 ± 0,620
Carotenoides	24,238 ± 0,326
Fenoles totales	91,647 ± 2,189
Propiedades fisicoquímicas	
°Brix (g de sólidos solubles / 100 g de fase líquida)	7 ± 0,250
Acidez valorable (g de ácido oxálico / 100g)	1,089 ± 0,00058
pH	2,37 ± 0,010
Color	
*L	29,55 ± 2,076
*a	3,27 ± 0,459
*b	25,61 ± 1,398

4.2 Balance de Materia

En la Figura 16 se muestra el esquema de flujo de proceso y en el Cuadro 7 y 8 se presenta el resumen de los balances de masa para cada tipo de material encapsulante.

La fruta lavada, pelada y descorazonada manualmente, se llevó a la licuadora donde se realizó la operación de separación de la pulpa y fibra, se refinó la pulpa a través de una malla de 1 mm. Los rendimientos de la carambola en esta operación fueron del 83 % en pulpa. Los residuos que se generan, incluyendo las semillas, la cáscara, el corazón y parte de pulpa que se pierde durante el despulpado y el refinado fueron del 17 %.

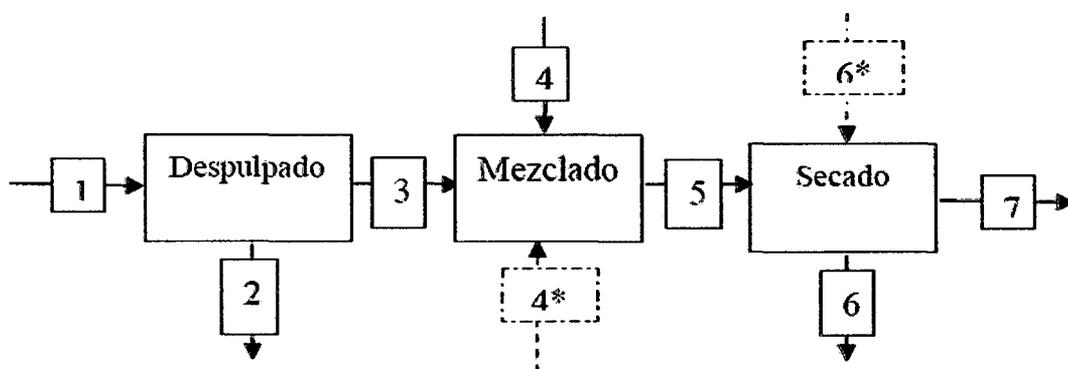


Figura 16. Esquema de operaciones para balance de masa.

Cuadro 7. Resumen del balance de masa para polvo microencapsulado con goma arábica.

Operación	Corriente	Masa	Fracción másica
Carambola	1	236,5 g	$X^1=0,75$ Agua $X^1=0,08$ Sólidos $X^1=0,17$ Semillas y otros
Residuos	2	40,24g	
Pulpa	3	196,26g	$X^3=0,91$ Agua $X^3=0,09$ Sólidos
Goma arábica	4	13,74g	
Pulpa + GA	5	210 g	$X^5=0,85$ Agua $X^5=0,08$ Sólidos $X^5=0,07$ Goma arábica
Agua removida	6	177,6g	
Polvo de Carambola	7	32,4 g	$X^7=0,030$ Agua $X^7=0,518$ Sólidos $X^7=0,452$ Goma arábica

Cuadro 8. Resumen del balance de masa para polvo microencapsulado con maltodextrina.

Operación	Corriente	Masa	Fracción másica
Carambola	1	236,5 g	$X^1=0,75$ Agua $X^1=0,08$ Sólidos $X^1=0,17$ Semillas y otros
Residuos	2	40,2 g	
Pulpa	3	196,3g	$X^3=0,91$ Agua $X^3=0,09$ Sólidos
Maltodextrina	4	13,74g	
Pulpa + MD	5	210 g	$X^5=0,85$ Agua $X^5=0,08$ Sólidos $X^5=0,07$ Maltodextrina
Agua removida	6	177,6 g	
Polvo de Carambola	7	32,4 g	$X^7=0,064$ Agua $X^7= 0,500$ Sólidos $X^7= 0,436$ Maltodextrina

4.3 Caracterización de las microcápsulas

En los Cuadros 9, 10 y 11 se presentan los resultados experimentales de las propiedades de los polvos de carambola evaluadas en este trabajo. Los datos se reportan como el promedio de los resultados de las réplicas y la desviación estándar entre ellos.

4.3.1 Humedad

La humedad final del producto depende principalmente de la porosidad del material, de la composición, de los sólidos que contenga inicialmente y de las variables de proceso (CEBALLOS, 2008).

Cuadro 9. Valores experimentales de la humedad de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.

Temperatura de congelación (°C)	Tratamientos		
	PC	PC + GA	PC + MD
-20	$9,620 \pm 0,71^A$	$2,63 \pm 0,08^B$	$6,38 \pm 0,07^C$
-30	$11,931 \pm 0,31^A$	$5,89 \pm 0,80^B$	$7,27 \pm 0,22^C$
-40	$12,767 \pm 0,71^A$	$6,55 \pm 0,62^B$	$8,67 \pm 0,29^C$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Según el análisis estadístico (Cuadro 33), dentro de los rangos experimentales, la humedad es dependiente de la temperatura de congelación y del tipo de encapsulante empleado y de la interacción entre ellos. A mayor temperatura de congelación (mayor velocidad de congelación), se obtuvieron mayores valores de humedad final en el producto. Utilizando goma arábica se obtienen microencapsulados con menor humedad.

4.3.2 Solubilidad

La solubilidad es la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en el agua.

En el cuadro 10 se presentan los valores del porcentaje de solubilidad obtenidos para las diferentes microcápsulas obtenidas por liofilización, en función de la temperatura de congelación. El ANVA (Cuadro 34) indicó, con un 95% de confianza, que esta variable no tiene una relación con la temperatura de congelación para la liofilización, además no existe diferencia significativa al utilizar cualquiera de los dos materiales encapsulantes, realizando la comparación de los promedio por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la mayor solubilidad se encontró en las microcápsulas de carambola al cual se le adicionó maltodextrina y se congeló a $(-20\text{ }^{\circ}\text{C})$ $92,77 \pm 3,82$ y el menor contenido se encontró en el tratamiento testigo que es la pulpa de carambola liofilizada a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $76,85 \pm 3,11$.

Cuadro 10. Valores experimentales de la solubilidad (%) de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.

Temperatura de congelación ($^{\circ}\text{C}$)	Tratamientos		
	PC	PC + GA	PC + MD
-20	a78,64 \pm 3,06 ^A	a90,89 \pm 2,42 ^B	a92,77 \pm 3,82 ^B
-30	a77,96 \pm 2,38 ^A	a89,83 \pm 3,23 ^B	a91,52 \pm 2,73 ^B
-40	a76,85 \pm 3,11 ^A	a88,92 \pm 3,12 ^B	a 91,17 \pm 4,51 ^B

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0,05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0,05$).

La goma arábica presenta alta solubilidad en agua (hasta 50%). Un mayor grado de superficies amorfas tienen una mayor solubilidad y velocidad de disolución (GOMBAS *et al.*, 2003).

En general, los valores hallados del porcentaje de solubilidad de los polvos deshidratados de carambola fueron comparables con los resultados obtenidos para la pulpa de mango con adición de maltodextrina (~ 90%) (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005).

4.3.3 Humectabilidad

Es la capacidad que tienen las partículas de adsorber agua sobre la superficie, dando así inicio a la reconstitución del jugo.

Para las microcápsulas entre los tipos de material de pared no se encontró diferencia significativa, realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) el menor tiempo de humectabilidad se encontró en las microcápsulas cuyo material de pared es la maltodextrina.

Poros grandes, aumentan la velocidad de humectación en la mayoría de los casos (SCHUBERT, 1993).

Cuadro 11. Valores experimentales de humectabilidad (min.) de los polvos de carambola obtenidos por liofilización.

Temperatura de congelación (°C)	Tratamientos		
	PC	PC + GA	PC + MD
-20	a1,26 ± 0,22 ^A	a0,65 ± 0,18 ^B	a0,55 ± 0,12 ^B
-30	a1,14 ± 0,24 ^A	a0,62 ± 0,23 ^B	a0,54 ± 0,06 ^B
-40	a1,32 ± 0,28 ^A	a0,64 ± 0,09 ^B	a0,57 ± 0,13 ^B

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0,05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0,05$).

4.4 Estudio de las propiedades higroscópicas de las microcápsulas de carambola

4.4.1 Efecto de la adición de carbohidratos de alto peso molecular sobre la absorción de agua de las microcápsulas de carambola

Las isotermas de adsorción de agua relacionan la cantidad de agua de un alimento con la actividad de agua (o humedad relativa atmosférica que circunda el alimento), una vez alcanzado el equilibrio a temperatura constante.

Cuadro 12. Valores de actividad de agua (a_w) y humedad de equilibrio en base seca (W_e) para las microcápsulas de pulpa de carambola a 27 ± 2 °C.

A_w	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0,070	0,175 \pm 0,002	0,019 \pm 0,005	0,091 \pm 0,004
0,113	0,198 \pm 0,002	0,025 \pm 0,005	0,092 \pm 0,003
0,246	0,205 \pm 0,005	0,060 \pm 0,004	0,117 \pm 0,004
0,331	0,222 \pm 0,002	0,064 \pm 0,003	0,136 \pm 0,003
0,446	0,248 \pm 0,006	0,069 \pm 0,005	0,159 \pm 0,005
0,547	0,305 \pm 0,006	0,144 \pm 0,004	0,169 \pm 0,003
0,655	0,326 \pm 0,005	0,172 \pm 0,002	0,242 \pm 0,003
0,754	0,530 \pm 0,003	0,312 \pm 0,006	0,313 \pm 0,004
0,853	0,540 \pm 0,005	0,355 \pm 0,004	0,481 \pm 0,003
0,907	0,729 \pm 0,005	0,399 \pm 0,007	0,629 \pm 0,004

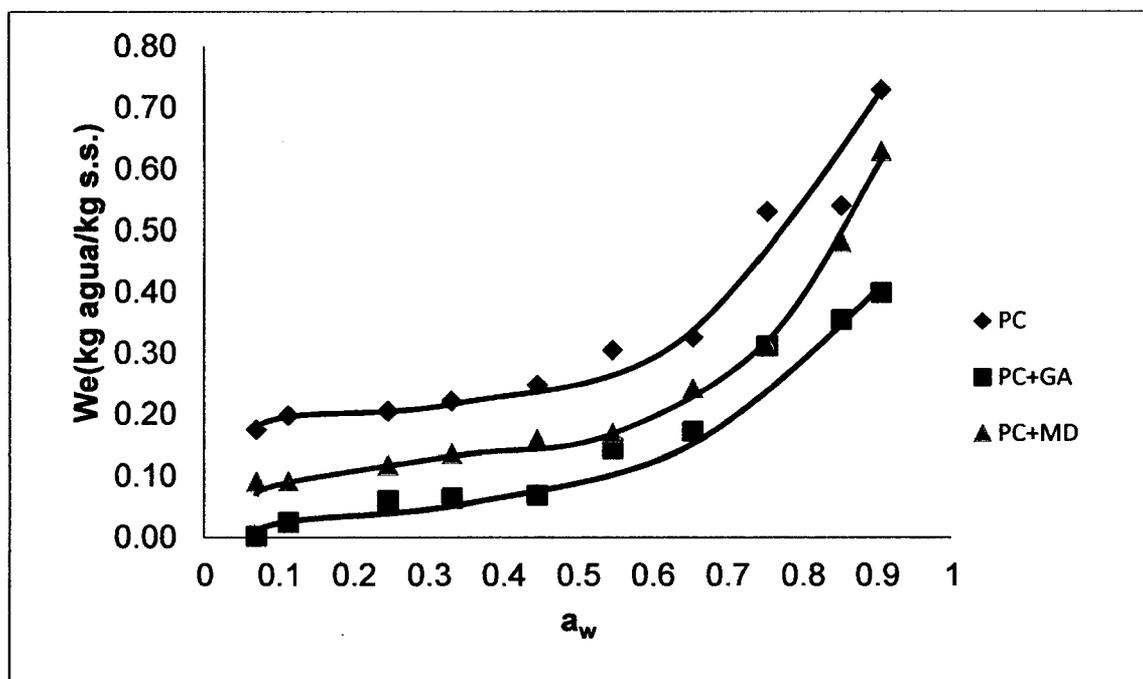


Figura 17. Isotermas de adsorción de agua de las microcápsulas de pulpa de carambola a (27 ± 2 °C).

En el Cuadro 12 y la Figura 17 se puede observar que, como era esperado, el efecto de la adición de carbohidratos de alto peso molecular sobre la menor adsorción de agua en los polvos higroscópicos de pulpa de carambola fue notable. En la isoterma de la carambola liofilizada con goma arábica se observan menores valores de humedad de equilibrio (W_e). Resultados similares son reportados por (MOSQUERA, 2010), para fresa liofilizada con maltodextrina (ED 16,5 – 19,5) y goma arábica.

Se observó también el comportamiento típico de alimentos ricos en azúcares, como las frutas, pues a bajas a_w es poca la ganancia de humedad (pendiente pequeña) y a partir de valores de a_w intermedios ($\approx 0,6$) la ganancia es mayor. Lo anterior indica que a bajas a_w la capacidad de retención de agua en las muestras es relativamente baja, estando ésta fuertemente

ligada a biopolímeros (polisacáridos y pectinas principalmente) y otros componentes del alimento (VÁZQUEZ *et al*, 1999), mientras que a valores intermedios y altos de a_w la retención de agua es mayor debido a que prevalecen las interacciones soluto – solvente asociadas a la disolución de azúcares (SARAVACOS, 1986).

La forma obtenida de las isotermas experimentales corresponden a las isotermas del tipo III, las cuales se caracterizan por una pequeña adsorción de humedad hasta la actividad de agua de 0,55 en donde se incrementan los fenómenos de solubilización y adsorción de los sólidos presentes en la matriz del producto iniciándose un incremento de la humedad (ROOS, 1995).

4.4.2 Estudios de los modelos teóricos de adsorción de agua

Con el objeto de descubrir matemáticamente las propiedades higroscópicas de las microcápsulas de carambola liofilizada se aplicaron los siguientes métodos: Smith, Oswin, Halsey, Bradley, B.E.T, Iglesia y Chirife y kuhn.

En el Cuadro 13 se presenta los valores de humedad de monocapa (W_0) obtenidos varían entre 0,0721 a 0,1702 g H₂O/g de sólidos para el modelo de GAB y de 0,0453 a 0,1369 para el modelo de BET. Este parámetro es importante para predecir las condiciones de almacenamiento y el deterioro de alimentos, visto que es un indicador de disponibilidad de los sitios polares para establecer ligaciones con el agua (CHUNG y PFOST, 1976)

Cuadro 13. Parámetros de los modelos de isotermas de adsorción de las microcápsulas de carambola liofilizada, con sus respectivos valores de coeficiente de correlación (R^2) y error relativo medio (ERM).

Modelos	Constantes del modelo.	Tratamientos		
		PC	PC+GA	PC+MD
B.E.T	C	-41,4082	10,5594	146,1511
	W_0	0,369	0,0453	0,0899
	ERM (%)	23,8589	14,0631	11,0897
	R^2	0,9953	0,9114	0,9986
G.A.B	C	0,9984	3,7795	1,0035
	K	0,6959	0,2529	0,9481
	w_0	0,1702	0,0721	0,0894
	ERM (%)	5,0478	14,539	3,463
	R^2	0,7493	0,9048	0,9407
Oswin	A	-1,3218	-2,2443	-1,8245
	B	0,1697	0,6709	0,2451
	ERM (%)	6,8707	12,8604	3,4511
	R^2	0,8723	0,9445	0,9757
Halsey	A	0,0486	0,0997	0,0359
	B	2,1610	0,8645	0,0997
	ERM (%)	9,0370	13,325	3,9066
	R^2	0,8892	0,9592	0,9819

Henderson	A	3,6680	5,5085	3,5620
	B	1,2498	1,0046	0,8406
	ERM (%)	8,3182	8,3425	2,1219
	R ²	0,9137	0,9266	0,9967
Bradley	A	0,2311	0,0658	0,1424
	B	-0,0542	-0,0463	-0,0590
	ERM (%)	2,7927	11,4834	3,8459
	R ²	0,9345	0,9209	0,9692
Smith	A	0,0912	0,0224	-0,0722
	B	0,2614	0,1682	0,2907
	ERM (%)	8,2062	10,2164	3,6347
	R ²	0,9168	0,9114	0,9944
Iglesia y Chiriffe	A	0,4059	0,2931	0,334
	B	0,1157	0,049	-0,0255
	ERM (%)	12,5850	26,4481	8,9522
	R ²	0,8221	0,9075	0,9273
Kuhn	A	-0,0680	-0,0614	-0,0664
	B	0,1730	0,0158	0,0705
	ERM (%)	8,4258	32,1170	4,4440
	R ²	0,8791	0,9133	0,9953

Los valores más bajos de humedad de equilibrio indican que los sitios activos en la monocapa son menores o que la cantidad de agua ligada presente en el polvo de guanábana con GA es menor, elemento que repercute directamente en la estabilidad del producto durante el almacenamiento.

4.5 Estabilidad de las microcápsulas

4.5.1 Compuestos carotenoides

4.5.1.1 Carotenoides superficiales

Los resultados referentes al contenido superficial de carotenoides se presentan en el cuadro 14 y 15. Ahí se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento. Realizando la comparación de promedios se determinó que la mayor retención fue en las microcápsulas preparadas con maltodextrina $14,24 \pm 3,97$ %. Así mismo se puede apreciar que desde el momento que inicia el tiempo de almacenamiento el contenido de carotenoides superficiales va disminuyendo.

Cuadro 14. Estabilidad de carotenoides superficiales (mg/100g) de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos	
	PC+GA	PC+MD
0	$8,92 \pm 0,52$	$8,69 \pm 0,24$
15	$6,16 \pm 0,56$	$7,68 \pm 0,35$
30	$3,17 \pm 0,36$	$3,95 \pm 0,21$
45	$1,93 \pm 0,28$	$1,56 \pm 0,29$
60	$0,46 \pm 0,21$	$1,24 \pm 0,36$

Cuadro 15. Porcentaje de Retención de carotenoides superficiales de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos	
	PC+GA	PC+MD
0	^a 100,00 ± 0,00A	^a 100,00 ± 0,00A
15	^b 69,39 ± 9,28A	^a 88,47 ± 6,22B
30	^c 35,76 ± 5,80A	^b 45,52 ± 2,54A
45	^d 21,68 ± 3,25A	^c 18,06 ± 3,73A
60	^e 5,20 ± 2,55A	^d 14,24 ± 3,97B

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

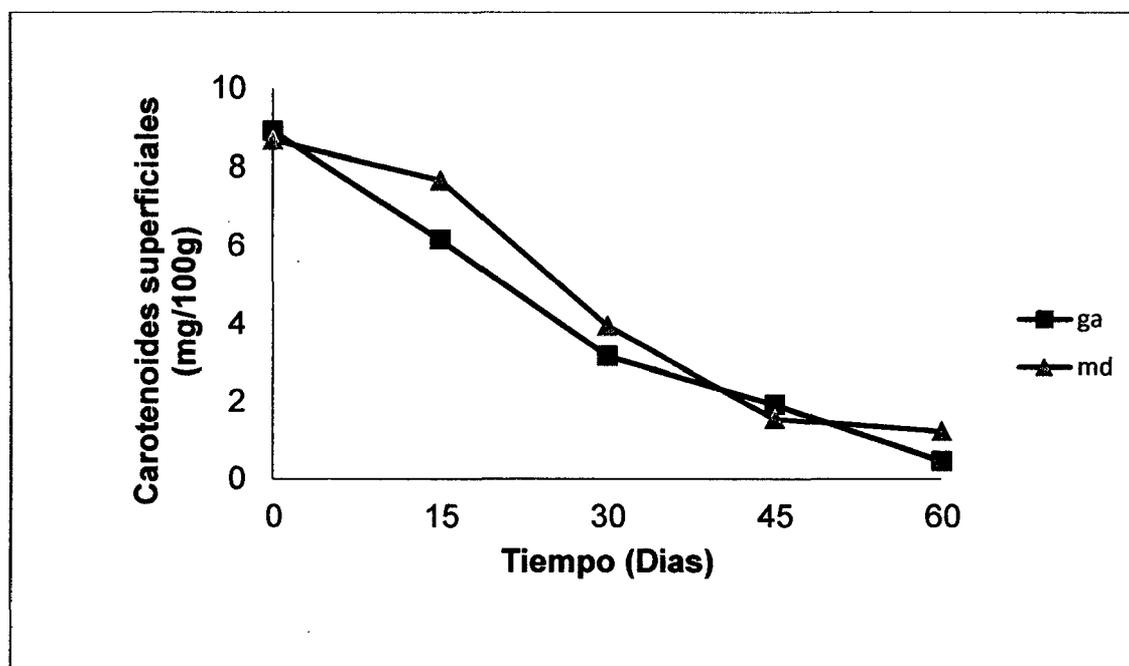


Figura 18. Estabilidad de carotenoides superficiales de microcápsulas de carambola, almacenados a 27 ± 2 °C.

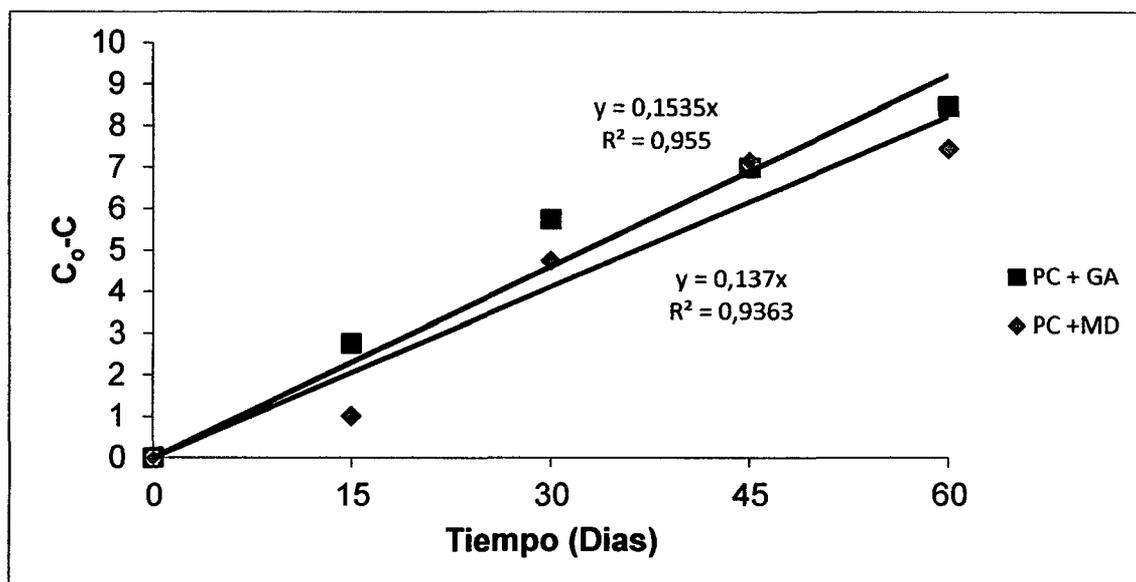


Figura 19. Cinética de degradación de orden cero para carotenoides superficiales de carambola liofilizadas almacenadas a 27 ± 2 °C.

En el Cuadro 16 se presenta los valores de los parámetros cinéticos y estadísticos encontrados en el estudio de la estabilidad de carotenoides libres (no encapsulado), a través de un modelo cinético de orden cero. En un estudio hecho por HENRY *et al.* (1998) en el cual los carotenoides *trans*-caroteno, *9-cis*-caroteno, licopeno y luteína fueron estudiados en cuanto a la degradación oxidativa y térmica en un sistema modelo oleoso, la cinética de degradación de los carotenoides obedecen a un modelo de primer orden.

Cuadro 16. Resultados de regresión lineal para la degradación de carotenoides superficiales utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.

Constantes del modelo	Tratamientos	
	PC + GA	PC + MD
K (mg/100g-día)	0,1535	0,137
$t_{1/2}$ (Días)	29	32
R^2	0,955	0,9363

Hemos encontrado otros documentos que incluyen la vida media del β -caroteno, pero en diferentes condiciones experimentales. WARTHESEN y WAGNER (1995) encontraron una vida media de 2.4 días, cuando el β -caroteno se almacenó a 21 °C en condiciones aerobias.

FERREIRA (2001) estudió la cinética de degradación del β -caroteno, encontró pérdidas del 71% con almidón de maíz y un 92% con fécula de patata después de 20 días en los experimentos realizados en presencia de la luz como un sistema modelo. SHU *et al.* (2006) encontraron que la vida media es de 20 días para el licopeno libre almacenado a 0 °C.

4.5.1.2 Carotenoides encapsulados

Los resultados referentes al contenido de carotenoides encapsulados en las microcápsulas de carambola se presentan en los cuadros cuadro 17 ,18 y 19.

Cuadro 17. Estabilidad de carotenoides encapsulados (mg/100g) en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos	
	PC + GA	PC+MD
0	63,75 \pm 2,49	63,26 \pm 1,94
15	62,75 \pm 1,36	60,49 \pm 2,08
30	62,54 \pm 3,19	60,13 \pm 2,16
45	60,51 \pm 1,90	60,04 \pm 1,47
60	60,45 \pm 1,16	58,45 \pm 2,54

En el Cuadro 18 se puede apreciar que no hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, se puede apreciar que no hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas para los diferentes días de almacenamiento.

Cuadro 18. Porcentaje de retención de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenado a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos	
	PC+GA	PC+MD
0	$100 \pm 0,00^A$	$100 \pm 0,00^A$
15	$98,59 \pm 6,09^A$	$95,73 \pm 5,48^A$
30	$98,29 \pm 8,20^A$	$95,19 \pm 6,34^A$
45	$95,04 \pm 5,68^A$	$94,99 \pm 4,29^A$
60	$94,94 \pm 4,90^A$	$92,39 \pm 2,76^A$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

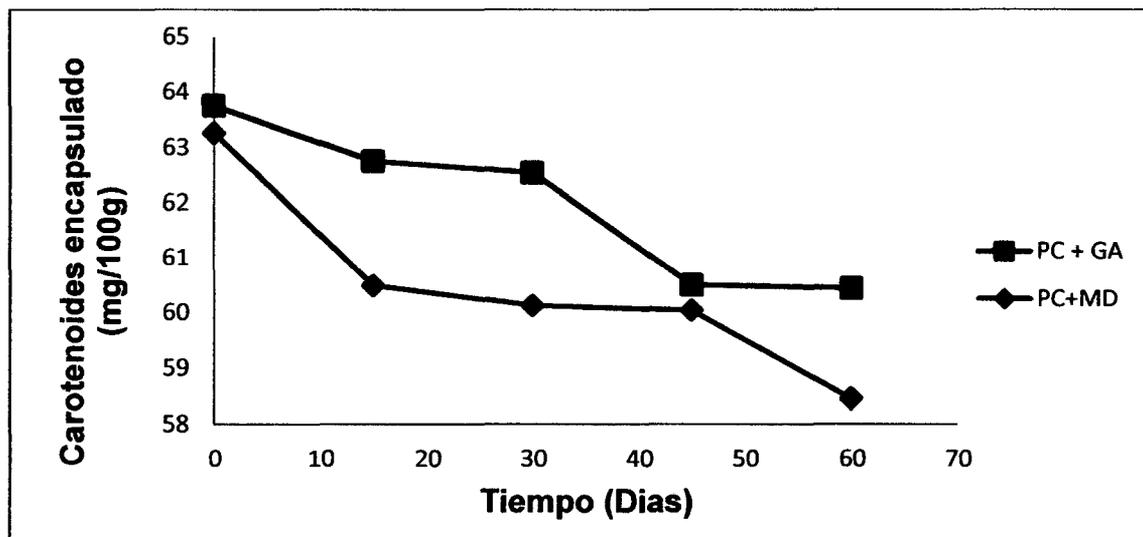


Figura 20. Estabilidad de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

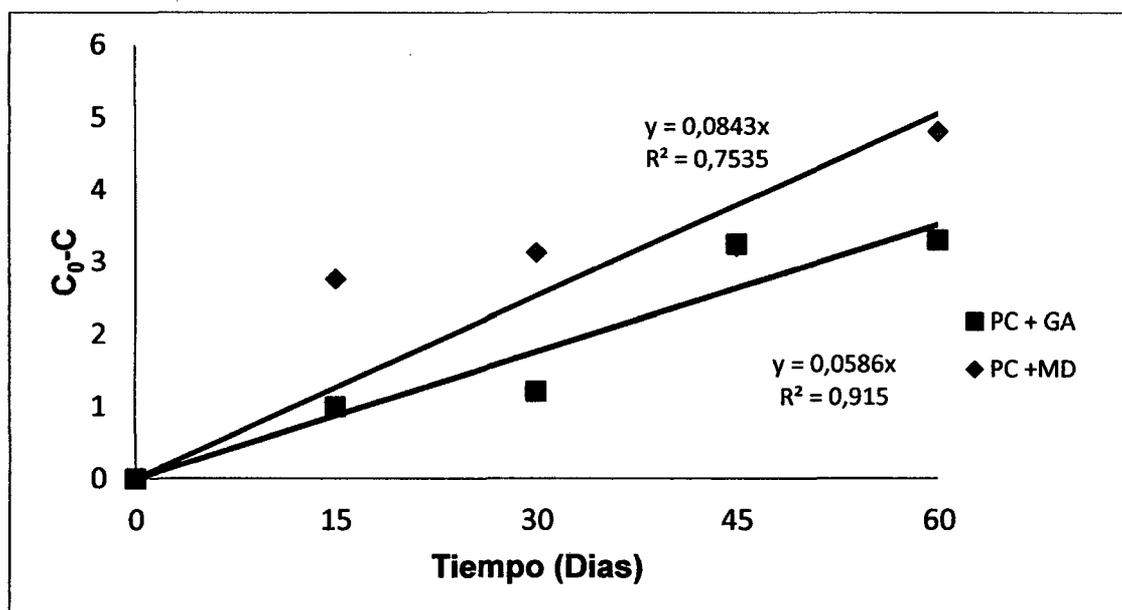


Figura 21. Cinéticas de degradación de orden cero para carotenoides encapsulados de carambola liofilizadas almacenadas a $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

En el Cuadro 19 se presenta los valores de los parámetros cinéticos y estadísticos encontrados en el estudio de la estabilidad de carotenoides encapsulados, a través de un modelo cinético de orden cero.

Según BADUI (2006), debido a su estructura insaturada, los carotenoides están sujetos a numerosos cambios químicos inducidos por las diferentes condiciones de procesamiento. La oxidación y la subsiguiente desintegración de los carotenoides se inician en un extremo de la molécula; este no es un proceso al azar ya que siempre ocurre en el extremo abierto, antes que en el anillo terminal de ionona.

Según BADUI (2006), durante el proceso de secado, al reducir la actividad de agua, se concentran los antioxidantes y se protegen los carotenoides.

Cuadro 19. Resultados de regresión lineal para la degradación de carotenoides encapsulados utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

Constantes del Modelo	Tratamientos	
	PC + GA	PC + MD
K (mg/100g-día)	0,0586	0,0843
$t_{1/2}$ (Días)	544	375
R^2	0,915	0,7535

WAGNER y WARTHESEN (1995) realizaron estudios con almidón hidrolizado de diferentes grados de DE (4, 15, 25 y 36.5) para encapsular carotenoides a través de atomización y encontraron una estabilidad superior a 90 % para el β -caroteno almacenados a 37°C por 7 semanas, en condiciones anaerobias, al utilizar almidón con DE 36,5 como agente encapsulante. SUTTER *et al.* (2006) también estudiaron la estabilidad del β -caroteno y reportaron que a 25°C , este compuesto microencapsulado en una matriz de manitol-fosfato por la técnica de liofilización, presentando pérdidas de 70 % en ambientes con 11 % de humedad relativa y pérdida casi total en ambientes con 44 % de humedad a luego de 63 días.

DESOBRY *et al.* (1999) utilizaron matrices de maltodextrina con DE 25 para encapsular β -caroteno, y estudiaron la estabilidad a temperaturas de 25, 35 y 45°C . A 25°C el sistema con 100 % maltodextrina DE 25 presento una vida media de 6 semanas. El mejor resultado fue encontrado para el sistema con 82 % de maltodextrina DE 4 y 18

% de glucosa, visto que la vida media fue de 17 semanas. En este estudio, los autores concluyeron que la adición de mono y disacáridos a la maltodextrina reduce el tamaño de los poros de la red de maltodextrina, limitando la difusión del oxígeno y protegiendo el β -caroteno.

DESOBRY *et al.* (1997) también encapsularon β -caroteno en maltodextrina DE 25 a través de liofilización, encontró una vida media de 6 semanas cuando es almacenado a 25°C en un ambiente con una humedad relativa de 32 %.

En un estudio de la estabilidad de licopeno microencapsulado por *spray drying*, utilizando goma arábica como material de pared, MATIOLI *et al.* (2002) constataron que al día 18, hubo una pérdida de 50% de este carotenoide almacenado a temperatura ambiente.

SHU *et al.* (2006) estudiaron la estabilidad de microcápsulas de licopeno en gelatina y sacarosa por *spray drying*, almacenadas a 0 °C en bolsas plásticas transparentes y constataron que hubo una pérdida de apenas cerca de 15 % después de 28 días.

WAGNER y WARTHESEN (1995) encontraron pérdidas del 90% para el β -caroteno encapsulado con almidón hidrolizado DE 4, en presencia de luz, y 70 % utilizando almidón DE 36,5. Los autores también observaron el efecto de la luz, verificaron que el almidón con mayor grado de hidrólisis brinda mayor estabilidad al núcleo.

PRENTICE *et al.* (1999) estudiaron la estabilidad a la luz del extracto de bixina microencapsulado en maltodextrina en relación al extracto base. La pérdida de bixina fue casi la mitad del extracto base, en el primer día de exposición a la luz, y de 2 días en el extracto microencapsulado. Luego de 30 días la bixina sobrante en el extracto microencapsulado fue de 17,87% y en el extracto base fue de apenas 1,69%. Para el caso de muestras colocadas en ausencia de luz, la cantidad de bixina remanente luego de 30 días fue de 96 % en el extracto microencapsulado.

MATIOLI *et al.* (2002) encapsularon licopeno en goma arábica y maltodextrina a través de liofilización y encontraron un tiempo de vida media de 13 días en oscuro y 10 días en presencia de luz, a temperatura ambiente.

MATIOLI *et al.* (2003) encapsularon licopeno en γ -ciclodextrina, el pigmento se mantiene estable durante 40 días, tanto en presencia como en ausencia de luz, en ambientes con temperaturas variando de 25 a 35 °C.

En el Cuadro 20 se presenta los resultados referentes a la estabilidad de carotenoides obtenidos por otros autores al encapsular carotenoides en diferentes materiales de pared y técnicas encapsulantes.

Cuadro 20. Cuadro comparativo referente a la estabilidad de carotenoides encapsulados en diferentes materiales de pared.

Autor	Carotenoide encapsulado	Material de pared	Técnica	Condición de almacenamiento	Pérdidas durante el almacenamiento
CORRALO (2011)	β -caroteno	Almidón de pinhão DE 12	Liofilización	Luz-4 semanas (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
CORRALO (2011)	β -caroteno β -caroteno	Almidón de pinhão DE 12	Liofilización	oscuro -43 días (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
CORRALO (2011)	β -caroteno	Almidón de pinhão DE 12	Liofilización	10°C - 57 días (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
CORRALO (2011)	β -caroteno	Almidón de pinhão DE 12	Liofilización	30°C - 38 días (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
SUTTER <i>et al</i> (2006)	β -caroteno	Matriz manitol fosfato	Liofilización	25°C - 63 días (44% de HR)	Pérdida casi total

MATIOLY <i>et al.</i> (2003)	Licopeno	Goma arábica y maltodextrina	Liofilización	Luz-10 días (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
MATIOLY <i>et al.</i> (2003)	Licopeno	Goma arábica	Atomización	25°C - 18 días (condiciones aerobias)	Pérdida de 50 %
DESOBRY <i>et al.</i> (1999)	β -caroteno	Maltodextrina DE 25	Liofilización	25°C – 6 semanas (condiciones aerobias)	Pérdida de 50%

4.5.2 Vitamina C

Los resultados referidos a la estabilidad de la vitamina C en las microcápsulas de carambola se muestran en el Cuadro 21 y 22.

En ella se puede apreciar que hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas a partir de los 15 días de almacenamiento, hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento solo a los 15 días de almacenamiento.

Cuadro 21. Estabilidad de vitamina C (mg/100g) encapsulada en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	258,409 ± 3,909	165,320 ± 2,257	169,26 ± 3,076
15	241,675 ± 3,719	164,335 ± 4,443	162,857 ± 2,956
30	219,507 ± 4,705	159,409 ± 3,719	154,483 ± 2,257
45	199,313 ± 5,972	153,990 ± 1,478	151,527 ± 4,515
60	134,286 ± 5,595	146,601 ± 5,911	148,571 ± 6,152

Cuadro 22. Porcentaje de retención de vitamina C encapsulada en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$100 \pm 0,00^A$	$100 \pm 0,00^A$	$100 \pm 0,00^A$
15	$93,37 \pm 2,85^A$	$98,21 \pm 0,02^B$	$96,22 \pm 0,49^{AB}$
30	$84,81 \pm 3,10^A$	$94,63 \pm 0,97^B$	$91,31 \pm 3,01^B$
45	$75,87 \pm 3,46^A$	$92,85 \pm 0,10^B$	$89,54 \pm 3,06^B$
60	$57,60 \pm 3,02^A$	$87,80 \pm 3,04^B$	$87,79 \pm 3,87^B$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

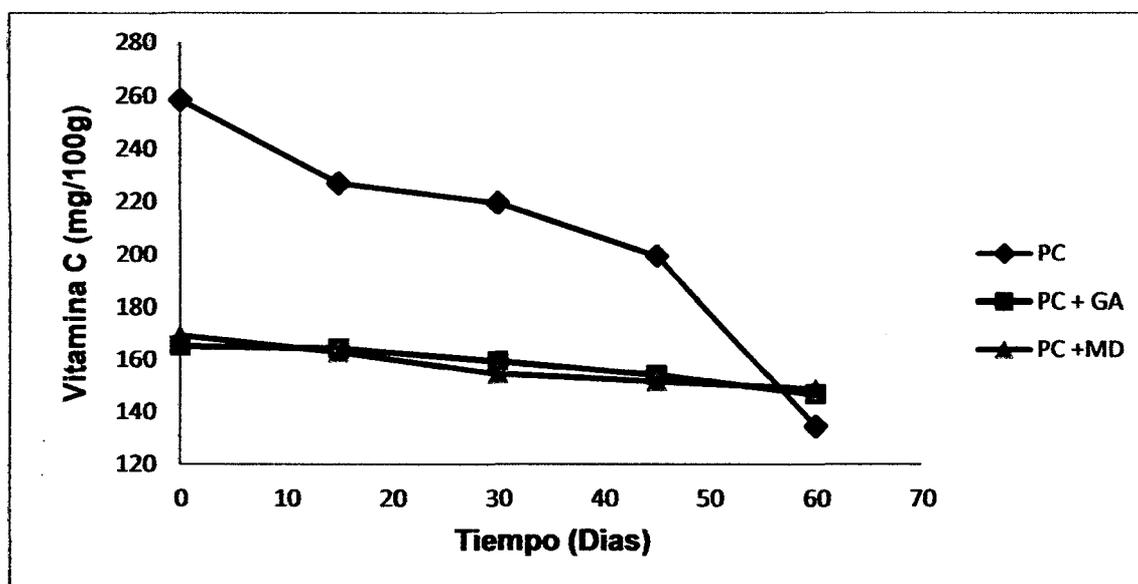


Figura 22. Estabilidad de la vitamina C encapsulada en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

La pérdida de vitamina C en las microcápsulas de carambola siguió un modelo cinético de orden cero, en la Figura 23 se representa la degradación de la vitamina C en las microcápsulas de carambola con diferentes materiales de pared. Un coeficiente de correlación $>0,9$ en todos los casos, confirma que la degradación de la vitamina C siguió una cinética de orden cero.

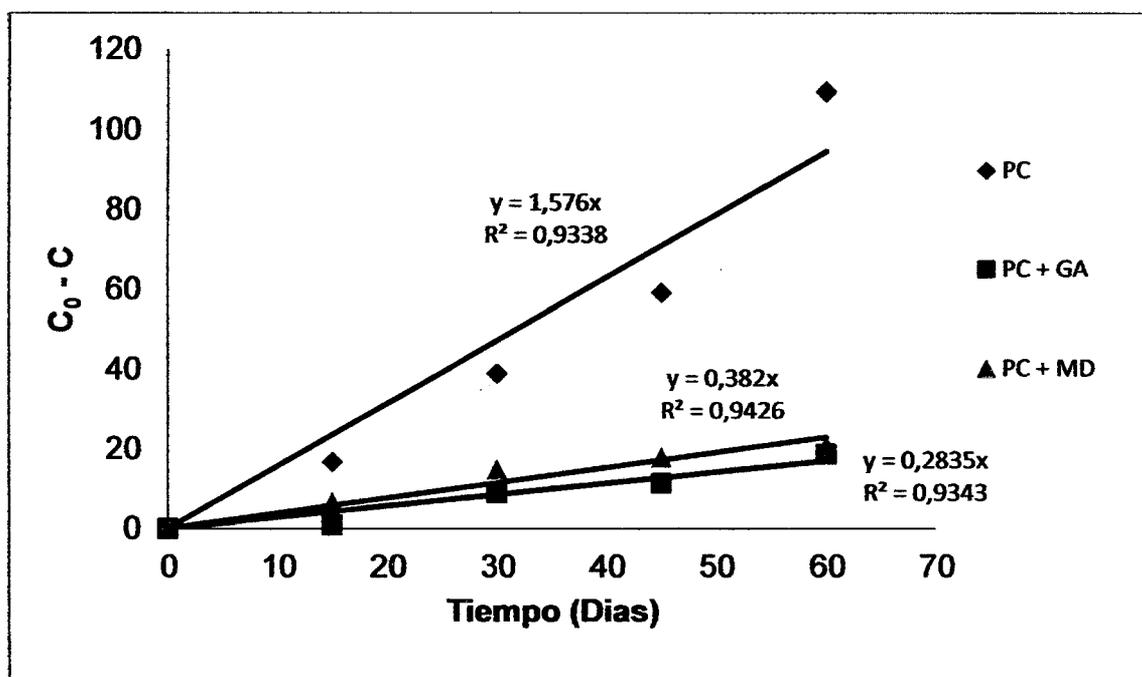


Figura 23. Cinéticas de degradación de orden cero para vitamina C de carambola liofilizada almacenada a 27 ± 2 °C.

En el Cuadro 23 se muestra la constante de velocidad para una cinética de orden cero y la vida media de la vitamina C en las microcápsulas de carambola con diferentes materiales de pared. El tiempo requerido para que se la vitamina C se degrade al 50 % de su contenido inicial, sería:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{[\text{vitamina C}]_0}{2k}$$

Cuadro 23. Resultados de regresión lineal para la degradación de la vitamina C utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.

Constantes del modelo	Tratamientos		
	PC	PC + GA	PC + MD
K (mg/100g-día)	1,576	0,2835	0,382
t _½ (Días)	82	292	222
R ²	0,9338	0,9343	0,9426

Según BADUI (2006), debido a su estructura química, de todas las vitaminas la C es la más inestable y la más reactiva, se oxida fácilmente mediante una reacción reversible, a ácido deshidroascórbico, estableciendo un sistema de oxidación – reducción; a su vez, este ácido se sigue oxidando y se transforma en ácido 2,3-dicetogulónico que no tiene actividad biológica, que a su vez se cicla y produce anhídrido carbónico y furfural que se polimeriza y melanoidinas de manera semejante a las del oscurecimiento no enzimático.

Por otro lado PULIDO y BERISTAIN (2009) encapsularon ácido ascórbico en quitosano, mediante aspersion estudiaron la cinética de deterioro de ácido ascórbico en el almacenamiento de microcápsulas de ácido ascórbico utilizando quitosano como material de pared y obtuvieron cinéticas de degradación de orden cero es decir la degradación del ácido ascórbico no depende de la concentración inicial de ácido ascórbico. Obtuvieron microcápsulas que tuvieron una retención del 94 % de ácido ascórbico a los 60 días de almacenamiento.

TRINDADE y GROSSO (1999) microencapsularon ácido ascórbico con almidón de arroz y goma arábiga a través de atomización y encontraron una retención del 100% para el ácido ascórbico microencapsulado en goma arábiga y para el almidón de arroz la retención fue del 91,6 % a los tres meses. Ambos fueron almacenados a 21 °C y una HR de 60 – 65 %.

FINOTELLI y ROCHA (2005) microencapsularon ácido ascórbico (10 y 20%) con maltodextrina y Capsul (almidón modificado químicamente por la incorporación del componente lipofílico) por aspersion. Encontraron para el ácido ascórbico (10 %) el 85 % de retención en el microencapsulado en maltodextrina y para el Capsul la retención fue del 81 %. Para el ácido ascórbico (20%) la estabilidad fue del 88% de retención en ambos. Todos fueron almacenados a temperatura ambiente durante dos meses.

4.5.3 Polifenoles totales

Los resultados referidos a la estabilidad de polifenoles en las microcápsulas de carambola se presentan en el Cuadro 24, 25 y 26 y en las Figuras 24 y 25.

En ella se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas solo a los 15 días de almacenamiento.

Así mismo se puede apreciar que desde el momento que inicia el tiempo de almacenamiento el contenido de polifenoles totales va disminuyendo.

Cuadro 24. Estabilidad de polifenoles encapsulados (mg EAG/100g) en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	903,40 ± 25,64	536,72 ± 17,69	554,92 ± 13,27
15	844,95 ± 18,42	531,21 ± 14,07	495,92 ± 17,42
30	685,60 ± 17,22	472,76 ± 10,85	485,99 ± 11,93
45	406,04 ± 15,89	459,53 ± 16,79	477,72 ± 13,54
60	215,26 ± 13,26	436,921 ± 11,01	447,40 ± 10,76

Cuadro 25. Porcentaje de retención de polifenoles encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización almacenados a 27 ± 2 °C.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	^a 100 ± 0,00 ^A	^a 100 ± 0,00 ^A	^a 100 ± 0,00 ^A
15	^b 93,46 ± 1,66 ^{AB}	^a 98,00 ± 2,68 ^A	^b 90,93 ± 3,25 ^B
30	^c 76,59 ± 1,93 ^A	^b 86,85 ± 2,63 ^B	^{bc} 88,69 ± 0,07 ^B
45	^d 48,35 ± 1,09 ^A	^{bc} 85,01 ± 1,50 ^B	^{cd} 85,42 ± 2,67 ^B
60	^e 24,13 ± 1,73 ^A	^c 80,28 ± 3,03 ^B	^e 81,18 ± 0,73 ^B

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

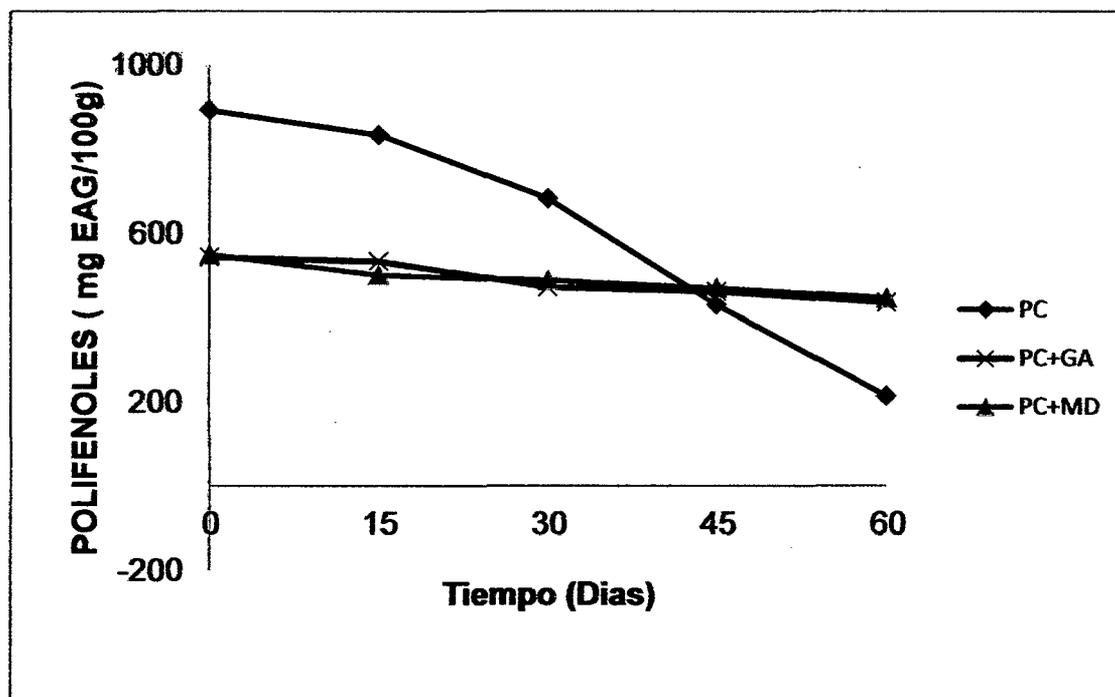


Figura 24. Estabilidad de polifenoles encapsulados en diferentes materiales de pared por liofilización, almacenados a 27 ± 2 °C.

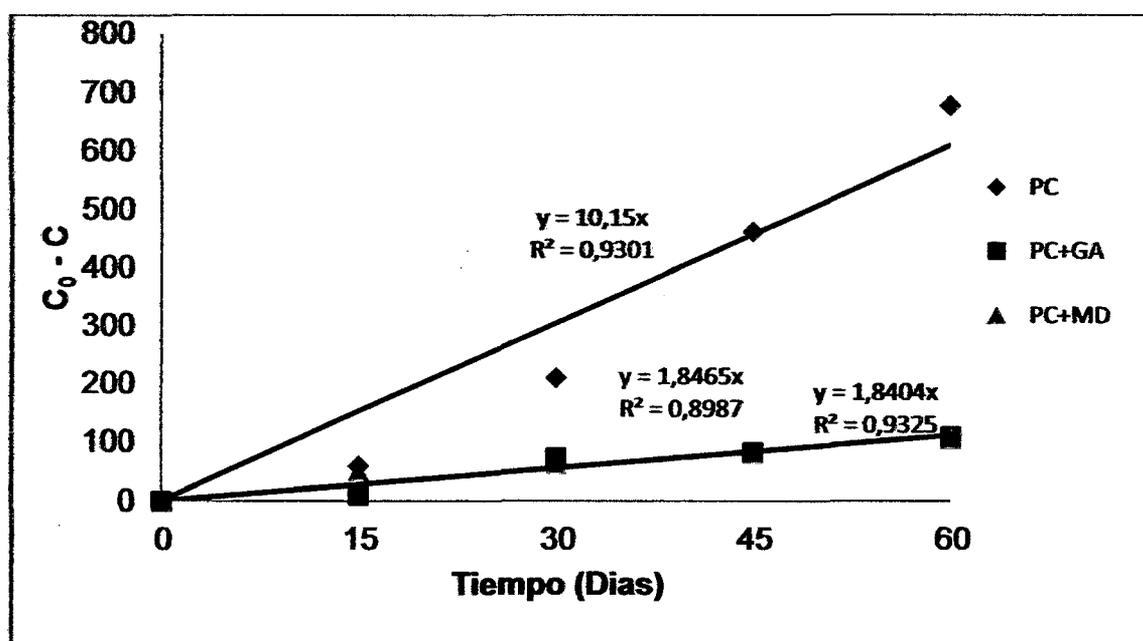


Figura 25. Cinéticas de degradación de orden cero para polifenoles de carambola liofilizadas almacenadas a 27 ± 2 °C.

En el caso de la degradación de polifenoles microencapsulado con diferentes materiales de pared, al tratarse de una reacción de orden cero la vida media depende directamente de la concentración inicial de polifenoles e inversamente de la constante de velocidad de reacción (Brown *et al.*, 2004).

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{[\text{polifenoles}]_0}{2k}$$

Cuadro 26. Resultados de regresión lineal para la degradación de polifenoles utilizando un modelo cinético de orden cero, almacenados a 27 ± 2 °C.

Constantes del modelo	Tratamientos		
	PC	PC + GA	PC + MD
K (mg/100g-día)	10,15	1,8404	1,8465
$t_{\frac{1}{2}}$ (Días)	45	146	150
R^2	0,9301	0,9325	0,8987

ERSUS y YURDAJEL (1997) microencapsularon antocianinas de un extracto de zanahoria negra en maltodextrina DE (10, 20-23, 28-31) a través de atomización, encontraron una vida media de 10, 10, 9 meses para cada tipo de maltodextrina, cuando es almacenado a 25 °C y 28, 28, 25 meses cuando es almacenado a 4 °C.

4.6 Análisis de colorimetría

A través de la colorimetría fue posible ver las alteraciones cualitativas ocurridas por los pigmentos microencapsulados en los diferentes materiales de pared estudiados, el β -caroteno tiene un color amarillo oscuro.

De manera general, los resultados de los análisis estadísticos revelaron que tanto los parámetros L^* , a^* y b^* se ven afectados ($p < 0,05$) por el tipo de material de pared y por el tiempo de almacenamiento.

4.6.1 Parámetro colorimétrico L^*

En el Cuadro 27 y la Figura 26 se muestra el comportamiento del parámetro colorimétrico L^* (luminosidad) en función al tiempo, en ella se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento.

Se determino que las muestras se fueron tornándose más oscuras. Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la mayor variación se encontró a los 60 días en las microcápsulas con maltodextrina $59,30 \pm 3,62$.

En los experimentos las muestras se fueron tornándose más oscuras, visto que esa componente cromática es la medida del color oscuro-blanco, las muestras que presentan mayor disminución del valor L^* son las muestras que no contienen un encapsulante, las muestras que presentan menor disminución de L^* corresponden a las capsulas preparadas con goma arábica.

Cuadro 27. Comportamiento del parámetro colorimétrico L^* (luminosidad) en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$71,77 \pm 0,10^A$	$85,68 \pm 0,31^B$	$86,67 \pm 0,18^C$
15	$70,23 \pm 0,55^A$	$79,33 \pm 1,15^B$	$77,36 \pm 1,13^B$
30	$45,18 \pm 1,27^A$	$76,78 \pm 0,52^B$	$73,69 \pm 1,83^B$
45	$42,33 \pm 0,21^A$	$67,01 \pm 0,42^B$	$67,04 \pm 4,37^B$
60	$35,67 \pm 0,53^A$	$66,09 \pm 1,80^B$	$59,30 \pm 3,62^C$

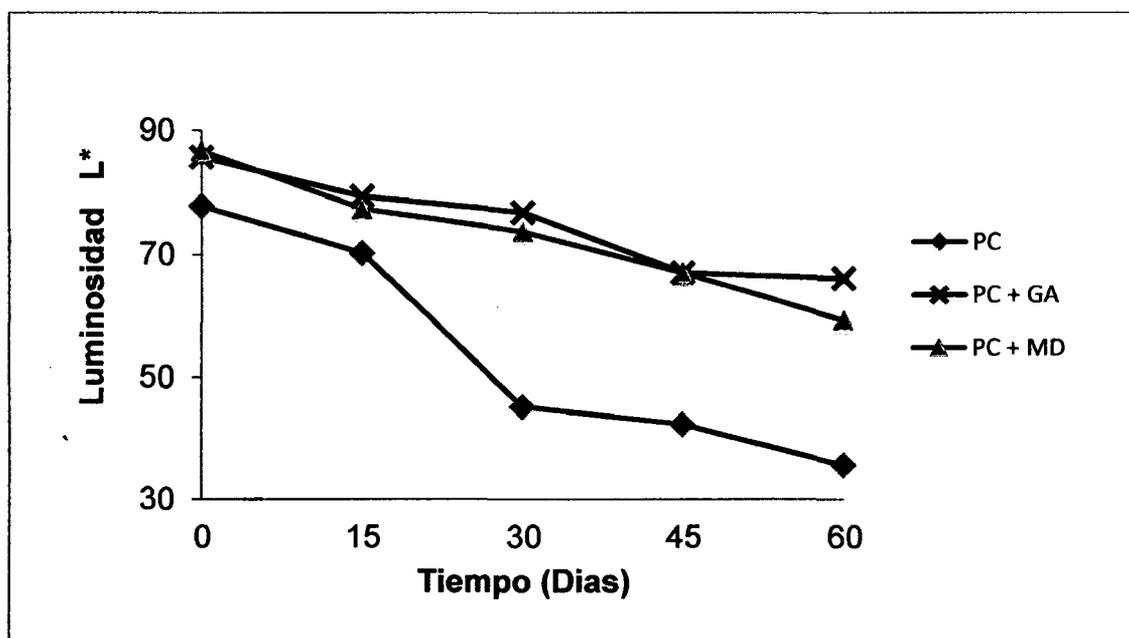


Figura 26. Variaciones ocurridas en el parámetro de color L^* en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a $27 \pm 2^\circ\text{C}$.

4.6.2 Parámetro colorimétrico a^*

En el Cuadro 28 y la Figura 27 se muestra el comportamiento del parámetro colorimétrico a^* (verde - rojo) en función al tiempo, en ella se puede observar que hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento.

Las determinaciones para el parámetro (a^*) indican que todas las microcápsulas con el transcurso del tiempo tiene una inclinación hacia la región roja.

Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la mayor variación se encontró a los 60 días en las microcápsulas con maltodextrina $59,30 \pm 3,62$.

Cuadro 28. Comportamiento del parámetro colorimétrico a^* (verde - rojo) en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$a-1,73 \pm 0,12^A$	$a0,33 \pm 0,04^B$	$a-4,15 \pm 0,13^C$
15	$b0,43 \pm 0,04^A$	$ab0,58 \pm 0,12^B$	$b-0,33 \pm 0,05^B$
30	$c10,17 \pm 0,15^A$	$b0,69 \pm 0,05^B$	$c0,35 \pm 0,04^C$
45	$d11,22 \pm 0,18^A$	$c1,60 \pm 0,10^B$	$c0,45 \pm 0,11^C$
60	$e13,48 \pm 0,31^A$	$d4,45 \pm 0,23^B$	$d0,89 \pm 0,13^C$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

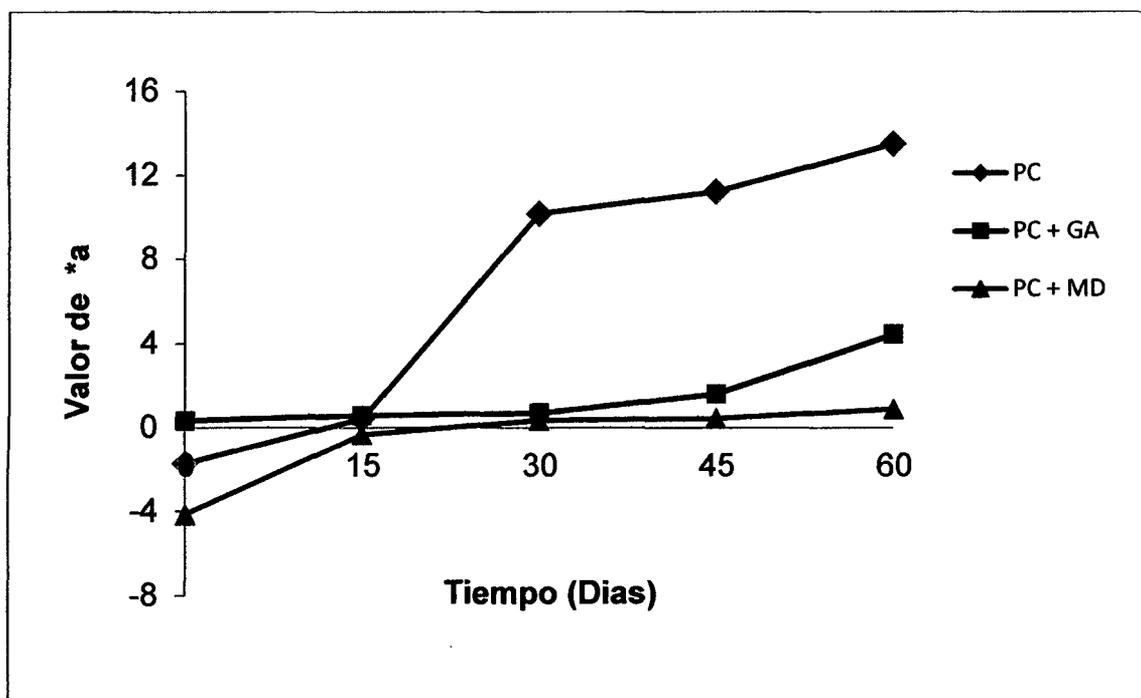


Figura 27. Variaciones ocurridas en el parámetro de color a^* en función al tiempo, para las microcápsulas almacenadas a 27 ± 2 °C.

4.6.3 Parámetro colorimétrico b^* .

En el Cuadro 29 y la Figura 28 se muestra el comportamiento del parámetro colorimétrico a^* (azul - amarillo) en función al tiempo, En ella se puede apreciar que hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento. Las determinaciones para el parámetro (b^*) indican que todas las microcápsulas con el transcurso del tiempo tiene una inclinación hacia la región amarilla. Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la mayor variación se encontró a los 60 días en las microcápsulas con maltodextrina $31,44 \pm 0,67$

Cuadro 29. Comportamiento del parámetro colorimétrico b^* (azul - amarillo) en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$42,68 \pm 0,24^A$	$41,65 \pm 0,53^B$	$42,41 \pm 0,14^{BC}$
15	$39,00 \pm 0,75^A$	$40,28 \pm 0,15^A$	$36,93 \pm 0,45^B$
30	$35,39 \pm 0,2^A$	$37,76 \pm 0,10^B$	$35,11 \pm 0,12^A$
45	$35,67 \pm 0,53^A$	$35,41 \pm 0,21^A$	$34,92 \pm 0,04^A$
60	$33,52 \pm 0,37^A$	$35,30 \pm 0,25^B$	$31,44 \pm 0,67^C$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

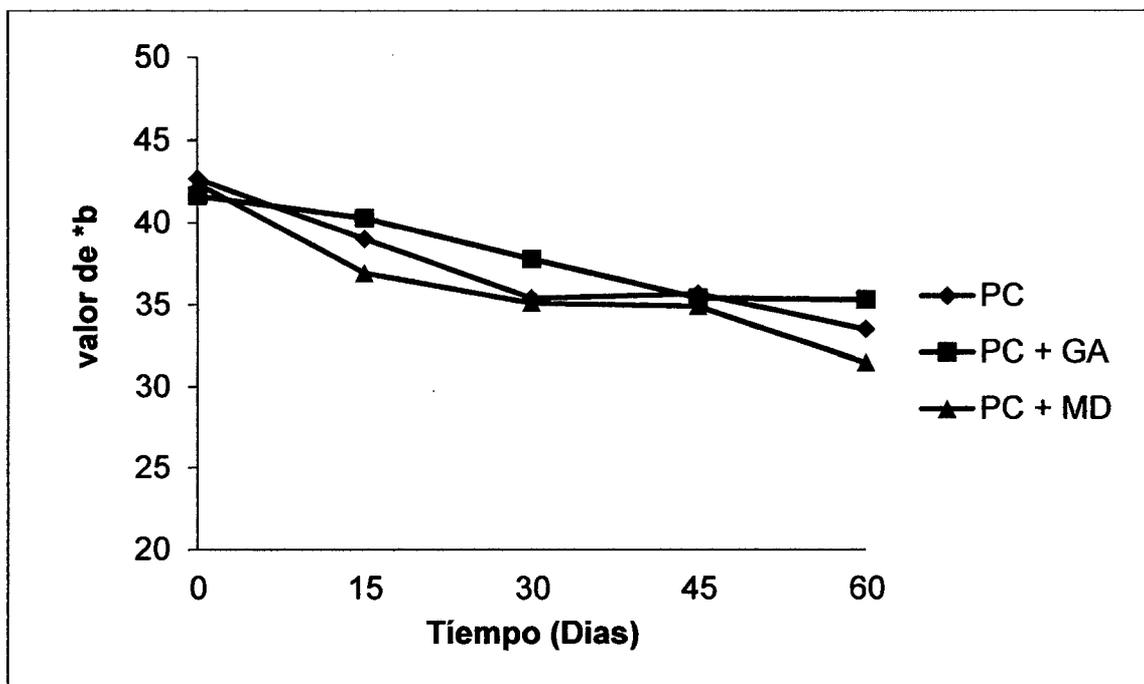


Figura 28. Variaciones ocurridas en el parámetro de color b^* en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas en a 27 ± 2 °C.

Durante el almacenamiento ocurren variaciones de los valores de b^* que pueden estar relacionadas con las hipótesis de isomerización y reisomerización de carotenoides, visto que las reacciones de auto-oxidación y reversión son competitivas y la forma *trans* se degrada y se forma *cis* (NACHTIGAL *et al.*, 2009).

4.6.4 Croma

El croma es igual al módulo del vector que une el punto representativo del color, proyectado sobre el plano a^* , b^* con el centro de coordenadas, o sea: la distancia entre el centro y el punto proyectado sobre el plano de cromaticidad.

En el Cuadro 30 y la Figura 29 se muestra el comportamiento de la cromaticidad en función al tiempo, en ella se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento. Las determinaciones para el croma indican que todas las microcápsulas con el transcurso del tiempo tiene un color amarillo puro. Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la mayor cromaticidad a los 60 días se encontró en las microcápsulas con goma arábica $35,58 \pm 0,26$.

Cuadro 30. Comportamiento de la cromaticidad en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$42,72 \pm 0,24^A$	$41,65 \pm 0,53^B$	$42,62 \pm 0,11^A$
15	$39,00 \pm 0,75^A$	$40,28 \pm 0,15^A$	$36,93 \pm 0,80^B$
30	$36,82 \pm 0,21^A$	$37,77 \pm 0,10^B$	$35,11 \pm 0,40^C$
45	$37,39 \pm 0,46^A$	$35,45 \pm 0,21^B$	$34,92 \pm 0,03^B$
60	$36,13 \pm 0,46^A$	$35,58 \pm 0,26^A$	$31,46 \pm 0,97^B$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

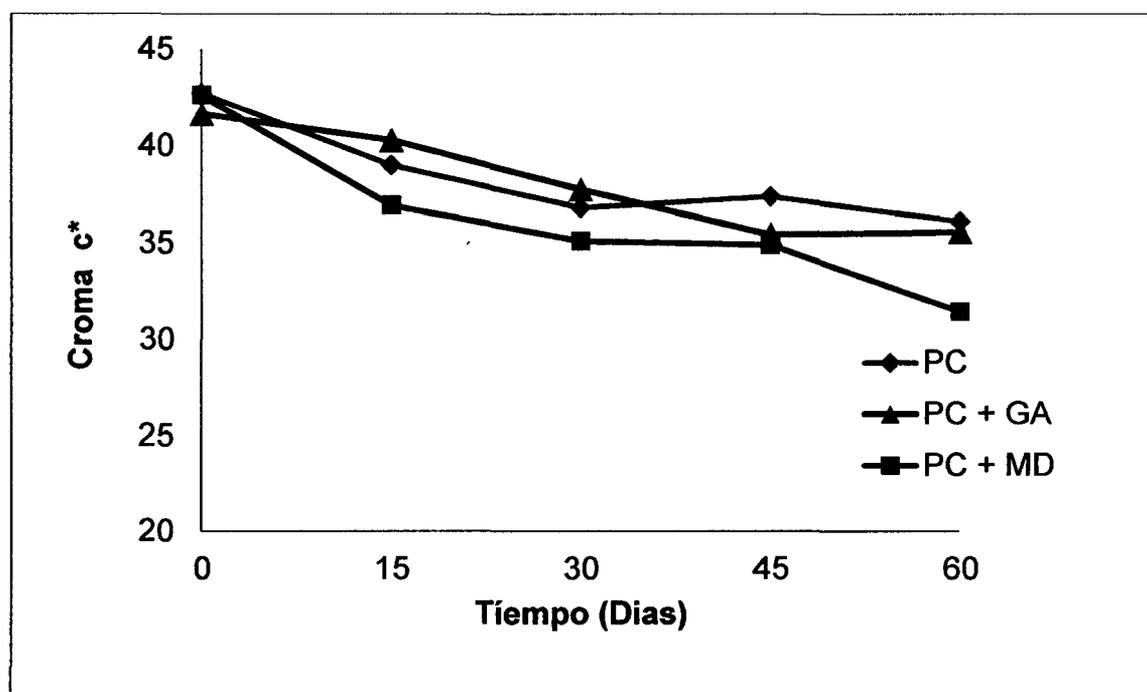


Figura 29. Variaciones ocurridas en la cromaticidad en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.

4.6.5 Angulo de tono.

El ángulo de tono h es aquel que forma el vector del punto que representa el color proyectado sobre el plano de cromaticidad a^*, b^* con el eje a^* positivo.

En el Cuadro 31 y la Figura 30 se muestra el comportamiento del ángulo de tono en función al tiempo, en ella se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento). Las determinaciones para el ángulo de tono indican que todas las microcápsulas están en la región del amarillo. Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) el mayor ángulo de tono a los 60 días se encontró en las microcápsulas con maltodextrina $88,38 \pm 0,28^\circ$.

Cuadro 31. Comportamiento del ángulo de tono en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$_{a}92,32 \pm 0,15^A$	$_{a}89,54 \pm 0,05^B$	$_{a}95,58 \pm 0,15^C$
15	$_{b}89,36 \pm 0,05^A$	$_{ab}89,18 \pm 0,17^A$	$_{b}90,51 \pm 0,08^B$
30	$_{c}73,97 \pm 0,29^A$	$_{b}88,95 \pm 0,07^B$	$_{c}89,43 \pm 0,07^C$
45	$_{d}72,54 \pm 0,49^A$	$_{c}87,41 \pm 0,14^B$	$_{c}89,27 \pm 0,17^C$
60	$_{e}68,09 \pm 0,24^A$	$_{d}82,82 \pm 0,33^B$	$_{d}88,38 \pm 0,28^C$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

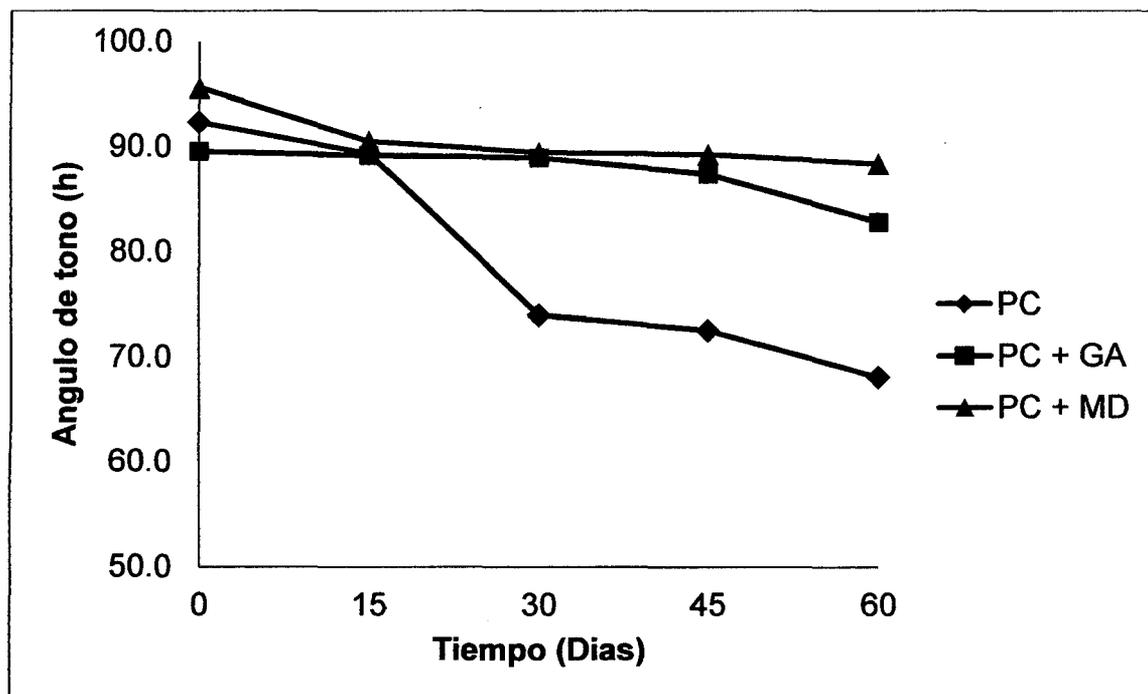


Figura 30. Variaciones ocurridas en el ángulo de tono en función al tiempo, para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.

4.6.6 Variación total de color ΔE

La variación total de color ΔE es la distancia entre dos colores en el diagrama CIELAB.

El Cuadro 32 y la Figura 31 presentan el comportamiento de la variación de color en función al tiempo, en ella se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en diferentes momentos de almacenamiento, existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre las microcápsulas en el mismo tiempo de almacenamiento. Realizando la comparación de los promedios por el método de Tukey ($p \leq 0,05$) la menor variación de color a los 60 días se encontró en las microcápsulas con goma arábica $21,00 \pm 1,94$.

Cuadro 32. Comportamiento de la variación total de color ΔE en función al tiempo.

Tiempo (días)	Tratamientos		
	PC	PC+GA	PC+MD
0	$0,00 \pm 0,00^A$	$0,00 \pm 0,00^B$	$0,00 \pm 0,00^C$
15	$11,35 \pm 4,56^A$	$6,90 \pm 0,80^A$	$11,94 \pm 1,50^A$
30	$35,46 \pm 1,40^A$	$9,72 \pm 0,23^B$	$15,58 \pm 1,79^C$
45	$38,38 \pm 0,27^A$	$19,72 \pm 0,59^B$	$21,57 \pm 4,11^B$
60	$45,70 \pm 0,65^A$	$21,00 \pm 1,94^B$	$29,97 \pm 2,87^C$

Promedio con letra mayúscula diferente en la misma fila tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

Promedio con la letra minúscula diferente en la misma columna tiene diferencia significativa ($p < 0.05$).

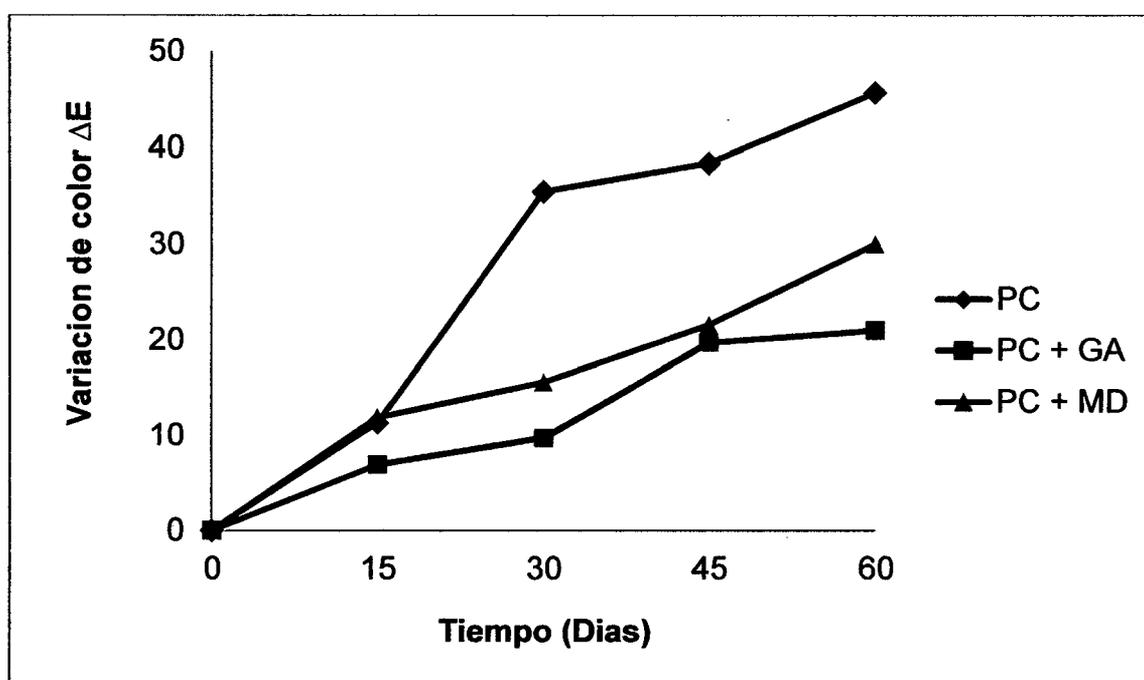


Figura 31. Variación total de color para las microcápsulas, almacenadas a 27 ± 2 °C.

V CONCLUSIONES

– Se logró caracterizar la materia prima (*Averrhoa carambola L.*), utilizada para la obtención de un producto liofilizado en polvo su composición fue: Agua $90,554 \pm 0,737$ g/100g; Carbohidratos $5,182 \pm 0,013$ g/100g; Proteínas $0,659 \pm 0,006$ g/100g; Cenizas $0,350 \pm 0,003$ g/100g; ácido ascórbico $31,905 \pm 0,620$ mg/100 g; Carotenoides $24,238 \pm 0,326$ mg/100g; Polifenoles totales $91,647 \pm 2,189$ mg EAG/100g; Sólidos solubles $7,00 \pm 0,25$ °Brix; Acidez valorable $1,089 \pm 0,00058$ g ácido oxálico/100g; Parámetro de color L* $29,55 \pm 2,76$; Parámetro de color a* $3,27 \pm 0,459$; Parámetro de color b* $25,61 \pm 1,7398$.

– La temperatura de congelación y la adición de goma arábica o maltodextrina en la liofilización de carambola influye en las variables de calidad de un polvo deshidratado. Se logró obtener microcápsulas con menor humedad a las muestras que se adiciono goma arábica y se congeló a (-20 °C) $2,63 \pm 0,08$ %. Se logró obtener microcápsulas con una mayor solubilidad a las muestras que se adiciono maltodextrina y se congeló a (-20° C) $92,77 \pm 3,82$ %. Se logró obtener microcápsulas con un menor tiempo de humectación en las muestras que se adicionó maltodextrina $0,54 \pm 0,06$ minutos.

– La adición de maltodextrina y de goma arábica disminuyó el carácter higroscópico de las muestras liofilizadas. La carambola liofilizada es inestable en el almacenamiento, de manera que, incluso cuando se le añaden los solutos estudiados a razón de 1 kg de aditivo/kg de sólidos solubles de la pulpa, es necesario su envasado con materiales de baja permeabilidad al vapor de agua para asegurar su estado vítreo a temperatura ambiente y evitar cambios en sus propiedades mecánicas relacionadas con el apelmazamiento del polvo.

– A los 60 días de almacenamiento; el mayor porcentaje de retención de carotenoides superficiales corresponde a las microcápsulas preparadas con maltodextrina $14,24 \pm 3,97$ %. El mayor porcentaje de retención de carotenoides encapsulados corresponde a las microcápsulas preparadas con goma arábica $94,14 \pm 4,90$ %. El porcentaje de retención de ácido ascórbico fueron similares en las microcápsulas preparadas con goma arábica y maltodextrina fue alrededor del 88 %. El porcentaje de retención de polifenoles fueron similares en las microcápsulas preparadas con goma arábica y maltodextrina fue alrededor del 80 %.

– La adición de goma arábica y en menor grado la maltodextrina evita el oscurecimiento de las microcápsulas durante el almacenamiento. A los 60 días de almacenamiento la menor variación total de color ΔE corresponde a las microcápsulas preparadas con goma arábica $21,00 \pm 1,94$ unidades, las microcápsulas preparadas con maltodextrina $29,97 \pm 2,87$ unidades, para la pulpa de carambola liofilizada $45,70 \pm 0,65$ unidades.

VI RECOMENDACIONES

- Analizar la estructura de las partículas del polvo obtenido mediante estudios de microscopía electrónica de barrido a fin de comprobar la eficiencia en la retención de los componentes volátiles.
- Estudiar otras técnicas encapsulantes como la atomización, visto que es una técnica más económica.
- Estudiar otros tipos de materiales de pared como el almidón de arroz, almidón de yuca, la combinación de estos ya que son más baratos.
- Realizar un estudio de mercado que determine la demanda, factibilidad financiera y rentabilidad, para justificar la producción de carambola liofilizada.
- Estudiar posibilidades de incorporación de las micropartículas liofilizadas en sistemas alimenticios.
- Para posteriores estudios de productos liofilizados se recomienda envasar en atmosferas inertes para evitar cambios en el producto final y conservar por más tiempo.

VII ABSTRACT

The carambola (*Averrhoa carambola L.*) is a source of antioxidants. The objectives of this study was to characterize the raw material used for obtaining a lyophilized product powder; study the effect of freezing temperature on the quality variables of a powder carambola, determine the effect of the addition of maltodextrin and Gum Arabic on the properties of water vapor sorption carom powder, microencapsulated carambola pulp, by freeze drying to compare the effectiveness of two wall materials (gum Arabic and maltodextrin) in terms of protecting the core (antioxidant) ; assess the color stability of powdered products: not solute, with maltodextrin and gum Arabic. The research was conducted in the laboratories of the Universidad Nacional Agraria de la Selva. Were used as methods of analysis: Total carotenoids (ZHOU *et al*, 1994). Carotenoids surface (WAGNER and WARTHESEN, 1995). Total polyphenols (SANDOVAL *et al*, 2001). Solubility (CEBALLOS, 2008). Wettability (FREUDIG *et al.*, 1999, KIM *et al.*, 2002). Color (CEBALLOS, 2008). Adsorption isotherms (CHUZEL, 1992; GABAS *et al*, 2007). The operations for obtaining microcapsules were the following harvest, transportation, receipt, sorting - sorting heavy, wash - disinfection, peeled, homogenization, refining, packaging, lyophilization, packaging and storage. Statistical analysis was performed using a completely randomized design (CRD) with factorial arrangement. The Vitamin C content in the raw material was 31,905 mg/100g,

carotenoids 24,308 mg/100g, total polyphenols 91,647 EAG/100g. The freezing temperature and adding gum Arabic or maltodextrin in the lyophilization of carambola influenced the quality variables a dehydrated powder. At 60 days of storage, the greater retention of carotenoids surface corresponds to the microcapsules with maltodextrin and 14,24 % for carotenoids encapsulated microcapsules corresponds to 94,14 % gum Arabic. The retention of ascorbic acid and polyphenols was similar in the microcapsules with gum Arabic and maltodextrin (≈ 88 %) and (≈ 80 %) respectively. The addition of maltodextrin and gum Arabic to the fluke pulp decreased hygroscopicity of the products, also prevented the darkening of the microcapsules during storage, the lowest total color change ΔE corresponds to the microcapsules with gum Arabic 21,00 units. The microcapsules with maltodextrin 29,97 units for lyophilized carambola pulp 45,70 units.

Keywords: carambola, microencapsulation, freeze drying, isotherms, antioxidants, color.

VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGGARWAL y SHISHODIA. 2006. Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *Biochemical Pharmacology*. 71(10): 1397-142.
- ADHIKARI, B. et al. 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*. 62. 53 - 68.
- ANDERSON, D. 1996. Antioxidant defences against reactive oxygen species causing genetic and other damage. *Mutation Research*. 350 (1): 103-108.
- ANTUNES y BIANCHI. 1999. Radicaislivres e os principais antioxidantes da dieta. *Revista de Nutrição*. 12(2):123-130.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST OFFICIAL. 2001. *Methods of analysis*.
- AVILA y SILVA. 1999. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of FoodEngineering*. 161-166.
- BADUI, S. 1999. *Química de alimentos*. Editorial Acribia .Zaragoza, España. 495 p.
- BADUI, S. 2006. *Química de alimentos*. Pearson Educación .México.
- BARBOSA - CÁNOVAS. 2005. *Food Powders. Physical properties, processing, and functionality*. New York: Kluwer academic/Plenumpublishers. 215 p.

- BARBOSA – CÁNOVAS. 2006. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. *Food Research International*. 8: 989–994.
- BARBOSA *et al.* 2000. Métodos experimentales en la industria alimentaria. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 250 p.
- BARRAS *et al.* 2009. Formulation and characterization of polyphenol-loaded lipid nanocapsules. *Int. J. Pharm.* 379, 270–277.
- BERNAL, D. 1992. Análisis de alimentos. Tercera edición. Editorial Guadalupe. Bogotá, Colombia. p. 99 - 117.
- BOSS *et al.* 2004. Freeze drying process: real time model and optimization. *Chemical engineering and processing*. 43:1475–1485.
- BRENNAN *et al.* 1998. Las operaciones de la Ingeniería de Alimentos Tercera ed. Edit. Acribia. Zaragoza- España.
- BRUNAUER, S., EMMET, P.H. & TELLER, E. 1938 Desorption of gases in multimolecular layer. *Journal of American Chemists Society*. 60: 309-319.
- CAI y CORKE. 2000. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, v.65, n.6, p.1248-1252.
- CALZADA, J. 1976. Métodos estadísticos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 640 p.
- CALZADA, J. 1980. 143 Frutales nativos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 336 p.

- CANO – CHAUCA *et al.* 2005. Effect of the carrier son the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 6(4): 420-428.
- CARDELLO y CELESTINO. 1996. Encapsulação de aromas e sabores: utilização de amidos como agentes encapsulantes. Boletim n°30. 166 - 171.
- CARVALHO. 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Brasília. Embrapa. 622p.
- CARVALHO *et al.* 1995. High-performance liquid chromatographic determination of the geometrical isomers of fl-carotene in several foodstuffs. *Journal of Chromatography*. 697:289-294.
- CASP, A. 2003. Tecnología de Alimentos: Procesos de Conservación de Alimentos. Editorial Acribia. 496 p.
- CEBALLOS, A. 2008. Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. 111p.
- CHEN *et al.* Comparison of lycopene stability in water –and oil – based food model systems under thermal and light - irradiation treatments. *LWT- Food Sciencie and technology*. 42: 740- 747
- CHRONAKIS, I. 1999. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural – functional mechanisms of maltodextrins: a review. *Food sciencie*, (38): 599-637

- CHUNG y PFOST. 1976. H.B. Part I: Heat and free energy changes of adsorption and desorption. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. P549-555.
- CHUZEL, G. 1992. Correlación entre actividad de agua y contenido de agua: equilibrio higroscópico y isothermas de sorción. Revista presentado a la Actividad de agua en alimentos, procesamiento y conservación mediante su control
- CONSTANT y STRINGHETA. 2002. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. Boletim nº36. 18p.
- COULTATE. 2004. Alimentos. A Química de seus Componentes. Porto alegre: Artmed.
- DÁMASO y MÍNGUEZ. 2000. Xanthophyll esterification accompanying carotenoid over accumulation in chromoplast of *Capsicum annum* ripening fruits is a constitutive process and useful for ripeness index. *J. Agric. Food Chem.* p. 1617-1622.
- DEHKHARGHANIAN *et al.* 2009. Antioxidant properties of green tea polyphenols encapsulated in caseinate beads. *Dairy Sci. Technol.* 89. 485–499.
- DEPYPERE, F. 2003. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. *Appl. Biotechnol. Food Sci. Pol.* 1 (2): 75-94.
- DESAI y PARK. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology.* 23 (7). 361-1394.

- DESOBRY *et al.* 1997. Comparison of Spray-drying, Drum-drying and Freeze-drying for - Carotene Encapsulation and Preservation. *Journal of Food Science*. 62(6).1158-1162.
- DESOBRY *et al.* 1999. Influence of maltodextrin systems at an equivalent 25 DE on encapsulated b- carotene loss during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 23(1) .39-55.
- DI MASCIO y SIES. 1991. Antioxidante defense systems, the role of carotenoid, tocopherol and thiols. *American Journal of Clinical Nutritional* .53.194-200.
- DUBOIS *et al.* 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*. p. 350 - 356.
- EDGE Y MCGARVE. 1997. The carotenoids as anti-oxidants - a review. *journal of photochemistry and photobiology b: biology*. 41(3). 189-200.
- ERSUS y YURDAJEL. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Dacuscarota L.*) by spray drier. *Journal of food Engineering*. 80:805-812.
- FANG y BHANDARI. 2010. Encapsulation of polyphenols. A review. *Trends in Food Science & Technology*.
- FERNÁNDEZ y MADRIÑÁN. 1992. Principios y procedimientos experimentales para la obtención de curvas isotermas de sorción. Paperpresented at the Actividad de agua en alimentos, procesamiento y conservación mediante su control.
- FELLOWS, P. 2006. Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e Prática. Porto Alegre: Artmed.

- FENNEMA. 2000. Química de los Alimentos. España. Editorial Acribia. 1258 p.
- FENNEMA. 2002. Química de los Alimentos. España. Editorial Acribia. 856 p.
- FERREIRA, J. 2001. Cinética e fatores que influenciam na degradação de carotenoides em sistemas modelos e alimentos. Dissertação (Mestrado). Facultad de Engenharia de Alimentos, UNICAMP. 96p.
- FONTANA *et al.* 2000. Carotenóides Cores Atraentes e Ação biológica. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*. 13. 40-45.
- FREUDIG *et al.* 1999. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. *Chemical Engineering and Processing*. 38. 525 - 532.
- GABAS *et al.* 2009. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciênc. Tecnol. Aliment, Campinas*, 29(4): 911-918.
- GHARSALLAOUI *et al.* 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v.40, n.9, p.1107-1121. 2007.
- GIBBS, B. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Science Nutritional*. 50. 213-224.
- GONZALES. 2000. Análisis del desarrollo de la fase reproductiva y determinación de parámetros de recolección de la carambola (*Averrhoa carambola* L. variedad ácida, producida en el piedemonte amazónico colombiano. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas 'SINCHI'. Bogotá.

- GOMBAS *et al.* 2003. Quantitative determination of crystallinity of alpha-lactose monohydrate by near infrared spectroscopy (NIRS). *International Journal of Pharmaceutics*. 256:25-32.
- GOUIN, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Science and Technology*. 15(7) .330-347.
- GRAJALES *et al.* 2005. Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola L.*) osmodeshidratada. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.128 p.
- GROSS *et al.* 1983. Carotenoids of the fruit of *Averrhoa carambola*. *Phytochemistry*. 22 (6): 1479-81.
- HENRIQUES *et al.* 1998. Dunaliella: uma fonte natural de beta-caroteno com potencialidades de aproveitamento biotecnológico. *Boletim de Biotecnologia* n°61. 59p.
- HERNANDEZ *et al.* 2006. Determination of vitamina C in tropical fruits: a comparative evaluation of methods. *Food Chem*. 96. 654 – 664.
- HIGUERA *et al.* 2004. Microencapsulation of astaxanthin in a chitosan matrix. *Carbohydrate Polymers*. 56:41-45.
- JACKSON y LEE. 1991. Microencapsulation and Food Industry. *LWT - Food Science and Technology*. 24(4): 289-297.
- JAYA y DAS. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering* vol 63. p. 125 –134.

- KANDLAKUNTA *et al.* 2008. Carotene content of some common (cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional sources of plant origin. *Food Chemistry*, v.106, n.1, p.85-89.
- KAREL 1975. Stability of low and intermediate moisture. In F. S. a. Technology (Ed.), *Freeze drying and advanced food technology* London: Academic Press Inc Ltda. p. 643-674.
- KIM. 2002. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and Surfaces B: Biointerface*. 26(3):197-212.
- KRINSKY *et al.* 1990. Structural and geometrical isomers of carotenoids in human plasma. *Journal of Nutrition* .120:1654–1662.
- KRINSKY y YEUM. 2003. Carotenoid-radical interactions. . *Biochemical and Biophysical Research Communications*.305:754 – 760.
- KUSKOSKI *et al.* 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(4): 726-732.
- LABOTEC. 2011. Manual de instrucción de operación del liofilizador de mesa modelo 12FD. Sudáfrica.14 p.
- LAINE *et al.* 2008. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rubus chamaemorus*) phenolics. *J. Agric. Food Chem.* 56: 11251–11261.
- LESSIN *et al.* 1997. Quantification of cis-trans isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 45:3728–3732.

- LOKSUWAN, J. 2007. Characteristics of microencapsulated [beta]-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*. 21(5):928-935.
- MADENE *et al.* 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 41(1):1-21.
- MARQUES, *et al.* 2006. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*. 24:457-463.
- MARTINS, B. 2000. Tecnologia de secagem preservam as características dos alimentos. *Revista Engenharia de Alimentos*. 6(30):40-42.
- MARX *et al.* 2003. Effect of thermal processing on trans-cis –isomerization of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*. 83: 609-617.
- MCMINN *et al.* 2005. Enthalpy- entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. *Food Research International*. 38: 505 - 510.
- MATIOLI y AMAYA. 2002. Licopeno Encapsulado em Goma Arábica e Maltodextrina: Estudo da Estabilidade. *Brazilian Journal of Food Technology*. 5:197-203.
- MATIOLI *et al.* 2003. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 23:102-105.
- MORTIMER. 1983. *Química*. México: Grupo editorial iberoamericana.
- MOSQUERA, L. 2010. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Universidad Politécnica de Valencia, España. 219 p

- MURAT y ONUR. 2000. Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*.45. 17-24.
- NIELSEN. 2003. Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publisher, Nueva York. 456 p.
- NINDO *et al.* 2003. Evaluation of dryin technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis, L.*). *Lebensmittel Wissenschaftund Technologie*, 36: 507-516.
- NORI, M. 1996. Ingredientes e aditivos microencapsulados na industria de alimentos. *Revista Engenharia de Alimentos*. 6: 33-35.
- OLIVER. 2000. Chromatographic determination of carotenoids in foods. *Journal of Chromatography*. 881 (1-2): 543-555.
- PARADA, L. 2010. Adición de maltodextrina o goma arábica a pulpa de fresa para la obtención de polvos liofilizados estables durante el almacenamiento. Universidad de las Américas. México. 115 p.
- PARAMO *et al.* 2007. Efecto de la adición de goma arábica y maltodextrina sobre las propiedades del ajo deshidratado por aspersion. Instituto tecnológico de Veracruz, Colombia. 46 p.
- POTTER y HOTCHKLSS. 1998. *Food Science*. New York: Chapman e Hall. 1608 p.
- PULIDO y BERISTAIN. 2010. Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersion, utilizando quitosano como material de pared. *Rev. Mexicana de Ing. Química*. p 189 - 195.

- QUIROS *et al.* 2006. Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19(3), 97-111.
- RAHMAN. 1995. *Food properties handbook*. Florida: CRC Press, Inc.
- RÉ, M. 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*. 16: 1195-1236.
- RODRIGUEZ y AMAYA. 1999. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 49: 38-47.
- RODRIGUEZ *et al.* 2008. Fontes Brasileiras de Carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 99 p.
- ROOS, Y. 1995. Phase transition in foods. San Diego, California: Academic Press.
- SALAZAR y GUEVARA. 2002. Obtención de carambola (*Averrhoa Carambola L.*) deshidrata por osmosis. Ingenieria UC, Valencia, Venezuela. 9(3): 1316-1331.
- SANDOVAL *et al.* 2001. Antiinflammatory and antioxidant activities of cats claw (*Uncaria tomentosa* and *Uncaria guianensis*) are independent of their alkaloid content. *Phytomedicine*. Vol. 9:325-337.
- SCHUBERT. 1993. Instantization of powdered food products *Int. Chemical Engineering*. 33: 28-45.
- SHAHIDI y HAN. 1993. Encapsulation of food ingredients. critical reviews in food science and nutrition 33(6): 501-547.
- SHAMI Y MOREIRA. 2004. Licopeno como agente oxidante. *Revista de nutrição*, 17(2): 227-236.

- SHITTU – LAWAL. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 100(1):91-98.
- SHU *et al.* 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*. 76:664-669.
- SPARKS, R. 198. Microencapsulation. In : Kirk- Othmer. Encyclopedia of chemical technology, New York: John Willey y sons. 470 p.
- STAHL *et al.* 1992. Cis –trans isomers of lycopene and β - carotene in human serum and tissues. *Archives of biochemistry and Biophysics*. 294:173-177.
- SUTTER *et al.* 2006. β -Carotene encapsulation in a mannitol matrix as affected by divalent cations and phosphate anion. *International Journal of Pharmaceutics*. 332: 45-54.
- TRUJILLO, R. 2007. Caracterización e industrialización de la carambola (*Averrhoa carambola L*). Cultivada en Manabí. Quito, Ecuador. 178 p.
- WARTESE y WAGNER. 1995. Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science*. 60(5): 1048-1053.
- WELTIS y LAFUENTE. 2005. Análisis matemático de las propiedades de adsorción de humedad de triturados de naranja deshidratados. *Tecnología de alimentos*. México. 24 (5). 20 – 27.
- WHORTON y REINECCIUS. 1995. Evaluation of the mechanisms associated with the release of encapsulated flavor materials from maltodextrina matrices. *Encapsulation and Controlled Released of Food Ingredients*, p.143-160.

- XIONG *et al.* 2006. Stability and antioxidant activity of black currant anthocyanins in solution and encapsulated in glucan gel. *J. Agric. Food Chem.* 54, 6201–6208.
- YAHIA *et al.* 2001. Ascorbic Acid Content in Relation to Ascorbic Acid Oxidase Activity and Polyamine Content in Tomato and Bell Pepper Fruits During Development, Maturation and Senescence. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologi.* 34: 452-457.
- ZHANG *et al.* 2007. Procyanidins: Extraction and micro-encapsulation. *J. Sci. Food Agric.* 87, 2192–2197.

IX ANEXOS

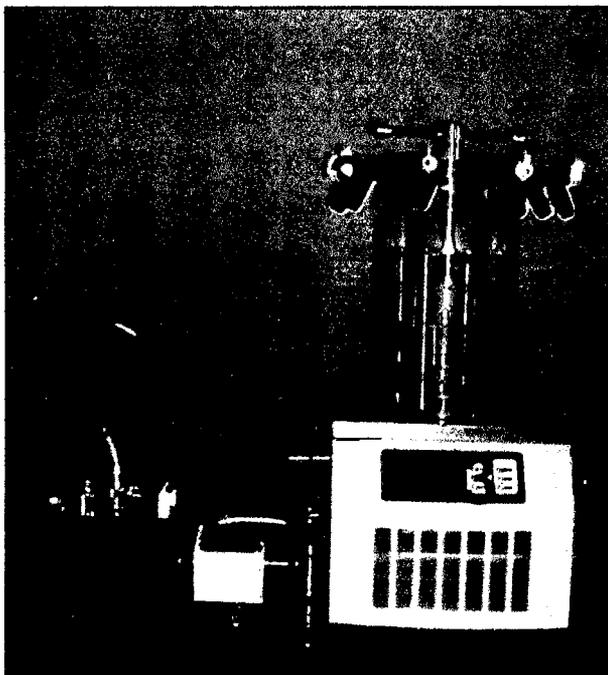


Figura 32. Liofilizador con sus partes principales

Leyenda:

1. Cámara de acrílico.
2. Manifold de acero inoxidable con salidas de silicona.
3. Panel de control de refrigeración y presión.
4. Bomba de vacío

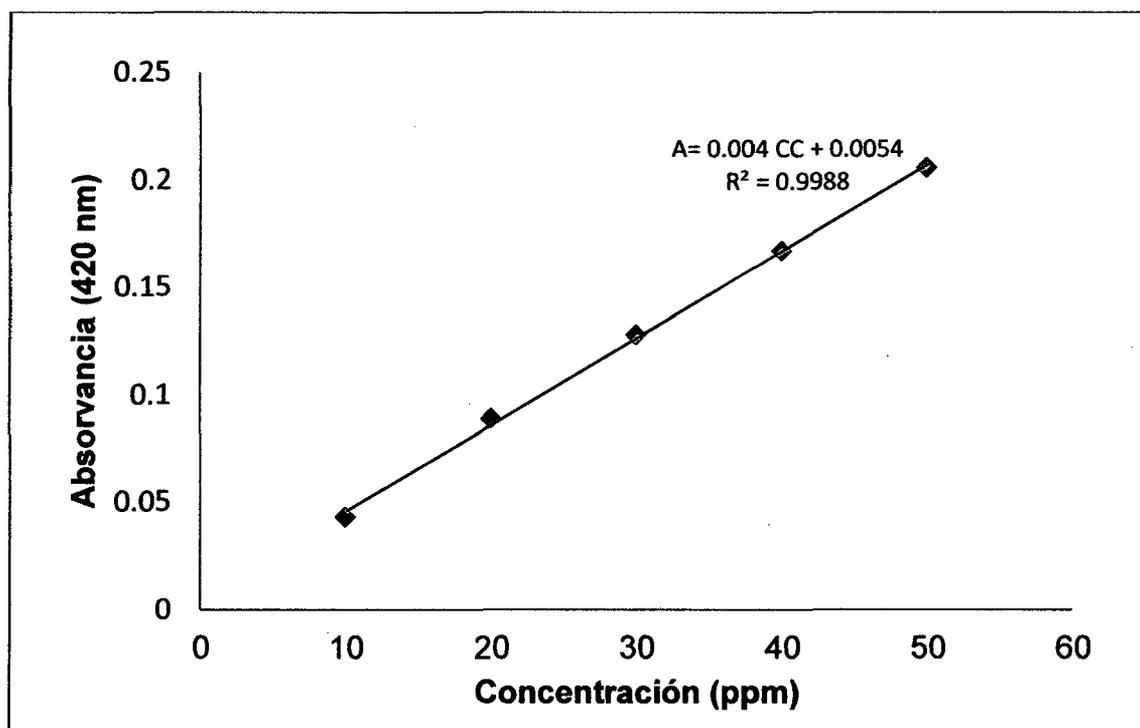


Figura 33. Curva patrón para la determinación de la concentración de vitamina C (ppm).

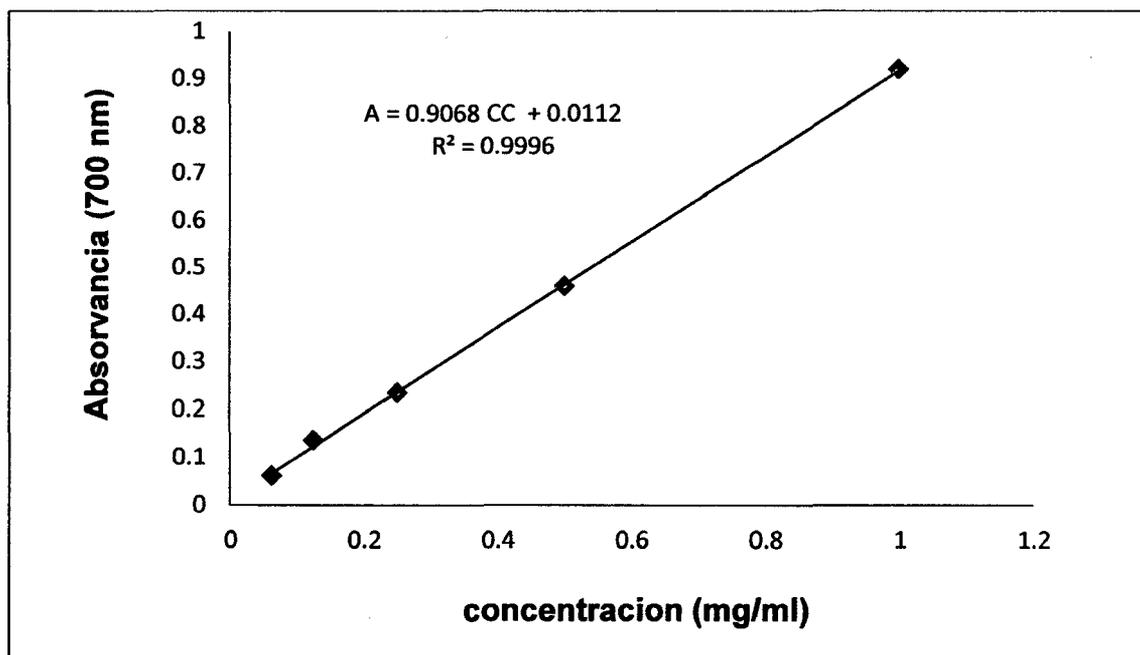


Figura 34. Curva patrón para la determinación de la concentración de polifenoles totales (mg/ml)

Cuadro 33. Análisis de Varianza para humedad.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	188,967	2	94,4837	301,91	0,0000
B: Temperatura	5,8847	2	22,9424	3,31	0,0000
Interacciones					
AB	0,44959	4	1,1124	3,55	0,0264
Residuos	0,63325	18	0,3129		
Total (corregido)	44,935	26			

Cuadro 34. Análisis de Varianza para solubilidad.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	1035,93	2	517,965	50,07	0,0000
B: Temperatura	14,4076	2	7,2038	0,70	0,5114
Interacciones					
AB	0,550237	4	0,137559	0,01	0,996
Residuos	186,22	18	10,3456		
Total (corregido)	1237,11	26			

Cuadro 35. Análisis de varianza para humectabilidad.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	2,51192	2	1,25596	37,19	0,0000
B: Temperatura	0,0280074	2	0,01400037	0,41	0,6667
Interacciones					
AB	0,024237	4	0,00605926	0,18	0,9461
Residuos	0,607933	18	0,0337741		
Total (corregido)	3,1721	26			

Cuadro 36. Análisis de varianza para porcentaje de retención de carotenoides superficiales.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	352,079	1	352,079	16,64	0,0006
B: Temperatura	35728,8	4	8932,2	422,03	0,0000
Interacciones					
AB	479,24	4	119,81	5,66	0,0032
Residuos	423,292	20	21,1646		
Total (corregido)	36983,4	29			

Cuadro 37. Análisis de varianza para porcentaje de retención de carotenoides encapsulados.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	21,983	1	21,9826	0,86	0,3659
B: Tiempo	137,912	4	34,4781	1,34	0,2888
Interacciones					
AB	14,499	4	3,62472	0,14	0,9648
Residuos	513,536	20	25,6768		
Total (corregido)	687,93	29			

Cuadro 38. Análisis de varianza para el porcentaje de retención de vitamina C.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	1345,87	2	672,937	122,06	0,0000
B: Tiempo	2709,78	4	677,445	122,88	0,0000
Interacciones					
AB	1149,14	8	143,642	26,05	0,0000
Residuos	165,396	30	5,51321		
Total (corregido)	5370,19	44			

Cuadro 39. Análisis de varianza para porcentaje de retención de polifenoles totales.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	4609,68	2	2304,84	219,39	0,0000
B:Tiempo	12221,9	4	3055,46	290,84	0,0000
Interacciones					
AB	4157,09	8	519,636	49,46	0,0000
Residuos	315,172	30	10,5057		
Total (corregido)	21303,8	44			

Cuadro 40. Análisis de varianza para luminosidad.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A:Material de pared	3899,1	2	1949,55	661,57	0,0000
B:Tiempo	5309,91	4	1327,48	450,47	0,0000
Interacciones					
AB	951,07	8	118,884	40,34	0,0000
Residuos	88,4054	30	2,94685		
Total (corregido)	10248,5	44			

Cuadro 41. Análisis de varianza para a*.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	420,765	2	210,383	10833,29	0,0000
B: Tiempo	391,553	4	97,8884	5040,60	0,0000
Interacciones					
AB	260,011	8	32,5014	1673,61	0,0000
Residuos	0,5826	30	0,01942		
Total (corregido)	1072,91	44			

Cuadro 42. Análisis de varianza para b*.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	421,501	2	105,375	483,80	0,0000
B: Tiempo	27,7987	4	13,8993	63,81	0,0000
Interacciones					
AB	27,1405	8	3,39256	15,58	0,0000
Residuos	6,53427	30	0,217809		
Total (corregido)	482,974	44			

Cuadro 43. Análisis de varianza para la cromaticidad.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	43,5928	2	21,7964	100,45	0,0000
B: Tiempo	340,394	4	85,0985	392,18	0,0000
Interacciones					
AB	36,0008	8	4,50009	20,74	0,0000
Residuos	6,5096	30	0,216987		
Total (corregido)	426,497	44			

Cuadro 44. Análisis de varianza para el ángulo de tono.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	1040,83	2	520,415	10821,93	0,0000
B: Tiempo	958,118	4	239,53	4980,98	0,0000
Interacciones					
AB	645,466	8	80,6833	1677,79	0,0000
Residuos	1,44267	30	0,0480889		
Total (corregido)	26,4586	44			

Cuadro 45. Análisis de varianza para variación total de color Δe .

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor - P
Efectos principales					
A: Material de pared	1713,21	2	856,605	219,19	0,0000
B: Tiempo	6007,4	4	150,85	384,29	0,0000
Interacciones					
AB	996,199	8	124,525	31,86	0,0000
Residuos	117,242	30	3,90807		
Total (corregido)	8834,05	44			