



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería Química

Obtención, evaluación de pigmentos microencapsulados a partir de frutos xkijit (*Renealmia alpinia*) e incorporación en una matriz alimenticia.

TESIS DE MAESTRÍA

**PARA OBTENER GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

I.A. Oscar Jiménez González

Director: Dra. María Lorena Luna Guevara

Codirector: Dr. Juan José Luna Guevara

BUAP



H. Puebla Z., Diciembre 2017



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA



ACTA DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Nombre del (de la) estudiante: Oscar Jiménez González

Matrícula: 215471058

Nombre del director: DR. MA. LORENA LUNA GUEVARA

Nombre del codirector: DR. JUAN JOSÉ LUNA GUEVARA

Título de la Tesis:

**"OBTENCION, EVALUACIÓN DE PIGMENTOS MICROENCAPSULADOS A PARTIR DE FRUTOS XKIJIT
(RENEÁLMIA ALPINIA) E INCORPORACION EN UNA MATRIZ ALIMENTICIA."**

Comisión Revisora:

Presidente: Dr. Héctor Ruiz Espinosa

Firma: _____

Secretario(a): Dr. Irving Israel Ruiz López

Firma: _____

Vocal (1): Dr. Juan José Luna Guevara

Firma: _____

Vocal (2): Dr. Ma. Lorena Luna Guevara

Firma: _____

Los integrantes de la Comisión Revisora expresamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de maestría que presenta el (la) estudiante arriba indicado, por lo que estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el (la) estudiante presente su defensa y examen de grado en la fecha, horario y lugar que se indican a continuación.

Fecha de examen: 14 de diciembre 2017

Hora: 10:00 horas

Día de la semana: Jueves

Lugar: FIQ 7/302



Agradecimientos

Atrás de cada decisión que he tomado existen muchas personas que han estado ahí para apoyarme, todos y cada uno han sido el timón que me ha ayudado a no tomar el rumbo equivocado.

Tengo que agradecer a mi mamá, aunque no es el camino que hubiese querido para mí, jamás me ha detenido para no seguirlo y me ha apoyado en cada decisión que he tomado.

A mis asesores, porque no perdieron la confianza en mí; Dra. Lorena, ha sido una maestra, una amiga, y un gran apoyo, todo este tiempo; Dr. Juan José, gracias por estar presente en todos los proyectos en los que la doc me ha metido, desde la tesis de licenciatura hasta esta.

Un agradecimiento especial al Dr. Héctor, por tantas platicas y consejos. Y mucha muy buena música.

A todos mis amigos; Gracias Julio por todos esos días que me acompañaste y ayudaste, tu más que nadie sabe las horas que dedique a este proyecto, y estuviste ahí sin importar nada. Mariana, fuiste, eres, y sé que serás un apoyo siempre; Elo, a pesar de que al principio no fuimos amigos, eres un ejemplo, pues a pesar de todo lo jamás diste un paso atrás; Bere, después tantos años, tantas cosas, una tesis, toda una licenciatura, ahora una maestría, eres una gran amiga (nos vemos en el doctorado); Xiomí, a pesar de todos tus refunfuños sabes que voy a apoyarte y ayudarte en cualquier cosa que necesites. A cada una de las personas que conocí en el laboratorio 305/FIQ4 (FIQC/305), Esme, Axa, y los demás.

A todo el comité que formo parte y tuvo que leer tantas y tantas paginas Dr. Hector, Dr. Irving, Dr., Juanjo, Dra. Lorena.

Un agradecimiento especial a la Dra. Greta Saíto y al INECOL, por abrirme sus puertas y brindarme todo el apoyo posible.

Finalmente gracias al CONACYT.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Programa II. Investigación y Posgrado. Aseguramiento de la calidad en el Posgrado. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2013-2017.

Índice de contenido	Pag.
Índice de contenido	I
Índice de tablas	IV
Índice de figuras	VI
1 Resumen	1
2 Introducción	3
3 Objetivos	5
3.1 Objetivo general	5
3.2 Objetivos particulares	5
4 Marco teórico	6
4.1 Xkijit (<i>Renealmia alpinia</i>)	6
4.1.1 Generalidades	6
4.1.2 Composición proximal del fruto	8
4.1.3 Propiedades y usos	9
4.2 Colorantes	12
4.2.1 Generalidades	12
4.2.2 Colorantes y sus propiedades antioxidantes	13
4.2.3 Clasificación y obtención de colorantes naturales	15
4.2.4 Antocianinas	16
4.2.4.1 Extracción, uso y estabilidad	17
4.2.5 Carotenoides	22
4.2.5.1 Extracción, uso y estabilidad	22
4.3 Encapsulación	25
4.3.1 Generalidades	25
4.3.2 Encapsulación mediante el secado por aspersión	26
4.3.3 Agentes encapsulantes	27
4.3.4 Aplicación de la microencapsulación en alimentos	28
5 Metodología	34
5.1 Etapa 1 Obtención y caracterización del fruto (<i>Renealmia alpinia</i>) xkijit	35
5.1.1 Obtención de materia prima	36
5.1.1.1 Obtención y almacenamiento del material vegetal	36
5.1.1.2 Acondicionamiento de la materia prima	36
5.1.2 Caracterización fisicoquímica de pulpa y pericarpio	36
5.1.2.1 Determinación de color	37
5.1.3 Análisis de propiedades antioxidantes de la pulpa y pericarpio	37
5.1.3.1 Capacidad antioxidante	38
5.1.3.2 Antocianinas totales	39
5.1.3.3 Carotenoides	39
5.1.3.4 Compuestos fenólicos totales	40

5.2	Etapa 2 Obtención de pigmentos microencapsulados mediante secado por aspersión	41
5.2.1	Obtención de los extractos	42
5.2.1.1	Método 1	42
5.2.1.1.1	Pericarpio	42
5.2.1.1.2	Pulpa	42
5.2.1.2	Método 2	42
5.2.1.3	Evaluación de los extractos concentrados	43
5.2.2	Microencapsulación de los pigmentos	43
5.2.2.1	Ajuste de sólidos para la microencapsulación	43
5.2.2.2	Condiciones de encapsulación	44
5.2.3	Estabilidad de los microencapsulados	44
5.2.4	Almacenamiento de los pigmentos microencapsulados	44
5.2.4.1	Reconstitución de los polvos	44
5.2.4.2	Carotenoides	45
5.3	Etapa 3 Evaluación de los microencapsulados	46
5.3.1	Pruebas físicas y morfológicas de los pigmentos microencapsulados	47
5.3.1.1	Rendimiento	47
5.3.1.1.1	Humedad	47
5.3.1.1.2	Actividad de agua (aw)	47
5.3.1.1.3	Humectabilidad	47
5.3.1.1.4	Densidad aparente y compacta	47
5.3.1.1.5	Color	48
5.3.1.1.6	Microscopia electrónica de barrido	48
5.3.2	Propiedades antioxidantes	48
5.3.3	Pruebas microbiológicas	48
5.4	Etapa 4 Incorporación de los pigmentos microencapsulados y su evaluación de estabilidad y aceptabilidad en una matriz alimenticia	50
5.4.1	Preparación de la matriz modelo	51
5.4.1.1	Matriz para la incorporación de encapsulados de pericarpio	51
5.4.1.2	Matriz para la incorporación de encapsulados de pulpa	51
5.4.1.3	Estabilidad de microencapsulados en las matrices	51
5.4.2	Prueba de aceptación del consumidor	52
5.4.2.1	Nivel de aceptación del consumidor	52
5.5	Etapa 5 Análisis de los resultados	53
6	Resultados y discusión	54
6.1	Caracterización fisicoquímica de xkijit (<i>Renealmia alpinia</i>)	54
6.1.1	Estabilidad de las antocianinas del pericarpio a diferentes valores de pH	56

6.1.2	Propiedades antioxidantes del fruto (<i>Renealmia alpinia</i>)	60
6.2	Obtención de los extractos para la microencapsulación	62
6.3	Obtención y evaluación de los microencapsulados	63
6.3.1	Rendimiento	63
6.3.2	Humedad	64
6.3.3	Actividad de agua (aw)	65
6.3.4	Tamaño de partícula y morfología	66
6.3.5	Densidad aparente y compacta	72
6.3.6	Humectabilidad	73
6.3.7	Color	74
6.4	Propiedades antioxidantes	78
6.4.1	Contenido y estabilidad de antocianinas	78
6.4.2	Contenido y estabilidad de compuestos fenólicos	81
6.4.3	Estabilidad de la capacidad antioxidante	83
6.4.4	Contenido y estabilidad de carotenoides	85
6.4.5	Contenido y estabilidad de compuestos fenólicos	87
6.4.6	Estabilidad de la capacidad antioxidante	89
6.5	Incorporación de los microencapsulados	91
6.5.1	Estabilidad de color en jugo después de la incorporación de microencapsulados de pericarpio en la bebida	92
6.5.2	Cambio de turbidez en jugos adicionados con microencapsulados de pericarpio	94
6.5.3	Estabilidad del color en yogur después de la incorporación de microencapsulados de pulpa	95
6.5.4	Cambios en la capacidad antioxidante después de la incorporación de microencapsulados en la matriz	97
6.6	Análisis sensorial	101
7	Conclusiones	104
8	Bibliografía	107
9	Anexos	140

Índice de Figuras

Figura 1	Fruto xkijit (<i>Renalmia alpinia</i>)	7
Figura 2	Distribución geográfica de <i>Renalmia alpinia</i>	8
Figura 3	Uso de <i>Renalmia alpinia</i> en la gastronomía colombiana	10
Figura 4	Comportamiento del colorante a diferentes valores de pH	10
Figura 5	Flores de xkijit (<i>Renalmia alpinia</i>)	11
Figura 6	Estructura química de algunas antocianinas	17
Figura 7	Efecto del pH sobre la estructura de las antocianinas	20
Figura 8	Tipos de cápsulas, a) Tipo reservorio, b) Tipo matriz, c) Tipo matriz recubierta, d) Matriz multi pared	25
Figura 9	Posibles morfologías, a) Irregular, b) Simple, c) Multi pared, d) Núcleos múltiples, e) Matriz de partículas	26
Figura 10	Diagrama general de trabajo	34
Figura 11	Diagrama general de la Etapa 1; Obtención y caracterización del fruto <i>Renalmia alpinia</i> xkijit	35
Figura 12	Diagrama general correspondiente a la etapa 2, Obtención de pigmentos microencapsulados mediante secado por aspersión	41
Figura 13	Diagrama general de trabajo correspondiente a la etapa 3, Evaluación de los microencapsulados	46
Figura 14	Diagrama de trabajo de la etapa 4, Incorporación de los pigmentos microencapsulados y su evaluación de estabilidad y aceptabilidad en un jugo	50
Figura 15	Efecto del pH sobre el espectro visible (390-690 nm) de extractos concentrados de pulpa a diferentes tiempos	57
Figura 16	Cambio de color asociado al pH, al inicio y final de la evaluación	58
Figura 17	Valor máximo de absorbancia (Abs) de extractos de antocianinas a diferentes valores de pH	59
Figura 18	SEM de microencapsulados de pericarpio de xkijit	68
Figura 19	Distribución de tamaño de partícula para los microencapsulados obtenidos del pericarpio de xkijit.	68
Figura 20	Distribución de tamaño de partícula para los microencapsulados obtenidos de la pulpa de xkijit	69
Figura 21	SEM de microencapsulados de pulpa de xkijit	71
Figura 22	Angulo de Hue y valores de Cromo para las muestras de microencapsulados de pulpa y pericarpio	76
Figura 23	Contenido y estabilidad de antocianinas en los microencapsulados de pericarpio con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	80
Figura 24	Contenido y estabilidad de compuestos fenólicos en los microencapsulados de pericarpio con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	82

Figura 25	Contenido y estabilidad de la capacidad antioxidante en los microencapsulados de pericarpio con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	84
Figura 26	Contenido y estabilidad de carotenoides en los microencapsulados de pulpa con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	86
Figura 27	Contenido y estabilidad de compuestos fenólicos en los microencapsulados de pulpa con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	88
Figura 28	Contenido y estabilidad de la capacidad antioxidante en los microencapsulados de pulpa con distintas temperaturas y agentes de recubrimiento	90
Figura 29	Degradación de color de los microencapsulados de pericarpio de xkijit incorporados en la matriz	93
Figura 30	Degradación del color expresada como tono (°H) y matiz (Croma) en la matriz después de la incorporación de microencapsulados de pericarpio	97
Figura 31	Degradación de la Capacidad Antioxidante de los microencapsulados incorporados en la matriz	100
Figura 32	Curva de concentraciones para capacidad antioxidante % de Inhibición contra concentración de Trolox	139
Figura 33	Curva de concentraciones para compuestos fenólicos totales ABS contra concentración de ácido gálico	142

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Información taxonómica de Renealmia alpinia xkijit</i>	6
Tabla 2	<i>Nombres comunes de Renealmia alpinia según su ubicación</i>	7
Tabla 3	<i>Composición fisicoquímica de Renealmia alpinia</i>	9
Tabla 4	<i>Fuentes naturales de diferentes compuestos bioactivos</i>	14
Tabla 5	<i>Colores naturales</i>	16
Tabla 6	<i>Extracción de antocianinas de algunas frutas</i>	20
Tabla 7	<i>Estructura y características de algunos carotenoides comunes en alimentos</i>	21
Tabla 8	<i>Cantidad recomendada para el consumo de vitamina A en la dieta humana</i>	22
Tabla 9	<i>Extracción de carotenoides de algunas frutas</i>	23
Tabla 10	<i>Carotenoides usados como aditivo alimentario</i>	24
Tabla 11	<i>Microencapsulación de alimentos</i>	30
Tabla 12	<i>Aplicación de microencapsulados en alimentos</i>	33
Tabla 13	<i>Procedimiento y condiciones para las pruebas microbiológicas en microencapsulados</i>	49
Tabla 14	<i>Propiedades fisicoquímicas de pulpa y pericarpio de xkijit (Renealmia alpinia)</i>	55
Tabla 15	<i>Compuestos bioactivos de pulpa y pericarpio de xkijit (Renealmia alpinia)</i>	61
Tabla 16	<i>Actividad antioxidante de pulpa y pericarpio de xkijit (Renealmia alpinia) para los extractos obtenidos por M1 y M2</i>	62
Tabla 17	<i>Propiedades físicas de los microencapsulados de extractos del pericarpio de xkijit</i>	74
Tabla 18	<i>Propiedades físicas de los microencapsulados de extractos de pulpa de xkijit</i>	74
Tabla 19	<i>Parámetros de color de los microencapsulados de extractos de pericarpio de xkijit</i>	75
Tabla 20	<i>Parámetros de color de los microencapsulados de extractos de pulpa de xkijit</i>	77
Tabla 21	<i>Estabilidad de parámetros de color y turbidez de los microencapsulados de pericarpio de xkijit incorporados en la matriz</i>	95
Tabla 22	<i>Estabilidad de parámetros de color de los microencapsulados de pulpa de xkijit incorporados en la matriz</i>	96
Tabla 23	<i>Análisis sensorial de los microencapsulados de pericarpio de xkijit en jugos</i>	102
Tabla 24	<i>Análisis sensorial de los microencapsulados de pulpa de xkijit en yogur</i>	102
Tabla 25	<i>Concentraciones para la preparación de estándares de Trolox</i>	140
Tabla 26	<i>Concentraciones para la preparación de estándares de ácido gálico</i>	141

1. Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener y evaluar pigmentos microencapsulados a partir del fruto xkijit (*Renealmia alpinia* Rottb. Mass, Zingiberaceae) y su incorporación en un sistema modelo, evaluando su uso como colorante, nivel de aceptabilidad y estabilidad al almacenamiento. Para lo cual se consideraron 4 etapas en el desarrollo de la investigación: etapa 1 Obtención y caracterización del fruto; etapa 2 Obtención de pigmentos microencapsulados (Secado por aspersión), alimentando diferentes mezclas a un secador por aspersión, usando diferentes agentes (maltodextrina MDX, goma arábica, GA y una mezcla 1:1); etapa 3 Evaluación de los microencapsulados, evaluando rendimiento, tamaño de partícula, humedad, color, humectabilidad, densidad aparente y compacta, además, antocianinas o carotenoides, compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante y su conservación durante 28 días de almacenamiento a 4 y 25°C; etapa 4 Incorporación de los microencapsulados, en dos matrices diferentes jugo y yogurt para microencapsulados de pericarpio y de pulpa respectivamente, observando los cambios de color durante 28 días a 4°C, asimismo se evaluaron sensorialmente.

Se observó un mayor contenido de antocianinas en comparación del contenido de carotenoides. Los mayores rendimientos y menor humedad se observaron con la combinación [1:1] MDX-GA. La conservación de las antocianinas y compuestos fenólicos en los microencapsulados de pericarpio se vio beneficiada por el recubrimiento GA (4, 25°C), mientras que la retención de carotenoides, así como su conservación se mantuvo con MDX (25°C). Adicionalmente, los encapsulados del pericarpio y pulpa presentaron una significativa retención del color y las propiedades de reconstitución se ven favorecidas por MDX. Específicamente, los microencapsulados de pericarpio incorporados en la matriz alimentaria conservaron mejor el color en comparación con los de pulpa, estos últimos fueron más estables con el recubrimiento de GA en comparación con el extracto sin encapsular incorporados al yogurt. El color generado por los microencapsulados en la matriz tiende a disminuir, conservando mejor el color en polvos de pericarpio cubiertos con MDX. Los microencapsulados de pulpa se ven influenciados por la GA. Las pruebas sensoriales indican preferencia por los encapsulados de pericarpio; sin embargo, el aspecto global del yogurt indica una buena aceptabilidad del producto. Se logró la encapsulación de los pigmentos con

el uso de diferentes agentes, asegurando su estabilidad a diferentes condiciones de almacenamiento, los cuales fueron incorporados en dos diferentes matrices, cumpliendo su función como colorante; además, estos tuvieron un alto nivel de aceptabilidad por parte de los evaluadores.

2. Introducción

Los aditivos son usados comúnmente en alimentos procesados ya que estos mejoran su apariencia, flavor, sabor, color, textura, valor nutricional y conservación; estos factores son muy importantes para la selección de un producto por parte del consumidor (Hathcock y Rader, 2003). Los colorantes sintéticos sobresalen dentro de estos aditivos (Ashfaq y Masud, 2002; Clydesdale, 1993; Carocho *et al.*, 2014; Ray *et al.*, 2015; Shim *et al.*, 2011), debido a que existen varias investigaciones que han identificado como el color influye en la preferencia, percepción de la calidad y aceptabilidad de un producto (Downham, 2000; Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003; Shim *et al.*, 2011). Por tanto, la adición de colorantes se ha vuelto imprescindible en alimentos. Sin embargo, su uso en alimentos es muy controversial, ya que no sólo no son adicionados por sentido estético (Clydesdale, 1993), sino que son usados para compensar el color natural de los alimentos, que se pierde durante el procesamiento o su almacenamiento (Miniotti, 2007; Barrows *et al.*, 2003). Sin embargo, algunos de estos colorantes han sido relacionados con diversos efectos sobre la salud, los niños ese consideran un grupo muy vulnerable, causando hiperactividad, déficit de atención, hipersensibilidad, provocando urticaria y liberación de histamina la cual intensifica los síntomas del asma (Gupta, 2004; Clydesdale, 1993; Polônio, 2002; Vidotti *et al.*, 2006). En consecuencia, el uso y preferencia de pigmentos naturales en los alimentos ha aumentado, para su incorporación en bebidas, dulces y golosinas (Yoshioka, 2007), lo cual demanda el desarrollo de nuevos aditivos que puedan sustituir a los colorantes sintéticos para su uso industrial.

Algunos pigmentos naturales son las clorofilas, betalainas y carotenoides, se encuentran en vegetales, frutas, hongos y algas (Dufossé *et al.*, 2005), además, algunos son fuente importante de vitamina A (Rodríguez-Amaya, 1997). Específicamente el β -caroteno, licopeno, luteína y zeaxantinas se les atribuyen colores amarillos a rojos (McClements *et al.*, 2009). Las antocianinas, son un grupo importante el cual es soluble en agua (Clifford, 2000; Davies *et al.*, 2012), están presentes en mayor cantidad en frutas, pero también pueden encontrarse en raíces, tubérculos, bulbos, algunas legumbres y cereales, hojas y flores (Bridle y Timberlake, 1997; Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003; Castañeda-Ovando *et al.*, 2009).

En México existen alrededor de 23,424 especies de plantas; y usadas en las comunidades rurales para elaborar alimentos, medicinas, utensilios, bebidas, combustibles, entre otros (Schultes & Von Reis, 1995; Gerique, 2006). Las condiciones edafoclimáticas en la Sierra Norte del Estado de Puebla permiten la explotación de diferentes recursos vegetales. Encontrando a *Renealmia alpinia* (Rottb.) Mass (Zingiberaceae), conocido como xkijit, su consumo es local y limitado a la pulpa, sin embargo, al igual que la uva después del proceso de vinificación el pericarpio es considerado un desperdicio y puede ser una fuente alternativa e importante de colorantes naturales (Shrikhande, 2000). Algunos pigmentos poseen propiedades antioxidantes y actúan como conservadores (Komes *et al.*, 2011; He y Giusti, 2010; Martínez-Flórez, 2002, Carocho *et al.*, 2014; Delgado-Vargas y Paredes-Lopez, 2003; Rodríguez-Amaya, 2016). Sus propiedades antioxidantes están relacionadas con la prevención de padecimientos (Wu *et al.*, 2005 a, b). Sin embargo, pueden ser inestables a diferentes condiciones ambientales (Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos, 2004). Ante esto la microencapsulación puede resultar una alternativa que contribuya a preservar y/o protegerlos. Se define como una tecnología que puede ser usada para cubrir ingredientes (componente bioactivo) en pequeñas partículas o gotitas mediante una barrera física (Gharsallaoui, 2007; Pszczola, 1998; Brazel, 1999; Gibas *et al.*, 1999, Ahmed *et al.*, 2010; Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk, 2011; Barros y Stringheta, 2006). Controlando la eliminación de sabores, reduce la volatilidad, y reactividad, incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas (Favaro *et al.*, 2010).

De ahí que la presente investigación pretenda conocer la viabilidad de obtener de pigmentos conservados a partir de la microencapsulación provenientes de pulpa y pericarpio del fruto xkijit (*Renealmia alpinia*), con la finalidad de lograr su incorporación como colorante natural en productos alimenticios.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General:

Obtener y evaluar pigmentos microencapsulados a partir del fruto xkijit (*Renalmia alpinia*) y su incorporación en un sistema modelo, evaluando su uso como colorante, nivel de aceptabilidad y estabilidad al almacenamiento.

3.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar fisicoquímicamente el fruto fresco incluyendo sus propiedades antioxidantes
- Obtener pigmentos de pulpa y pericarpio a partir del fruto fresco y deshidratado y compararlos en relación con sus propiedades antioxidantes.
- Determinar las condiciones de proceso (temperatura de entrada y salida, flujo de alimentación, presión en la alimentación y velocidad de aire del soplador), concentraciones de los agentes encapsulantes y ajuste de sólidos para la obtención de pigmentos microencapsulados del fruto de xkijit.
- Evaluar los pigmentos microencapsulados mediante pruebas de calidad y estabilidad en relación con los cambios de color, compuestos antioxidantes y pruebas microbiológicas.
- Incorporar los pigmentos microencapsulados en un sistema modelo (bebida y yogurt) y evaluar su función como colorante, estabilidad en el almacenamiento y su nivel de aceptación en el producto.

4. Marco Teórico

En la siguiente sección se realizó una revisión bibliográfica correspondiente a tres apartados incluyendo información obtenida del xkijit (*Renealmia alpinia*), posteriormente se menciona la revisión sobre colorantes naturales y finalmente se aborda el apartado de microencapsulación.

4.1 Xkijit (*Renealmia alpinia*)

En este apartado se abordan las diferentes características del fruto, incluyendo su descripción botánica, así como los diferentes usos y formas de consumo, además se mencionan algunos reportes que confirman su utilidad dentro de la industria alimentaria.

4.1.1 Generalidades

El género *Renealmia* pertenece a la familia Zingiberaceae (Negrelle, 2015) descrito por Carl Von Linné en 1782. Es una planta herbácea (Tabla 1), monocotiledónea llega a medir de 0.5 a 2.5 m de alto, con rizomas de 1 a 3 cm de diámetro y hojas elípticas de 20 a 70 cm de largo y 13 a 18 cm de ancho. La inflorescencia es un racimo basal, de 20 a 30 cm de largo con flores de color amarillo-naranja y su fruto es elíptico, cuyo pericarpio es de color rojo cuando no está maduro y morado casi negro al llegar a su madurez de consumo. El fruto en su parte interna presenta un color amarillo intenso con numerosas semillas, llega a medir de 1.8 a 3 cm de largo y 0.5 a 1.5 cm de ancho (Lascurain *et al.*, 2010; Macía, 2003; Maas, 1977) (Figura 1).

Tabla 1. *Información taxonómica de Renealmia alpinia xkijit.*

Reino	Plantae
Clase	Lilipsida
Orden	Zingiberaceae
Género	Renealmia
Epíteto específico	Alpinia
Nombre científico	Renealmia alpinia (Rottb.) Maas
Determinador	P.J.M. Maas
Fecha de determinación	1998-12-31

Información extraída de Instituto de Biología, 2010.



Figura 1. Fruto xkijit (*Renealmia alpinia*).

A *Renealmia alpinia* se le conoce con diferentes nombres dependiendo de la región o el país donde se cultive; el nombre “Xkijit” proviene del dialecto totonaco, significa “planta silvestre de frutos comestibles” (García, 2007), existen algunas variaciones como *Ixquihity*, *X’quijit*, usadas en el estado de Veracruz (Lascurain *et al.*, 2010). Otros nombres comunes con los que se le conoce es *Mishquipanga* (Quechua) en zonas de Perú, *Naiku* en Colombia, entre otros (Tabla 2).

Tabla 2. Nombres comunes de *Renealmia alpinia* según su ubicación.

Nombre común	País	Referencia
Tapioka-kumpia (Awajún)	Ecuador	Namicela, (2010)
Matandrea	Colombia	Arango <i>et al.</i> , (2007)
Achiria de monte	Colombia	
Cardamomo	México	Lascurain <i>et al.</i> , (2010)
Huilimul	México	
Mardi gras	Trinidad y Tobago	Lans <i>et al.</i> , (2001)
Corovahiiba	Perú	Delgado, (2004)

La germinación seminal es poco exitosa y para su propagación se necesita generar vástagos a partir de su rizoma (Macía, 2003). Alarcón *et al.*, (2008) lograron una propagación exitosa *in vitro* usando Bencilaminopurina, además encontraron la presencia de metabolitos de tipo cumarinas en hojas provenientes de plantas *in vitro* y *ex vitro*. Crece en áreas abiertas, a orillas de ríos (Maas, 1977), su distribución es generalmente en Sudamérica como se muestra en la Figura 2 (*Renealmia alpinia*-Jengibre de jardín, Discover Life, 2016). En México podemos encontrar 4 especies *Renealmia cernua*, *R. mexicana*, *R. occidentalis* y *R. alpinia*, distribuidas en los estados de Zacatecas, Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla.

Particularmente en la Sierra Norte del estado de Puebla se cultivan y utilizan frutos de *R. alpinia* (Macía, 2003).

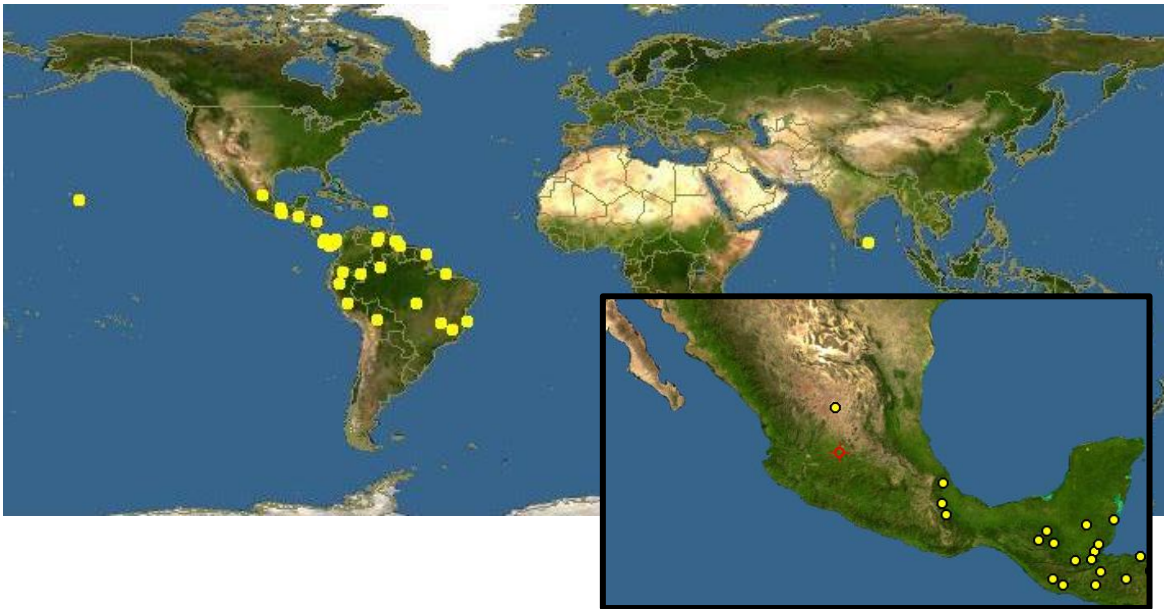


Figura 2. Distribución geográfica de *Renealmia alpinia*.

Macía (2003) reporta que la cosecha de *R. alpinia* en el estado de Puebla es en los meses de septiembre y noviembre. Los frutos se cosechan alcanzando su madurez ya que una vez que florece la planta muere; los pobladores recomiendan cortar el tallo después de la cosecha, cuando sus hojas están secas, para que la raíz no se pudra y así los nuevos vástagos puedan crecer.

4.1.2 Composición proximal del fruto

Existen pocos reportes acerca de la composición proximal y caracterización del fruto *R. alpinia*. Cerón (2013), determinó las propiedades fisicoquímicas del fruto lo cual concuerda con Idágarra (2015) y se enlistan en la Tabla 3. Particularmente Cerón (2013) menciona que los compuestos fenólicos que se extraen de *R. alpinia* pueden ser usados como un aditivo nutraceutico en la industria alimentaria, lo cual coincide con lo reportado por Noriega *et al.*, (2011) quienes evaluaron la toxicidad del pericarpio y concluyen que es inocuo y seguro como colorante natural.

Tabla 3. *Composición fisicoquímica de Renealmia alpinia*

Propiedad	Pericarpio	Pulpa y semillas
Porcentaje del fruto	68.70 %	31.20 %
Humedad	84.08 ± 1.25	49.73 ± 3.64
Cenizas	1.25 ± 0.4	0.98 ± 0.00
Sólidos solubles (°Bx)	-	4.03 ± 0.15
Acides	-	0.65 ± 0.14
Compuestos fenólicos (mg GAE 100g ⁻¹)	4844 ± 13.5	-
Capacidad antioxidante (mg TE g ⁻¹)	21.143 ± 0.602	-
Antocianinas totales (p/p)*	27.9 %	

Información extraída de Cerón, 2013; Idárraga, 2015; *Noriega *et al.*, 2011

4.1.3 Propiedades y usos

Macía (2003), reporta los usos que la etnia Totonaca en la Sierra Norte del Estado de Puebla realiza con *Renealmia alpinia*, la pulpa rodeada de semillas se muele en un metate, para después remover las semillas de forma manual, obteniendo una crema espesa misma que se hierve y se consume con tortillas o se mezcla con salsas. Asimismo, dependiendo de la parte de la planta que se utilice, tallos, raíz, hojas o frutos, se les adjudican diferentes usos, por ejemplo, dentro de la cocina las hojas son usadas para envolver pescado, verduras, carne o una mezcla de ellas y asado a fuego directo a este platillo se le conoce como *Tonga* y es preparado en Ecuador (Van den Veerle *et al.*, 2004). En Perú se prepara un platillo que es conocido como *Patarashca* que consiste en picar el fruto con todo y semillas y acompañarlo con pescado (Espinosa, 2014), también en Perú existen reportes que los frutos son utilizados para preparar guarniciones de diferentes platillos (Figura 3) (ámaZ, S.A.). Virga (S.A.) nueva empresa, que, para la elaboración de ginebra seco, maceran semillas de *xkijit* con enebro (*Juniperus communis*) y semillas de cilantro (*Coriandrum sativum*) (Virga, sin año).

Existen estudios sobre *R. alpinia*, los cuales mencionan su uso para la extracción de colorantes, para la elaboración de tinta para tatuajes en la piel (NTBG, National Tropical Botanical Garden, S.A.), o para la decoración de diferentes productos artesanales (Mantilla *et al.*, 2007).



Figura 3. Uso de *Renealmia alpinia* en la gastronomía colombiana.

Noriega *et al.*, (2011) realizaron extracciones del pericarpio para obtener diferentes tintas, las cuales se sometieron a distintos valores de pH y solventes, obteniendo diferentes tonalidades dependiendo del solvente utilizado como se observa en la siguiente Figura 4. Con las raíces es posible obtener colorantes amarillos-naranjas (RFC, Rainforest Conservation Found, S.A.), combinado con *Curcuma longa* se pueden obtener tonos rosados, marrones o con greda, azul oscuro (del Águila, 2009).

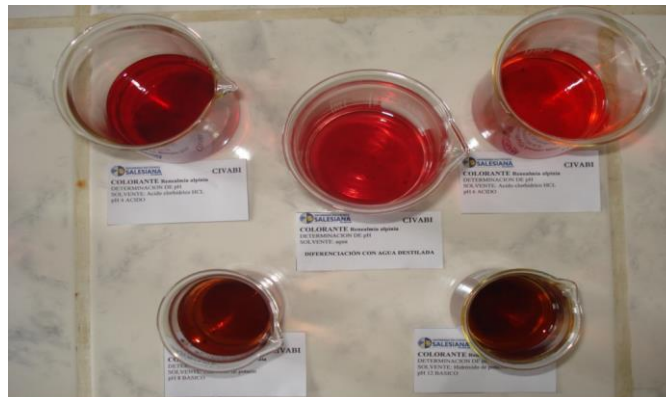


Figura 4. Comportamiento del colorante a diferentes valores de pH (Noriega *et al.*, 2011).

Existen algunos reportes que mencionan el uso ornamental de *R. alpinia*, pueden ser cultivadas en macetas y presenta flores muy atractivas con coloraciones amarillo-anaranjadas, como se observa en la Figura 5 (Cerón, 2013).



Figura 5. Flores de xkijit (*Renealmia alpinia*).

Gómez-Betancur *et al.*, (2015), demostraron que los extractos metanólicos y acuosos de *R. alpinia* tienen efectos significativos como analgésico, ellos concluyen que estas propiedades se relacionan con el contenido de ciertos flavonoides, mismos que pueden ser utilizados en la medicina tradicional (Borgi, *et al.*, 2008). De igual forma, Gómez (2014), comprobó las propiedades analgésicas de aceites esenciales provenientes de las hojas, ayudando a disminuir el dolor de cabeza o reducir la fiebre (Arango *et al.*, 2007), otros usos que se le atribuyen a esta planta son los reportados en el tratamiento de infecciones cutáneas y herpes (González, 2013). La infusión de la raíz en Las Guyanas, la usan como emético y como remedio contra la gastralgia. Asimismo, existen reportes de su efecto como antídoto para neutralizar el veneno de picaduras de víboras (Núñez *et al.*, 2004; Otero *et al.*, 2000 a, b); además baños con *R. alpinia* ha funcionado como relajante muscular (Lans, 2001). Otros usos medicinales se relacionan en tratamientos de conjuntivitis y el efecto antifúngico para remover la caspa (*Pityriasis Simplex* o *Furfuracea*).

4.2 Colorantes naturales

Actualmente, y debido a diferentes razones el color en alimentos se pierde y deben ser añadidos productos que puedan otorgar un mejor aspecto a productos alimenticios, por lo cual el uso de colorantes de origen natural ha aumentado, debido a que muchos de estos son asociados a diferentes beneficios a la salud, principalmente por sus propiedades antioxidantes. En la siguiente sección se describirá: el origen, la clasificación y usos de estos compuestos.

4.2.1 Generalidades

La ETAD (Ecological and Toxilogical Association of Dyes and Organic Pigment Manufacturers) define a un colorante como una sustancia orgánica, la cual imparte color, por diferentes absorciones de la luz (ETAD, S.A.). Las principales características del color son el tono (Hue) el cual identifica el color como rojo, amarillo, verde o azul, luminosidad (lightness) indica que tan brillante puede ser un color, ya sea que este refleje o absorba la luz y la saturación (croma) que es la saturación del color (Socaciu, 2007), por lo cual, estos parámetros podrían indicar la eficacia de un colorante.

El consumo de los alimentos puede estar influenciado por la percepción sensorial; ya que el color es un atributo muy importante al momento de seleccionar los alimentos, debido a que es un indicador de calidad (Socaciu, 2007). Este es el primer atributo que observamos de un alimento (van de Laan *et al.*, 2011; van de Laan *et al.*, 2015), desde niño se enseña al consumidor que ciertos alimentos deben tener determinada apariencia (Frick, 2003; Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003; Shim *et al.*, 2011), lo cual lleva a clasificar a los alimentos por su color, asociando con un sabor.

Existen varias razones por las cuales se tienen que adicionar colorantes a los alimentos, que van desde la pérdida durante el procesamiento, no poseer color por sí mismos, el color puede variar y debe ser estandarizado, cumplir con las exigencias o expectativas del consumidor, además de ciertas condiciones de almacenamiento, luz, aire, temperatura, humedad que pueden degradar el color (Frick, 2003; Cejudo-Bastante *et al.*, 2013).

En la mayoría de los países es necesario declarar el uso de colorantes de forma individual debido a que algunos no están permitidos o debe evitarse su uso para el público (Frick, 2003), ya que pueden ser tóxicos después de su uso prolongado y causar problemas a la salud incluyendo algunos efectos carcinogénicos (Carocho *et al.*, 2014; Amchova *et al.*, 2015; Kobylewski y Jacoboson, 2010). Además, se ha asociado al consumo de colorantes con ciertas enfermedades como asma, intolerancia a algunos alimentos, hiperactividad e hipersensibilidad en niños (McCann *et al.*, 2007; Nigg *et al.*, 2012).

Algunos colorantes sintéticos son compuestos químicos orgánicos derivados de petróleo, son más económicos, estables, brillantes y relativamente presentan menos problemas (Frick, 2003). Sin embargo, actualmente existe la demanda por parte del consumidor por productos más naturales (Kobylewski y Jacoboson, 2010) alimentos mínimamente procesados y que además contribuyan a la salud.

Algunas de las aplicaciones típicas de los colorantes naturales son: bebidas, dulces, repostería, alimento para mascotas, usos en la industria cosmética y farmacéutico o como nutraceútico (Hari *et al.*, 1994; Rodríguez-Amaya, 2016).

4.2.2 Colorantes y sus propiedades antioxidantes

Los colorantes naturales alimentarios, han recibido gran atención ya que además de su función de atribuir color al producto, pueden proveer ciertos beneficios sobre la salud (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003; Shim *et al.*, 2011; Gengatharan *et al.*, 2015), debido a su efecto como antioxidantes y diferentes propiedades funcionales (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003; Kaimainen *et al.*, 2015; Rodríguez-Amaya, 2016). Además, estos son más seguros y brindan ciertas características organolépticas.

El color de los pigmentos puede ser un indicador del tipo de compuesto presente en el alimento; al rojo podría atribuirse la presencia de licopeno el cual funciona como un antioxidante (Oberoi y Sogi, 2015), el color morado de las betacianinas (Cai *et al.*, 1998). En la Tabla 4 se presenta un listado de posibles fuentes de pigmentos reportados en la bibliografía, además de su posible efecto antioxidante asociado a dichos compuestos.

Tabla 4. Fuentes naturales de diferentes compuestos bioactivos.

Fruto	Antioxidantes	Compuestos fenólicos	Antocianinas	Carotenoides	Referencia
Açaí	1230.43±59.20 ^a		3946.14±59.90 ^b		Tonon <i>et al.</i> , 2010
Pétalos de azafrán			1712.19±60.24 ^c		Mahdavee <i>et al.</i> , 2014
Blueberry	116.2±2.3 ^d	24.92±2.64 ^e	16.42±1.13 ^f		Jiménez-Aguilar <i>et al.</i> , 2011
Coco	0.003±0.002 ^g				
Mangostán	0.006±0.003 ^g				
Long Kong	0.023±0.007 ^g				
Maracuyá	0.031±0.004 ^g				
Plátano	0.047±0.005 ^g				Okonogi <i>et al.</i> , 2007
Rambután	0.084±0.016 ^g				
Pitaya	0.104±0.014 ^g				
Granada	1.290±0.001 ^g				
Coco		1.31±0.0 ^h			
Rambután		2.28±0.02 ^h			Khonkarn <i>et al.</i> , 2010
Mangostán		1.64±0.06 ⁱ			
Barberry			609.25±2.18 ^j		Akhavan <i>et al.</i> , 2016
Curuba	6630.2±91.0 ^k				
Cáscara de caju amarillo				2815±795 ^l	
Cáscara de caju naranjas				5278±406 ^l	Schweiggert <i>et al.</i> , 2016
Cáscara de caju rojo				3250±385 ^l	

^a μmol TE/g DM, ^b mg/100 g DM, ^c mg/L, ^d μmol TE/g DM ss, ^e mg GAE/g ss, ^f mg C3G/g ss, ^g IC₅₀ (mg/mL), ^h mg GAE/mL (Acetato de etilo), ⁱ mg GAE/mL (Metanol), ^j mg C3G/100 mL, ^k μmol TEAC/100g, ^l μg/100 FW

4.2.3 Clasificación y obtención de colorantes naturales

Existen ciertas divergencias en cuanto a la clasificación de estos colorantes, en Estados Unidos de Norte América, solo se considera como colorante natural si es agregado a la misma fuente de procedencia. La Unión Europea no distingue entre colorantes naturales y artificiales, mientras que en Japón, un colorante natural es el que proviene de fuentes naturales y que no ha sido químicamente modificado (Frick, 2003). Delgado-Vargas *et al.*, (2000) los definen como compuestos químicos que pueden absorber la luz en el rango de onda perteneciente a la región visible, produciendo color dependiendo de su estructura molecular. Sin embargo, con la creciente demanda de consumir alimentos e ingredientes provenientes de fuentes naturales, libres de efectos tóxicos y problemas a la salud (Martins *et al.*, 2016) se puede hacer uso de frutas y vegetales como fuentes naturales y brindan colores asociados a diferentes compuestos bioactivos. Por ejemplo, verdes de las clorofilas, amarillo de los carotenoides, azul-morado de las antocianinas y rojo de las betalainas (Rodríguez-Amaya, 2016). Hendry y Houghton, (1996) hacen una clasificación de colorantes naturales de la siguiente forma tetrapirroles, tetra-terpenoides, quinonas, *O*-heterociclicos, *N*-heterociclicos y metalo-proteínas, los cuales tienen diferentes coloraciones como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. *Colorantes naturales*

Grupo	Nombre alternativo	Ejemplo	Color predominante
Tetrapirroles	Porfirinas y sus derivados	Clorofilas	Verde
		Haems	Rojos
		Bilinas	Azul-verde-amarillo-rojo
Tetraterpenoides	Carotenoides	Carotenoides	Amarillo-rojo
		Xantófilas	Amarillo
Compuestos <i>O</i> -Heterociclicos	Flavonoides	Antocianinas	Azul-rojo
		Flavonoides	Amarillo-blanco
		Flavonas	Blanco-crema
Quinonas	Compuestos fenólicos	Naftaquinonas	R rojo-azul-verde
		Antraquinonas	R rojo-morado
		Alomelaninas	A amarillo-café
		Taninos	C café a rojo

Información extraída de Hendry y Houghton, 1996.

Tabla 5. *Colorantes naturales (Continuación)*

Grupo	Nombre alternativo	Ejemplo	Color predominante
Compuestos Heterociclicos	N-Indigoides y los derivados del indol	Betalainas	Amarillo-rojo
		Eumelaninas	Negro-café
		Feomelaninas	Café
		Índigo	Azul-rosa
		Pterinas	Blanco-amarillo
		Purinas	Blanco opaco
		Flavinas	Amarillo
		Fenoxazinas	Amarillo-rojo
		Fenazinas	Amarillo-morado
		Metaloproteinas	
Hemeritrina	Rojo		
Hemovanadinas	Verde		
Adenocromos	Morado-rojo		

Información extraída de Hendry y Houghton, 1996.

Asimismo, los colorantes pueden provenir microbianas. Santos-Ebinuma *et al.*, (2015) realizaron la extracción de colorante rojo natural a partir de *Penicillium purpurogenum*, concluyendo que los hongos o microorganismos son una fuente importante para la obtención de colorantes naturales.

4.2.4 Antocianinas

Las antocianinas son colorantes naturales estudiados con mayor frecuencia (Martins *et al.*, 2016), debido a su baja toxicidad (Brouillard, 1982, Tonon *et al.*, 2010). Sin embargo, a diferencia de otros colorantes como las betacianinas o las betalaínas (E162), las antocianinas no han sido aprobadas para su uso en alimentos. Por lo tanto, el estudio de las antocianinas ha aumentado debido a sus propiedades nutraceuticas, ya que por pertenecer al grupo de los flavonoides (Bridel y Timberlake, 1999; Giuliani *et al.*, 2015), se les relaciona por inhibir radicales libres contribuyendo a disminuir el riesgo de padecer enfermedades cardiacas y cáncer (Wang *et al.*, 1997). Se estima que la ingesta diaria de antocianinas va de los 500 mg a 1 g dependiendo del individuo (Lila, 2004).

Dichos compuestos pertenecen al grupo más importante de pigmentos solubles en agua; se acumulan en las vacuolas de las plantas (Pietrini *et al.*, 2002; Horbowicz *et al.*, 2008) y llevan a cabo diferentes reacciones bioquímicas. Son glucósidos de las antocianidinas (gliconas) y

azúcares, el principal es la glucosa, pero puede estar unida a otros azúcares como la xilosa, galactosa, arabinosa, o la rutinosa (Horbowicz *et al.*, 2008). Los principales grupos de las antocianinas presentes en la naturaleza son: pelargonidina (naranjas), cianidina (naranja rojizo), peonidina (rojo morado), delphinidina (morado, azul), petunidina (rojo oscuro o morado) y malvidina (morado). En la Figura 6, se observa la estructura básica de estos compuestos (He y Giusti, 2010; Giuliani *et al.*, 2015).

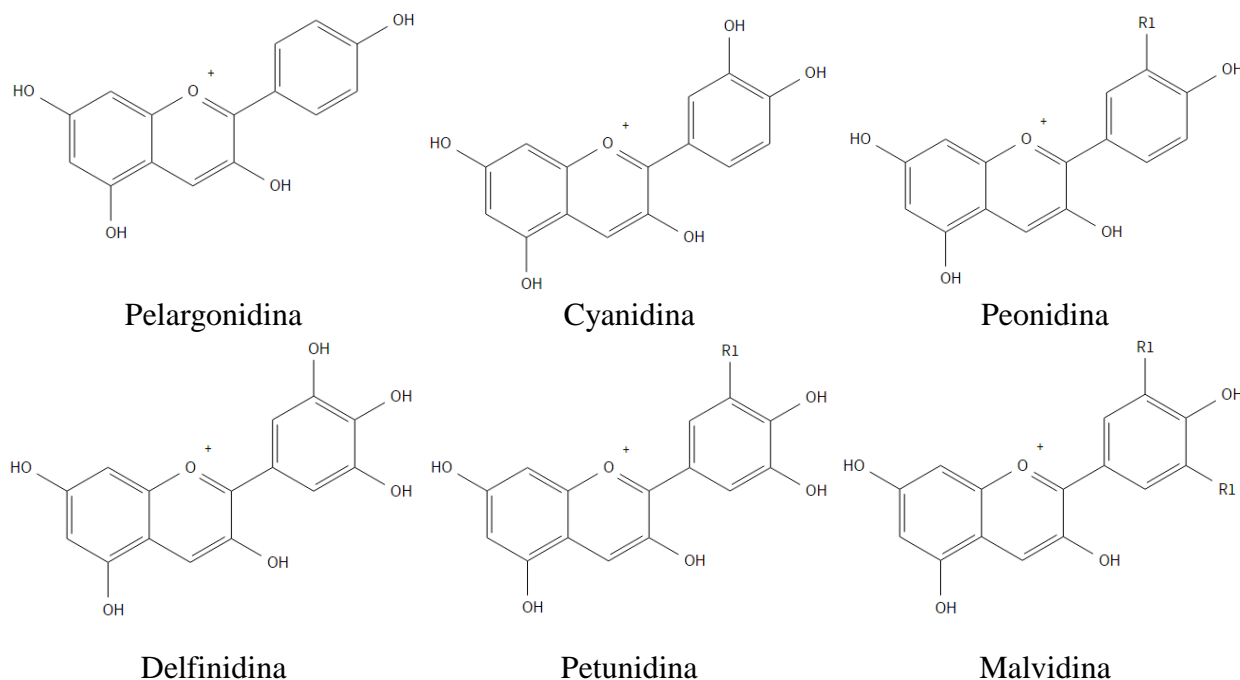


Figura 6. Estructura química de algunas antocianinas. R1: COOH (Adaptado de Giuliani *et al.*, 2015; He y Giusti, 2010)

Es común encontrar mezclas de dos o más de diferentes tipos de antocianinas en frutas, flores, vegetales, etc., (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003); no obstante, la más abundante es la cianidina (Harborne, 1998). Existen más de 400 antocianinas en la naturaleza (Mazza y Miniati, 1993) las cuales dependiendo del pH y otros factores darán como resultado una gran variedad de tonalidades de color (Hou, 2003).

4.2.4.1 Extracción, uso y estabilidad

Las antocianinas pueden provenir de diferentes fuentes como: flores, hojas, raíces frutos (Wang *et al.*, 1997; Doughall *et al.*, 1998), ayudando a que animales polinicen las flores o la

dispersión de las semillas por el color atractivo (Stintzing y Carle, 2004), son además un filtro contra la luz UV, ya que pueden proteger a los organelos que contienen clorofila, resguardando a los cloroplastos de la alta intensidad de luz, lo cual previene o reduce la fotoinhibición (Pietrini *et al.*, 2002). En el cuerpo humano la cianidina-3-glucosido y la pelargonidina-3-glucosido pueden ser absorbidas intactas por la pared gastrointestinal (Fang, 2014)

El uso de las antocianinas como colorante o alimento funcional es limitado, ya que estas tienden a ser inestables frente a diversos factores, como pH, temperatura, humedad, salinidad, almacenamiento, copigmentación debido a la presencia de otros flavonoides, proteínas, entre otros (Francis, 1989; Mazza y Miniati, 1993; Rodríguez-Saona, *et al.*, 1999; Ersus y Yurdagel, 2007), los cuales pueden estar presentes en la matriz alimenticia y pueden aumentar o disminuir la intensidad del color.

La estabilidad de las antocianinas disminuye mayoritariamente debido a los cambios de pH (Mahdavi *et al.*, 2014), provocando que el color varíe (Doughall *et al.*, 1998; Giuliani *et al.*, 2015). En condiciones ácidas estos pigmentos presentan una coloración rojiza y en condiciones alcalinas toman tonalidad entre azules y verdes (Horbowicz *et al.*, 2008). Siendo valores de pH menores o iguales a 3.5 los ideales, en la Figura 7 se muestra el efecto del pH sobre la estructura de las antocianinas. Por efecto de la temperatura, se ha reportado que se deteriora lentamente, específicamente un incremento de la temperatura favorece la forma chalcona la cual no es estable y puede degradarse a productos cafés (Horbowicz *et al.*, 2008).

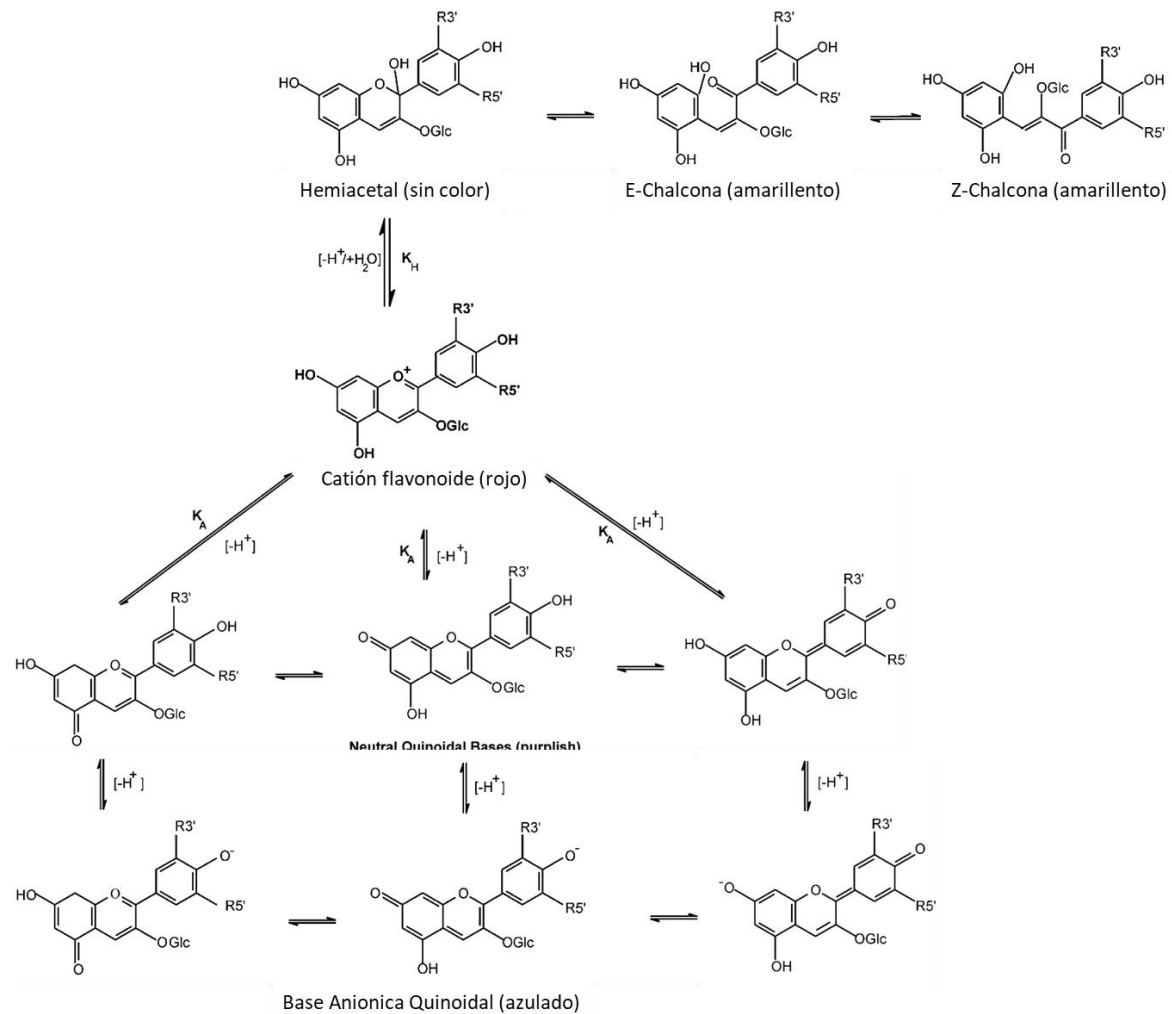


Figura 7. Efecto del pH sobre la estructura de las antocianinas

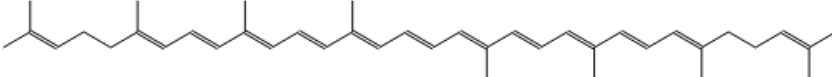
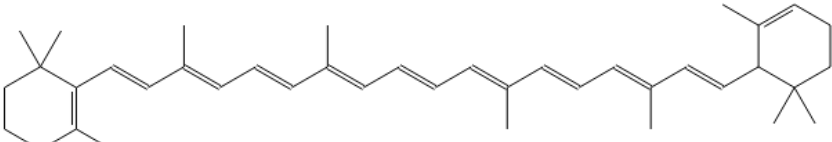
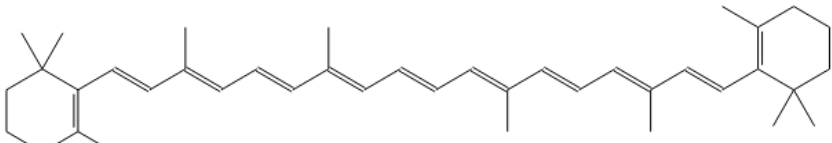
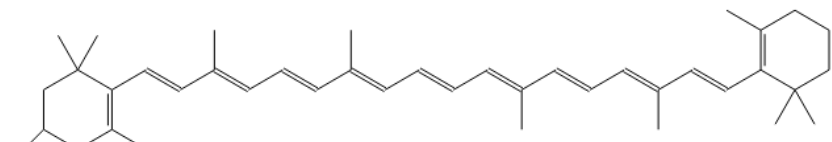
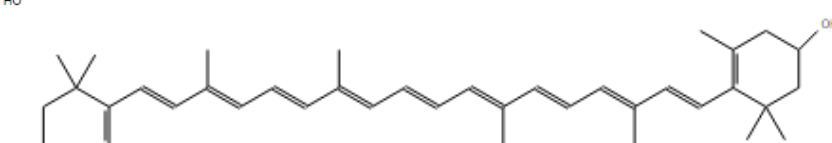
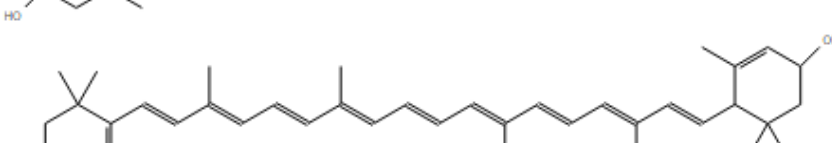
Se han reportado diversas formas de extracción de estos pigmentos, entre los cuales podemos encontrar la ultrasonificación (Celli *et al.*, 2015), los campos eléctricos pulsados (Medina-Meza y Barbosa-Cánovas, 2015), el calentamiento óhmico (Loypimai *et al.*, 2015) y el método más común: la extracción con solventes; debido a que las antocianinas poseen anillos aromáticos los cuales contienen grupos sustituyentes polares y residuos de glicosilo, juntos producen una molécula polar, más soluble en agua que en solventes no polares (Delgado-Vargas *et al.*, 2000). Además, se han realizado extracciones de diferentes fuentes tanto vegetales como semillas, por ejemplo, antocianinas provenientes de uva (*Vitis labrusca*) (Brito de Souza *et al.*, 2014), zanahoria negra (Ersus y Yurdagel, 2007), blueberry (Reque *et al.*, 2014), algunos de ellos se enlistan en la Tabla 6.

Tabla 6. *Tecnicas selectas reportadas para extracción de antociaininas de frutas*

Fuente	Método de extracción	Zona de extracción	Referencia
Açai	Extracción de jugo	Pulpa	Tonon <i>et al.</i> , 2010
Cainito			
Cajú amarillo	Liofilización (-56°C) 48 hrs y molido	Pericarpio	Moo-Huchin <i>et al.</i> , 2015
Cajú rojo			
Azafrán	Secado (34 °C, 24 hrs) molidos, extracción con etanol acidificado y concentrado en rotavapor (40°C)	Pétalos	Mahdavee <i>et al.</i> , 2014
Jambul			
Espinacas ceylon			
Jamaica			
Pitaya roja			
Papaya			
Uva roja			
Camote rojo			
Khae rojo			
Col morada	Secado (50°C, 48 hrs) molidos, extracción con metanol (HCL 0.1 N)	Fruto	Chaiyasut <i>et al.</i> , 2016
Ciruella			
Toronja			
Berenjena			
Conchita Azul			
Ma kiang			
Lentejas moradas			
Lechuga morada			
Cereza			
Taro			
Blueberry	Etanol (96%, 25°C, 2 hrs), rotavapor 35°C	Fruto	Jiménez-Aguilar <i>et al.</i> , 2011
Barberry	Molido, extracción con etanol (50°C, 2 hrs), rotavapor (40°C)	Fruto	Akhavan <i>et al.</i> , 2016
Col morada	Fruto seco se humedeció toda la noche con agua, autoclave 30 min y filtrado, evaporador flash (60°C) para concentrar	Hojas	Ezhilarasi <i>et al.</i> , 2013
Garcinia cowa		Fruto	
Uvas rojas	Extracción con diferentes solventes (Metanol, Agua, Acetona, HCl)	Pericarpio Fruto entero	Revilla <i>et al.</i> , 1998
Trigo azul	Extracción acelerada con solventes, Extracción asistida por microondas, Extracción convencional con solventes	Entero	Abdel-Aal <i>et al.</i> , 2014
Maíz azul			
Arroz negro	Campos eléctricos pulsados	Jugo	Zhou <i>et al.</i> , 2015
Blueberry			
Col morada	Ultrasonido y métodos convencionales	Hojas	Demírdöven, 2015
Berenjena	Ultrasonido y 2-propanol	Pericarpio	Dranca, 2016

Diversos autores han evaluado su uso en diferentes alimentos, debido a sus propiedades como pigmento y antioxidante, otorgando cierta funcionalidad al producto. Un ejemplo es el fruto del açai, con un alto poder antioxidante y cuyos extractos se han adicionado como colorante en yogurt (Coisson *et al.*, 2005; Del Pozo-Insfran *et al.*, 2004). Otros alimentos a los cuales se les han adicionado antocianinas provenientes de diversas fuentes naturales son las bebidas (De Rosso y Mercadante, 2007), o bien en alimentos de consumo diario como jaleas, jugos o en vino tinto (He y Giusti, 2009). Actualmente, la Unión Europea ha permitido el uso de antocianinas en productos ácidos (bebidas o jugos, frutas en conserva, confitería, productos congelados, productos lácteos y bebidas alcohólicas) (Giuliani *et al.*, 2016).

Tabla 7. Estructura y características de algunos carotenoides comunes en alimentos

Estructura	Nombre y características
	Lycopeno Acíclico, Rojo
	α -Caroteno Bicíclico, Amarillo
	β -Caroteno Bicíclico, Naranja
	β -Criptoxantina Bicíclico, 1 grupo hidróxido, Naranja
	Zeaxantina Bicíclico, 2 grupos hidróxido, Amarillo-Naranja
	Luteína Bicíclico, 2 grupos hidróxido, Amarillo

Información extraída de Rodríguez-Amaya, 1997.

4.2.5 Carotenoides

Otros pigmentos naturales son los carotenoides, los cuales están conformados a base de hidrocarburos orgánicos (Chapman, 2012); la mayoría de las plantas los contienen, así como algunas algas, algunas bacterias y hongos, estos pueden impartir diversos colores, además de poseer diferentes propiedades bioactivas (Hornero-Méndez y Mínguez-Mosquera, 2007; Rizk *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2016). Asimismo, los carotenoides presentan tonalidades amarillas-naranjas (Berg *et al.*, 2000) o rojas como el licopeno (Rizk *et al.*, 2014), su estructura y sus múltiples dobles enlaces son la parte que brindan el color por la forma en la que se absorbe la luz (Tabla 7) (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004), son necesarios por lo menos 7 enlaces dobles (Rodríguez-Amaya, 2001) y pueden tener hasta 40 cadenas de carbono (Gul *et al.*, 2015).

4.2.5.1 Extracción, uso y estabilidad

A los carotenoides se les han atribuido propiedades bioactivas, ya que aportan beneficios a la salud, tienen cierto potencial antioxidante, por lo cual han sido usado en la industria alimenticia como conservador natural (Dias *et al.*, 2009; Rodríguez-Amaya, 2016), relacionando su consumo con la reducción del riesgo a padecer cáncer (Flagg *et al.*, 1995; Giovannucci *et al.*, 1995). Además, ya que el humano no es capaz de sintetizarlo, siendo necesario obtenerlos mediante la dieta (Rodríguez-Amaya 2004; Haskell, 2012) pues son precursores de la vitamina A (Gul *et al.*, 2015; Gonçalves *et al.*, 2016). Chapman (2012), menciona que la cantidad de vitamina A obtenida de la dieta varía dependiendo de la edad de la persona ya que sus requerimientos varían (Tabla 8).

Tabla 8. Cantidad recomendada para el consumo de vitamina A en la dieta humana

Edad	Cantidad ($\mu\text{g/d}$)
1 a 8 años	400-600
Mas de 8 años	600-800
Hombres adultos	900
Mujeres adultas	800
Mujeres durante el embarazo	700

Información extraída de Chapman, (2012)

Se han aislado más de 650 carotenoides provenientes de fuentes naturales, no obstante, solo 60 son los que se encuentran en la dieta humana (During y Harrison, 2004). Existen diferentes

fuentes de donde se pueden obtener carotenoides, como son los vegetales de hoja verde o frutas y vegetales amarillos (Giuliani *et al.*, 2015), paprika, caléndula o por fermentación microbiana (Rodríguez-Amaya, 2016). Richter *et al.*, (1996) menciona que la extracción por solventes a pesar de no ser la mejor, por los problemas que presenta como el tiempo de extracción, la baja selectividad o los bajos rendimientos, además de la excesiva generación de solventes tóxicos, es la más tradicional, este y otros métodos se enlistan en la Tabla 9.

Tabla 9. *Extracción de carotenoides de algunas frutas*

Fuente	Método de extracción	Zona de extracción	Referencia
Cainito Cajú amarillo Cajú rojo	Liofilización (-56°C) 48 horas y molido	Pericarpio	Moo-Huchin <i>et al.</i> , 2015
Naranja	[hexano, acetona, cloroformo, hexano:acetona (1/1 v/v), hexano:cloroformo (1/1 v/v) y acetona:cloroformo (1/1 v/v)] durante 5 min y centrifugado a 10000 RPM	Pericarpio	Ghazi, 1999
Zanahoria	Tratadas con NaCl y/o Ácido acético y Enzimas Extracción con solventes y presiones elevadas	Fruto	Jaramillo-Flores <i>et al.</i> , 2005
Cajú (amarillo, naranja y rojo)	Extracción con fluidos supercríticos	Fruto	Schweiggert <i>et al.</i> , 2016
Mamey	Extracción con metanol/acetato de etilo/petróleo	Pulpa	Chacón-Ordóñez <i>et al.</i> , 2017
Calabaza	Acetona	Pulpa	de Carvalho <i>et al.</i> , 2012
Tomate	Deshidratación y extracción con etanol, acetona/hexano	Pericarpio	Rizk <i>et al.</i> , 2014

La cantidad y composición de los carotenoides puede variar dependiendo de diferentes factores, entre los que se encuentran: cultivo, variedad, clima y estación. Sin embargo, su aplicación está limitada ya que estos en presencia de oxígeno y luz durante el procesamiento los vuelve propensos a la degradación química (Bustos-Garza *et al.*, 2013; Giuliani *et al.*, 2015; Rodríguez-Amaya, 2016). Los carotenoides han sido usados principalmente para productos con alto contenido de ácidos grasos, como la mantequilla, margarinas, productos

lácteos. Hari *et al.*, (1994) recopilan y enlistan diferentes usos de algunos carotenoides en la industria alimenticia (Tabla 10).

Tabla 10. *Carotenoides usados como aditivo alimentario*

Producto alimenticio	Pigmento
Productos de repostería	
Bebidas	
Productos grasos u oleosos	β -Caroteno
Productos lácteos	
Productos de yema de huevo congelada y deshidratada	
Palomitas	
Productos a base tomate	Cantaxantinas
Espicias secas	Apocarotenal
Mezclas de panadería	β -Caroteno
Confitería	Cantaxantinas

Información extraída de Hari *et al.*, 1994

4.3 Encapsulación

La microencapsulación contribuye al recubrimiento de ingredientes, favoreciendo su conservación frente a diferentes condiciones ambientales, en el siguiente apartado se enfocó a revisar aspectos relacionados con la microencapsulación mediante secado por aspersión, además se menciona el uso de la encapsulación en diferentes componentes vegetales y las aplicaciones de los microencapsulados.

4.3.1 Generalidades

Existen diferentes procedimientos para llevar a cabo la encapsulación, algunos ejemplos son la coacervación, co-cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular. También se puede llevar a cabo por métodos mecánicos o físicos como el secado por aspersión, secado por congelamiento/enfriamiento y extrusión (Ré, 1998; Yañez *et al.*, 2002; Madene *et al.*, 2006; Crittenden *et al.*, 2006; Goderska *et al.*, 2008; Mokarram *et al.*, 2009). Los encapsulados pueden variar en su tamaño (0.2-5000 μm) y forma, dependiendo de diversos factores, tales como el método de obtención o el material de recubrimiento (Balassa y Fanger, 1971). Algunos tipos de encapsulados que podemos encontrar son los de tipo reservorio y los de tipo matriz (Zuidam y Shimoni, 2010; Giro-Paloma *et al.*, 2016) (Figura 8), y a su vez estos pueden tener diferentes morfologías (Figura 9) (Giro-Paloma *et al.*, 2016). La elección del método de encapsulación dependerá del tamaño de partícula deseado, la aplicación que se le dará, los costos, entre otros (Ré, 1998).

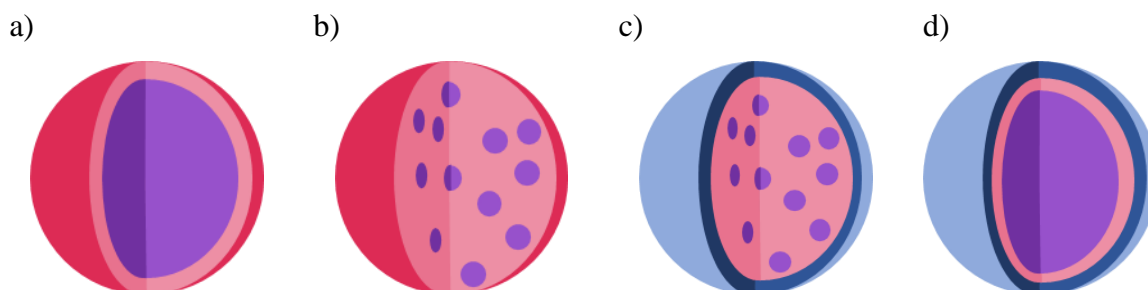


Figura 8. Tipos de cápsulas, a) Tipo reservorio, b) Tipo matriz, c) Tipo matriz recubierta, d) Matriz multi pared (Zuidam y Shimoni, 2010; Giro-Paloma *et al.*, 2016).

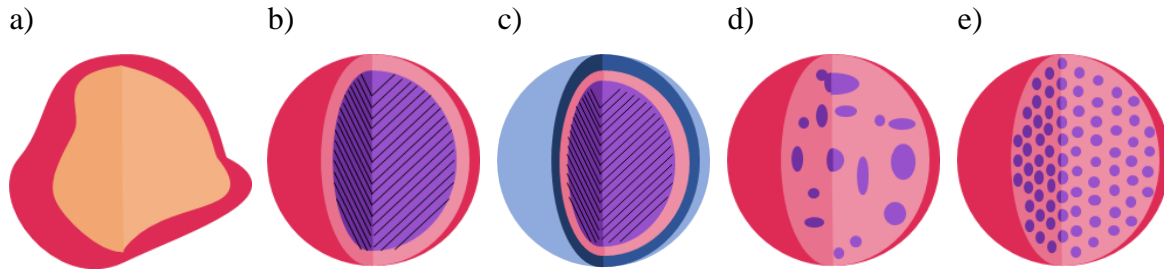


Figura 9. Posibles morfologías, a) Irregular, b) Simple, c) Multi pared, d) Núcleos múltiples, e) Matriz de partículas (Giro-Paloma *et al.*, 2016).

Entre los principales agentes encapsulantes se encuentran los carbohidratos, gomas de origen natural, ceras, gelatina y algunos polímeros (Dziezak, 1998; Gharsallaoui *et al.*, 2007; Young *et al.*, 1993).

4.3.2 Encapsulación mediante el secado por aspersión

La encapsulación consiste en la formación de una película de compuestos poliméricos llamada pared, la cual recubren a una gota líquida, partícula sólida o gaseosa, llamada núcleo (Young *et al.*, 1992; Madene *et al.*, 2006; Araneda y Valenzuela, 2009), el recubrimiento será resistente, delgado, casi esférico y semipermeable, su superficie puede ser lisa o irregular con o sin poros (Pérez-Leonard *et al.*, 2013) transformando un fluido líquido en partículas deshidratadas (Masters, 1985). Los fluidos son atomizados dentro de una cámara de deshidratación donde se forman las microsferas (Anandharamakrishnan *et al.*, 2007; Ezhilarasi *et al.*, 2014). El tamaño de las gotas dependerá de la composición de la emulsión (Parra, 2010) y la eficiencia de la encapsulación podrá variar debido a distintos factores, como las temperaturas de entrada y de salida, el flujo de alimentación, la presión de atomización, la concentración del agente encapsulante, entre otros (Tonon *et al.*, 2008; Pérez-Leonard, 2013).

De acuerdo con Ré (1998) las etapas de la microencapsulación consisten en: preparación de la emulsión o la matriz donde el material a encapsular será incorporado, un mezclado vigoroso para formar una dispersión o emulsión, la cual es alimentada en el secador por aspersión, donde la mezcla se convertirá en pequeñas gotas y por el efecto del flujo de aire caliente, el agua será evaporada.

El secado por aspersión presenta ciertas ventajas sobre otras técnicas de encapsulación, siendo una de las más usadas para ingredientes alimenticios (Filková *et al.*, 2007; Fang y Bhandari, 2010). López y Gómez (2008) sugieren que esta técnica puede alcanzar rendimientos hasta del 100% en comparación con otras técnicas, además de proteger al principio activo contra diversas condiciones adversas de procesamiento, empaque y almacenamiento (Ré, 1998; Yañez *et al.*, 2002); contribuye al enmascaramiento de olores y sabores (Ré, 1998; Ersus y Yurdagel, 2007; Fang y Bhandari, 2010), así como evitar la interacción entre estos últimos (Versic, 1988; Reineccius, 1989). Otras utilidades de esta tecnología son la liberación gradual del compuesto encapsulado, facilita la transportación y manejo, el cambio de ciertas características (humedad, densidad e higroscopicidad) mejorando su distribución al momento de la incorporación, estabilización de compuestos y sobre todo en la transformación de líquidos a sólidos (Astray *et al.*, 2009).

4.3.3 Agentes encapsulantes

El uso de diferentes agentes encapsulantes puede tener distintos efectos en el producto obtenido, ya que no solo las condiciones de operación afectan las propiedades del polvo, también lo hacen los agentes usados (Medina-Torres *et al.*, 2013) disminuyendo el contenido de humedad o actuando como barrera (Wang *et al.*, 2009)

Existen distintos tipos de agentes encapsulantes, como los polisacáridos, lípidos, proteínas, por mencionar algunos, encontramos al almidón, la carboximetil celulosa, gelatina, maltodextrina, alginato de sodio, caseína de sodio, pectina, goma arábiga, goma guar, quitosano, así como ceras, lecitinas y fibras (Fuch *et al.*, 2006; Ravichandran *et al.*, 2012).

La maltodextrina es uno de los principales agentes formadores de pared (Gibbs *et al.*, 1999; Ahmed *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2015), sobre todo por su costo y efectividad, ya que tiene una baja viscosidad y proporciona una alta cantidad de sólidos, es inodora, incolora y no enmascara el sabor original (García *et al.*, 2004; Rocha *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2014), el peso molecular puede variar dependiendo de los equivalentes de dextrosa (Madene *et al.*, 2006) y puede favorecer diferentes características en el producto. La adición de maltodextrina puede minimizar adherencia y la higroscopicidad (Patil *et al.*, 2014) favoreciendo la atomización, ya que reduce de forma significativa la viscosidad (Pierucci *et al.*, 2007) lo cual

provoca que el tamaño de las gotas sea más grande y como resultado se obtendrán esferas más grandes (Jinapong *et al.*, 2008).

La goma arábiga es muy usada en la encapsulación por aspersion de sabores y colores (Beristain *et al.*, 1999; Ramírez *et al.*, 2015); es un heteroglicano complejo altamente ramificado (cadena principal D-galactorirranosa unida por enlaces β -D-Glicosidicos) (Whistler y Daniel, 1990) la cual puede contener algunas propiedades nutricionales, ya que es altamente digerible y tiene un impacto benéfico en el índice glicémico, además de poseer un bajo contenido calórico (Badreldin *et al.*, 2009). Por otro lado, incrementa la temperatura de transición vítrea, sirve como emulsificante y coloide protector en la mezcla de alimentación (Thevenet, 1988; Sansone *et al.*, 2011; Pérez-Leonard *et al.*, 2013), asimismo, son solubles y de baja viscosidad (Madene *et al.*, 2006).

Diversos autores mencionan que el uso de un solo agente no posee todas las características requeridas para llevar a cabo una correcta microencapsulación y posterior secado (Bhandari *et al.*, 1992; Fuch *et al.*, 2006; Kaushik y Roos, 2007), por lo cual el uso de diferentes agentes en una misma matriz podría resultar en esferas más resistentes, más uniformes, entre otros aspectos que aseguran la calidad de los polvos. Esta calidad dependerá de diferentes características morfológicas (tamaño, estructura, densidad), rendimiento, contenido del material activo, liberación, estado físico y la interacción polímero-material activo (Pérez-Leonard *et al.*, 2013)

4.3.4 Aplicación de la microencapsulación en alimentos

La microencapsulación ha sido utilizada en diferentes áreas industriales, farmacéutica, textil, cosmética, entre otras (Ré, 1998; Fuchs *et al.*, 2006; Dutta *et al.*, 2009; Rai *et al.*, 2009).Específicamente, en la industria de los alimentos se han desarrollado diversos estudios como la producción de colorantes a partir de productos vegetales, existen reportes de la encapsulación del colorante rojo proveniente de frutos como *Opuntia stricta* y su incorporación en varios productos alimenticios logrando tonalidades atractivas para los consumidores (Obón *et al.*, 2009), en otro estudio realizado por Ge *et al.*, (2009) obtuvieron pigmentos rojos de rosas rojas (*Rosa hybridum*) los cuales resultaron estables a diversas condiciones de temperatura. Mientras que Santhalakshmy *et al.*, (2015) utilizaron diferentes

temperaturas de entrada para la encapsulación de jugo de jambul (*Syzygium cumini*) el cual es rico en antocianinas, encontrando que la temperatura óptima de microencapsulación fue de 150°C. Otras investigaciones se han enfocado a la extracción, encapsulación y uso de betalainas a partir de *Basella rubra* (Sravan Kumar *et al.*, 2014). Tonon *et al.*, (2010) evaluaron la actividad antioxidante y la estabilidad de las antocianinas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.) concluyendo que la maltodextrina 10 DE fue el mejor recubrimiento del colorante. Otros ejemplos de encapsulación de antocianinas y otros pigmentos como betalainas y carotenoides provenientes de col morada, tuna morada y zanahoria han sido desarrollados por Zaidel *et al.*, 2014, Lim *et al.*, 2016; Otálora *et al.*, 2015; Ersus y Yurdagel, 2007.

La encapsulación de sabores mediante secado por aspersión es una de las técnicas más usadas (Liu *et al.*, 2004; Krishnan *et al.*, 2005), de igual forma los agentes encapsulantes utilizados con mayor regularidad son el almidón, maltodextrina y goma arábiga (Bhandari y Howes, 1999; Gouin, 2004; Santhalakshmy *et al.*, 2015). Específicamente Krishnan *et al.*, (2005) realizaron la comparación de agentes encapsulantes en oleoresinas de cardamomo, encontrando que la goma arábiga es más efectiva. Otros ejemplos adicionales son la encapsulación de sabores de orégano, mejorana y citronela (Baranauskiené *et al.*, 2006) son presentados a continuación (Tabla 11).

Tabla 11. *Microencapsulación de alimentos*

Pigmento	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación	Sólidos	Referencia
Antocianinas de açai	Maltodextrina 9<DE<12	138-202	10-30 %	Tonon <i>et al.</i> , 2008
Astaxantina de <i>Hematococcus pluvialis</i>	Goma arábica Maltodextrina Proteína de suero de leche Inulina	120	10 y 20 %	Nustos Garza <i>et al.</i> , 2013
Carotenoides de pequi	Goma arábica	152-200	10-20%	Santana <i>et al.</i> , 2013
Licopeno y carotenoides de jugo de sandía	Maltodextrina	145, 155, 165 y 175	3 y 5 %	Quek <i>et al.</i> , 2007
Melón amargo <i>Momordica charantia</i>	Maltodextrina Goma arábica	150	23-37%	Pei <i>et al.</i> , 2015
Jugo concentrado de pasa	Maltodextrina	110, 130, 140, 200	40 y 50 %	Papadakis <i>et al.</i> , 2006
Pulpa de tamarindo	Maltodextrina 21 DE Goma acacia	150-180	11-14 °Bx	Cynthia <i>et al.</i> , 2014
Pulpa de jitomate	Maltodextrina 21, 12 y 6 DE	130, 140 y 150	14%	Goula y Adamopolus, 2008
Leche de soya	Maltodextrina 14 DE	180		Jinapong <i>et al.</i> , 2008
Oleoresina de <i>Nigella sativa</i>	Maltodextrina 15 DE	160	30%	Edris <i>et al.</i> , 2016
Infusión de laurel	Maltodextrina 10 DE	140, 160, 180	10%	Medina-Torres <i>et al.</i> , 2016
Fitoesteroles en polvo	Maltodextrina 15 DE Goma arábica	160	5% 15%	Di Battista <i>et al.</i> , 2015
Betalainas de tuna roja	Mucilago de nopal Maltodextrina 20 DE	170	1:1 (w/w) 1:1:0.225 (w/w)	Otálora <i>et al.</i> , 2015
Antocianinas de blueberry	Goma de Mesquite	140 y 160	24.5 °Bx (Final)	Jiménez-Aguilar <i>et al.</i> , 2011
Betacianinas de Amaranto	Maltodextrina (10, 20 y 25 DE) Almidones modificados	150, 165, 180, 195 y 210	20%	Caf y Corke 2000
Licopeno	Almidón modificado (Capsul ®)	180	30%	Aguar <i>et al.</i> , 2012

Tabla 11. *Microencapsulación de alimentos (Continuación)*

Pigmento	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación	Sólidos	Referencia
Carotenoides de girasol	Aislado de proteína de suero Goma arábica	185	n.r.	Lim <i>et al.</i> , 2016
Antocianinas de Jaboticaba	Aislado de proteína de suero Trehalose Maltodextrina 10 DE Goma arábica Almidón modificado (Capsul®)	14, 150, 180	30%	Silva <i>et al.</i> , 2013
Antocianinas de açai	Maltodextrina 10 y 20 DE Goma srábica	140	6 % con respecto a °Bx del jugo	Tonon <i>et al.</i> , 2010
Polifenoles de Bayberry	Almidón de Tapioca Maltodextrina 10 DE	150	11 °Bx	Fang y Bhandari, 2011
Licopeno de pasta de jitomate	Gelatina Sucrosa	180-210		Shu <i>et al.</i> , 2006
Aceite de cáscara de naranja	Goma de Mesquite	200	300 g sólidos/Kg	Beristain <i>et al.</i> , 2003
Jugo de blak mulberry	Maltodextrina (6, 9 y 20 DE) Goma arábica	110, 130 y 150	16% de sólidos totales solubles	Fazaeli <i>et al.</i> , 2012
Antocianinas de zanahoria negra	Maltodextrina (10 DE) Maltodextrina (20-23 DE) Maltodextrina (28-31 DE)	160, 180 y 200	20%	Ersus y Yurdagel, 2007
Pigmentos de uva Bordo	Maltodextrina 10 DE	130, 150 y 170	10, 20 y 30 %	de Souza <i>et al.</i> , 2014
Pigmentos de uva Bordo	Maltodextrina 10 DE	130-170	10-30%	de Souza <i>et al.</i> , 2010
Antocianinas de col morada	Goma arábica	140 y 160	10 y 15 %	Bernstein y Noreña, 2015

Tabla 11. *Microencapsulación de alimentos (Continuación)*

Pigmento	Agente encapsulante	Condiciones de encapsulación	Sólidos	Referencia
Compuestos bioactivos de Bluberrries	Maltodextrina (4-7 DE) Goma arábica	125	38g/100 total	Tatar Turan <i>et al.</i> , 2015
Antocianinas de arroz negro	Maltodextrina (3, 10, 20 y 30 DE)	140, 160 y 180	20 °Bx	Laokuldilok y Kanha, 2015
Extractos de jengibre	Maltodextrina Goma arábica	160	71.43/100g	Simon-Brown <i>et al.</i> , 2016
Carotenoides de Zanahoria	Almidón hidrolizado (4, 15, 25, 36.5 DE)	200 y 100	20%	Wagner y Warthesen, 1995

La microencapsulación puede ser usada para la protección de compuestos bioactivos (Champagne, 2007; Bouwmeester *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2015), Ribeiro *et al.*, (2015) observaron el efecto de microcápsulas de compuestos antioxidantes como ingrediente en queso cottage, concluyendo que los microencapsulados conservan mejor la actividad antioxidante en relación al almacenamiento. Asimismo, Çam *et al.*, (2014) encapsularon compuestos fenólicos provenientes de la cáscara de granada los cuales fueron añadidos en helado obteniendo mejoras en las propiedades funcionales del producto. Por su parte, los reportes de Pasrija *et al.*, (2015) se enfocaron a la encapsulación de polifenoles de té verde y su incorporación en productos de panadería, Ezhilarasi *et al.*, (2013) consiguieron encapsular extractos de *Garcinia cambogia*, estos y otros ejemplos se enlistan en la Tabla 12.

Tabla 12. Incorporación de microencapsulados en alimentos

Fuente	Aplicación	Referencia
Compuestos fenólicos de cáscara de granada	Enriquecimiento de helado en una proporción de 0.5 y 1% (w/w)	Cam <i>et al.</i> , 2014
Compuestos antioxidantes de extracto de hongo (<i>Suillus luteus</i>)	Incorporación en queso cottage	Ribeiro <i>et al.</i> , 2015
Polifenoles de té verde	Fortificación de pan	Pasrija <i>et al.</i> , 2015
Extractos de fruta <i>Garcinia cowa</i>	Incorporación de microcápsulas en harina para la elaboración de pan	Ezhilarasi <i>et al.</i> , 2013
Betaninas de extractos acuosos de betabel	Elaboración de jugos modelo y evaluación de la estabilidad	Kaimainen <i>et al.</i> , 2015
Pigmentos rojos de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	Incorporación en jalea de fresas Incorporación en caramelos como colorante	Selim <i>et al.</i> , 2008
Betacaroteno soluble en agua	Incorporado en yogurt y pudin de tapioca para evaluar la digestión	Donhowe <i>et al.</i> , 2014
Compuestos fenólicos de piel de uva	Fortificación de puré de manzana	Lavelli <i>et al.</i> , 2016
Licopeno	Incorporación en pastel	Aguiar <i>et al.</i> , 2012
Carotenoides naturales y sintéticos	Yogurt y pan	Rutz <i>et al.</i> , 2016
Carotenoides de piel de tomate	Espagueti	Rizk <i>et al.</i> , 2014
Carotenoides de aceite de palma	Yogurt y pan	Rutz <i>et al.</i> , 2017

5. Metodología

La metodología de esta investigación se dividió en 5 etapas, las cuales inician con la obtención y caracterización del fruto (pulpa y pericarpio) y culminan con la obtención, evaluación e incorporación de microencapsulados (Figura 10). Cada una de las etapas son descritas a continuación.

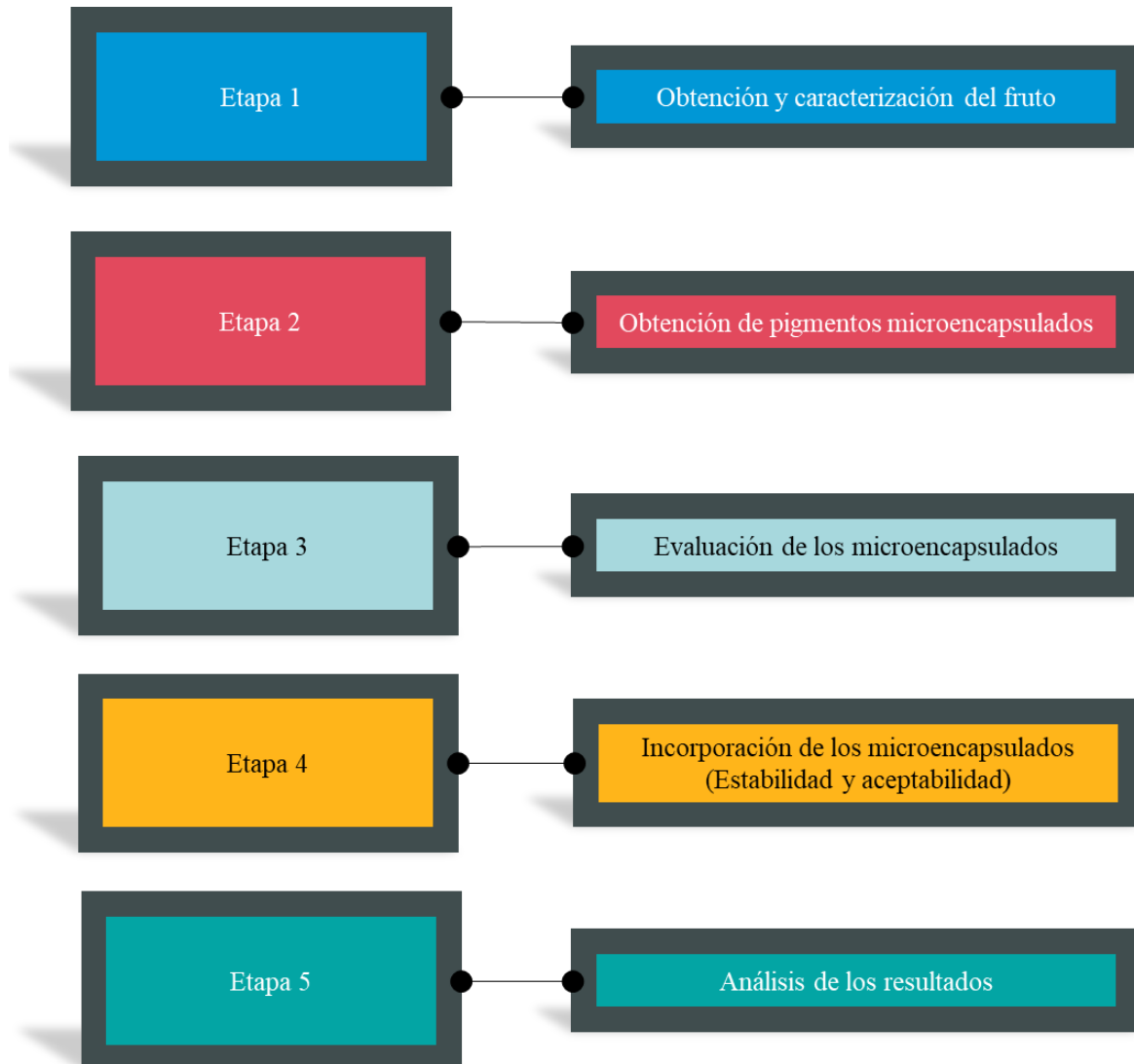


Figura 10. Diagrama general de trabajo

5.1 Etapa 1 Obtención y caracterización del fruto (*Renealmia alpinia*) xkijit

La etapa 1 consistió en la recolección, acondicionamiento del fruto para su posterior uso. Además, se realizó la evaluación de algunas propiedades fisicoquímicas y la determinación de sus compuestos funcionales separando pulpa y pericarpio (Figura 11).

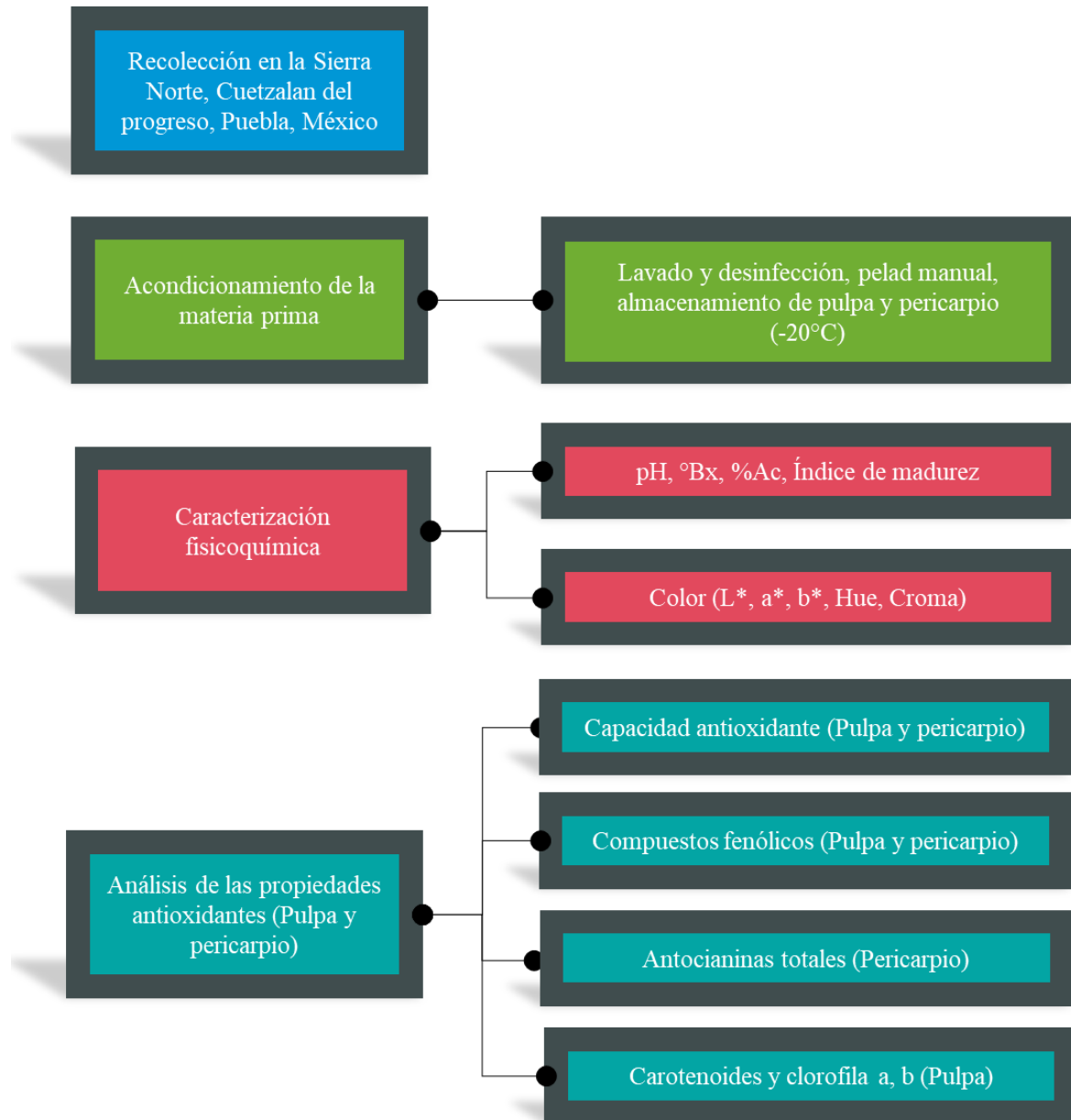


Figura 11. Diagrama general de la Etapa 1; Obtención y caracterización del fruto *Renealmia alpinia* xkijit.

5.1.1 Obtención de la materia prima

5.1.1.1 Obtención y almacenamiento del material vegetal

El material vegetal xkijit (*Renalmia alpinia*) se recolectó manualmente en la zona de la Sierra Norte en la comunidad Cuetzalan del Progreso, en el estado de Puebla, México; se seleccionaron frutos libres de daño físico y microbiológico, además, se observaron aspectos como: color, tamaño, firmeza, descartando los que no cumplieran con los criterios anteriormente mencionados.

5.1.1.2 Acondicionamiento de la materia prima

Los frutos fueron lavados y desinfectados con una solución hipoclorito de sodio al 5% (v/v), cada uno fue pelado manualmente y fueron retiradas las semillas de la pulpa. El pericarpio, la pulpa y las semillas se almacenaron por separado a -20°C, hasta su uso.

5.1.2 Caracterización fisicoquímica de la pulpa y pericarpio

La determinación de pH de los frutos frescos (pericarpio y pulpa) se realizó en el jugo de la muestra con ayuda de un potenciómetro (DENVER INSTRUMENT UB-10), obteniendo (AOAC Official Method 981.12, 2000). En relación con los sólidos solubles fueron determinados con ayuda de un brixómetro (Atago, Mod 3840) y se reportaron en (°Bx) (AOAC Official Method 932.12, 2000). La acidez titulable en los frutos se determinó por titulación con NaOH al 0.1 N (Golden Bell, Materiales y Abastos especializados S.A. de C.V.) hasta alcanzar un pH 8.0 ± 0.2 con ayuda de un potenciómetro. Debido a que las muestras fueron sólidas fue necesario molerlas en un mortero y filtrar para eliminar los residuos de mayor tamaño (AOAC Official Method 942.15, 2000). Este parámetro se calculó usando la Ec (1) en términos del ácido cítrico para la pulpa y tartárico para el pericarpio.

$$TA \left(\frac{g}{100mL} \right) = \frac{V N mEq. wt 100}{1000 v} \quad Ec (1)$$

Donde V es el volumen en mL de NaOH usado para la titulación; N es la normalidad de la solución de NaOH; mEq.wt es el peso miliequivalente del ácido estándar; v es el volumen de la muestra.

Finalmente, el índice de madurez se determinó utilizando la siguiente relación

$$\text{Índice de madurez} = \frac{^{\circ}Bx}{\text{Acidez titulable}} \quad \text{Ec (2)}$$

5.1.2.1 Determinación de color

El color del pericarpio y en la pulpa se determinó con ayuda de un colorímetro (HunterLab Color Flex 45/0 Spectrophotometer), tomando en cuenta los valores de las cromátidas L* (claro/oscuro), a* (rojo/verde) y b* (amarillo/azul). Con estos parámetros se evaluaron los índices cromáticos (saturación del color) y Hue (ángulo de matiz o pureza de color) de acuerdo con las ecuaciones 3 y 4 respectivamente:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad \text{Ec (3)}$$

El valor del ángulo de matiz (conocido como Hue) El valor del ángulo de matiz puede ser 0°, 90°, 180°, 270°, los cuales denotan colores puros, rojo, amarillo, verde y azul respectivamente. Por lo tanto, el ángulo de matiz representa la percepción del color (Kaushik y Roos, 2007).

$$H^{\circ} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Ec (4)}$$

5.1.3 Análisis de propiedades antioxidantes de la pulpa y pericarpio.

Para hacer la determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos, se tomaron 100 g de fruto, pericarpio o pulpa y se mezclaron con 500 mL de etanol al 95% (v/v),

ETAPA 1 OBTENCION Y CARACTERIZACION DEL FRUTO

siguiendo la metodología propuesta por Khonkarn et al. (2010) con algunas modificaciones. La mezcla fue molida con una licuadora y se mantuvo en agitación durante 90 min, posteriormente fue filtrada con manta de cielo y se centrifugó (Hettich Zentrifugen, Universal 320R) a 4000 rpm durante 15 min a -4°C.

Para la extracción de las antocianinas se utilizó la misma proporción, 100 g de pericarpio y 500 mL de etanol (95% v/v) acidificado 1% con HCl. La mezcla fue molida con una licuadora y se mantuvo en agitación durante 90 min, posteriormente fue filtrada con manta de cielo y se centrifugó (Hettich Zentrifugen, Universal 320R) a 4000 rpm durante 15 min a -4°C. Para realizar las determinaciones se tomó el sobrenadante y se hicieron diluciones en caso de ser necesarias.

5.1.3.1 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de fue evaluada neutralizando el radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (Sigma Aldrich). La actividad antiradical se midió mediante el descenso en el valor de la absorbancia a 517 nm, siguiendo lo propuesto por Mongkolsilp *et al.*, (2004) con algunas modificaciones. Previamente se realizó la curva a diferentes concentraciones de Trolox (Anexo 9.1). Para esto se usó 1 mL de la muestra, y 1 mL de DPPH, almacenados 30 min en condiciones de oscuridad, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UVvisible (Jenway, Mod 6405 UV/Vis). Determinando el porcentaje de inhibición de la muestra con la ecuación 5 y la concentración con la ecuación 6 la cual parte del Anexo 9.1. El valor de la capacidad antioxidante se reportó como mg de Trolox/100 g de muestra en base seca.

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{(Abs_{DPPH} - Abs_{Muestra})}{Abs_{DPPH}} \quad \text{Ec (5)}$$

$$y = 6.2705x - 1.30 \quad \text{Ec (6)}$$

Donde a $Abs_{Muestra}$ se le ha restado el valore del blanco; Y es igual al % de inhibición

5.1.3.2 Antocianinas totales

Para la determinación de las antocianinas se utilizó un método espectrofotométrico diferencial de pH (Giusti y Wrolstad, 2005). Utilizando buffer de cloruro de potasio pH 1 y buffer de acetato de sodio pH 4.5 (Anexo 9.2). Se determinó la absorbancia de la solución (20%, 10%, 5% v/v con buffer pH 1) de 400 a 700 nm para determinar el factor de dilución, midiendo el pico más alto el cual no excediera el valor de 1.2 en la absorbancia (valor máximo de Abs 510 a 520nm). Utilizando el factor de dilución se midió la absorbancia a 510 y 700 nm a dos diferentes valores de pH1 y pH 4.5, dejando reposar durante 15 minutos en oscuridad, y midiendo con un espectrofotómetro UVvisible usando agua destilada como blanco. El contenido total de antocianinas (mg/L) fue calculado usando las siguientes ecuaciones (7 y 8) y el valor total se expresó como mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra en base seca.

$$\text{Contenido de antocianinas totales} = \frac{ABS_{diff} \times MW \times DF \times 1000}{(\epsilon \times l)} \quad \text{Ec (7)}$$

$$ABS_{diff} = (ABS_{510} - ABS_{700})_{pH1.0} - (ABS_{510} - ABS_{700})_{pH4.5} \quad \text{Ec (8)}$$

Donde ABS_{diff} es la diferencia de las absorbancias a pH 1.0 y 4.5, MW es el peso molecular de la cianidina-3-glucósido, DF es el factor de dilución, ϵ es la absortividad molar igual a 26,900 l/mol*cm y la trayectoria de la longitud es 1.0 cm (l).

5.1.3.3 Carotenoides

El contenido de carotenoides para la pulpa se evaluó de acuerdo a lo descrito por Lichtenthaler y Wellburn (1983), tomando un 1 g de muestra y macerándolo con 5 mL en una solución de acetona al 80% (J.T. BARKER, 99.06%) (v/v), una pequeña porción de carbonato de calcio para evitar la acidificación de la muestra debido a la ruptura de los cloroplastos y una pequeña porción de arena de mar para romper el tejido; la mezcla fue centrifugada a 3500 rpm a temperatura ambiente durante 10 min. Se evaluó la absorbancia

ETAPA 1 OBTENCION Y CARACTERIZACION DEL FRUTO

del sobrenadante a 750, 663.2, 646.8 y 470 nm, y determinar las clorofilas a, b y el total de carotenoides, usando acetona (80% v/v) como blanco; utilizando las siguientes ecuaciones.

$$Ca = 12.21abs_{663.2} - 2.81abs_{646.8} \quad Ec (9)$$

$$Cb = 20.13abs_{646.8} - 5.03abs_{663.2} \quad Ec (10)$$

$$Cc = \frac{1000 abs_{470} - 3.27 Ca - 104 Cb}{229} \quad Ec (11)$$

Donde Ca corresponde a clorofila a, Cb clorofilas b y Cc es el contenido de carotenoides presentes en la muestra expresado en μg de carotenoides/100 g de muestra en base seca.

5.1.3.4 Compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales se determinaron usando el procedimiento de Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton y Rossi (1965) y modificaciones de Vega *et al.*, (2017); tomando 1 mL del extracto y mezclándolo con 1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu (SIGMA, Suiza, 2M, $\geq 98.0\%$) dejando reposar la mezcla durante 3 minutos en oscuridad, posteriormente se agregó 1 mL de carbonato de sodio (0.05% p/v) (GOLDEN BELL, México) y se dejó reposar 30 minutos, para poder leer los valores de absorbancia con un espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm. El contenido de compuestos fenólicos totales se expresó como mg Eq de ácido gálico/ 100 g de muestra en base seca, previamente se realizó una curva patrón con diferentes concentraciones de ácido gálico y se obtuvo la siguiente ecuación para determinar la concentración (Anexo 9.3).

$$y = 0.0185x + 0.0303 \quad Ec (12)$$

Donde Y es el valor de la absorbancia menos el valor del blanco para cada muestra.

5.2 Etapa 2 Obtención de pigmentos microencapsulados mediante secado por aspersión

La etapa 2 consistió en la obtención de los concentrados de pigmentos provenientes de pericarpio y pulpa (sometidos a los tratamientos de secado por aspersión), se seleccionaron las condiciones de operación del secador, además, se analizaron las propiedades físicas y las propiedades antioxidantes de los microencapsulados después del secado y su estabilidad al almacenamiento (Figura 12).

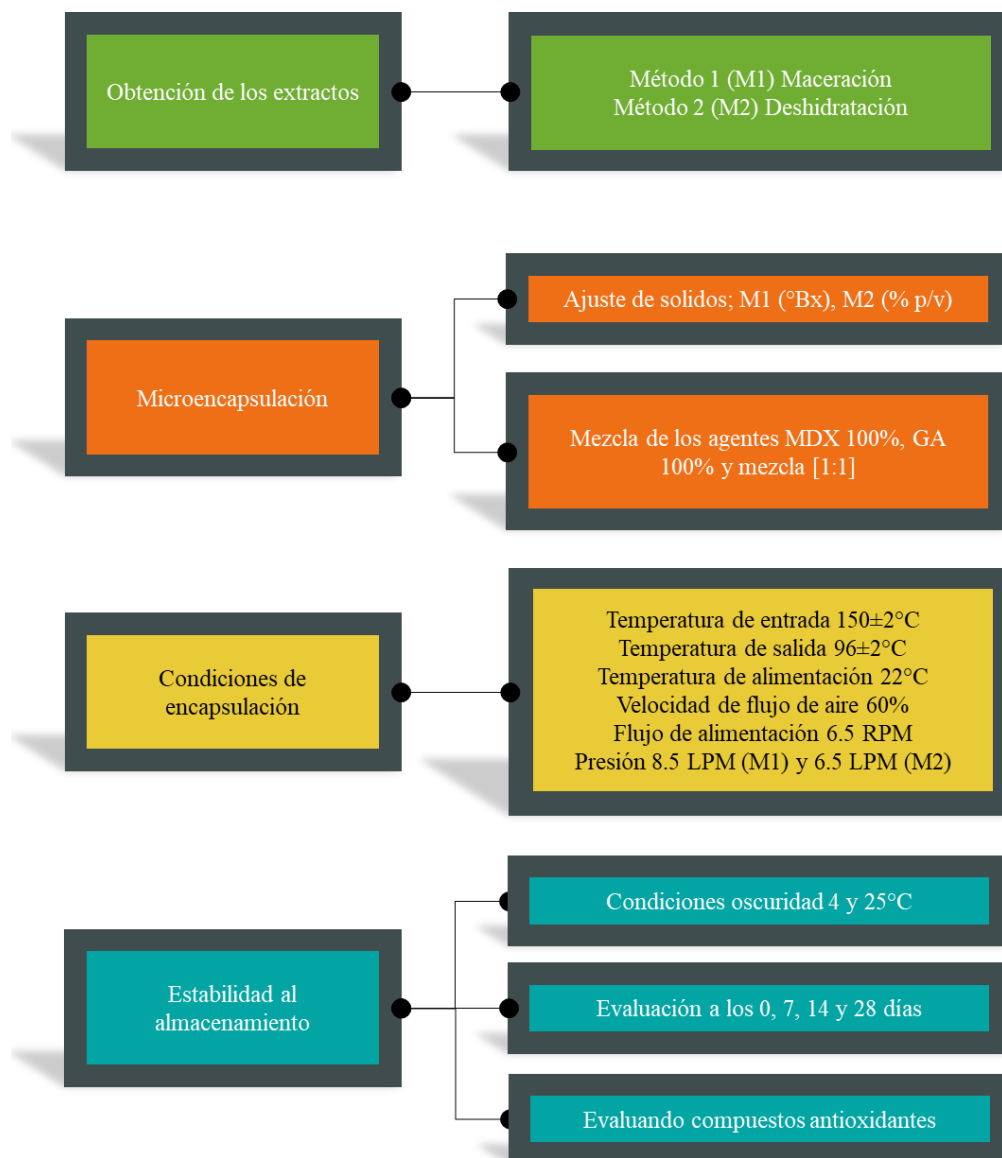


Figura 12. Diagrama general correspondiente a la etapa 2, Obtención de pigmentos microencapsulados mediante secado por aspersión.

5.2.1 Obtención de los extractos

Los pigmentos de pulpa y pericarpio se obtuvieron mediante dos métodos: Método 1 a partir del fruto fresco (M1) y el Método 2 a partir de fruto deshidratado (M2).

5.2.1.1 Método 1

5.2.1.1.1 Pericarpio

Para obtener el extracto concentrado del pericarpio se siguió el procedimiento propuesto por Khonkarn *et al.*, (2010) con algunas modificaciones, donde se molieron 100 g de muestra (pericarpio) en una licuadora comercial con etanol al 95% (v/v) y se mantuvo en agitación con ayuda de un agitador magnético durante 90 minutos, posteriormente los extractos fueron filtrados con manta de cielo y papel filtro (filtración de velocidad media). Se realizaron lavados consecutivos de la muestra con etanol para garantizar la extracción. Finalmente, para evaporar el solvente con un rotavapor (Heidolph, Hei-Vap Value Digital HL/G3) a 55°C.

5.2.1.1.2 Pulpa

La obtención del extracto concentrado de pulpa se realizó mediante la extrusión del tejido, mismo que fue filtrado con manta de cielo y papel filtro.

Ambos extractos se almacenaron en refrigeración (4°C) en recipientes color ámbar hasta su uso.

5.2.1.2 Método 2

Para el método 2 fue necesario secar el pericarpio a 45 °C durante 8 horas, posteriormente, para reducir el tamaño de la partícula, se molieron las muestras deshidratadas usando una licuadora comercial y un molino de café. Los polvos del pericarpio se tamizaron con un tamiz (Mont Inox) con una apertura de malla de 149 µm.

5.2.1.3 Evaluación de los extractos concentrados

A los extractos concentrados se les evaluó el color (5.1.2.4) y compuestos funcionales (capacidad antioxidante, antocianinas, carotenoides, y compuestos fenólicos totales) se realizaron siguiendo la metodología del apartado 5.1.3. Además, se evaluó la estabilidad del color a diferentes valores de pH agregando 100 µL del extracto de pericarpio a un buffer de fosfatos (2% p/v fosfato dibásico de sodio y 2% p/v ácido cítrico) y ajustando el pH con HCl 1.5 N y NaOH 0.5 N, realizando un barrido en la absorbancia (390-690) en un espectro UVvisible, evaluando a los 0, 1, 2, 7, 14, 28 días.

5.2.2 Microencapsulación de los pigmentos

Para la microencapsulación de los extractos de pigmentos concentrado, se utilizaron diferentes mezclas de los agentes encapsulantes, maltodextrina (Aldrich, USA, ED 4.0-7.0), Goma arábica (Meyer, México) y las condiciones de operación del equipo permanecieron fijas durante todos los experimentos, cada experimento se realizó por triplicado.

5.2.2.1 Ajuste de sólidos para la microencapsulación

Las mezclas fueron preparadas con los extractos obtenidos por M1 y los agentes encapsulantes: maltodextrina MDX (DE 4.0-7.0, Sigma-Aldrich, USA), Goma arábica GA (Meyer, México), en una proporción 1:4 y un ajuste de sólidos de 20°Bx, (Laokuldilok & Kanha, 2015). Los encapsulantes se adicionaron en concentraciones MDX 100%, MDX 50%-GA 50%, GA 100% y homogenizados por agitación a temperatura ambiente, para determinar la cantidad de goma se utilizó el cuadro de Pearson.

En M2 se determinó la humedad del polvo después de 8 horas de deshidratación para conocer porcentaje de agua remanente en la muestra y tener el peso real de polvo a utilizar, la suma de la muestra y el o la mezcla de los agentes encapsulantes (100 % maltodextrina, 50% maltodextrina-50% goma arábica, 100% goma arábica), fue el equivalente a 3% (p/v) de sólidos de la mezcla final y estos se ajustaron en diferentes proporciones 20-80, 50-50, 30-70 (Agente encapsulante-polvo de pericarpio).

5.2.2.2 Condiciones de encapsulación

Se utilizó un secador por aspersión (PRENDO SEV, México) para realizar la microencapsulación, se encapsulados a la siguientes condiciones de operación: temperatura de entrada 150°C, temperatura de salida 96°C, flujo de aire 60% de su capacidad, presión de aire (8.5 LPM para muestras obtenidas por M1 y 6.5 para M2), flujo de alimentación (6.5 rpm), temperatura de alimentación (22°C), y se mantuvo en agitación constante los tratamientos de secado.

5.2.3 Estabilidad de los microencapsulados

Se realizaron las pruebas variando las condiciones de concentración y proporción de agentes encapsulantes descritas en el apartado 5.2.2.1 y 5.2.2.2 así como el método de obtención de los extractos, para seleccionar las mejores condiciones de encapsulación, se tomó como variable de respuesta el rendimiento y el color, la medición del color se describió en el apartado 5.1.2.4.

5.2.4 Almacenamiento de los pigmentos microencapsulados

Para determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de los compuestos bioactivos, los pigmentos microencapsulados fueron almacenados en recipientes ámbar a dos temperaturas: 4 y 22°C (refrigeración y ambiente), durante 4 semanas, realizando mediciones a diferentes tiempos (0, 7, 14 y 28 días).

5.2.4.1 Reconstitución de los polvos

Se evaluó la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales, así como los pigmentos (antocianinas y carotenoides): para la reconstitución de los polvos se tomaron 20 mg por 20 mL de agua destilada y se agitaron durante 3 minutos en vortex a velocidad alta, siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.1.3.1, 5.1.3.2 y 5.1.3.4 para la capacidad antioxidante, el contenido de antocianinas y los compuesto fenólicos totales respectivamente los cuales se reportaron como mg de Trolox/g de polvo, mg cianidina-3-glucósido/g de polvo y mg GAE/g polvo.

5.2.4.2 Carotenoides

El contenido de carotenoides de los microencapsulados de pulpa se evaluó de acuerdo a lo descrito por Desobry *et al.*, (1997) con algunas modificaciones de Lokuwan, (2007) y modificaciones de los autores, tomado 5 mg del polvo y agregando 1 mL de agua destilada se agitaron durante 3 minutos en vortex a máxima velocidad, posteriormente se le agregó 3 mL de hexano y se agito durante 3 minutos más, finalmente la parte del sobrenadante se midió en un espectrofotómetro a 454 nm.

5.3 Etapa 3 Evaluación de los microencapsulados

Se realizaron pruebas físicas y morfológicas, además de sus propiedades antioxidantes y pruebas microbiológicas, a los pigmentos microencapsulados obtenidos, en el siguiente diagrama se explica de forma breve (Figura 13)

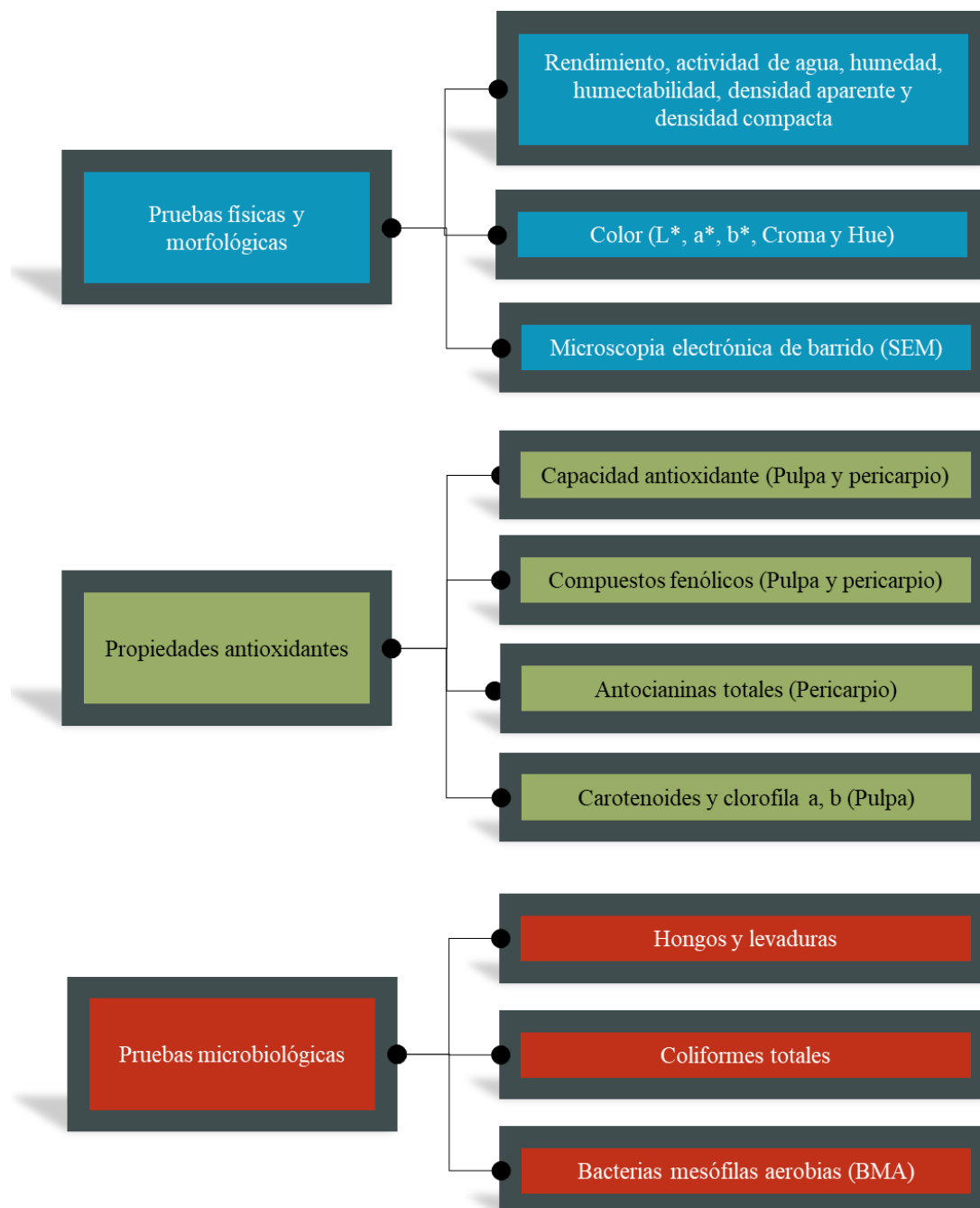


Figura 13. Diagrama general de trabajo correspondiente a la etapa 3, Evaluación de los microencapsulados.

5.3.1 Pruebas físicas y morfológicas de los pigmentos microencapsulados

5.2.1.1 Rendimiento

El rendimiento se determinó después del secado por aspersión utilizando la siguiente fórmula (Fang y Bhandari, 2012).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Polvo obtenido por el secado (g)}}{\text{Jugo de fruta (g)} + \text{agente encapsulante (g)}} \times 100 \quad \text{Ec (13)}$$

5.3.1.2 Humedad

El contenido de humedad de los polvos se analizó por gravimetría, secando 1 g de polvo, por triplicado a 105 °C hasta peso constante en una estufa de convección natural.

5.3.1.3 Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua de los polvos se determinó utilizando un aqualab (AQUALAB Mod series 3TE) a (25±0.1 °C). Las muestras fueron analizadas por triplicado y el valor de a_w se reportó como el promedio de los valores obtenidos.

5.3.1.4 Humectabilidad

La humectabilidad se evaluó según el método descrito por Vissotto et al. (2010) con algunas modificaciones, considerando el tiempo requerido para que 0.1 g de polvo esparcido sobre la superficie del líquido se sumerja completamente en 100 mL de agua destilada a 25 °C.

5.3.1.5 Densidad aparente y compacta

La densidad aparente (ρ_A) y compactada (ρ_C) se determinaron con ayuda de una probeta graduada de 10 mL a la cual se le vertieron 2.5 g de los microencapsulados (m_0) evitando que este se adhiriera a las paredes. El volumen inicial (V_0) se midió directamente en la probeta y se utilizó para el cálculo de la densidad aparente ($\rho_A = m_0/V_0$). Para la densidad

ETAPA 3 EVALUACIÓN DE LOS MICROENCAPSULADOS

compactada (ρC), al mismo polvo se le aplicaron ligeros golpes para favorecer la salida del aire entre las partículas, hasta obtener un volumen constante en la probeta (V_n). Los cálculos se realizaron con la siguiente ecuación ($\rho C = m_0/V_n$) de acuerdo a lo propuesto por (Tonon *et al.*, 2010 y Jangam y Thorat, 2010).

5.3.1.6 Color

El color de los microencapsulados se midió con ayuda de un colorímetro usando los mismos parámetros que se describieron en la Etapa 1 en la sección 4.1.2.4.

5.2.1.7 Microscopia electrónica de barrido

Para evaluar la morfología de los polvos se utilizó un microscopio electrónico de barrido, las muestras se montaron en porta muestras con una cinta de carbón doble adhesiva y cubiertas con una capa fina de oro en un ionizador de metales (QUORUM, Q150RS). Finalmente, cada muestra se observó en un microscopio electrónico de barrido (QUANTA FEG 250) pericarpio y (JEOL JSM-6610 LV) pulpa. El tamaño de partícula fue determinado midiendo aleatoriamente las partículas que se localizaban en las imágenes tomadas por el microscopio.

5.3.2 Propiedades antioxidantes

Se determinaron las propiedades antioxidantes de los microencapsulados, siguiendo lo descrito previamente en el apartado 5.2.4, 5.2.4.1 y 5.2.4.2 que corresponden a la etapa 3.

5.3.3 Pruebas microbiológicas

Se realizaron pruebas microbiológicas a los pigmentos microencapsulados obtenidos, se analizaron los grupos indicadores hongos y levaduras (NOM-111-SSA1-1994), coliformes totales (NOM-113-SSA1-1994) y BMA's (bacterias mesófilas aerobias) (NOM-092-SSA1-1994); agregando 5 g de la muestra a 45 mL de agua peptonada estéril y homogenizando, posteriormente se realizaron diluciones seriadas, agregando 1 mL de cada dilución a 9 mL hasta 10^{-5} , y agregando en placas con diferentes medios, los medios y sus condiciones para llevar a cabo el recuento se describen en la Tabla 13. La preparación de los medios de cultivo se explica en el Anexo 4.

Tabla 13. *Procedimiento y condiciones para las pruebas microbiológicas en microencapsulados*

Prueba	Medio	Procedimiento	Condiciones de incubación	Recuento
Hongos y Levaduras	PDA	Agregar 1 mL de la muestra, verter 15 mL del medio y mezclar manualmente	Invertida a 25 °C de 3 a 5 días.	Seleccionar placas con 10 a 150 colonias
Coliformes totales	Rojo bilis	Agregar 1 mL de la muestra, verter 15 mL del medio y mezclar manualmente	Invertida a 35 °C por 24 h.	Seleccionar placas con 15 a 150 colonias
BMA	Cuenta estándar	Agregar 1 mL de la muestra, verter 15 mL del medio y mezclar manualmente	Invertida 55±2°C por 48 h	Seleccionar placas con 25 a 250 colonias

5.4 Etapa 4 Incorporación de los pigmentos microencapsulados y su evaluación de estabilidad y aceptabilidad en una matriz alimenticia

En esta etapa se aplicaron los pigmentos microencapsulados en una matriz alimenticia, y se le hicieron pruebas de aceptabilidad y estabilidad (Figura 14).

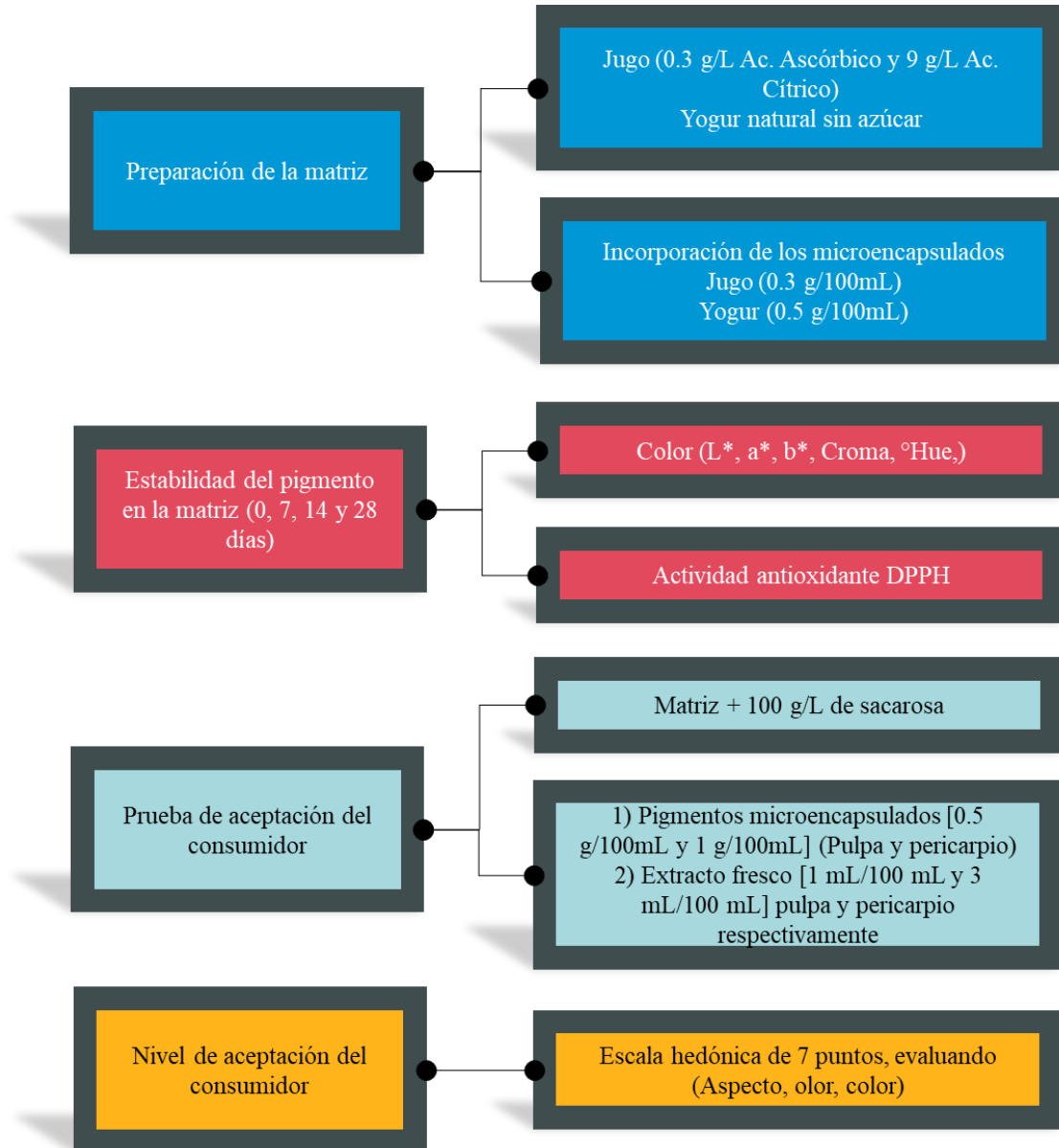


Figura 14. Diagrama de trabajo de la etapa 4, Incorporación de los pigmentos microencapsulados y su evaluación de estabilidad y aceptabilidad en un jugo.

5.4.1 Preparación de la matriz modelo

5.4.1.1 Matriz para la incorporación de encapsulados pericarpio

Los jugos modelo para los microencapsulados provenientes de pericarpio fueron preparados para simular un jugo real, pero con una composición muy simple. Se preparó la base para cada jugo, con una solución de 9 g/L de ácido cítrico y 0.3 g/L de ácido ascórbico en agua (Kaimainen *et al.*, 2015).

5.4.1.2 Matriz para la incorporación de encapsulados de pulpa

Para la incorporación de los microencapsulados de pulpa, se utilizó un yogurt comercial natural (Alpura).

5.4.1.3 Estabilidad de microencapsulados en las matrices

Se evaluó la estabilidad de los microencapsulados agregando 3 g de microencapsulados/L 5 g de microencapsulados/L, 1 mL de extracto/L y 3 mL de extracto/L para jugo y yogurt respectivamente, en función de su capacidad como colorante midiendo el color de la bebida y el yogurt, en el caso de la medición del color del jugo esta se evaluó con un espectrofotómetro leyendo a (420, 520, 620nm), con las cuales se determinó la intensidad del color, el ángulo de Hue según lo propuesto por Sudraud, (1958), con algunas modificaciones de Glories, (1984), utilizando las ecuaciones (14 y 15). Además, se calcularon los porcentajes de color amarillo, rojo y azul con las ecuaciones 16, 17 y 18 respectivamente. Para la determinación del color del yogurt se utilizaron los índices y ecuaciones que se presentan en el apartado 5.1.2.4 de la Etapa 1.

$$\text{Intensidad del color (croma)} = Abs_{420} + Abs_{520} + Abs_{620} \quad \text{Ec (14)}$$

$$\text{Tonalidad (}^\circ\text{Hue)} = \frac{Abs_{420}}{Abs_{520}} \quad \text{Ec (15)}$$

$$(\text{Amarillo})\% = \left(\frac{\text{Abs}_{420}}{\text{Intensidad de color}} \right) * 100 \quad \text{Ec (16)}$$

$$(\text{Rojo})\% = \left(\frac{\text{Abs}_{520}}{\text{Intensidad de color}} \right) * 100 \quad \text{Ec (17)}$$

$$(\text{Azul})\% = \left(\frac{\text{Abs}_{620}}{\text{Intensidad de color}} \right) * 100 \quad \text{Ec (18)}$$

Se evaluó la actividad antioxidante del jugo y yogurt con tres tipos diferentes de recubrimiento (MDX, MDX-GA, GA), extracto y sin ningún colorante (Blanco) (etapa 1, 5.1.3) y la turbidez del jugo midiendo los valores en espectrofotómetro a 900nm, durante 4 semanas de almacenamiento (0, 7, 14, 28 días) bajo condiciones de refrigeración 4°C.

5.4.2 Prueba de aceptación del consumidor

Para realizar la prueba de aceptación del consumidor, la mezcla base se endulzó con 100 g/L de sacarosa y se añadieron los 3 colorantes microencapsulados (0.5 g/100 mL o 1 g/100 mL, pulpa y pericarpio respectivamente), extracto del fruto fresco (pulpa 3 mL/100 mL y pericarpio 1 mL/100 mL) y un colorante artificial (DecoBakery, México), el cual fue adicionado obteniendo una tonalidad similar.

5.4.2.1 Nivel de aceptación del consumidor

Se reclutaron 50 voluntarios para evaluar los parámetros de aspecto, olor y sabor. Utilizando una escala hedónica de 7 puntos (donde 1= muy desagradable y 7= muy agradable).

Al final de la evaluación respondieron las siguientes preguntas “¿Qué tan importante es para tí agregar colorantes a los alimentos? y ¿Te importa el uso de colorantes naturales?” en una escala desde 1 (no importa) a 5 (extremadamente importante). Las muestras se presentaron en orden aleatorio y los datos fueron recolectados para su análisis final.

5.5 Etapa 5 Análisis de los resultados

Se realizó el análisis estadístico correspondiente a los resultados obtenidos para cada etapa y así observar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes, utilizando un análisis estadístico de tipo ANOVA ($\alpha=0.05$) y además de análisis de comparación de medias, mediante pruebas de Tukey para determinar si existía diferencia significativa entre los resultados ($P<0.05$). Se utilizó el software Statistix versión 8.1.

6. Resultados y discusión

6.1 Caracterización fisicoquímica de *xkijit* (*Renealmia alpinia*)

Se realizó la caracterización fisicoquímica del fruto tanto de pulpa como de pericarpio cuyos valores se reportan en la Tabla 24. Si bien el pericarpio es la parte mayoritaria del fruto con aproximadamente un $68\pm 5.26\%$ del total del fruto, esta es en su mayoría agua ya que tiene una humedad promedio del $95.23\pm 0.50\%$, algunos de los pocos reportes donde mencionen las propiedades fisicoquímicas del fruto son los de Idarrága, 2015 y Cerón, 2013, sin embargo no realizan una caracterización más completa, no obstante en ambos trabajos se reportan (84.08%), similar al reportado en este trabajo, la cual puede ser comparable con otros frutos; por ejemplo, el pericarpio de la Manzana Malaya 89.28% (*Syzygium malaccense*) (Nunes *et al.*, 2016), los frutos de açai 85.96% (*Euterpe oleraceae* Mart.) (Tonon *et al.*, 2008), pulpa de blackberry 91.96% (Ferrari *et al.*, 2013), o los pétalos de la flor de azafrán 87.11% (Mahdavee Khazaei *et al.*, 2014). Por otro lado, la pulpa sin semillas representa en un $9.26\pm 3.20\%$ del fruto, siendo está la parte comestible, con una humedad del $74.33\pm 2.25\%$ la cual no se reporta en los trabajos consultados, sin embargo, el contenido de humedad fue similar a frutas como el zapote negro 75.72% , mamey 79.87% (Moo-Huchin *et al.*, 2014).

En cuanto al pH en el pericarpio (3.75 ± 0.01) resultó ser similar al óptimo (pH 3.5) para favorecer la estabilidad del contenido de antocianinas (Fossen *et al.*, 1998; Cabrita *et al.*, 2000; Horbowicz *et al.*, 2008; Giuliani *et al.*, 2016), Santhalakshmy *et al.*, (2015), reportan que este valore inhibe el crecimiento microbiano y disminuye las reacciones asociadas al deterioro. El pH de la pulpa fue más alto 5.23 ± 0.02 en comparación con el pericarpio, de igual forma este valor posiblemente esté contribuyendo sobre la estabilidad de los carotenoides, la cual se da en un rango entre 2-7 (Bunnell *et al.*, 1958; Bavernfeind y Bunnell, 1962). Los valores de pH en el caso del pericarpio son similares a los reportados para manzana Malaya (3.60) (Nunes *et al.*, 2016), pericarpio de diversas variedades de manzana Fuji, Granny Smith, Pink Lady, Red Delicious, Royal Gala (4.10 a 4.90) (Henríquez *et al.*, 2010), pulpa de blackberry 3.31 (Ferrari *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asimismo, existe una relación entre el pH, la acidez y °Bx ya que los azúcares presentes en el fruto son precursores de los ácidos orgánicos (Kays, 2004; Yoon *et al.*, 2006), por lo cual un incremento en la acidez del fruto puede deberse a la presencia de una alta cantidad de azúcares. Dichos valores se reportan en la Tabla 14 y fueron más altos en pulpa a diferencia del pericarpio, lo cual se relaciona con el índice de madurez del fruto y con el sabor, debido a la acumulación de algunos azúcares (Pinzon *et al.*, 2007; Wojdyło *et al.*, 2017). Asimismo, frutos con valores entre 0.08% y 1.95% tienen un sabor suave y suelen ser bien aceptadas (Paiva *et al.*, 1997) ambos pulpa y pericarpio entran dentro de esta categoría, por lo cual los ácidos orgánicos juegan un papel importante en la percepción del sabor (Jayasena y Cameron, 2008), los valores reportados fueron de 0.372 ± 0.027 y 0.332 ± 0.054 , pericarpio y pulpa respectivamente y se encuentran dentro del rango, sin embargo el sabor de la pulpa a pesar de su alto contenido de azúcares se prefiere en platillos salados. Por otro lado, Böttcher *et al.*, (2010) observaron que el contenido de antocianinas se correlaciona con los °Bx en algunos frutos, entre mayor contenido de sólidos solubles mayor contenido de antocianinas

Tabla 14. *Propiedades fisicoquímicas de pulpa y pericarpio de xkijit (Renealmia alpinia)*

Análisis	Valores	
	Pericarpio	Pulpa
% Fruto	68.47±5.26	9.26±3.20
Peso	6.61±2.08	0.86±0.25
Humedad (%)	94.23±0.50	74.33±2.25
Acidez (% ácido)	0.372±0.027 ^{††}	0.332±0.054 [†]
pH (25°C)	3.75±0.01	5.23±0.02
Sólidos solubles totales (°Brix)	2.46±0.05	9.45±1.19
Índice de madurez	7.40±1.25	28.97 ±5.59
	Variables de color	
L*	4.87±0.34	48.92±5.33
a*	16.9±1.06	18.85±4.17
b*	3.28±0.91	73.77±7.05
C*	17.21±1.21	76.23±7.22
H°	10.98±2.31	75.66±3.00

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² [†] miliequivalentes de ácido cítrico, ^{††} miliequivalentes de ácido tartárico.

Los parámetros L*, a* y b*, para pericarpio y pulpa de *Renealmia alpinia* (Tabla 14) presentaron las dos tonalidades características en el fruto, con un valor alto en b*+ (amarillo)

para pulpa y en a^* + (rojo) para pericarpio. Particularmente los parámetros triestímulo de color se asemejan a otros alimentos vegetales como el maíz azul (Salinas *et al.*, 2005), *Syzygium cumini* conocida como jamun (Santhalakshmy *et al.*, 2015), la superficie de algunas mulberrys cultivadas en China (Lee y Hwang, 2017). Por otro lado, la pulpa recién removida del pericarpio y sin semillas presentaba un amarillo brillante asociado a valores altos en L^* , reportes indican que la presencia de ciertos compuestos brinda el color y debido a los dobles enlaces en el β -caroteno puede resultar en una coloración amarilla (Steenbock y Gross, 1920; Sant'Anna *et al.*, 2013). Sin embargo, con la exposición al oxígeno, pueden favorecer la oxidación y el oscurecimiento del fruto, algunos ejemplos similares para la pulpa son el nance amarillo (*Byrsonima crassifolia*) (Moo-Huchin *et al.*, 2014), chabacano (*Prunus armeniaca* L.) (Ayour *et al.*, 2016).

Por su parte, los valores de $^{\circ}$ Hue (tono) y croma (saturación de color), nos sitúan en distintos cuadrantes del plano polar, ($Hue=360^{\circ}$ y $Hue=90^{\circ}$), indicando tonos de color puro rojo y amarillo respectivamente. Los resultados obtenidos en esta investigación nos ubicarían en el primer cuadrante donde encontramos ambos tonos (rojo y amarillo). Además de estar asociado a la saturación del color, como lo indican los valores de croma (17.21 ± 1.21 y 76.23 ± 7.22). Lo cual sugiere altos contenidos de diferentes compuestos como antocianinas y carotenoides.

6.1.1 Estabilidad de las antocianinas de pericarpio a diferentes valores de pH

Debido a la inestabilidad de las antocianinas a cambios de pH se evaluó el efecto de este durante el almacenamiento, encontrando que la absorbancia máxima es para pH 1 en todos los días de evaluación (Figura. 15). Se observó un pico máximo en el tiempo 0 horas a 515 nm. Esta tendencia se repite para los valores de pH desde 1 hasta el 4. Selim *et al.*, (2008), reportó un comportamiento similar ya que el pico de absorción máxima se encontraba en 520 nm para antocianinas de jamaica, el comportamiento se mantiene hasta el último tiempo (28 días), y esto coincide con lo observado en antocianinas de frutos como blueberry, frambuesa y fresas, con picos máximos entre 520 y 550nm (Teoli *et al.*, 2016).

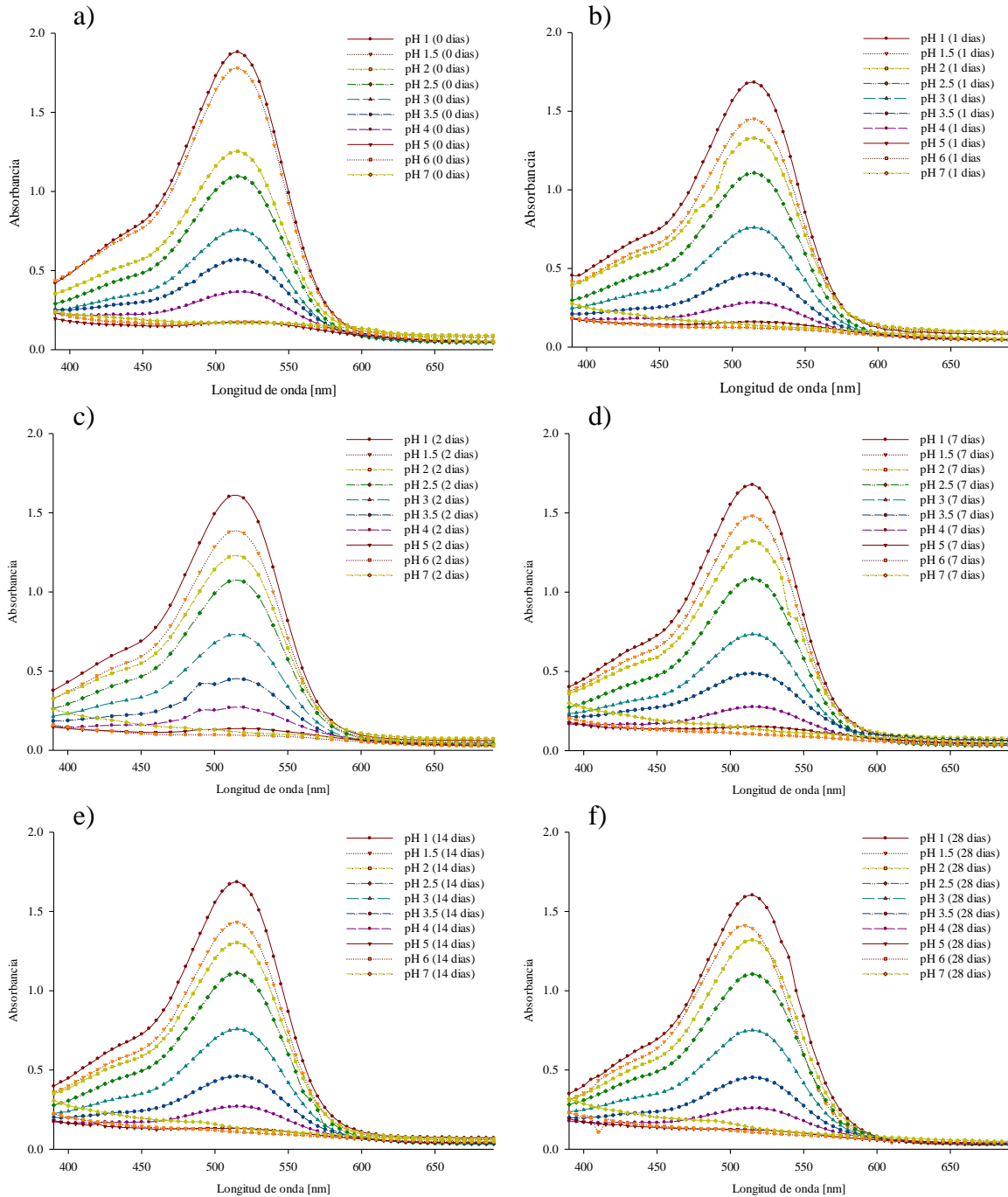


Figura 15. Efecto del pH sobre el espectro visible (390-690 nm) de extractos concentrados de pulpa a diferentes tiempos a) 0 días, b) 1 día, c) 2 días, d) 7 días, e) 14 días, f) 28 días.

En la Figura 16, se observan como el color rojizo disminuye por efecto del pH cuando se acerca a la zona alcalina. De acuerdo con Fossen *et al.*, (1998), la disminución de en la coloración puede atribuirse a la presencia de Cyd-3-Glu y petanina, las cuales llegando a pH arriba de 5 son prácticamente incoloro. Además, si bien el cambio después de los 28 días no

es tan perceptible, la saturación del color disminuyó, sobre todo en pH más alcalinos, comprobando lo reportado por otros autores, el efecto a ciertos valores de pH en la estructura de las antocianinas las vuelve más inestables (Brouillard, 1988; Malien-Aubert *et al.*, 2001).

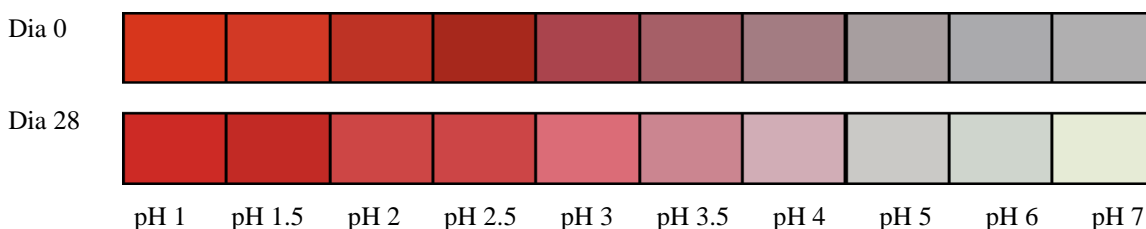


Figura 16. Cambio de color asociado al pH, al inicio y final de la evaluación

Además, algunos flavonoides que pueden brindar color a la solución coexisten con diferentes formas de las antocianinas modificadas por el pH, lo cual ocasiona que el color se pierda rápidamente (Gauche *et al.*, 2010). De acuerdo con Brouillard, (1988) y Malien-Aubert *et al.*, (2001), las antocianinas existen en su forma de ion flavonoide a pH bajo, entre 4-6 en su forma hemiacetal y por arriba de 6 como su base quinoidal, En la Figura 17 se observa el valor máximo de absorbancia para cada pH, donde pH 1 y 1.5, presentan la mayor degradación se dio en las primeras 48 horas, lo cual se debe al paso de las antocianinas de monoméricas a poliméricas (Pasku, 2005). Sin embargo, pasado este tiempo se mantuvieron estables hasta la última medición. También se observa una mayor estabilidad a valores de pH 2.5 y 3 durante el periodo de almacenamiento. En pH 3 el comportamiento es similar a valores de pH más bajos con una disminución en los primeros tiempos y estabilidad en los durante el resto del periodo de almacenamiento, pH cercanos a la zona alcalina presentan comportamiento más errático, tanto en la Figura 15 como en la Figura 17 podemos observar el descenso del valor máximo de absorbancia.

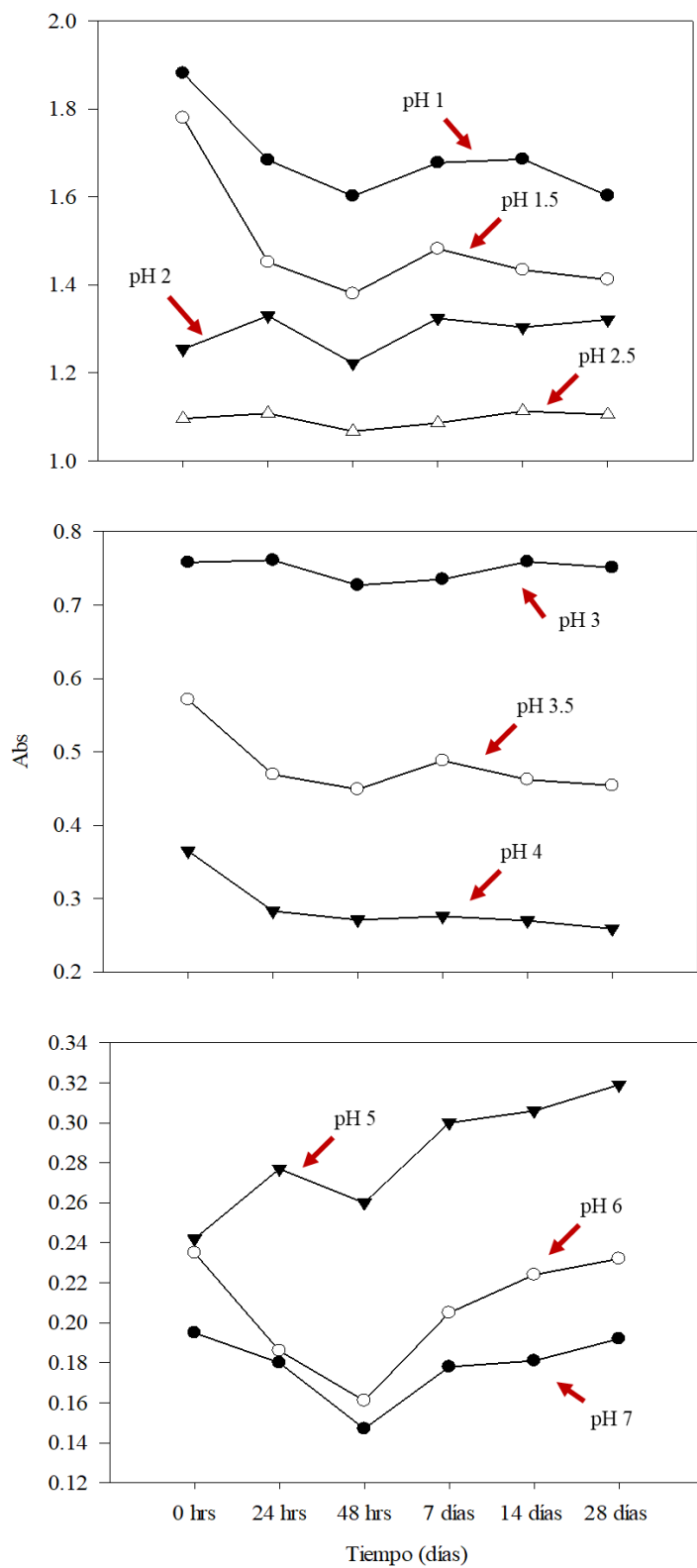


Figura 17. Valor máximo de absorbancia (Abs) de extractos de antocianinas a diferentes valores de pH

6.1.2 Propiedades antioxidantes del fruto (*Renealmia alpinia*)

Se determinaron el contenido de los diferentes compuestos bioactivos presentes en el fruto (pulpa y pericarpio) los cuales se reportan en la Tabla 15. A estos pigmentos se les ha relacionado con brindar color a frutas, verduras, semillas. Además de brindar ciertas propiedades benéficas en el organismo, puesto que, este tipo de compuestos tienen cierta actividad antioxidante, la cual puede ser útil en la prevención de enfermedades cardiovasculares causadas por los radicales libres (Yao *et al.*, 2004).

En el caso del pericarpio los compuestos fenólicos en el xkijit (*Renealmia alpinia*) son similares o superiores a los de la uva (2348 mg de GAE/100 g FW) (Orak, 2007), la carambola (2275 ± 0.36 mg de GAE/100 g), (Saikia *et al.*, 2015), el cainito (695.1 ± 45.7 mg de GAE/100 g DM), (Moo-Huchin *et al.*, 2014) y la fresa (363.70 mg de GAE/100 g FW), (Lin y Tang, 2007). La cantidad de antocianinas fue superior a la reportada para arándanos (60-200 mg/100 g), (Timberlake, 1988), cáscara de manzana (21-216 mg/100 g) y cerezas (350-450 mg/100 g) (Eder, 2000).

El contenido de carotenoides es comparable con otros frutos como: las olivas (400-800 $\mu\text{g}/100$ g) (Gallardo-Guerrero *et al.*, 2012), saramuyo verde y morado (1300g, 1440 $\mu\text{g}/100$ g FW respectivamente) (Moo-Huchin *et al.*, 2014), mombin, maracuyá, (1422.77 ± 142.30 , 1362.07 ± 136.22 $\mu\text{g}/100$ g DW) (Silva *et al.*, 2014) y algunos alimentos más comunes reportados por Mangels *et al.* (1993) incluyen el mango, calabaza, guayaba o zanahoria (23-3700, 490-20000, 435-1190, 1830-14700 $\mu\text{g}/100\text{g}$).

El contenido de compuestos fenólicos en la pulpa de xkijit fue similar al zapote (209.45 ± 20.03) (Silva *et al.*, 2014), mombin (260.21 ± 11.89) (Tiburski *et al.*, 2011), nanche amarillo (240.76 ± 16.61) (Moo-Huchin *et al.*, 2014) todas reportadas como mg GAE/100 g.

La mezcla de carotenoides y compuestos fenólicos aportan cierta capacidad antioxidante en los alimentos (Moo-Huchin *et al.*, 2014; Rufino *et al.*, 2010; Pérez-Jiménez *et al.*, 2008). En el xkijit presentan un valor de 90.34 ± 1.47 mg TE/100 g, siendo superior la capacidad antioxidante del pericarpio. Sin embargo, esta actividad antioxidante puede verse comprometido por la exposición a diferentes condiciones ambientales (Desai y Park, 2005), los resultados sugieren que los compuestos fenólicos tienen mayor influencia en la actividad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

antioxidante de ambos pulpa y pericarpio, lo cual es similar a lo reportado por Moo-Huchin *et al.*, (2014) además, los autores enlistan diferentes trabajos donde se observa una correlación entre compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Los resultados demuestran que el xkijit puede ser una fuente importante de compuestos bioactivos con alta capacidad antioxidante.

Tabla 15. *Compuestos bioactivos de pulpa y pericarpio de xkijit (Renealmia alpinia)*

Análisis	Valores	
	Pericarpio	Pulpa
Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 g PS)	1532.39±3.62	90.34±1.47
Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido / 100 g PS)	1916.63±25.03	-
Clorofilas a (µg/100 g PS)	-	215.69±16.11
Clorofilas b (µg/100 g PS)	-	405.84±81.45
Contenido de carotenoides (µg/100 g PS)	-	1366.38±251.98
Compuestos fenólicos totales (mg de ácido gálico/100 g PS)	2218.19±54.13	252.60±17.62

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² PS peso seco.

6.2 Obtención de los extractos para la microencapsulación

Durante la etapa 2 se realizó la obtención de los extractos que fueron alimentados al secador por aspersión para la obtención de los microencapsulados. Los rendimientos de M1 y M2 para pericarpio fueron de $9.08 \pm 1.50\%$ y $3.16 \pm 0.24\%$ respectivamente, teniendo una actividad antioxidante mayor en M1 (Tabla 16), Esto puede estar asociado a la deficiente extracción de compuestos como antocianinas y compuestos fenólicos presentes en el pericarpio seco, los cuales otorgan en parte esta capacidad antioxidante en plantas (Tlili *et al.*, 2014). Asimismo, M2 se sometió a procesos de calentamiento más prolongados, algunos autores reportan que existe la volatilización de compuestos bioactivos debida a la temperatura en el rotavapor (Krishnaiah *et al.*, 2011), aunque dicho proceso no es tan severo como en el secado por convección en M2, ya que esta se realiza durante periodos más prolongados y temperaturas más altas.

Otro aspecto que cabe resaltar es el hecho de que al deshidratar la pulpa para llevar a cabo M2 no fue posible el tamizado, ya que la muestra se apelmazaba imposibilitando el paso a través del tamiz. Por lo cual se decidió descartar M2 para la obtención de extractos.

Concluyendo que M1 como método para la obtención de los extractos que serían utilizados en el secador por aspersión fue más eficiente y por consiguiente elegido como método de obtención.

Tabla 16. Actividad antioxidante de pulpa y pericarpio de *xkijit* (*Renealmia alpinia*) para los extractos obtenidos por M1 y M2

Análisis	Valores	
	Pericarpio	Pulpa
Método 1	24301.42 ± 1338.61^a	90.34 ± 1.47
Método 2 antes del molido	562.06 ± 20.04^b	-
Método 2 después del molido (177 μm)	2366.33 ± 422.54^b	-

¹± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² ^amg TE/100ss.

³ ^bmg TE/100g.

6.3 Obtención y evaluación de los microencapsulados

6.3.1 Rendimiento

De acuerdo a Can Karaca *et al.*, (2016), el rendimiento disminuirá por la pegajosidad de la mezcla y está relacionado con el contenido de sólidos, por otro lado Tonon *et al.*, (2008) y Santana *et al.*, (2016) establecen que el rendimiento en la encapsulación está relacionado con la concentración de sólidos totales en la mezcla de alimentación, debido a que pueden afectar otros factores en el proceso, como la adherencia en las paredes de la cámara del secador durante el secado del producto, además de estar influenciado no únicamente por los sólidos añadidos, sino por otros sólidos pertenecientes al extracto como glucosa y fructosa (Papadakis *et al.*, 2006).

Los valores promedio para el rendimiento y otras propiedades físicas de los encapsulados son presentados en la Tabla 17 y 18. La mezcla del recubrimiento MDX-GA, incrementaron significativamente ($P < 0.05$) el rendimiento, en comparación con los tratamientos MDX y GA usados como agentes independientes. Este resultado concuerda con lo obtenido por Tonon *et al.*, (2008), quienes reportan la relevancia de los dos agentes encapsulantes y concluyen que mezclas con mayor contenido de MDX disminuye el rendimiento durante la encapsulación. Esto fue asociado a la viscosidad en la emulsión, causado por la adición de MDX.

Los resultados de los rendimientos obtenidos para la microencapsulación de extractos de pulpa no presentaron diferencias significativas con el uso de diferentes agentes encapsulantes ($P < 0.05$), resultados similares son los obtenidos por Krishnaiah *et al.*, (2012) en la encapsulación de noni (*Morinda citrifolia*), los cuales van desde 14.54% hasta 39.16%, con el uso maltodextrina observando que a mayores temperaturas aumentaban el rendimiento, pero disminuye en concentraciones más altas del agente.

Rutz *et al.*, (2013), sugieren que la interacción inducida dipolo-dipolo entre los grupos metilo de los carotenoides con algunos grupos en MDX (Wang y Wang, 2000) y algunos grupos metilo en GA (Daoub *et al.*, 2016) asegurarían la encapsulación de los carotenoides, además la adición de estos agentes aumentaría la temperatura de transición vítrea (Quek *et al.*, 2007; Samborska *et al.*, 2015) favoreciendo el proceso de secado. Por otro lado, Papadakis *et al.*,

(2006) mencionan que el secado se considera exitoso incluso si una pequeña parte de polvo es obtenida.

6.3.2 Humedad

Múltiples trabajos mencionan la importancia de la humedad en la producción de polvos mediante el secado por aspersión, ya que está relacionado tanto con las condiciones de proceso, así como con la estabilidad de los mismos (Santhalakshmy *et al.*, 2015; Ferrari *et al.*, 2012). Quek *et al.*, (2007) reportan que, por el contenido de azúcar en los microencapsulados, las condiciones de almacenamiento son muy importantes debido a que afectan a la higroscopicidad de los polvos, sin embargo, bajos contenidos de humedad son necesarios para asegurar que no existan apelmazamientos. Dicho fenómeno es un precursor de la aglomeración de partículas, lo cual dificulta el flujo y la retención del compuesto activo (da Silva *et al.*, 2013).

El contenido de humedad de los microencapsulados de pericarpio de xkijit presentaron valores entre 2.06% y 2.47% sin tener diferencias significativas entre los agentes que conformaban la pared, lo cual sugiere una buena transferencia de calor y evaporación del agua del recubrimiento (Mahdavi *et al.*, 2016). La humedad puede estar relacionada con el contenido de sólidos, ya que Shishir *et al.*, (2014) observaron una reducción en el porcentaje de humedad si estos aumentaban, sin embargo, esto produce polvos más higroscópicos (Otálora *et al.*, 2015).

Díaz-Bandera *et al.* (2015) utilizaron siete diferentes agentes para la encapsulación y no encontraron diferencias con respecto a la humedad, así como Mahdavee-Khazaei *et al.* (2014) con el uso de MDX 7DE y la combinación MDX-GA, similar a lo encontrado en esta investigación.

De forma similar las pruebas estadísticas evidenciaron que los valores de humedad para microencapsulados de pulpa no variaron significativamente entre los agentes que conforman la pared de los microencapsulados. Específicamente los resultados obtenidos con MDX fueron similares a los reportados por Papadakis *et al.* (2006), quienes encapsularon jugo de pasa con MDX de diferentes equivalentes de dextrosa, encontrando que la humedad disminuyó conforme los equivalentes de dextrosa (DE), con valores de entre 6 y 12

obtuvieron contenidos de humedad del 2.5 y 3.5 %, respectivamente, y la combinación de MDX (10DE) y GA y otros agentes fueron evaluados por Cameiro *et al.*, (2013), en la encapsulación de aceite de linaza encontrando valores entre 1% y 3%, los cuales son muy similares a los obtenidos en este estudio.

En ambos casos, (encapsulación de extractos de pulpa y pericarpio) esto puede estar asociado por el lado de la MDX que es una molécula larga y puede dificultar la difusión de las moléculas de agua (Bicudo *et al.*, 2015), mientras que GA por la presencia de cadenas más cortas y alto contenido de grupos hidrofílicos en su estructura química, presentan una alta capacidad para retener el agua (da Silva *et al.*, 2013; Du *et al.*, 2014), es posible que el número de sitios donde el agua puede ligarse sea similar para MDX y para GA, reduciendo el porcentaje de agua libre para llevar a cabo la evaporación.

6.3.3 Actividad de agua (*aw*)

El almacenamiento de los polvos está influenciado por numerosos factores, siendo *aw* uno de los más importantes, ya que este parámetro es relevante en la estabilidad bioquímica de compuestos como carotenoides, antocianinas y algunos fenoles, además de la actividad microbiológica de los polvos (Tonon *et al.* 2010; Kingwatee *et al.*, 2015; Du *et al.*, 2014 Santana *et al.*, 2016; Vardin y Yasar, 2012), ya que valores de *aw* altos implicarían una vida útil más corta.

Las microcápsulas presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) con las tres condiciones de encapsulación (Tabla 17), Du *et al.*, (2014) evaluaron la *aw* de encapsulados de kaki con diferentes agentes MD, GA, SSOS, WPC y EA (maltodextrina, goma arábiga, almidón de sodio octenilsuccinato, proteína de suero de leche y albumina de huevo, respectivamente), encontrando diferencias entre MDX y GA, siendo menor la *aw* para en MDX, sin embargo esto puede deberse principalmente al contenido de sólidos (MDX 45% y GA 30%) y no tanto a la variación en la estructura molecular. Lo anterior debido a que en el presente trabajo con el recubrimiento se GA obtuvo un valor de *aw* menor (0.195) en comparación con las otras dos mezclas.

En relación con los valores de actividad de agua de los microencapsulados de pulpa, no presentaron diferencias significativas entre sí, aún con el uso de los diferentes agentes

encapsulantes. Asimismo los resultados obtenidos fueron similares a los reportados en encapsulados de jugo de pasas (Papadakis *et al.*, 2006), y guayaba (Osorio *et al.*, 2011), y sandía (Quek *et al.*, 2007), Otálora *et al.*, (2015) en la encapsulación de betalainas con mucilago de nopal-maltodextrina, Oberoi y Sogi, (2015) con jugo de sandía y maltodextrina en diferentes concentraciones, y Du *et al.*, (2014) pulpa de kaki, obtuvieron valores alrededor de 0.2, similares a los observados en este estudio, En ambas matrices, los valores continúan por debajo de los límites microbiológicos y bioquímicos (0.3) asegurando su estabilidad y vida de almacenamiento, sin que presenten apelmazamiento.

6.3.4 Tamaño de partícula y morfología

Las microscopias electrónicas de barrido para los polvos del pericarpio pulpa (Figura 18 y 21) fueron obtenidas para determinar la morfología y para determinar el tamaño de partícula. Los microencapsulados preparados con diferentes agentes encapsulantes presentaron dos morfologías diferentes, lisas sobre la superficie y semiesféricas con irregularidades. En cuanto a los tamaños de partícula de polvos de pericarpio presentaron valores entre 1.10-23.75 μm , 1.04-26.21 μm , 1.0-46.53 μm para MDX, MDXGA y GA respectivamente. Las distribuciones de tamaño tan irregulares son comunes en la encapsulación con el uso de secado por aspersión (Santana *et al.*, 2013). El tamaño se vio afectado por la adherencia de partículas, ya que algunas de las partículas más pequeñas se adherían a la superficie de las más grandes, este fenómeno fue observado por Silva *et al.*, (2013).

Se observaron formas similares en estudios anteriores en la encapsulación de extractos ricos en antioxidantes como antocianinas con MDX, GA y gelatina (Mahdavi *et al.*, 2016), betalainas con MDX y mucilago de cladodio (Otálora *et al.*, 2015) y pulpa de jussara con GA, almidón modificado, aislado de proteína de soya y concentrado de proteína de suero de leche (Santana *et al.*, 2016).

De acuerdo con Beristain *et al.*, (2001), el tamaño de los microencapsulados aumentaba posiblemente por la relación entre el contenido de sólidos totales y la viscosidad ya que ambas generaban tiempos más largos en la formación de las gotas durante la deshidratación. Mientras tanto, partículas con rugosidad, colapso e imperfecciones sobre la superficie son provocadas por la rápida evaporación del agua durante el proceso de secado por aspersión. La mezcla compleja de polisacáridos y glicoproteínas puede causar cambios en la superficie

de las esferas, posiblemente debido a la desnaturalización de las glicoproteínas en GA (Kuck y Noreña, 2016).

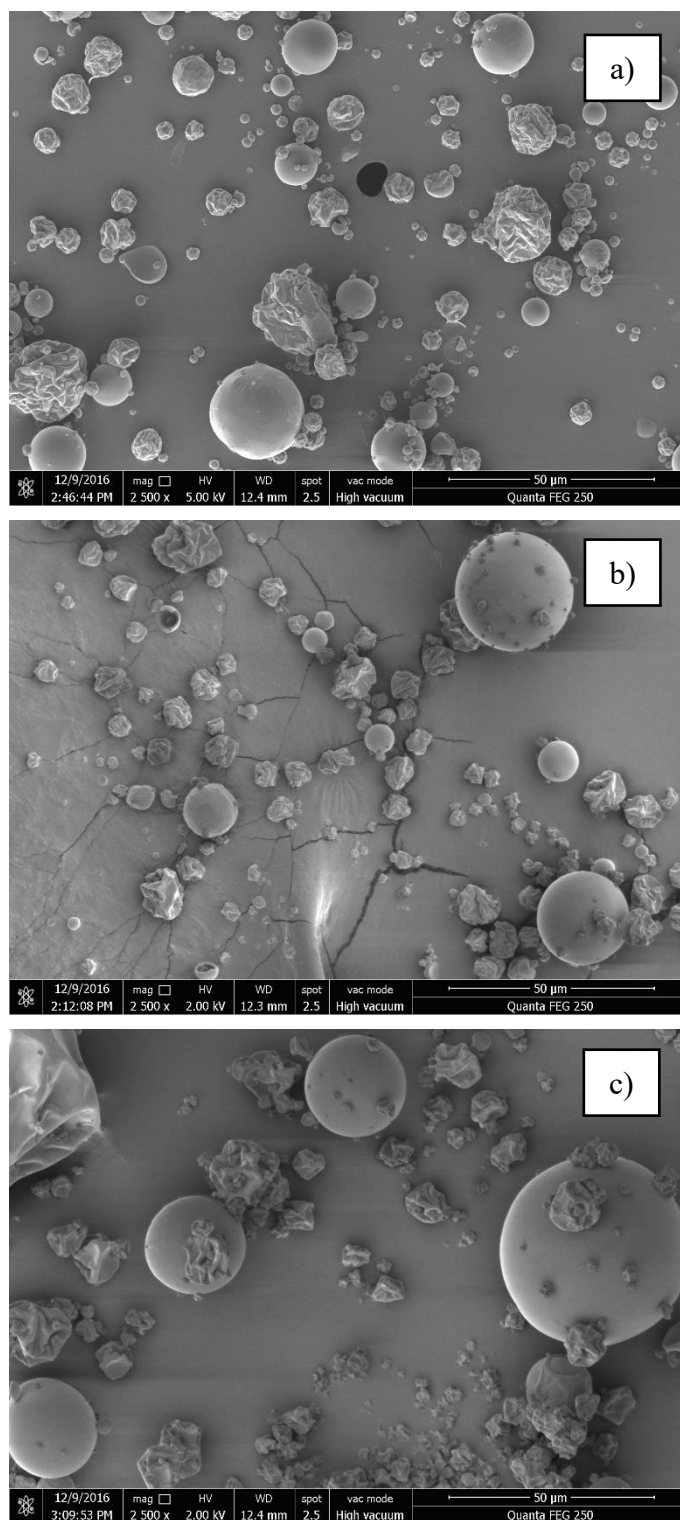


Figura 18. SEM de microencapsulados de pericarpio de xkijit con a) Maltodextrina, b) Maltodextrina-Goma arabiga y c) Goma arabiga.

Kapoor y Juneja, (2009), consideran que las concavidades pueden estar relacionadas con tamaños moleculares más grandes, aquellos con cadenas muy largas pueden impedir la salida de agua durante la evaporación (Bhusari *et al.*, 2014).

La distribución de tamaños para los polvos producidos con diferentes agentes encapsulantes y extractos de pericarpio, muestran una distribución de tipo trimodal y cada pico representa el tamaño predominante (Figura 19), Tonon *et al.*, (2010) menciona que partículas pequeñas pueden penetrar entre los espacios de partículas más grandes, además partículas de mayor tamaño pueden generar procesos de aglomeración (Ferrari *et al.*, 2012).

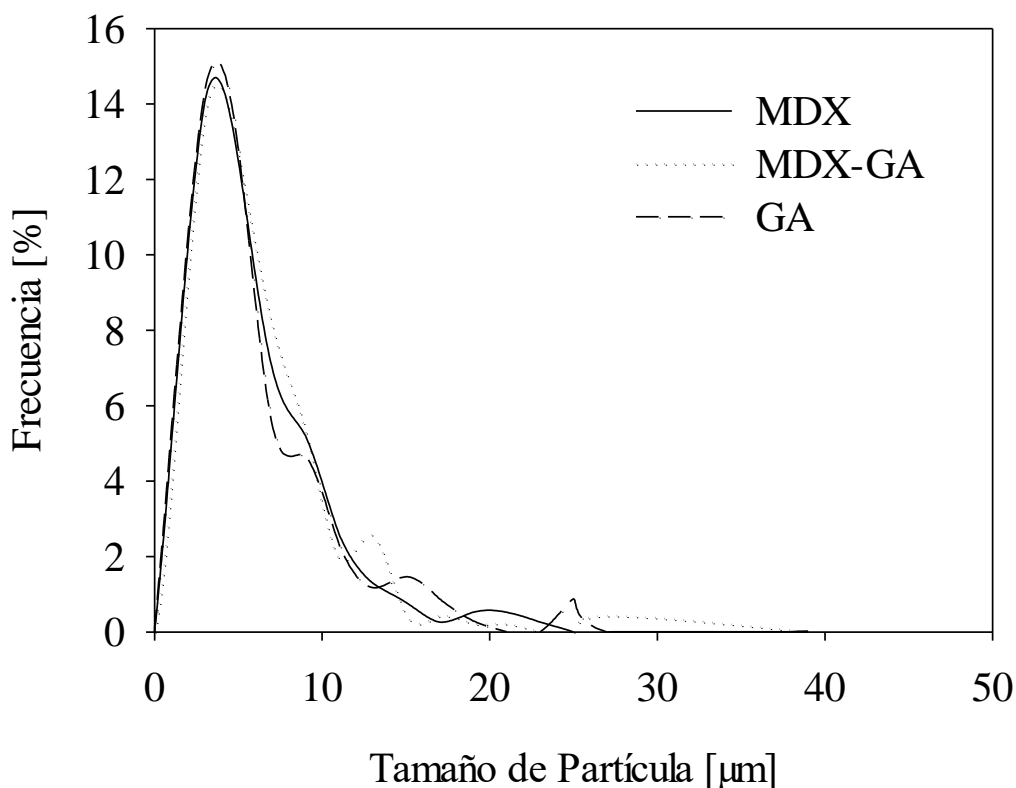


Figura 19. Distribución de tamaño de partícula para los microencapsulados obtenidos del pericarpio de xkijit.

De acuerdo con la Figura 20 se estimaron tamaños promedio de partícula para microencapsulados obtenidos de pulpa 5.04, 4.58, 3.78 µm para MDX, MDX-GA y GA respectivamente, siendo el recubrimiento MDX el que generaba partículas más grandes, reduciendo el tamaño con la incorporación de GA. Algunos reportes mencionan que

partículas más grandes pueden colisionar y adherirse a las paredes del secador (Di Battista *et al.*, 2015). En la Figura 20, se observa la distribución de tamaño con diferentes tendencias, la mayoría de las partículas están entre los 0 y 8 μm , sin embargo, MDX generó otros tamaños de partícula entre 15 y 20 μm y GA entre 8 y 15 μm , Medina-Torres *et al.* (2016) realizaron la encapsulación de infusiones de laurel con MDX, encontrando que la velocidad de alimentación al secador puede variar el tamaño de la partícula y no solo el uso de diferentes agentes.

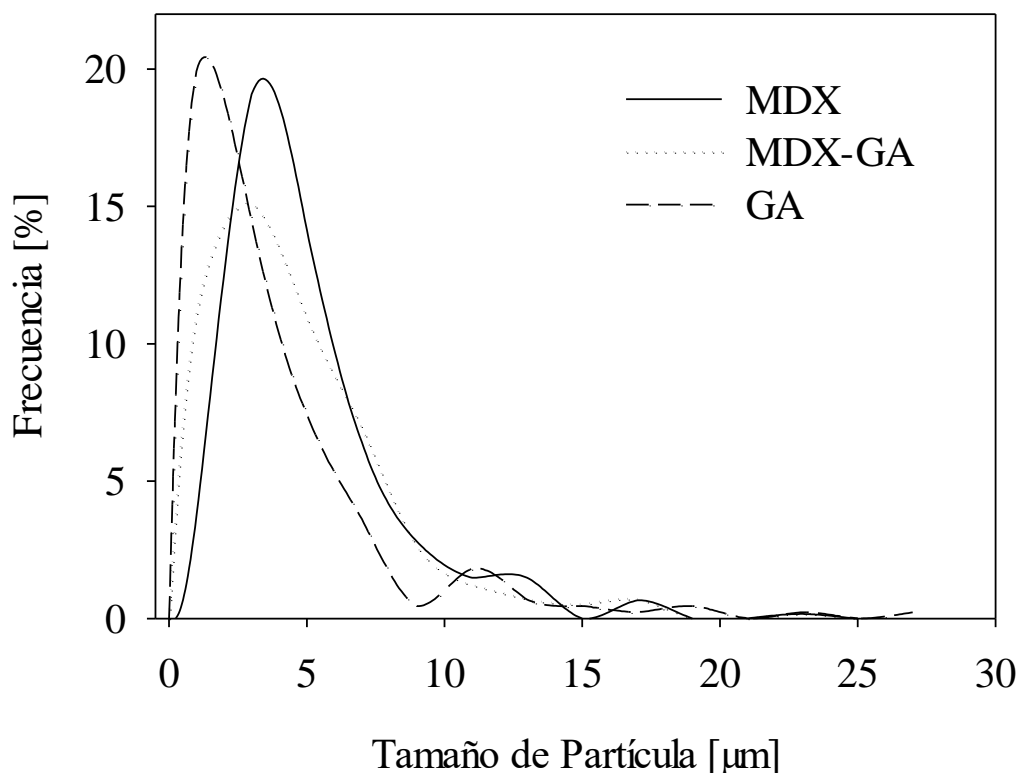


Figura 20. Distribución de tamaño de partícula para los microencapsulados obtenidos de la pulpa de xkijit.

Encontrar las condiciones óptimas de encapsulación depende de múltiples factores, como son temperatura de aire, concentración de sólidos, atomización, entre otros (Bimbenet *et al.*, 2002), Evitar la formación de fracturas sobre la superficie, siendo una de las principales características de calidad en los polvos (Di Battista *et al.*, 2015). Alamilla-Beltrán *et al.*, (2005), reportan que entre mayor es la temperatura de secado la superficie de las capsulas es

más rígida y con menos imperfecciones. La Figura 21, muestra las microscopias con los tres diferentes recubrimientos, observando partículas semiesféricas y con superficie irregular. Además, en el caso de MDX (Figura 22a) y MDX-GA (Figura 22b) se observa algunas microesferas que colapsaron. Para los tres agentes se generaron aglomerados, por lo cual, el uso de diferentes agentes puede generar o mejorar la superficie de las capsulas, evitando la formación de rugosidades o huecos (Soottitantawat *et al.*, 2005; Krishnan *et al.*, 2005; Carvalho *et al.*, 2014)

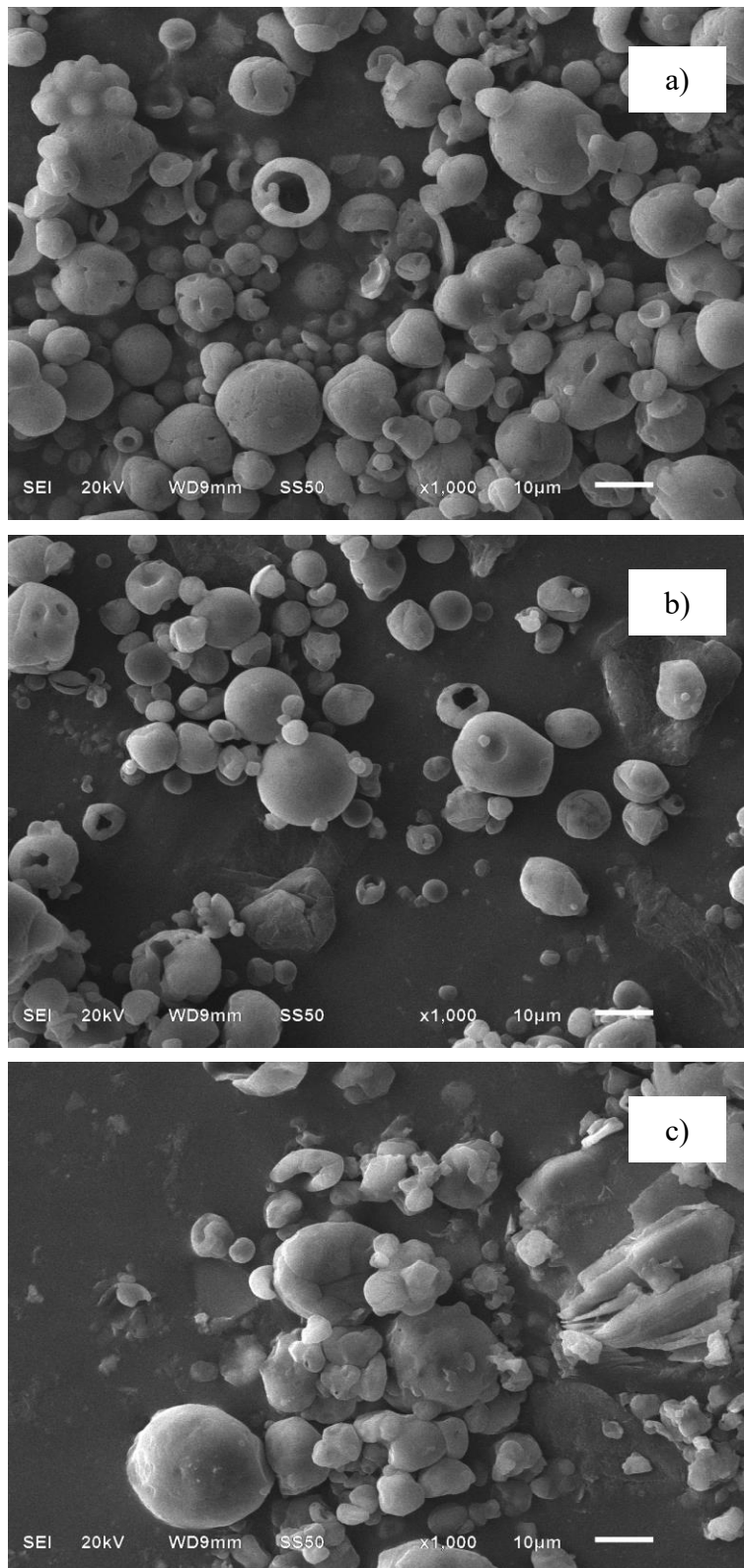


Figura 21. SEM de microencapsulados de pulpa de xkijit con a) Maltodextrina, b) Maltodextrina-Goma arabiga y c) Goma arabiga.

6.3.5 Densidad aparente y compacta

La variación en la densidad de los polvos puede estar influenciada por variables de procesos como temperatura y concentración de agentes (Shishir *et al.*, 2014), así como por características de las partículas, tamaño, forma e interacciones moleculares, como las fuerzas de Van der Waals (Shrestha *et al.*, 2007; Barbosa *et al.*, 2005).

Cuando se utiliza GA como agente de la pared de recubrimiento, la densidad aparente y compacta incrementaron (Tabla 17), los valores observados son similares a los reportados por Kim y Morr (1996) con el uso de GA en la encapsulación de emulsiones de aceite de naranja (0.27 g/mL and 0.46 g/mL densidad aparente y compacta, respectivamente). Esta misma tendencia es observada por Mahdavee Khazaei *et al.*, (2014) donde la densidad aparente de extractos de pétalos de azafrán disminuyó con la adición parcial (50%) o total de MDX (7DE).

Agentes encapsulantes con mayor peso molecular (GA cercano a 250,000 g/mol mientras MDX DE 5 cercano a 2000-2500 g/mol), promueven el movimiento de las partículas hacia áreas vacías, lo cual reduce el volumen total y aumenta la densidad aparente. De acuerdo con Bicudo *et al.*, (2015) y Kingwatee *et al.*, (2015) mayores valores para ambas densidades favorecen la fluidez del polvo, solubilidad y la capacidad de empaqueo. Mientras que la densidad compacta aumenta, cuando se reduce la cohesión entre partículas, favoreciendo la consolidación del polvo (Luna-Guevara *et al.*, 2017).

Como se esperaba, MDX presentó, los menores valores de densidad (0.209 g/cm³ y 0.322 g/cm³ para densidad aparente y compacta, respectivamente), ya que la adición de MDX disminuye la pegajosidad lo cual se relaciona con la densidad. Los valores fueron mayores a los reportados por Goula y Adamopoulos, (2008), quienes obtuvieron valores de densidad aparente en el rango de 0.09-0.12 g/mL, en la encapsulación de pulpa de tomate con MDX y diferentes DE.

Por el lado de los microencapsulados de pulpa no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), con valores entre 0.2 a 0.3 para densidad aparente y alrededor de 0.45 para densidad compacta (Tabla 18). Esta tendencia puede estar relacionada a la presencia de otras moléculas en el extracto, como proteínas, azúcares, algunos ácidos orgánicos, grasas etc. Los valores

fueron similares a los obtenidos por, Osorio et al (2011) en extractos de guayaba con MDX y MDX-GA (0.23 y 0.34 respectivamente), diferentes proporciones y concentraciones de sólidos MDX, GA y MDX-GA en la encapsulación de miel reportadas por Samborska et al. (2015) y Lim et al. (2016) usando aislado de proteína de soya y GA para obtener partículas de carotenoides con capa simple y doble (0.49 y 0.50).

6.3.6 Humectabilidad

La humectabilidad está relacionada con parámetros como el tamaño de partícula y la densidad, generando más o menos espacios abiertos o canales entre los encapsulados en los cuales se favorece la incorporación de agua y la humectación del polvo (Kim *et al.*, 2002; Cynthia *et al.*, 2015). Los valores de humectabilidad se presentan en la Tabla 17 y es el tiempo obtenido para que los microencapsulados se humedecieran por completo. El uso de MDX obtuvo los tiempos más bajos encontrados en este estudio con 232 segundos, lo cual puede relacionarse con la densidad aparente, debido a que MDX como agente de recubrimiento para las antocianinas de xkijit resultó tener la densidad más baja, posiblemente con mayor número de vías para la movilidad del agua entre partículas, dándole mejores propiedades de reconstitución.

Los valores más altos correspondieron a los polvos MDX-GA y GA (Tabla 17). De acuerdo con Ferrari et al. (2012) y de Barros et al. (2014), la humectabilidad en los encapsulados con MDX y GA se debe a los grupos hidrofílicos presentes en ambos, permitiendo la reconstitución de los polvos. Sin embargo, la baja velocidad de reconstitución en estos dos recubrimientos puede deberse como se mencionó con anterioridad, a la densidad, con los valores más altos, ya que a mayor peso del material de recubrimiento el acomodo en espacios vacíos entre partículas es más fácil (Santhalakshmy *et al.*, 2015) y por otro lado GA presentó tamaños de partícula mayores, los cuales posiblemente se deben al apelmazamiento impidiendo la penetración de agua y con ello se aumentó el tiempo para que se lleve a cabo la reconstitución.

Esta misma tendencia se observa en los microencapsulados de pulpa, ya que la adición de GA incrementó el tiempo de humectación siendo GA el doble de tiempo que para MDX. La posible presencia de aglomerados de partículas pudo ayudar a la penetración del agua por fuerzas de capilaridad (Hogekamp y Schubert, 2003). Ferrari *et al.*, (2012), mencionan que

la aglomeración de partículas puede reducir el tiempo de 120 a 15 segundos en microencapsulados de blackberry. Mientras que, en ambos casos, Jinapong et al. (2008) menciona que un mayor contenido de azúcares presentes en la MDX podría hacer al polvo más higroscópico y absorber la humedad con mayor facilidad y debido a la presencia de glicoproteínas en GA (Islam *et al.*, 1997) podrían afectar el tiempo de absorción y por consiguiente de reconstitución.

Tabla 17. *Propiedades físicas de los microencapsulados de extractos del pericarpio de xkijit*

	MDX	MDX-GA	GA
Rendimiento (%)	18.59±0.30 ^b	21.58±1.02 ^a	19.47±0.78 ^b
Humedad (%)	2.47±0.16 ^a	2.45±0.58 ^a	2.06±0.08 ^a
a _w	0.209±0.001 ^a	0.202±0.005 ^b	0.195±0.001 ^c
Humectabilidad (seg)	232.66±6.42 ^c	321.33±35.72 ^b	416.33±27.79 ^a
Densidad aparente (g/cm ³)	0.209±0.009 ^b	0.223±0.023 ^a	0.230±0.030 ^a
Densidad compacta (g/cm ³)	0.322±0.022 ^b	0.401±0.002 ^a	0.410±0.010 ^a

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

Tabla 18. *Propiedades físicas de los microencapsulados de extractos de pulpa de xkijit*

	MDX	MDX-GA	GA
Rendimiento (%)	17.17±0.27 ^a	18.01±4.29 ^a	18.43±2.26 ^a
Humedad (%)	3.29±0.03 ^a	2.62±0.77 ^a	2.93±1.64 ^a
a _w	0.261±0.024 ^a	0.190±0.096 ^a	0.164±0.033 ^a
Humectabilidad (seg)	86.5±9.19	150.5±9.19	199±12.21
Densidad aparente (g/cm ³)	0.309±0.018 ^a	0.276±0.0.048 ^a	0.263±0.017 ^a
Densidad compacta (g/cm ³)	0.455±0.011 ^a	0.469±0.045 ^a	0.464±0.022 ^a

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

6.3.7 Color

Las propiedades de color están relacionadas con los pigmentos los cuales pueden ser protegidos con la microencapsulación y así prolongar su vida útil. Sin embargo, por la misma naturaleza del proceso, estos pueden presentar variaciones en las propiedades de L*, a* y b*. Ya que diferentes estudios indican que el color puede verse afectado por el material de

encapsulación (Obón *et al.*, 2009), concentración del agente (Ahmed *et al.*, 2010), temperatura de deshidratación, entre otros.

En la Tabla 19 y 20 se observan los valores de L*, a*, b*, croma y Hue. Los resultados obtenidos usando solo MDX como agente de recubrimiento son similares a los reportados por de Souza *et al.* (2015) en encapsulados de uva con 10% en la concentración de MDX, dichos autores, observaron una influencia debida a la concentración de MDX y a la temperatura de proceso, debido a la generación de reacciones como la caramelización en la superficie de la esfera, lo cual posiblemente se redujo con la adición de GA en la mezcla ya que las muestras MDX-GA 50% y GA 100% tuvieron valores más altos en este parámetro.

Los valores de a* presentaron diferencias significativas entre las muestras con diferentes recubrimientos (P<0.05), siendo mayores para el tratamiento MDX-GA y MDX favoreciendo tonos más rojos, mismos que están asociados con el contenido de antocianinas y actividad antioxidante de los encapsulados (Jiménez-Aguilar *et al.*, 2011; Tatar *et al.*, 2015) y que a su vez pueden estar influenciados por la tonalidad inicial de los agentes de recubrimiento. MDX puede generar capsulas más brillantes (L*) por la coloración blanca, a diferencia de GA ya que este tiene un color amarillo (+b*) característico del agente.

Tabla 19. *Parámetros de color de los microencapsulados de extractos de pericarpio de xkijit*

	MDX	MDX-GA	GA
L*	22.97±0.90 ^c	28.30±1.87 ^a	25.30±1.66 ^b
a*	21.85±0.91 ^a	23.12±3.43 ^a	18.24±0.90 ^b
b*	-7.06±0.61 ^a	-6.58±1.06 ^a	-7.48±0.53 ^a
Croma	22.97±0.82 ^a	24.10±3.02 ^a	19.72±0.74 ^b
°Hue	347.06±1.82 ^{ab}	348.64±4.67 ^a	342.66±2.13 ^b

¹± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

²Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

En cuanto al parámetro b*, no se observaron diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos y fueron semejantes a los valores obtenidos en la encapsulación antocianinas de pétalos de azafrán obtenidos por Mahdavee Khazaei *et al.*, (2014) utilizando MDX (7 DE) MDX-GA y GA obteniendo los valores -5.62, -6.77 y -5.79. Los valores de Hue en todos los tratamientos correspondieron al cuarto cuadrante indicando tonalidades moradas (342-348°) y se vieron influenciados por el parámetro de a*, siendo el valor de MDX-GA el más alto y

cercano a los tonos rojos (Hue=360) (Figura 18). En cuanto a Cromo se aprecia una mayor pureza de color con los encapsulados con MDX-GA, característica deseable en el producto, lo cual puede deberse al grosor de la misma esfera, ya que pesos moleculares más altos como los de GA podrían generar paredes más gruesas impidiendo la entrada de luz (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009) que podría degradar estos pigmentos, pero a su vez disminuiría la saturación del color (croma) con esferas pálidas en la superficie.

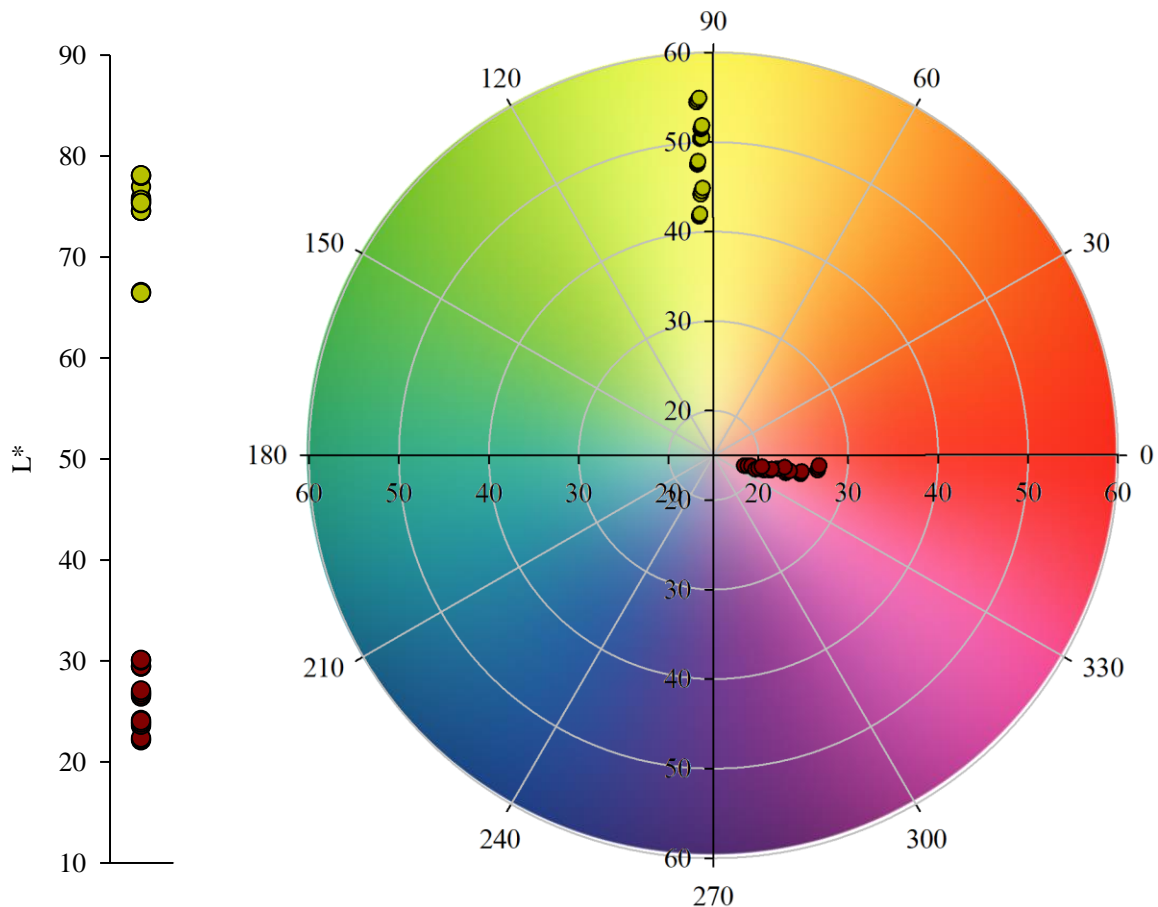


Figura 22. Ángulo de °Hue y valores de Cromo para las muestras de microencapsulados de pulpa y pericarpio ● Pericarpio, ● Pulpa.

Los resultados obtenidos para los microencapsulados de pulpa, la luminosidad tuvo un aumento con la combinación de MDX-GA, lo cual puede deberse a la coloración de ambos agentes, ya que uno es blanco y brillante y el otro tiene una tonalidad amarilla. Daza et al. (2016) reportan que entre mayor sea la concentración de los agentes la luminosidad (L^*) tiende a aumentar, debido a la reducción de los valores de croma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contrario a lo obtenido en el pericarpio, los valores de a^* no presentaron diferencias ($P < 0.05$), sin embargo, b^* tuvo un aumento con la adición de GA, lo cual como se mencionó previamente, puede estar relacionado con el color del agente. Además de tener mayor influencia en los valores de Croma, GA presentó una mayor saturación del color, lo cual indicaría que los otros dos recubrimientos generaron partículas más pálidas, Oberoi y Sogi, (2015) concuerdan con Quek *et al.*, (2007), ambos mencionan que la adición de MDX tiene un efecto significativo en cromina.

Por otro lado, el cálculo de $^{\circ}\text{Hue}$ nos sitúa en el segundo cuadrante (Figura 18) con valores cercanos a $\text{Hue} = 90^{\circ}$ que indican tonalidades amarillas, además, no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en este parámetro. No obstante, el mayor cambio se vio con la adición de MDX en la mezcla, lo cual puede estar explicarse ya sea por la dilución del color, o el recubrimiento no ofrece la mejor protección para los pigmentos, reduciendo la cantidad del grupo cromóforo perteneciente a la molécula de los carotenoides, debido al efecto de la temperatura, ya que existen reacciones de isomerización y oxidación durante procesos de calentamiento (Zepka *et al.*, 2009).

Tabla 20. *Parámetros de color de los microencapsulados de extractos de pulpa de xkijit*

	MDX	MDX-GA	GA
L^*	70.01±5.19 ^b	75.85±1.76 ^a	75.96±1.77 ^a
a^*	-1.9±0.46 ^a	-2.16±0.50 ^a	-2.00±0.24 ^a
b^*	45.75±1.42 ^b	47.26±4.17 ^b	51.60±2.54 ^a
Croma	45.75±1.43 ^b	47.31±4.16 ^b	51.64±2.55 ^a
$^{\circ}\text{Hue}$	92.36±0.52 ^a	92.65±0.67 ^a	92.18±0.23 ^a

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² Superíndices diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

6.4 Propiedades antioxidantes

Debido a la distinta naturaleza de los compuestos bioactivos, en cuanto a su peso molecular, polaridad, solubilidad etc., es necesario el uso de diferentes técnicas o materiales en la encapsulación, Augustin y Hemar, (2009) sugieren que esto tiene influencia en las características físicas y moleculares de los polvos obtenidos.

6.4.1 Contenido y estabilidad de las antocianinas

Diferentes agentes encapsulantes han sido probados para la encapsulación de antocianinas, se ha reportado que el tipo de agente encapsulante tiene efecto sobre las propiedades físicas y protección de los compuestos encapsulados. Tonon *et al.*, (2010) evaluaron la estabilidad de antocianinas de açai con MDX 10DE, 20DE, GA y almidón de tapioca, concluyen que MDX 10DE seguido por GA produjeron las partículas con mayor tiempo de vida almacenadas a 25 y 35 °C, de igual forma Bakowska-Barcsaz y Kolodziejek (2011), reportan microcápsulas de antocianinas de grosella negra más estables producidas con inulina.

Debido a lo anterior se puede observar que además del agente encapsulante, la temperatura juega un papel importante en el comportamiento de las antocianinas en los microencapsulados almacenados, los resultados de las dos condiciones de almacenamiento (4 y 25 °C) durante 28 días se presentan en la Figura 23.

Al inicio del almacenamiento no se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tres recubrimientos y se mantuvo esta tendencia hasta los 14 días, a partir de este tiempo únicamente los encapsulados con MDX a 4°C mantuvieron constante el contenido de antocianinas hasta los 28 días. Lo anterior puede deberse a que MDX es más compatible con las antocianinas que son colorantes hidrofílicos, favoreciendo la formación de la emulsión con agua (Mahdavi *et al.*, 2016). Asimismo, Moser *et al.*, (2017) reporta que recubrimientos con MDX y 10% de proteína de soya favorecen la estabilidad de las antocianinas almacenadas a 25 y 35 °C, la cual puede asociarse con la formación de ciertos complejos entre la forma catiónica “flavilo” de las antocianinas y las dextrinas, evitando la producción de compuestos más inestables.

Por otro lado, el efecto de la temperatura de almacenamiento demostró que el almacenamiento a 25°C, ocasionó una reducción el contenido de la antocianinas hasta un

63.40% y 88.52% con MDX, GA respectivamente (Figura 23a, 23c) de acuerdo con Jiménez *et al.*, (2010), este comportamiento se debe a la producción de reacciones de Maillard (oscurecimiento no enzimático) entre los azúcares y las proteínas, generadas durante la deshidratación de las esferas, generando furfurales o hidroxifurfurales quienes reaccionan con las antocianinas (Debicki-Pospisil *et al.*, 1983).

En relación con el recubrimiento MDX-GA (Figura 23b) fueron las condiciones de almacenamiento a 25°C las que favorecieron la estabilidad de los encapsulados. La mezcla de estos encapsulantes también fue evaluada por Mahdavee *et al.*, (2014) en la encapsulación de antocianinas de pétalos de azafrán, observando que el contenido de antocianinas en los microencapsulados almacenados a 35°C (condiciones para evaluar vida media acelerada) se mantuvieron constantes hasta por 10 semanas de almacenamiento. De acuerdo con Tonon *et al.* (2010) y Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk (2011) la retención de las antocianinas con la mezcla de MDX y GA se favorece debido que la emulsión puede formar partículas huecas, en las cuales se puede retener mejor a la matriz encapsulada (extracto de fruta).

Mientras que el recubrimiento GA (Figura 23c), no presentó diferencia significativa a través del tiempo, lo que podría implicar que este recubrimiento pudo proteger mejor a las antocianinas evitando su degradación hasta los 28 días con ambas temperaturas de almacenamiento. Brownmiller *et al.* (2008) mencionan que la estabilidad de las antocianinas almacenadas por periodos prolongados se encuentra relacionada con su capacidad de polimerización, la cual se produce debido a que estas sufren reacciones de copigmentación con otros compuestos fenólicos y algunos aminoácidos.

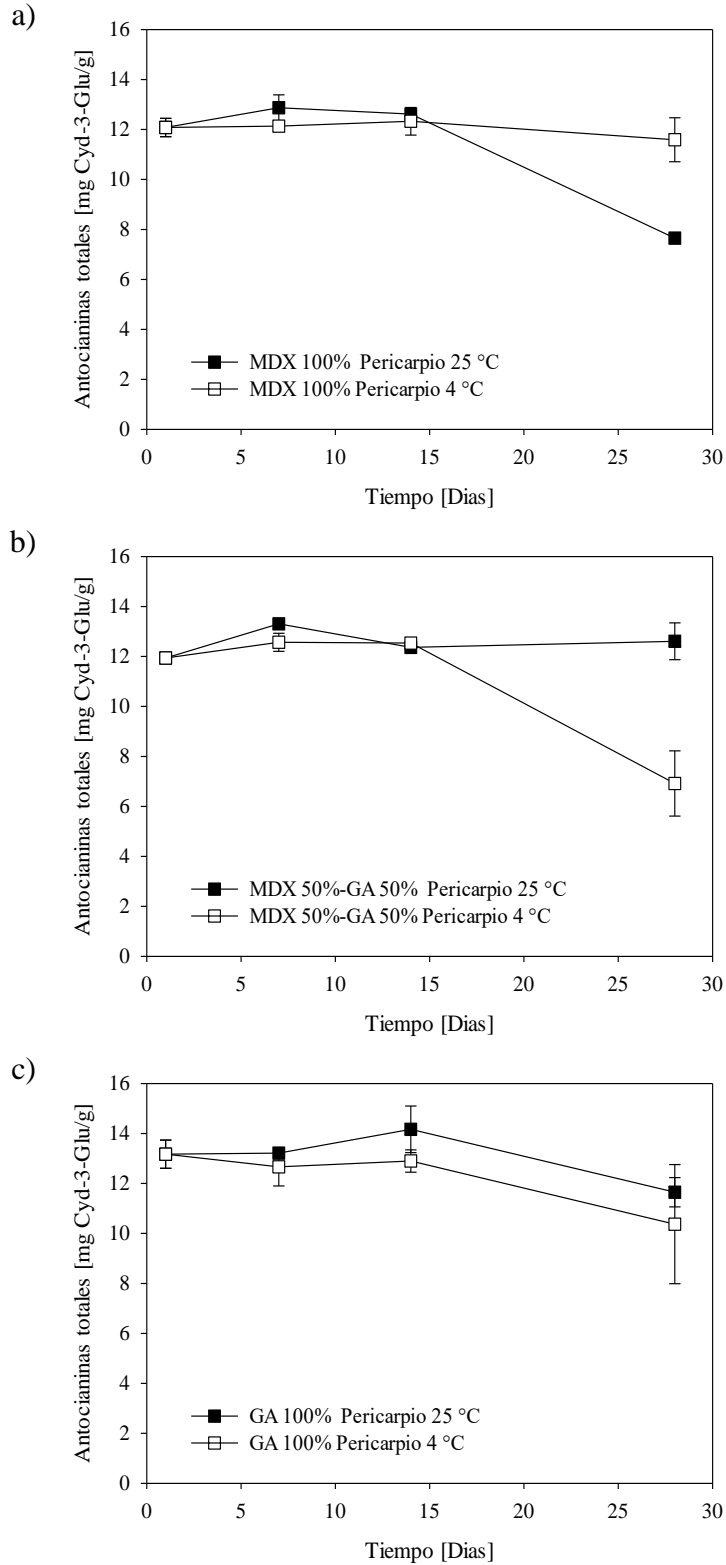


Figura 23. Contenido y estabilidad de las antocianinas en los microencapsulados de pericarpio a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA .

6.4.2 Contenido y estabilidad de los compuestos fenólicos

La estabilidad de los compuestos fenólicos se puede observar en la Figura 24, inicialmente los contenidos fueron muy similares sin diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sí, con valores de 9.85 ± 0.48 , 9.66 ± 0.22 y 9.35 ± 0.14 para MDX, MDX-GA, GA, respectivamente y se mantuvieron estables hasta el día 14 con los tres recubrimientos. En relación con los encapsulados obtenidos de MDX se obtuvo una mayor estabilidad de los compuestos fenólicos con la temperatura de refrigeración (4°C). De acuerdo con Çam et al. (2014), la estabilidad de los compuestos fenólicos microencapsulados no solamente depende de las condiciones de almacenamiento, sino también de la concentración de MDX utilizada, es decir con mayores proporciones de material de recubrimiento se generan cápsulas con una menor cantidad de polifenoles expuesta a reacciones de oxidación, sin embargo, es necesario mantener un balance adecuado con el material cobertura. Los encapsulados con GA 100% mantuvieron contenidos de compuestos fenólicos de 7.58 ± 0.51 y 8.70 ± 1.28 almacenados a 25°C y 4°C , respectivamente. Estos últimos concuerdan con los resultados reportados por Bakowska-Barcza y Kolodziejczyk (2011) en microencapsulados de polifenoles en grosella negra almacenados los polvos a 8°C . De acuerdo con Burin *et al.*, (2011), los tratamientos de secado por aspersión con GA permiten una buena retención de los compuestos fenólicos, debido a su estructura molecular ya que es un heteropolímero altamente ramificado con pequeñas proteínas que generan una película efectiva durante la encapsulación. Por lo anterior el recubrimiento GA en las condiciones de almacenamiento 4 y 25°C aseguran la mejor estabilidad de los compuestos fenólicos.

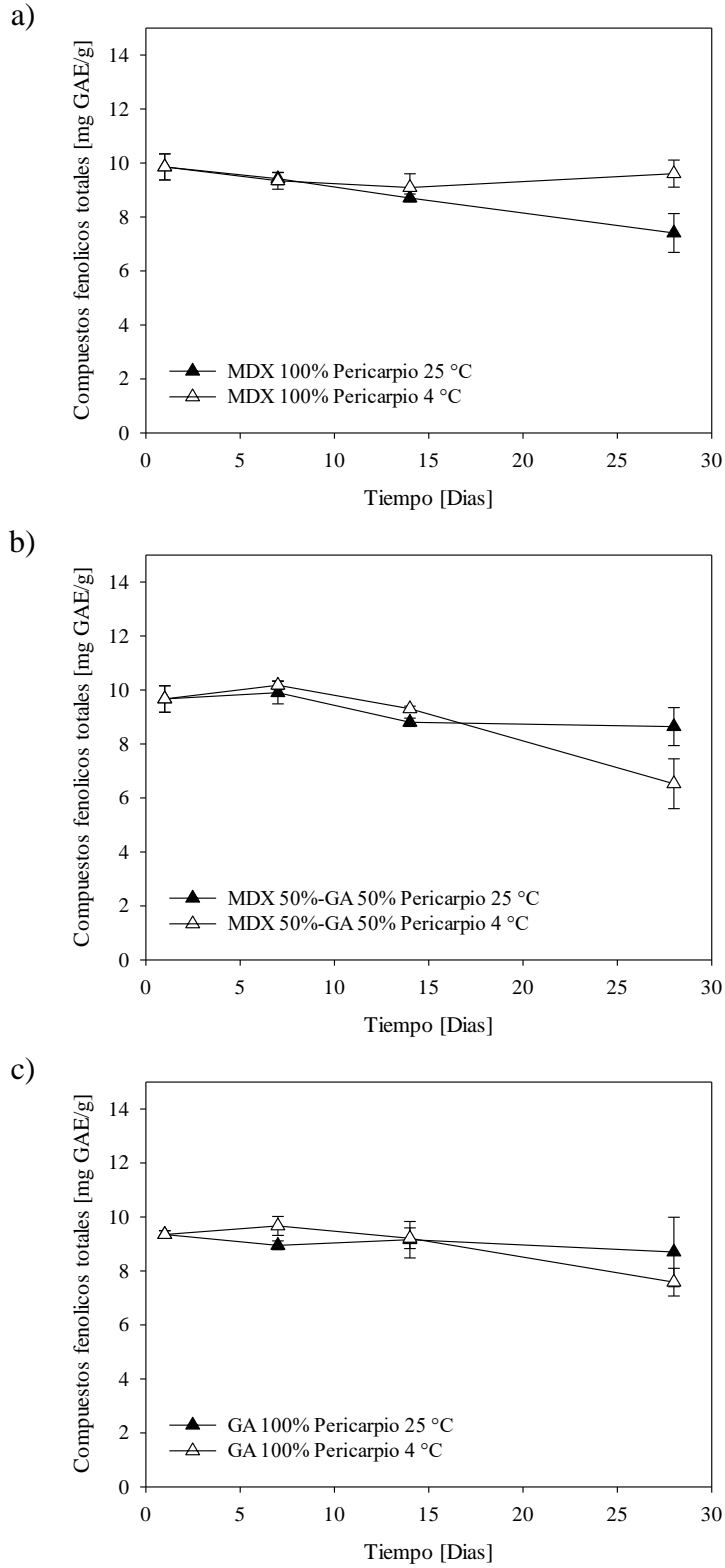


Figura 24. Contenido y estabilidad los compuestos fenólicos en los microencapsulados de pericarpio a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA.

6.4.3 Estabilidad de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los encapsulados disminuyó durante los primeros 7 días de almacenamiento con ambas temperaturas (4 y 25°C) con los tres tipos de recubrimiento (Figura 25), aunque no se presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tiempos de 7 a 14 días de almacenamiento. Observándose una reducción antes de los 28 días en la mayoría de las condiciones. Sin embargo, las cápsulas recubiertas con MDX (Figura 25a) se mantuvieron constantes a 4°C durante 28 días, esta tendencia fue similar a la obtenida con los valores de antocianinas y compuestos fenólicos. Un comportamiento similar fue reportado por Fang y Bhandari, (2011) en encapsulados de bayberry con maltodextrina, quienes confirmaron que las mejores condiciones de almacenamiento de los compuestos antioxidantes (antocianinas y compuestos fenólicos), se presentaron a 5°C y disminuyeron a 25°C. Finalmente para los otros dos recubrimientos MDX-GA y GA (Fig. 25b, 25c) con ambas temperaturas y 28 días de almacenamiento, no se observó una disminución significativa en la capacidad antioxidante. Esta estabilidad puede deberse a que la pérdida inicial de compuestos antioxidantes en los primeros 7 días de almacenamiento es compensada por la formación de nuevos compuestos con igual o mayor actividad antioxidante, como es la formación de procianidinas o ácidos fenólicos (Moser *et al.*, 2017).

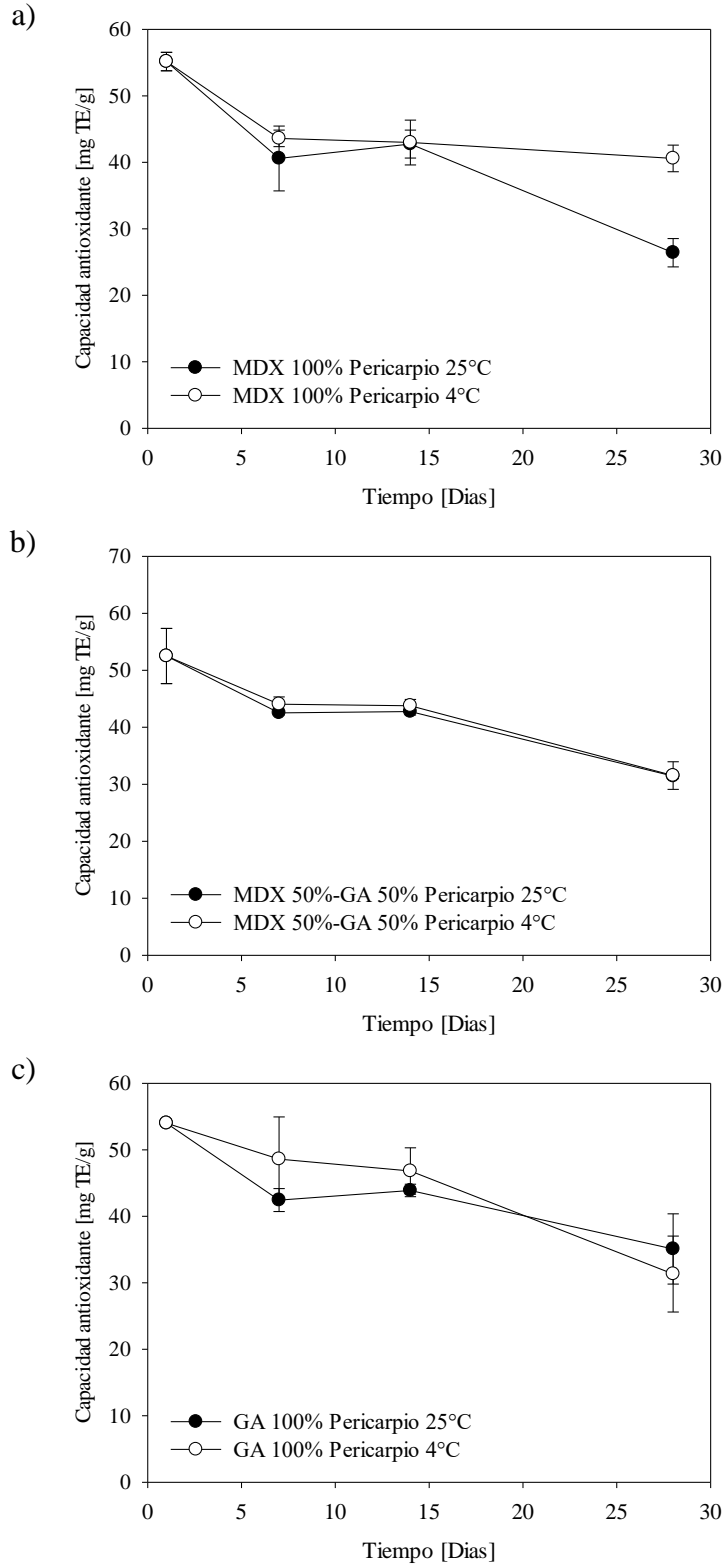


Figura 25. Contenido y estabilidad de la capacidad antioxidante en los microencapsulados de pericarpio a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA.

6.4.4 Contenido y estabilidad de los carotenoides

Oberoi y Sogi, (2015), mencionan que la mayor pérdida de compuestos se da durante el proceso de encapsulación, ya que estos están expuestos a altas temperaturas y la presencia de oxígeno. Sin embargo, el mayor contenido de carotenoides en los encapsulados se obtuvo con el recubrimiento de MDX (Figura 26a), seguido por la mezcla de MDX-GA (Figura 26b), está última no presentó diferencia significativa ($P>0.05$) con el tratamiento GA (Figura 26c). Diferentes autores reportan el efecto del agente de recubrimiento y condiciones de microencapsulación sobre la retención de carotenoides, (Loksuwan, 2007; Quek *et al.*, 2007; Rutz *et al.*, 2013; Coronel-Aguilera y Martín-González, 2014; Oberoi y Sogi, 2015).

En relación a la estabilidad de los carotenoides a diferentes temperaturas de almacenamiento se puede observar que MDX 25 y 4°C mantuvo el contenido de carotenoides hasta el tercer tiempo de evaluación, a diferencia del resto de encapsulados y condiciones de almacenamiento. Asimismo, GA 4°C también mostro buenas propiedades de almacenamiento de los carotenoides, sin embargo, la disminución al día 28 fue mayor que para MDX.

Particularmente para MDX a los 28 días de almacenamiento el contenido de carotenoides se redujo a un $48.24\pm 31.24\%$ y $17.36\pm 2.44\%$, MDX-GA $6.33\pm 4.53\%$ y $17.87\pm 16.18\%$ y GA 22.65 ± 14.57 y $24.82\pm 22.10\%$ para 25 y 4°C respectivamente, del contenido de carotenoides totales al primer tiempo.

La mayor degradación se da entre los días 14 y 28 en MDX (4°C) y GA (25°C), entre los 7 y 14 días para MDX-GA (25°C), Coronel-Aguilera y San Martín-González, (2014) reportan que la mayor degradación de encapsulados de carotenoides se da en los primeros 7 días de almacenamiento, mientras Rutz *et al.*, (2013) observaron que dependiendo del agente de recubrimiento, las condiciones de almacenamiento tendrían diferentes efectos sobre el contenido de carotenoides, lo cual puede deberse al contenido de carotenoides en la superficie de las esferas y a la capacidad de realizar la emulsión con cada agente.

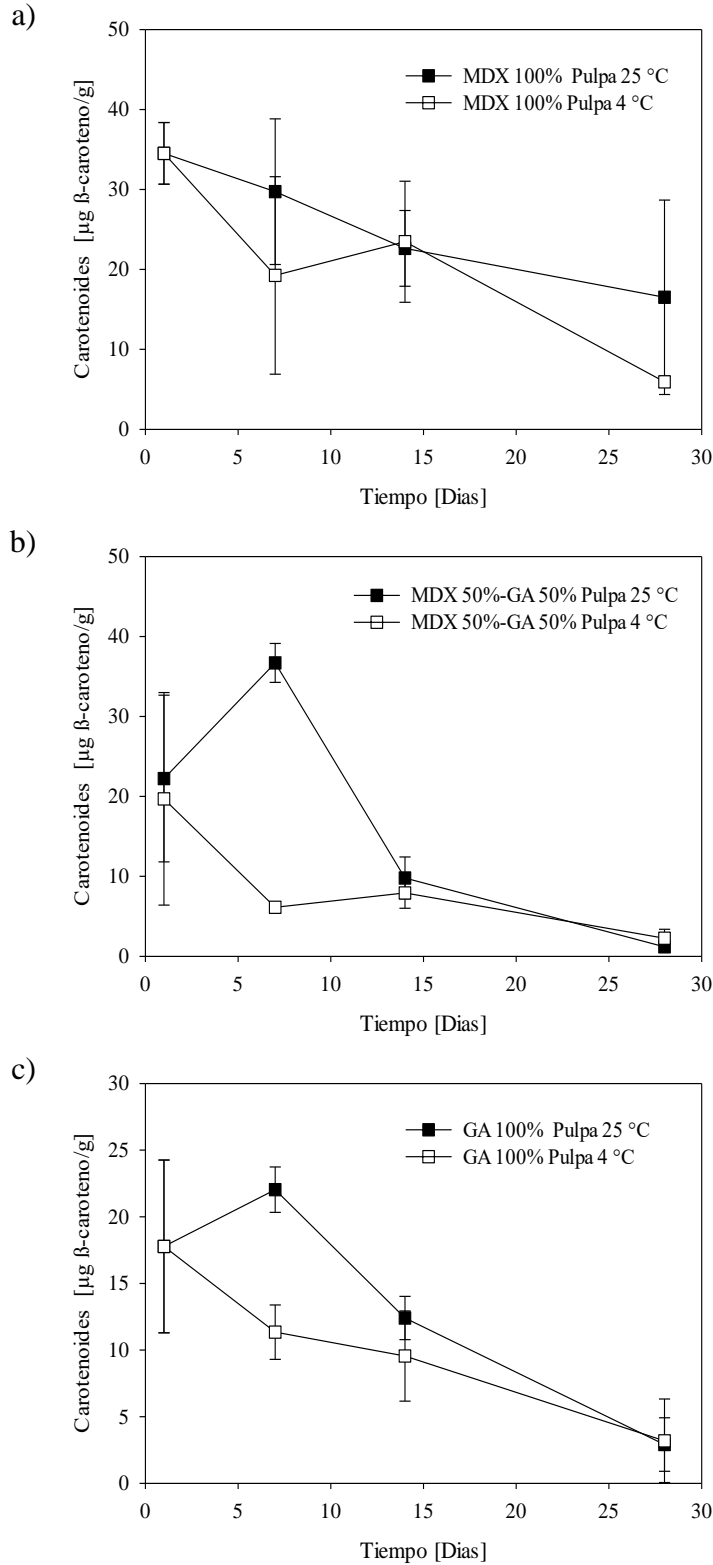


Figura 26. Contenido y estabilidad de los carotenoides en los microencapsulados de pulpa a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA.

6.4.5 Contenido y estabilidad de los compuestos fenólicos

Las Figuras 27 a-c muestran la estabilidad de los compuestos fenólicos presentes en los microencapsulados almacenados a diferentes temperaturas, en ellas se observa que a diferencia del contenido de carotenoides los compuestos fenólicos se encuentran en menor proporción para MDX y mayores para los otros dos recubrimientos que no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos.

La mayor pérdida de los compuestos fenólicos se dio a los 28 días de almacenamiento, teniendo una disminución entre el 50-80% aproximadamente, se observa que la temperatura 4°C presentó la mayor pérdida de estos compuestos, en especial para MDX. Rutz et al. (2013), asocian este comportamiento a diferentes variables ambientales que no son consideradas, como la humedad relativa, el cual puede ser un factor crítico en el almacenamiento de microencapsulados (Yoshii *et al.*, 2001).

Los resultados sugieren que las condiciones de almacenamiento idóneas para los compuestos fenólicos presentes en los encapsulados sería 25 °C, Después de los 28 días de almacenamiento, el recubrimiento que tuvo mayor retención de estos compuestos fue la combinación de los agentes MDX y GA ya que tuvo una retención de 82% lo cual puede estar relacionado con la disminución de la interacción de los compuestos fenólicos debida a la MDX sirve como estabilizador y en combinación de la GA, generaron una mayor protección a las condiciones de almacenamiento.

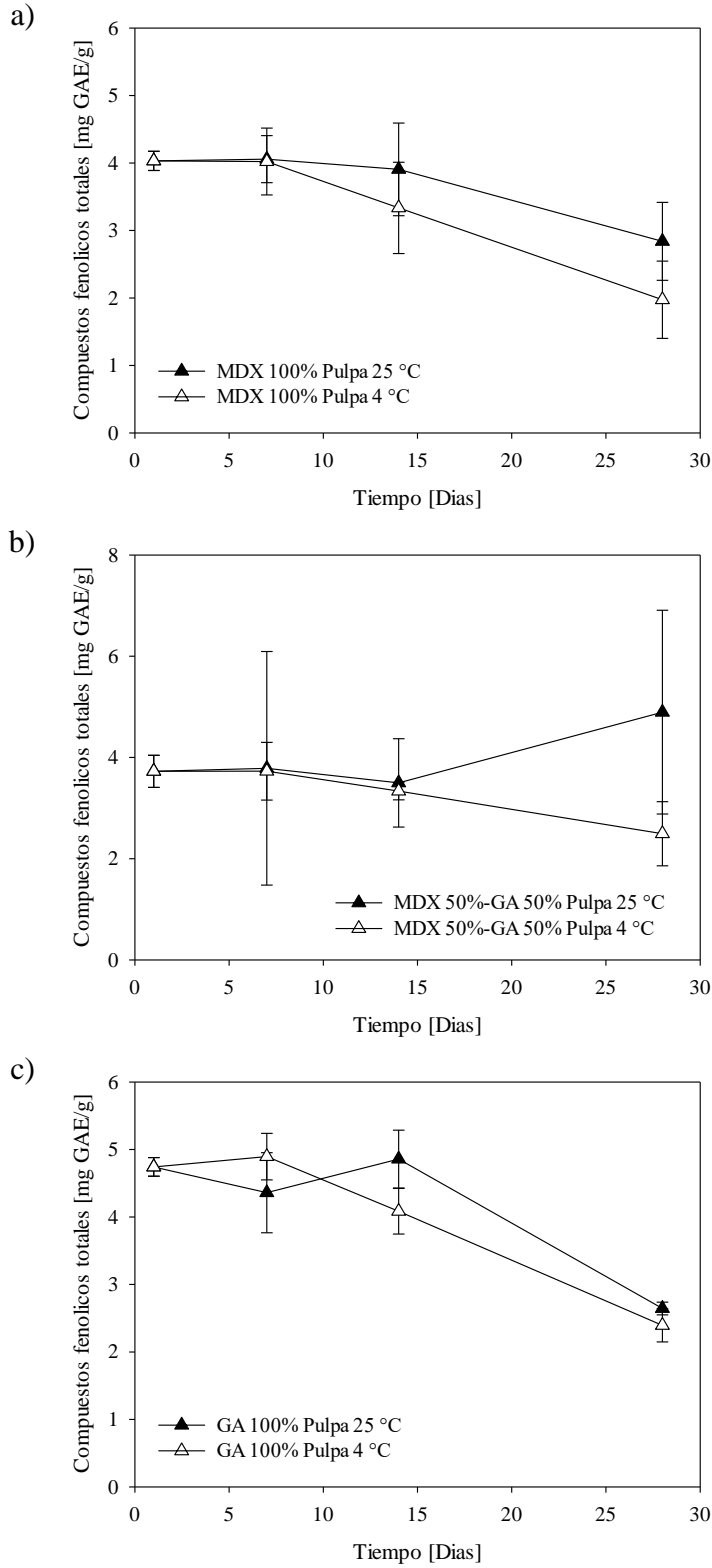


Figura 27. Contenido y estabilidad los compuestos fenólicos en los microencapsulados de pulpa a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA.

6.4.6 Estabilidad de la capacidad antioxidante

El comportamiento de los compuestos fenólicos recubiertos con los tres tipos de recubrimiento fue similar a la capacidad antioxidante, siendo mayor la protección generada por GA, no obstante, si se observa la Figura 28 la capacidad antioxidante está ligada a los compuestos fenólicos y no al contenido de carotenoides, ya que los primeros se encontraron en mayor proporción, similar a lo mencionado en la determinación de las propiedades antioxidantes del fruto fresco. En específico el recubrimiento GA mostro una menor cantidad de carotenoides, pero mayor capacidad antioxidante y MDX lo contrario. Los distintos recubrimientos otorgan diferentes características las cuales pueden proteger o preservar diferentes compuestos bioactivos, previniendo su volatilización o deterioración (Krishnaiah *et al.*, 2012).

La temperatura y el tiempo de almacenamiento generaron diferentes comportamientos de acuerdo con s el agente encapsulante empleado. Sin embargo, en todos los casos a los 7 días de almacenamiento hubo una reducción en la capacidad antioxidante y se mantuvo constante hasta los 28 días de almacenamiento en MDX (25°C) y MDX-GA (4°C) siendo estas últimas las mejores condiciones para la obtención de microencapsulados y retención de sus propiedades antioxidantes durante el almacenamiento. En el resto de las muestras se observa una ligera disminución de la capacidad antioxidante (GA ambas temperaturas, MDX 4°C y MDX-GA 25°C).

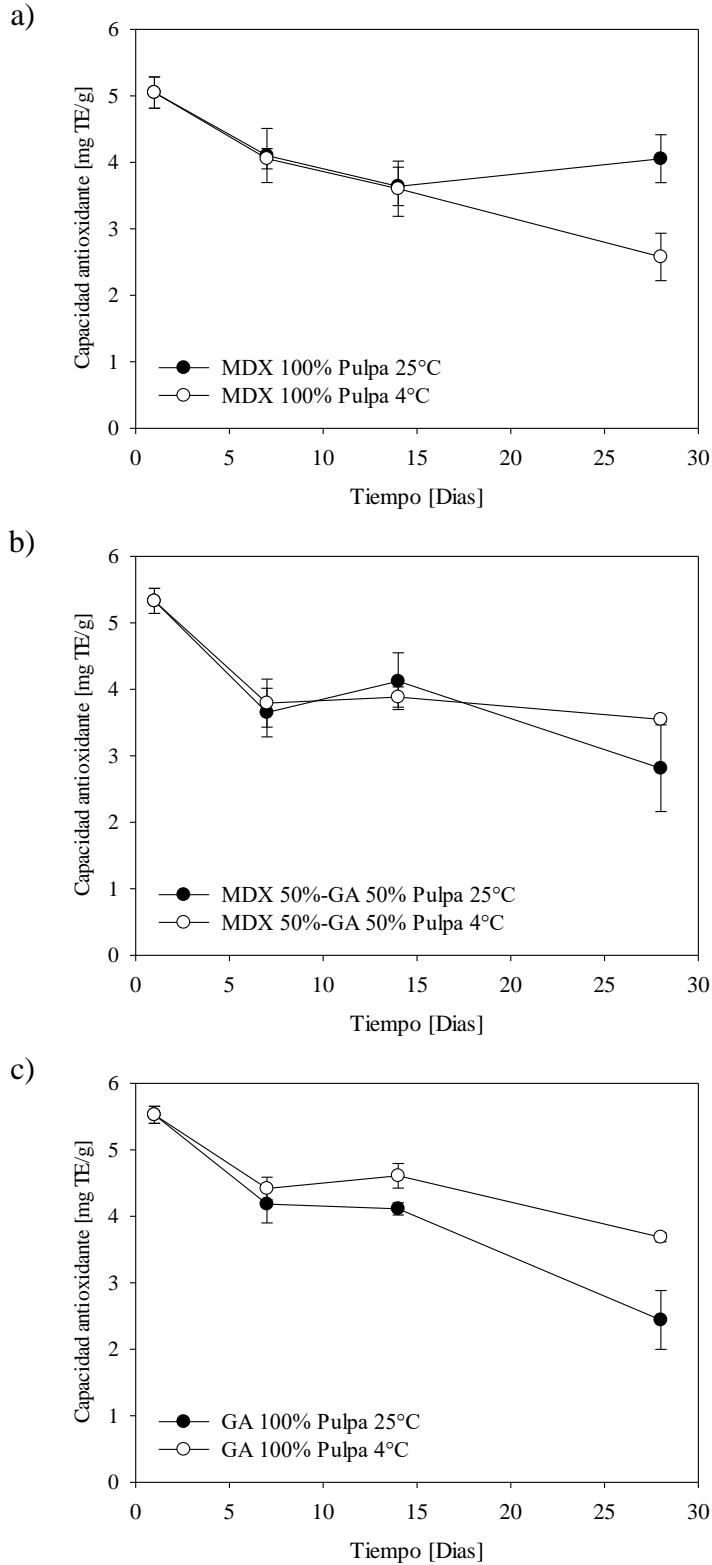


Figura 28. Contenido y estabilidad de la capacidad antioxidante en los microencapsulados de pulpa a diferentes temperaturas utilizando diferentes agentes de recubrimiento a) MDX, b) MDX-GA, c) GA.

6.5 Incorporación de los microencapsulados

El uso de la cáscara de diferentes frutos que es considerada un desperdicio, teniendo un uso potencial en la industria para la obtención de colorantes naturales (Silva *et al.*, 2013), aunado a esto, el uso de microencapsulados en la industria ha aumentado, ya que estos, pueden controlar la liberación de compuestos activos provenientes de estos pigmentos (Bastos *et al.*, 2012). Sin embargo, el uso de colorantes naturales es limitado, por su inestabilidad, es necesario conocer su posible degradación, así como las condiciones ideales de almacenamiento (Fernández-López *et al.*, 2013). Por lo cual, en este estudio se evaluó la incorporación de los microencapsulados tanto de pulpa como pericarpio, y debido a sus características, además, tras haber evaluado la actividad microbiológica mediante los grupos indicadores hongos y levaduras, coliformes totales y bacterias mesófilas aerobias, estos fueron negativos, ya que, debido a los bajos niveles de humedad y a_w , no se espera crecimiento microbiano y pueden ser usados como colorantes en alimentos, sin comprometer la inocuidad, se adicionaron en dos tipos de matrices: bebida o jugo y yogurt.

6.5.1 Estabilidad del color en jugo después de la adición de microencapsulados de pericarpio en la bebida

En la Figura 29, se observan los porcentajes de color rojo, amarillo y azul de los microencapsulados provenientes del pericarpio que influyeron sobre la tonalidad final del producto. En el tiempo inicial el porcentaje de color azul está por debajo del 10%, el cual de acuerdo con Giosanu y Vijan, (2013) y Daudt y Fogaça, (2013), puede ser comparado con los valores de los vinos Burgund, Cabernet Sauvignon, Merlot y Pinot Noir. El porcentaje de amarillo fue mayor al 30%, el cual pudo estar relacionado con el tipo de agente encapsulante utilizado, particularmente con el uso de GA. Como se mencionó previamente tuvo un efecto sobre los parámetros b^* debido a la tonalidad amarilla inicial de la goma, lo cual causó un aumento de este porcentaje al momento de la incorporación. No obstante, los pigmentos rojos son los que sobresalen en todas las bebidas (microencapsulados o extracto).

La influencia del tiempo tuvo un efecto sobre los tres parámetros, posiblemente por el efecto de copigmentación entre las antocianinas y los fenoles (Daudt y Fogaça, 2013; Poiana *et al.*,

2007), aumentando en el caso de los porcentajes de azul y amarillo y disminuyendo en porcentaje de rojo, siendo más evidente en el jugo al cual se le agregó el extracto sin encapsular.

Giosanu y Vijan, (2013) evaluaron los parámetros cromáticos en vino tinto, mencionando que el índice °Hue es inversamente proporcional a la intensidad de color (Croma), obteniendo resultados similares a los alcanzados en este estudio (Tabla 21). Existe una degradación en la intensidad de color con el paso del tiempo para los tres recubrimientos, similar a lo obtenido por Obón *et al.*, (2009) quienes adicionaron pigmentos microencapsulados provenientes de *Opuntia stricta* y los almacenaron durante 31 días. Ljiljana *et al.*, (2016) mencionan que existe una disminución en el valor de croma con el paso de tiempo en vinos, de forma similar a lo reportado en este trabajo, mientras que el valor de °Hue aumenta ligeramente con el tiempo, el efecto es más evidente en la Figura 30. Por otro lado, entre los 3 recubrimientos GA presento los valores más altos de °Hue y no se observan diferencias significativas ($P > 0.05$) entre MDX y MDX-GA, observando la misma tendencia en croma, lo cual puede explicarse por el contenido de pigmentos microencapsulados y estabilidad de las capsulas, además, la turbidez del jugo al agregar los polvos ya que esta aumenta para GA esta aumento con el paso de tiempo, encontrando el valor más alto entre los 14 y 28 días.

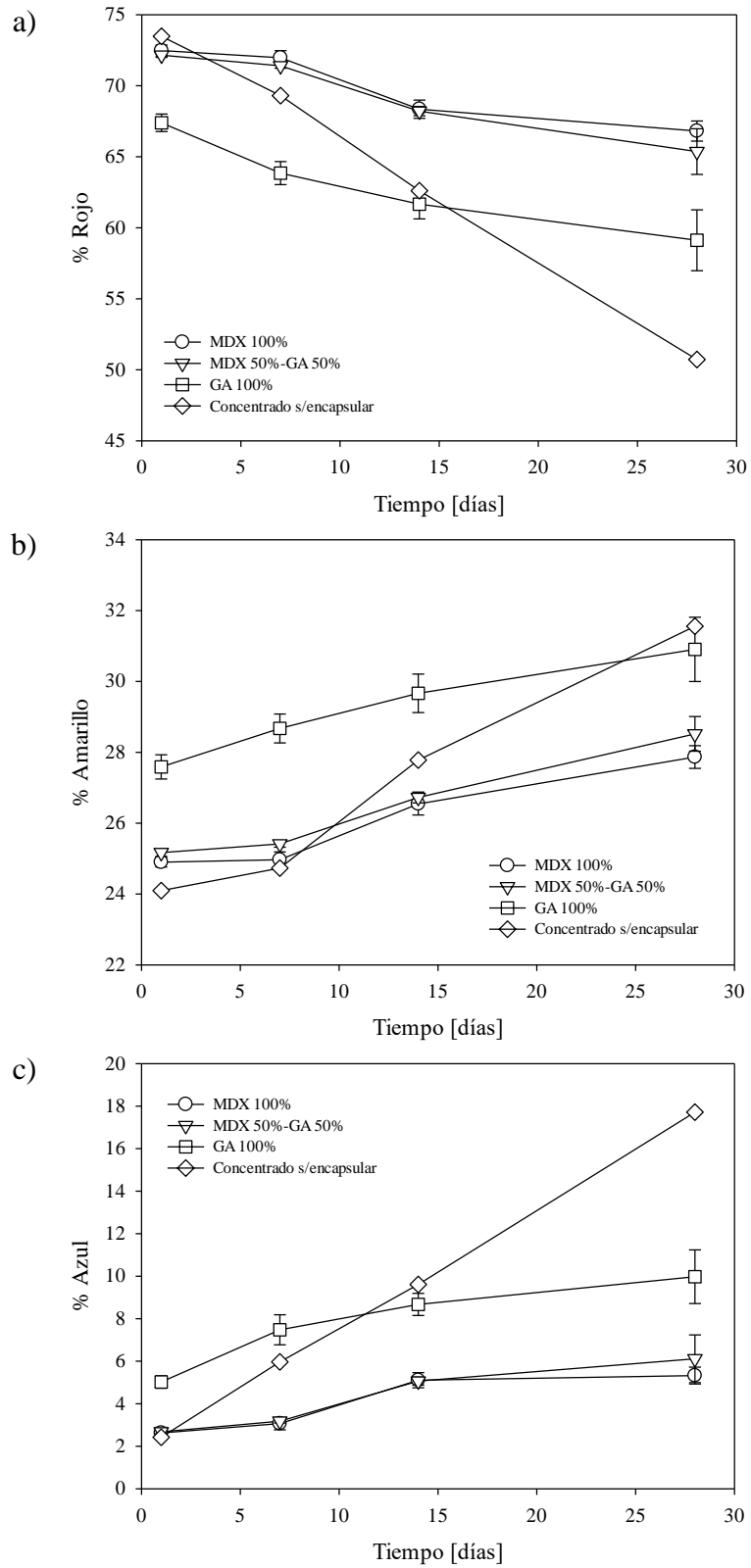


Figura 29. Estabilidad de color de los microencapsulados de pericarpio de xkijit incorporados en la matriz a) % Rojo, b) % Amarillo, c) % Azul.

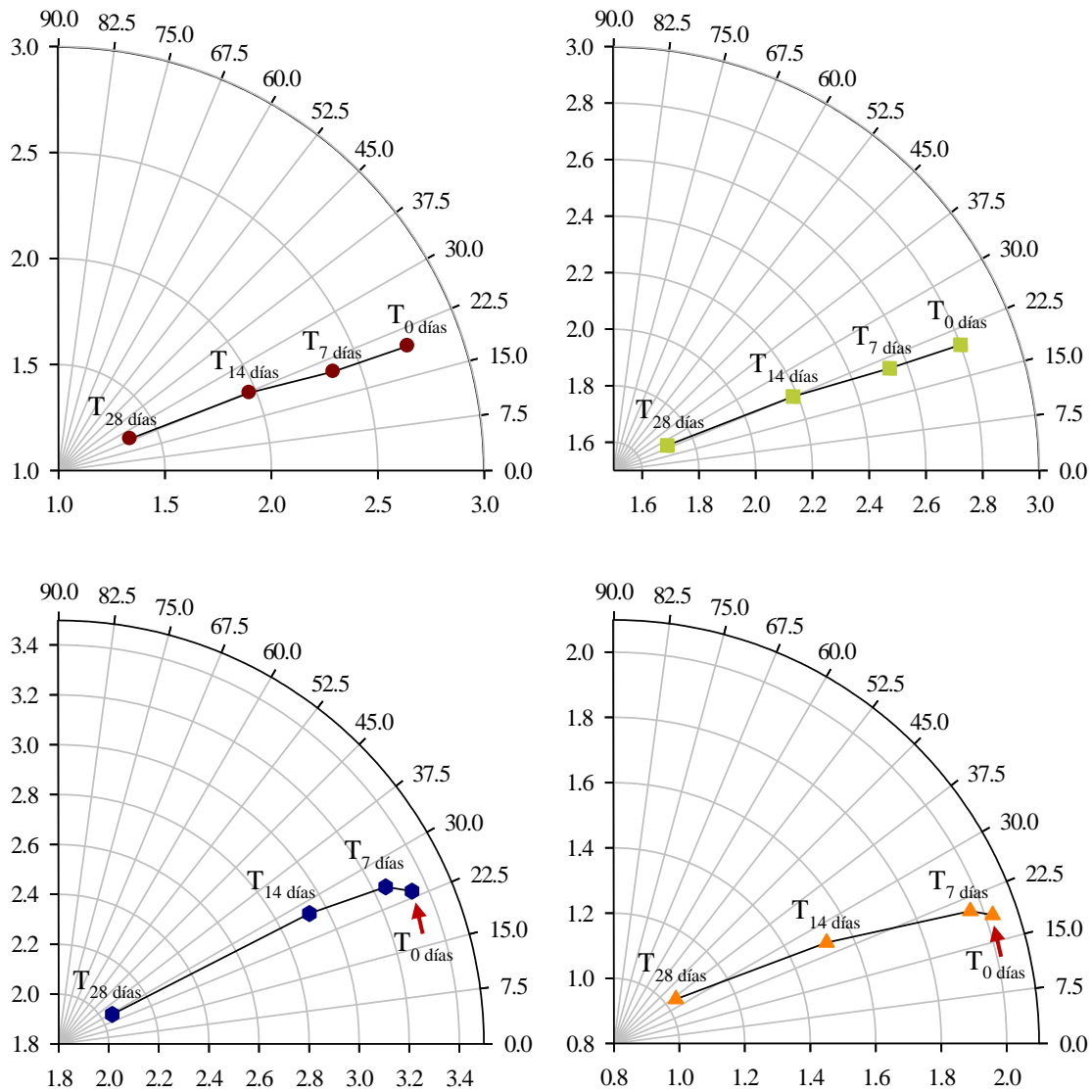


Figura 30. Degradación del color expresada como tono ($^{\circ}$ H) y matiz (Croma) en la matriz después de la incorporación de microencapsulados de pericarpio, —●— MDX, —■— MDX-GA, —●— GA, —▲— Extracto sin encapsular.

6.5.2 Cambio de la turbidez en jugos adicionados con microencapsulados de pericarpio

De manera particular el efecto del tiempo tuvo un aumento considerable en la turbidez (Tabla 21) tuvo un aumento para los 3 recubrimientos, llegando a formar incluso precipitados, el aumento más grande se dio entre 14 y 28 días para MDX, MDX-GA y GA, mayor para este

último, lo cual concuerda por lo reportado por Mirhosseini *et al.*, (2008) ya que ellos mencionan que GA provee sabor, color y aumenta la turbidez en jugos y bebidas, MDX y MDX-GA no presentaron diferencias significativas a partir del día de la incorporación hasta los 7 días. Santhalakshmy *et al.*, (2015), reportan que existe una diferencia en la turbidez de microencapsulados de jugo de jamun reconstituidos obtenidos con diferentes temperaturas de secado.

Tabla 21. *Estabilidad de parámetros de color y turbidez de los microencapsulados de pericarpio de xkijit incorporados en la matriz*

Tipo de recubrimiento	Tiempo (días)	°Hue	Intensidad de color	Turbidez
MDX 100%	1	19.68±0.21 ^{c,B}	2.74±0.08 ^{a,B}	0.026±0.006 ^{c,B}
	7	19.88±0.31 ^{c,B}	2.37±0.10 ^{b,C}	0.029±0.004 ^{c,B}
	14	22.25±0.46 ^{b,B}	1.96±0.11 ^{c,C}	0.084±0.002 ^{a,B}
	28	23.90±0.53 ^{a,B}	1.36±0.10 ^{d,B}	0.070±0.002 ^{b,B}
MDX 50%-GA 50%	1	19.98±0.12 ^{c,B}	2.80±0.06 ^{a,B}	0.024±0.002 ^{b,B}
	7	20.39±0.12 ^{c,B}	2.53±0.05 ^{a,B}	0.031±0.002 ^{b,B}
	14	22.45±0.23 ^{b,B}	2.18±0.06 ^{b,B}	0.090±0.001 ^{a,B}
	28	25.01±1.06 ^{a,B}	1.70±0.23 ^{c,AB}	0.084±0.019 ^{a,B}
GA 100%	1	23.45±0.49 ^{b,A}	3.19±0.06 ^{a,A}	0.064±0.007 ^{c,A}
	7	25.73±0.60 ^{ab,A}	3.24±0.03 ^{ab,A}	0.112±0.009 ^{b,B}
	14	27.57±0.96 ^{a,A}	2.92±0.08 ^{b,A}	0.168±0.006 ^{a,B}
	28	28.87±2.77 ^{a,A}	2.04±0.27 ^{cA}	0.136±0.033 ^{ab,A}

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado.

² Superíndices en minúscula diferentes en la misma columna par el mismo agente de recubrimiento indican diferencias significativas (P<0.05).

³ Superíndices en mayúscula diferentes en la misma columna para el mismo tiempo indican diferencias significativas (P<0.05).

6.5.3 Estabilidad del color en yogurt después de la incorporación de microencapsulados de pulpa

El uso de colorantes en yogurt es común, ya que tiene una influencia en la percepción del sabor (Spence *et al.*, 2010) y otras características sensoriales (Coronel-Aguilera *et al.*, 2015), Zhang y Zhong (2013), mencionan que, debido a la falta de colorantes naturales, los microencapsulados que puedan otorgar color a los alimentos son una propuesta prometedora.

La adición de los microencapsulados en el yogurt resultó en tonalidades similares a las de un yogurt de piña comercial. No se encontraron diferencias en los parámetros L* y a* (Tabla 22) entre MDX, MDX-GA y GA, ni tampoco por influencia del tiempo, sin embargo, el valor de b* en comparación del yogurt natural fue mayor en GA, posiblemente está relacionado a lo mencionado con anterioridad, ya que GA tuvo una influencia en b*, posiblemente por la misma tonalidad del agente, lo cual se ve reflejado en el parámetro de Hue.

Tabla 22. Estabilidad de parámetros de color de los microencapsulados de pulpa de *xkijit* incorporados en el yogurt

Tipo de recubrimiento	Tiempo (días)	L*	a*	b*
MDX 100%	1	79.92±3.75 ^{a,A}	-4.33±0.46 ^{a,A}	20.79±1.35 ^{a,B}
	7	79.53±4.44 ^{a,A}	-4.23±0.65 ^{a,A}	19.63±2.45 ^{a,B}
	14	76.16±8.37 ^{a,A}	-4.23±0.65 ^{a,A}	19.01±3.45 ^{a,B}
	28	79.42±3.33 ^{a,A}	-4.66±0.54 ^{a,A}	20.02±1.60 ^{a,AB}
MDX 50%-GA 50%	1	81.66±0.51 ^{a,A}	-4.17±0.46 ^{a,A}	18.66±0.99 ^{a,B}
	7	80.59±2.32 ^{a,A}	-4.30±0.31 ^{a,A}	19.35±0.89 ^{a,B}
	14	80.37±1.87 ^{a,A}	-4.29±0.36 ^{a,A}	18.63±0.72 ^{a,B}
	28	80.87±1.88 ^{a,A}	-4.61±0.18 ^{a,A}	19.37±1.26 ^{a,B}
GA 100%	1	79.59±0.66 ^{a,A}	-4.56±0.07 ^{a,A}	23.38±1.43 ^{a,A}
	7	79.92±1.06 ^{a,A}	-5.05±0.51 ^{a,A}	23.58±2.09 ^{a,A}
	14	79.63±0.55 ^{a,A}	-4.76±0.33 ^{a,A}	23.38±1.32 ^{a,A}
	28	80.24±1.14 ^{a,A}	-4.84±0.45 ^{a,A}	22.46±1.36 ^{a,A}

¹ ± representa la desviación estándar de las pruebas hechas por triplicado

² Superíndices en minúscula diferentes en la misma columna por el mismo agente de recubrimiento indican diferencias significativas (P<0.05).

³ Superíndices en mayúscula diferentes en la misma columna para el mismo tiempo indican diferencias significativas (P<0.05).

La Figura 30, muestra la influencia de los pigmentos microencapsulados y del extracto adicionados en el yogurt, y efecto del tiempo sobre la estabilidad del color. Coronel-Aguilera *et al.*, (2014) encontraron un aumento en el parámetro de Hue y croma, sin embargo, no observaron diferencias significativas durante el tiempo de evaluación con la adición de microencapsulados obtenidos a 60°C, con resultados similares a lo reportado en este trabajo.

A diferencia del extracto, en las formulaciones con los microencapsulados se observó la mayor degradación de croma durante los primeros días de almacenamiento, lo cual puede

deberse al reordenamiento convirtiendo molecular de los carotenoides responsables del color, en diferentes isómeros geométricos y con la interacción directa de factores ambientales como luz, oxígeno, temperatura, pudiendo tener como consecuencia la pérdida del color y propiedades biológicas (Parra, 2011; Días *et al.*, 2010; Zerlotti, 1999).

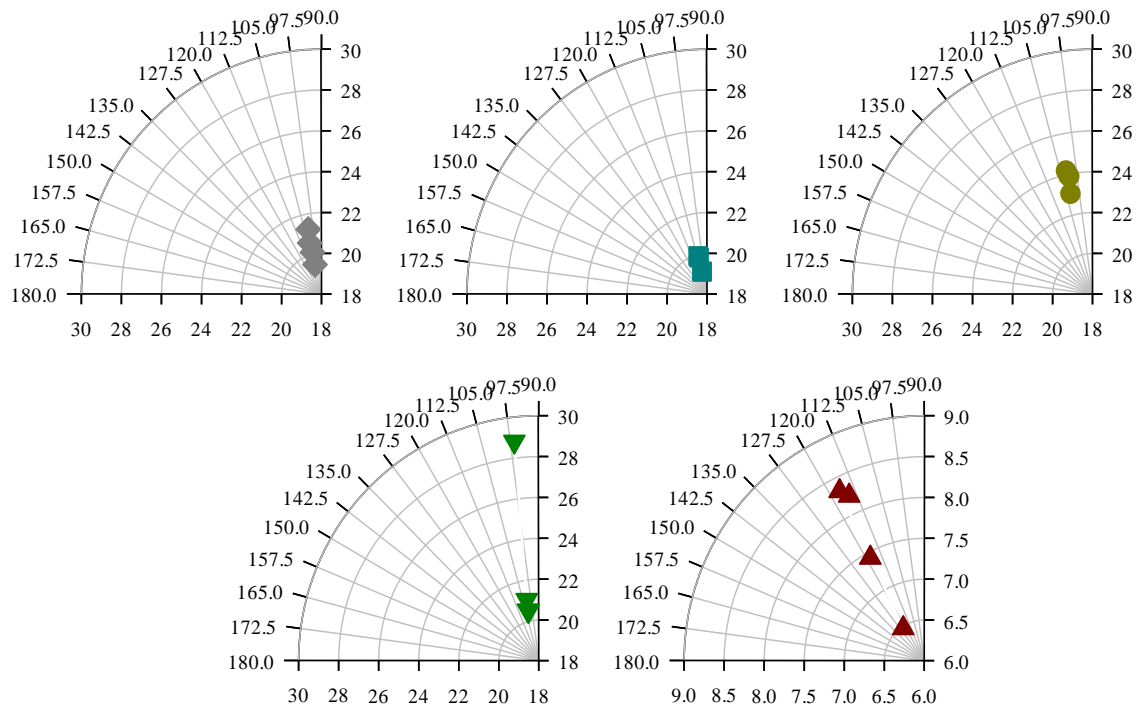


Figura 31. Degradación del color expresada como tono ($^{\circ}$ H) y matiz (Croma) en el yogurt después de la incorporación de los microencapsulados de pulpa, \blacklozenge MDX, \blacksquare MDX-GA, \bullet GA, \blacktriangledown Extracto, \blacktriangle Yogurt.

6.5.4 Cambios en la capacidad antioxidante después de la incorporación de microencapsulados en la matriz

Además de la degradación de color en la matriz (jugo y yogurt), se evaluó la degradación de la capacidad antioxidante en los productos almacenados en condiciones de refrigeración (4° C).

Pasrija *et al.*, (2015) mencionan que la incorporación de microencapsulados de compuestos bioactivos en los alimentos produce nuevos alimentos funcionales con un impacto mínimo en las características de calidad, además gracias a la incorporación de una pared de

recubrimiento que protege a los compuestos, es posible la liberación gradual de los mismos (Somchue *et al.*, 2009).

La incorporación de los microencapsulados incrementaron en la capacidad antioxidante del jugo como se observa en la Figura 31 a), Al inicio del almacenamiento, la adición de los colorantes encapsulados o sin encapsular, no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$), sin embargo, tuvieron un aumento en comparación con el jugo sin la incorporación de estos. Herbach *et al.*, (2006) mencionan que entre mayor sea la concentración de pigmentos puede tener una influencia en la velocidad de degradación.

Por otro lado, al final del almacenamiento se presentó una reducción debido a la degradación de los pigmentos. Todos los sistemas evaluados presentaron un comportamiento similar, posiblemente por la completa ruptura de la cápsula al momento de la incorporación, incrementando la liberación de los compuestos bioactivos, dejándolos disponibles para su absorción, pero expuesto a la degradación. Kaimainen *et al.*, (2015) incorporaron betacianinas microencapsuladas a jugos modelo, encontrando que la degradación se atribuye principalmente a la temperatura de almacenamiento.

Assous *et al.*, (2014) observaron un incremento en el índice de peróxidos de aceite tratado con antocianinas de zanahoria morada (500 y 1000 ppm), teniendo un comportamiento similar al tratado con BHT (200 ppm), lo cual podría indicar que si bien el uso de antocianinas como agente antioxidante es eficiente este puede ser comparable con antioxidantes sintéticos.

Con respecto a la incorporación de los microencapsulados de pulpa en el yogurt, Gomes *et al.*, (2014) menciona que la adición de colorantes naturales en este medio puede ser inestables debido al pH y la acidez del producto, por lo cual diversos estudios se han realizado con el fin de asegurar que no exista una isomerización u oxidación debida a factores externos, lo cual generaría una reducción en las propiedades nutricionales (Gharsallaoui *et al.*, 2007).

Si bien la adición de los microencapsulados o el extracto no tuvo un aumento importante en la actividad antioxidante del yogurt, a diferencia de Illupapalayam *et al.*, (2014) quienes adicionaron cardamomo, nuez moscada y canela observando un aumento en la actividad antioxidante debida a los diferentes compuestos que pudiesen estar presentes. Sin embargo,

si observaron una disminución durante el almacenamiento, debida al tiempo y a las condiciones de refrigeración ya que estas pueden alterar los compuestos.

El hecho de no observarse un aumento en la actividad antioxidante podría atribuirse a la liberación gradual de los carotenoides (Somchue *et al.*, 2009), ya que posiblemente no existe una ruptura total de las capsulas a la hora de la incorporación. Además, la cantidad de carotenoides dentro de la capsula es muy pequeña, debido a que como se mencionó previamente el contenido de carotenoides fue de 17 a 34 μg β -caroteno/g de polvo, lo cual se ve reflejado en una actividad antioxidante de 5 mg TE/g de polvo, no influenciando la actividad antioxidante inicial. Lo anterior debido a que el yogurt presenta diferentes péptidos bioactivos que se liberan durante la fermentación de la leche por bacterias ácido lácticas (Farvin *et al.*, 2010). No obstante, Rutz *et al.*, (2016) incorporaron micropartículas de β -caroteno cubiertas con quitosano y sodio tripolifosfato a yogurt, observando que al inicio solo existía una liberación del 40% y se mantuvo constante hasta después de 5 días donde la liberación aumentó al 46% .

Adicionalmente, el almacenamiento del yogurt con los diferentes pigmentos añadidos no tuvo un efecto en la actividad antioxidante, ya que después de 28 días de almacenamiento, el cambio no fue significativo en comparación con el día 1.

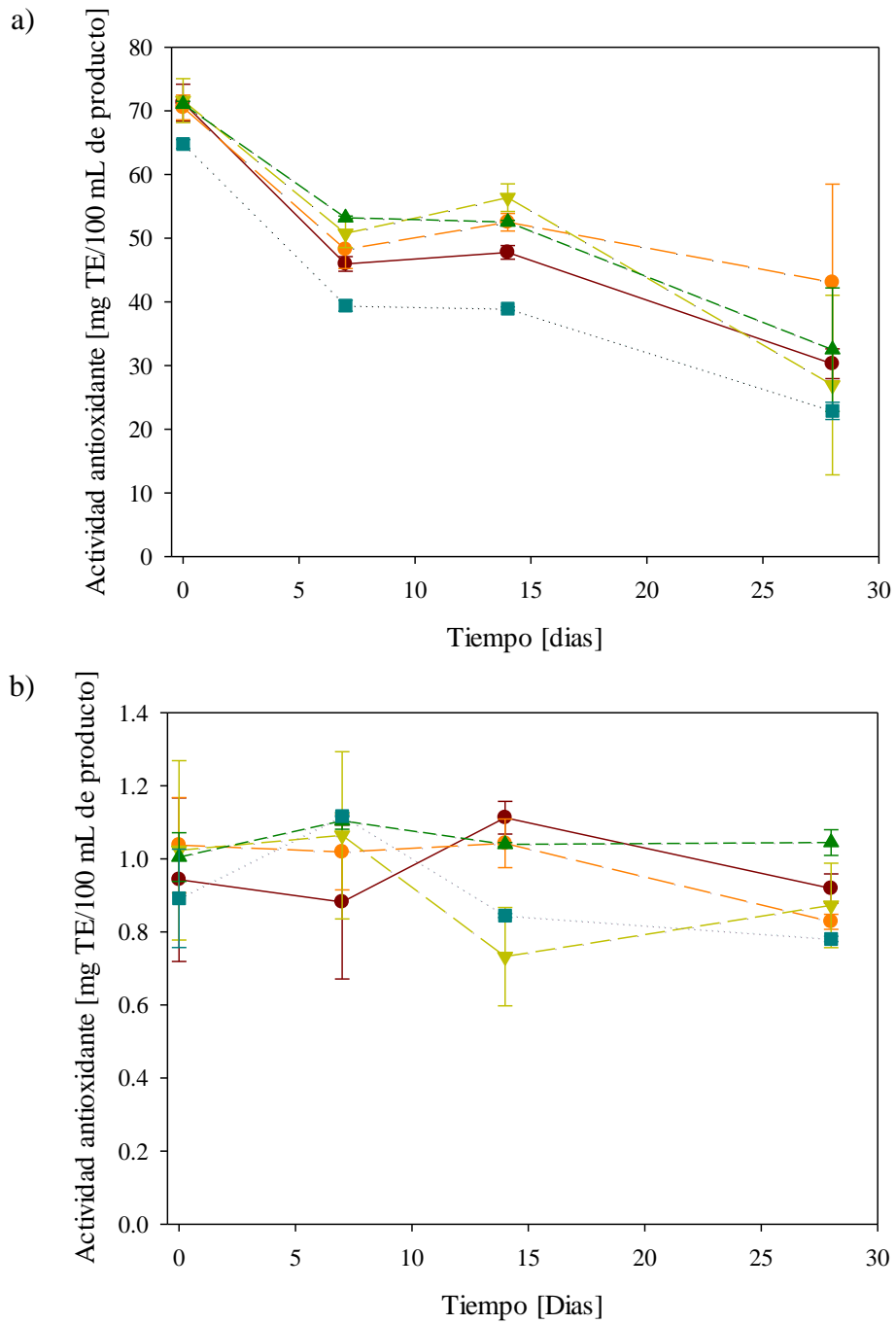


Figura 31. Degradación de la Capacidad Antioxidante de los microencapsulados incorporados en la matriz a) Jugo (Pericarpio), b) Yogurt (Pulpa); —●— MDX, —○— MDX-GA, —▽— GA, —▲— Extracto, —■— Blanco.

6.6 Análisis sensorial

Se seleccionaron dos sistemas para realizar la incorporación y el análisis sensorial, ya que además de los aspectos nutricionales que pudiesen brindar los pigmentos, así como los cambios de color evaluados en secciones anteriores, era importante conocer los atributos sensoriales.

Las Tablas 23 y 24, muestran los valores para los distintos atributos sensoriales evaluados, en el caso del jugo se presentó buena aceptabilidad general con valores promedio entre 4.385 y 5.185 que corresponde a moderadamente agradable de la escala hedónica, siendo los jugos adicionados con microencapsulados con MDX y MDX-GA como agente formador de pared los que presentaron un valor más alto en todos los atributos evaluados. Sin embargo, hay que considerar que los niveles en la aceptabilidad en todos los sistemas pudieron verse afectados por el nivel de acidez en todas las bebidas y en particular con el extracto se pudo presentar un nivel menor de aceptación por la concentración de los compuestos fenólicos aumentando la amargura y la astringencia del producto. (Jaeger *et al.*, 2009)

Los sistemas con pigmentos provenientes del pericarpio de xkijit, resultaron en valores más altos de aceptación, en comparación con las bebidas con colorante artificial, sin brindar ningún sabor extra, y mejorando las características sensoriales. Por lo tanto, la adición de encapsulados del pericarpio puede ser un prometedor colorante con tonalidades rojas en jugos, aunado a sus propiedades funcionales. Champagne y Fustier, (2007) mencionan que la producción de microencapsulados mediante secado por aspersión produce partículas que se disuelven con mayor facilidad y no aporta efectos sobre el alimento o bebida.

Los datos obtenidos para la evaluación sensorial de yogurt (Tabla 24) muestran la siguiente tendencia Blanco> Colorante> MDX-GA> GA> MDX> Extracto, con respecto a la aceptabilidad general, lo cual, por los datos de aspecto estarían relacionado con el sabor del producto, considerando el uso dado por diferentes culturas (Macía, 2003; Van den Veerle *et al.*, 2004) el xkijit se prefiere en platillos salados.

Tabla 23. *Análisis sensorial de los microencapsulados de pericarpio de xkijit en jugos*

	Aspecto	Olor	Sabor	Aceptabilidad
MDX	5.233±1.431	4.667±1.516	4.933±1.639	4.867±1.697
MDX-GA	5.138±1.356	4.724±1.306	4.483±1.661	4.679±1.657
GA	4.933±1.337	4.533±1.408	4.500±1.697	4.600±1.499
Extracto	4.733±1.437	4.533±1.634	4.200±1.627	4.400±1.589
Colorante	4.833±1.206	4.533±1.570	3.833±1.577	4.067±1.311
Blanco	4.536±1.753	4.607±1.343	4.536±1.644	4.679±1.588

¹ ± representa la desviación estándar

Considerando que la microencapsulación permite la liberación gradual y además previene la interacción con otros componentes en el alimento (Champagne y Fustier, 2007), los pigmentos carotenoides microencapsulados tuvieron menor influencia en el sabor del producto. No obstante, Illupapalayam *et al.*, (2014) evaluaron la adición de distintos colorantes naturales en yogurt encontrando que la apariencia era un factor de gran importancia en la aceptabilidad.

Tabla 24. *Análisis sensorial de los microencapsulados de pulpa de xkijit en yogurt*

	Aspecto	Olor	Sabor	Aceptabilidad
MDX	4.966±1.210	3.414±1.181	3.034±1.546	3.069±1.387
MDX-GA	5.241±1.057	4.276±1.412	3.933±1.461	4.033±1.564
GA	4.800±1.270	4.133±1.432	3.733±1.701	3.833±1.663
Extracto	4.103±1.739	3.828±1.537	2.483±1.379	2.786±1.500
Colorante	5.300±1.317	5.167±1.289	5.267±1.741	5.333±1.583
Blanco	5.345±1.370	5.310±1.538	5.448±1.639	5.448±1.526

¹ ± representa la desviación estándar

Finalmente, tras realizar las preguntas ¿Qué tan importante es para ti agregar colorantes a los alimentos? Y ¿Te importa el uso de colorantes naturales?, se llegó a la conclusión que a las personas evaluadas no tienen un interés en el uso de colorantes a los alimentos, lo cual difiere con los estudios revisados, ya que ellos mencionan que el uso de colorantes aumenta la preferencia, mejorando el aspecto por la pérdida de color en alimentos procesados, lo cual podríamos asociarlo al desconocimiento de las personas evaluadas en cuanto al uso de colorantes en alimentos que consumen a diario, sin embargo los resultados de la segunda pregunta sugieren que a pesar de no importarles el uso de colorantes, si tienen una preferencia porque estos sean de origen natural. Taksima *et al.*, (2015) reportaron que al informarle al

consumidor los beneficios del uso de pigmentos de origen natural incremento su disposición por adquirir diversos productos que incluyen en su formulación colorantes de origen natural.

7. Conclusiones

En relación con los resultados obtenidos en esta investigación se proponen las principales conclusiones, las cuales se mencionan a continuación.

- Durante la caracterización del fruto, así como la determinación de las propiedades antioxidantes, se comprobó que la pulpa y el pericarpio presentan altos contenidos de antocianinas y carotenoides en comparación con otros frutos los cuales hacen al xkijit una fuente importante para la obtención de pigmentos y su uso en la industria como colorante natural.
- De los métodos evaluados para la obtención de los extractos ricos en pigmentos, M1 fue el que mostró mejores resultados, ya que las propiedades antioxidantes se conservan mejor y facilita la encapsulación mediante secado por aspersión, el cual resultó en una técnica apropiada para la conservación de los pigmentos.
- Se concluye que la mezcla de MDX-GA como agente encapsulante alcanzaron los mejores rendimientos, sin embargo, todos los agentes presentaron tendencias a la estabilidad ya que tenían contenidos bajos en aw y humedad.
- En cuanto a los microencapsulados de pericarpio con MDX, presentaron las mejores propiedades de humectabilidad e incorporación.
- Mientras que los encapsulados de pulpa no tuvieron diferencias con el uso de los diferentes agentes en los valores de aw y humedad, ya que además son bajos, asegurando la estabilidad.
- En cuanto al color las capsulas de pulpa y pericarpio conservaron las propiedades de color del extracto después del secado, y en base a croma que es uno de los parámetros deseables en la conservación de color, MDX y MDX-GA fueron más alto con los extractos de pericarpio. En comparación con los de pulpa, GA contribuyo en la coloración de los microencapsulados, concluyendo que la naturaleza del agente usado afecta significativamente las características del encapsulado obtenido.
- La conservación de las propiedades antioxidantes (antocianinas y compuestos fenólicos) se vieron beneficiadas con el uso de GA a las condiciones de almacenamiento establecidas, mientras que los encapsulados con MDX fueron estables a temperaturas de 4°C.

- Para los carotenoides de la pulpa, se presentó una mayor retención con el uso de MDX y además su conservación fue mejor a temperaturas de 25°C, a pesar de que GA en ambas temperaturas logró conservar mejor a estos compuestos la cantidad en las microcápsulas fue menor.
- La capacidad antioxidante de los microencapsulados de pulpa se vio influenciada principalmente por el contenido de compuestos fenólicos, ya que estos se encontraban en mayor proporción, siendo la condición de 25°C la que más benefició su almacenamiento.
- Cabe mencionar que en ambos casos se logra la conservación de las propiedades antioxidantes atribuidas a las antocianinas y a los carotenoides hasta los 28 días de almacenamiento a 4 y 25°C con todos los agentes encapsulantes.
- En el cumplimiento de uno de los objetivos específicos propuestos en esta investigación, la incorporación de los encapsulados como pigmentos en las matrices alimentarias (bebidas y yogurt), se concluye que el color incremento con la adición de las capsulas de MDX y MDX-GA, favoreciendo las coloraciones rojizas a la matriz, mismas que fueron un indicativo importante del contenido de antocianinas y compuestos antioxidantes en el producto. Mientras que la conservación de los pigmentos carotenoides se da con GA ya que este ayuda al aumento en la tonalidad característica de algunos carotenoides, pese a no tener influencia en la capacidad antioxidante del producto.
- La estabilidad del color en las matrices después de la incorporación de los pigmentos microencapsulados aumento en comparación con los extractos sin encapsular, concluyendo que la microencapsulación protege y conserva el color incluso después de haber sido agregado en la matriz alimentaria.
- Si bien existe una degradación de la actividad antioxidante en el producto después de la adición de microencapsulados, se observa un aumento de compuestos bioactivos benéficos.
- En base a los resultados de aceptabilidad se observa una mayor preferencia por los pigmentos antocianinas en el producto, tipo bebida en comparación con los niveles de aceptabilidad sensorial de yogurt, pues el sabor de la pulpa influyo negativamente en el yogurt.

- Finalmente, es importante seguir con la investigación relacionada con el uso de pigmentos, provenientes de frutos subutilizados en México, debido a sus propiedades bioactivas y fisicoquímicas para su incorporación en diversas matrices alimentarias. Asimismo el secado por aspersión resulto una tecnología “amigable” para la conservación de pigmentos y compuestos antioxidantes presentes en el xkijit, a partir de los resultados obtenidos se recomienda continuar explorando diferentes condiciones de secado, incluyendo temperaturas, flujos de aire, velocidad de alimentación, entre otros, con la finalidad de aumentar los rendimientos, mejorar las propiedades físicas y antioxidantes de los encapsulados, así como su incorporación en diferentes matrices alimentarias como colorante.

8. Bibliografía

- Abdel-Aal, E. S. M., Akhtar, H., Rabalski, I., & Bryan, M. (2014). Accelerated, microwave-assisted, and conventional solvent extraction methods affect anthocyanin composition from colored grains. *Journal of Food Science*, 79(2).
- Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J. C., & Eun, J. B. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1307–1312.
- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379–385..
- Alamilla-Beltrán, L., Chanona-Pérez, J. J., Jiménez-Aparicio, A. R., & Gutiérrez-López, G. F. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 67, 179–184.
- Alarcón, J. J. C., Martínez, R. D. M., Quintana, C. J. C., Jiménez, R. S., Díaz, C. A., & Jiménez, I. (2008). Propagación in vitro de *Renalmia alpinia* (Rottb), planta con actividad antiofídica. *Vitae*, 15(1), 61–69.
- ámaZ | La Carta. (2016). *Amaz.com.pe* revisado 25 de noviembre 2016 disponible en http://amaz.com.pe/carta_piqueos.php
- Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(3), 914–922.
- Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D., & Stapley, A. G. F. (2007). Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray-drying. *Drying Technology*, 25, 799-807.
- AOAC. (2000). AOAC Official Method of Analysis: The Association of Official Analytical Chemists. Maryland. (17th ed.).
- Araneda, C. & F. Valenzuela. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora*, 22(11): 9-19.

- Arango, A., Flórez, A., Comité de Mujeres Indígenas, ASOCIAC. (2007). *Etnobotánica Medicinal Practicada Por Las Comunidades Senú De Necoclí (urabá Antioqueño)*, 1st ed. Medellín: Scam Graficas, p.53.
- Ashfaq, N., & Masud, T. (2002). Surveillance on artificial colors indifferent ready to eat foods. *Pakistan Journal of Nutrition*, 1: 223–225.
- Assous, M. T. M., Abdel-Hady, M. M., & Medany, G. M. (2014). Evaluation of red pigment extracted from purple carrots and its utilization as antioxidant and natural food colorants. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), 1–7.
- Astray, G., González-Barreiro, C., Mejuto, J. C., Rial-Otero, R., & Simal-Gándara, J. (2009). A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1631–1640.
- Augustin, M. A., & Hemar, Y. (2009). Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chemical Society Reviews*, 38, 902–912
- Ayour, J., Sagar, M., Alfeddy, M. N., Taourirte, M., & Benichou, M. (2016). Evolution of pigments and their relationship with skin color based on ripening in fruits of different Moroccan genotypes of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 207, 168–175.
- Badreldin A. H, Ziada A., & Blunden G. (2009). Biological effects of gum arabic: A review of some recent research. *Food Chemical Toxicology*. 47, 1-8.
- Bakowska-Barczak, A. M., & Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34(2), 1301–1309.
- Balassa, L. L., Fanger, G. O., & Wurzburg, O. B. (1971). Microencapsulation in the food industry. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 2(2), 245–265.
- Barauskiene, R., Venskutonis, P. R., Dewettinck, K., & Verhé, R. (2006). Properties of oregano (*Origanum vulgare* L.), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. *Food Research International*, 39(4), 413–425.
- Barrows, J., Lipman, A., & Bailey, C. (2003). *Color Additives: FDA's Regulatory Process and Historical Perspectives*. Food Safety Magazine, U.S. Food and Drug Administration, Silver Spring.

- Bastos, D. D. S., Gonáles, M. D. P., Andrade, C. T. De, Araújo, K. G. D. L., & Rocha Leão, M. H. M. Da. (2012). Microencapsulation of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) juice using a new chitosan-commercial bovine whey protein isolate system in spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 683–692.
- Bauernfeind, J.C., Bunnell, R.H. (1962) β -Apo-8'-Carotenal-A new food color. Includes visible spectrum as a KBr disk. *Food Technology*, 16, 76-82.
- Berg, H. Van Den, Faulks, R., Granado, H. F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., & Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(February), 880–912.
- Beristain, C. I., Azuara, E., Tamayo, T. T., & Vernon-Carter, E. J. (2003). Effect of caking and stickiness on the retention of spray-dried encapsulated orange peel oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(15), 1613–1616.
- Beristain, C., García, H., y Vernon-Carter, E. (2001). Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum. *Food Science and Technology*, 34(6), 398-401.
- Beristain, C.I., Garcia, H.S. & Vernon, E.J. (1999), Mesquite gum (*Propopis juliflora*) maltodextrin blends as wall material for spray-dried encapsulated orange peel oil. *Food Science Technology International*, 5(4): 353–356.
- Bernstein, A., & Noreña, C. P. Z. (2015). Encapsulation of red cabbage (*Brassica oleracea* l. Var. capitata l. f. rubra) anthocyanins by spray drying using different encapsulating agents. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 58(6), 944–952.
- Bhandari, B. R., Dumoulin, E. D., Richard, H. M. J., Noleau, I., & Lebert, A. M. (1992). Flavour encapsulation by spray-drying: Application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57(1), 217–221.
- Bhandari, B.R. & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*. 40, 71–79.
- Bhusari, S.N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354–364.
- Bicudo, M. O. P., J6, J., Oliveira, G. A. de, Chaimsohn, F. P., Sierakowski, M. R., Freitas, R. A. de, & Ribani, R. H. (2015). Microencapsulation of Juçara (*Euterpe edulis* M.)

- Pulp by Spray Drying Using Different Carriers and Drying Temperatures. *Drying Technology*, 33(2), 153–161.
- Bimbenet, J. J., Bonazzi, C., Dumoulin, E. (2002). Drying of foodstuffs. Drying'2002 – In: Proceeding of the 13th international drying symposium (pp. 64–80)
- Borgi, W., Recio, M.C., Ríos, J.L., & Chouchane, N. (2008). Anti-inflammatory and analgesic activities of flavonoid and saponin fractions from *Zizyphus lotus* (L.) Lam. *South African Journal of Botany*, 74, 320–324.
- Böttcher, C., Harvey, K., Forde, C.G., Boss, P.K., & Davies, C. (2011). Auxin treatment of pre-veraison grape (*Vitis vinifera* L.) berries both delays ripening and increases the synchronicity of sugar accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(1), 1–8.
- Bouwmeester, H., S. Dekkers, M. Noordam, W. Hagens, A. Bulder, S. Voorde, S. Wijnhoven & H. Marvin. (2009). Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 53(1): 52–62.
- Brazel, C. S. (1999). Microencapsulation: Offering solutions for the food industry. *Cereal Foods World*, 44(6): 388-393.
- Bridle, P., & Timberlake, C. F. (1997). Anthocyanins as natural food colours—selected aspects. *Food Chemistry*, 58(1–2), 103–109.
- Brouillard, R. (1982). Chemical structure of anthocyanins. In P. Markasis (Ed.), *Anthocyanins as food colors* (pp. 1–40). London, UK: Academic Press.
- Brouillard, R. (1988). Flavonoids and flower colour. In J. B. Harborne (Ed.), *The flavonoids. Advances in research since 1980* (pp. 525). London: Chapman and Hall Inc.
- Brownmiller, C., Howard, L.R., & Prior, R.L. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products. *Journal of Food Science*, 73(5), H72–H79.
- Bunel, R.H., Driscoll, W., & Bauernfeind, J.C. (1958). Colorgin Fat-Base Foods with β -carotene. *Food Technology*, 12, 527-535.
- Burin, V.M., Rossa, P.N., Ferreira-Lima, N.E., Hillmann, M.C.R., & Bordignon-Luiz, M.T. (2011). Anthocyanins: Optimization of extraction from Cabernet Sauvignon grapes, microencapsulation and stability in soft drink. *International Journal of Food Science & Technology*, 46, 186–193

- Bustos-Garza, C., Yáñez-Fernández, J., & Barragán-Huerta, B. E. (2013). Thermal and pH stability of spray-dried encapsulated astaxanthin oleoresin from *Haematococcus pluvialis* using several encapsulation wall materials. *Food Research International*, 54(1), 641–649.
- Cabrita, L., Fossen, T., & Andersen, Ø. M. (2000). Colour and stability of the six common anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions. *Food Chemistry*, 68(1), 101–107.
- Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 65(6), 1248–1252.
- Cai, Y., Sun, M., & Corke, H. (1998). Colorant properties and stability of Amaranthus betacyanin pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4491–4495.
- Cam, M., Icyer, N. C., & Erdogan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 117–123.
- Can Karaca, A., Guzel, O., & Ak, M. M. (2016). Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(2), 449–455.
- Carneiro, H. C. F., Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443–451.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P. & Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: a review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 377–399.
- Carvalho, A. G. S., Silva, V. M., & Hubinger, M. D. (2014). Microencapsulation by spray drying of emulsified green coffee oil with two-layered membranes. *Frin*, 61, 236–245.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M.d.L, Páez-Hernández, M.E, Rodríguez Galán-Vidal, J.A, & Galán-Vidal, C.A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: a review. *Food Chemistry* 113 (4), 859–871.
- Cejudo-Bastante, M.J., Hurtado, N., Mosquera, N., & Heredia, F.J. (2004). Potential use of new Colombian sources of betalains. Color stability of ulluco (*Ullucus tuberosus*)

- extracts under different pH and thermal conditions. *Food Research International*, 64, 465-471.
- Celli G. B, Ghanen A, & Brooks M. S.-L. (2015) Optimization of ultrasound- assisted extraction of anthocyanins from haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) using response surface methodology. *Ultrason Sonochem* 27:449-455.
- Cerón Salazar, I. X. (2013). *Design and Evaluation of Processes to Obtain Antioxidant-Rich Extracts from tropical fruits cultivated in Amazon , Caldas and Northern Tolima Regions*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cevallos-Casals, B.v.A., & Cisneros-Zevallos, L. (2004). Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry*, 86(1), 69–77.
- Chacón-Ordóñez, T., Schweiggert, R. M., Bosity-Westphal, A., Jiménez, V. M., Carle, R., & Esquivel, P. (2017). Carotenoids and carotenoid esters of orange- and yellow-fleshed mamey sapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) fruit and their post-prandial absorption in humans. *Food Chemistry*, 221, 673–682.
- Chaiyasut, C., Sivamaruthi, B. S., Pengkumsri, N., Sirilun, S., Peerajin, S., Chaiyasut, K., & Kesika, P. (2016). Anthocyanin profile and its antioxidant activity of widely used fruits , vegetables , and flowers. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9(6), 218–224.
- Champagne, C. P., & Fustier, P. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(2), 184–190.
- Chapman, M. S. (2012). Vitamin A: History, Current Uses, and Controversies. *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*, 31(1), 11–16.
- Clifford, M. (2000). Review, Anthocynins- nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1063-1072.
- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(1), 83–101.
- Coisson, J. D., Travaglia, F., Piana, G., Capasso, M., & Arlorio, M. (2005). Euterpe oleracea juice as a functional pigment for yogurt. *Food Research International*, 38(8–9), 893–897

- Coronel-Aguilera, C. P., & San Martín-González, M. F. (2015). Encapsulation of spray dried β -carotene emulsion by fluidized bed coating technology. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 187–193.
- Crittenden R. C, Weerakkody R., Sanguansri L., & Augustin M. A. (2006). Synbiotic microcapsules that enhance microbial viability during nonrefrigerated storage and gastrointestinal tract transit. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 2280–2282.
- Cynthia, S. J., Bosco, J. D., & Bhol, S. (2015). Physical and Structural Properties of Spray Dried Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Pulp Extract Powder with Encapsulating Hydrocolloids. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1793–1800.
- da Silva, F.C., Rodrigues, da F.C., Matias, de A.S., Thomazini, M., de Carvalho, B.J.C., Pittia, P., & Favaro-Trindade, C.S. (2013). Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. *Food and Bioproducts Processing*, 91(1), 28–36.
- Daoub, R. M. A., Elmubarak, A. H., Misran, M., Hassan, E. A., & Osman, M. E. (2016). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Daudt, C. E., & Fogaça, A. de O. (2013). Phenolic compounds in Merlot wines from two wine regions of Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 33(2), 355–361.
- Davies, K. M., Albert, N. W., & Schwinn, K. E. (2012). From landing lights to mimicry: the molecular regulation of flower colouration and mechanisms for pigmentation patterning. *Functional Plant Biology*, 39(8), 619–638.
- Daza, L. D., Fujita, A., Favaro-Trindade, C. S., Rodrigues-Ract, J. N., Granato, D., & Genovese, M. I. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, 97, 20–29.
- de Barros, F.A.R.. & Stringheta, P.C. (2006). Microencapsulamento de antocianinas – uma alternativa para o aumento de sua aplicabilidade como ingrediente alimentício. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, 36, 18–24.
- de Carvalho, L. M. J., Gomes, P. B., Godoy, R. L. de O., Pacheco, S., do Monte, P. H. F., de Carvalho, J. L. V., & Ramos, S. R. R. (2012). Total carotenoid content, α -carotene

- and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. *Food Research International*, 47(2), 337–340.
- de Rosso, V. V., & Mercadante, A. Z. (2007). Evaluation of colour and stability of anthocyanins from tropical fruits in an isotonic soft drink system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3), 347–352.
- de Souza, V. B., Fujita, A., Thomazini, M., da Silva, E. R., Lucon, J. F., Genovese, M. I., & Favaro-Trindade, C. S. (2014). Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. *Food Chemistry*, 164, 380–386.
- de Souza, V. B., Thomazini, M., Balieiro, J. C. D. C., & Fávaro-Trindade, C. S. (2015). Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). *Food and Bioproducts Processing*, 93, 39–50.
- Debicki-Pospisil, J., Lovric, T., & Trinajctic, N. (1983). Anthocyanin degradation in the presence of furfural and 5-hydroxy methyl furfural, *Journal of Food Science.*, 49, 411.
- Del Aguila, R., & Martín, M. (2009). Manos Trabajadoras Tejiendo La Chambira PUA CAMATAHUARA
- del Pozo, D., Brenes, C., & Talcott, S. T. (2004). Phytochemical composition and pigment stability of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 1539–1545.
- Delgado, H., (2004). Plantas Alimenticias del Perú. Universidad Científica del Sur, Escuela Profesional de Nutrición y Dietética, Departamento Académico de Nutrición Clínica y Comunitaria.
- Delgado-Vargas F, & Paredes-López O. (2003). Anthocyanins and betalains. In F Delgado-Vargas, O., Paredes-Lopez (Eds.), *Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses*, Boca Raton, Florida: CRC Press, p 167–219
- Delgado-Vargas, F. & Paredes-Lopez, O. (2003). Natural colorants for the food and nutraceutical uses. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 438.**
- Demirdöven, A., Özdoğan, K., & Erdoğan-Tokatli, K. (2015). Extraction of Anthocyanins from Red Cabbage by Ultrasonic and Conventional Methods: Optimization and Evaluation. *Journal of Food Biochemistry*, 39(5), 491–500.

- Desai, K. G. H., & Jin Park, H. (2005). *Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. Drying Technology* (Vol. 23). <https://doi.org/10.1081/DRT->
- Desobry S. A., Netto F. M., & Labuza T. P. (1997). Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for B-carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*. 62: 1158-1162
- Di Battista, C. A., Constenla, D., Ramírez-Rigo, M. V., & Piña, J. (2015). The use of arabic gum, maltodextrin and surfactants in the microencapsulation of phytosterols by spray drying. *Powder Technology*, 286, 193–201.
- Di Battista, C. A., Constenla, D., Ramírez-Rigo, M. V., & Piña, J. (2015). The use of arabic gum, maltodextrin and surfactants in the microencapsulation of phytosterols by spray drying. *Powder Technology*, 286, 193–201.
- Dias, M. G., Camões, M. F. G. F. C., & Oliveira, L. (2009). Carotenoids in traditional Portuguese fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 113(3), 808–815.
- Dias, M. I., Ferreira, I. C. F. R., & Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulation of bioactives for food applications. *Food & Function*, 6(4), 1035–1052.
- Díaz-Bandera, D., Villanueva-Carvajal, A., Dublán-García, O., Quintero-Salazar, B., & Domínguez-López, A. (2015). Assessing release kinetics and dissolution of spray-dried Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract encapsulated with different carrier agents. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 693–698.
- Discoverlife.org. (2016). *Renalmia alpinia – Jenjibre-de-jardin – Discover Life*, Available at: <http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Renalmia+alpinia&b=EOL/pages/248322> [Revisado 24 Noviembre 2016].
- Donhowe, E. G., Flores, F. P., Kerr, W. L., Wicker, L., & Kong, F. (2014). Characterization and invitro bioavailability of β -carotene: Effects of microencapsulation method and food matrix. *LWT - Food Science and Technology*, 57(1), 42–48.
- Doughall, D. K., Baker, D. C., Gakh, E. G., Redus, M. A., & Whittemore, N. A. (1998). Anthocyanins from wild carrot suspension cultures acylated with supplied carboxylic acids. *Carbohydrate Research*, 310, 177–189.
- Downham, A., Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 5-22.

- Dranca, F., & Oroian, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 637–646.
- Du, J., Ge, Z.Z., Xu, Z., Zou, B., Zhang, Y., & Li, C.M. (2014). Comparison of the Efficiency of Five Different Drying Carriers on the Spray Drying of Persimmon Pulp Powders. *Drying Technology*, 32(10), 1157–1166.
- Dufossé, L., Galaup, P., Yaron, A., Arad, S. M., Blanc, P., Murthy, K. N. C., & Ravishankar, G. A. (2005). Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: A scientific oddity or an industrial reality?. *Trends in Food Science and Technology*, 16(9), 389–406.
- During, A., & Harrison, E. H. (2004). Intestinal absorption and metabolism of carotenoids: Insights from cell culture. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 430(1), 77–88.
- Dutta, P., S. Tripathi, G. Mazutti & J. Dutta. (2009). Review: Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Journal Food Chemistry* 114(4): 1173–1182.
- Dziezak, J. D. (1998). Microencapsulation and encapsulated food ingredients. *Food Technology*, 42, 136e151.
- Edris, A. E., Kalemba, D., Adamiec, J., & Piaołkowski, M. (2016). Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications. *Food Chemistry*, 204, 326–333.
- Ersus, S., & Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805–812.
- Espinosa, L., González A., & Hernández, L. (2014) RECETARIO GASTRONOMICO DEL MUNICIPIO DE PUERTO NARIÑO – AMAZONAS Y SUS COMUNIDADES ALEDAÑAS “Preparaciones Culinarias Tradicionales de los pueblos Ticunas, Cocamas y Yaguas”
- ETAD. (2016). Etad.com. Retrieved 24 November 2016, disponible en: <http://etad.com/en>
- Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Microencapsulation of Garcinia fruit extract by spray drying and its effect on bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1116-1123.

- Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., Jena, B. S., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 513–520.
- Fang J: (2014). Bioavailability of anthocyanins. *Drug Metabolism Reviews*, 46:508-520.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(10), 510–523.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129(3), 1139–1147.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2), 478–483.
- Farvin, S., Baron, C., Nina Skall, N., & Jacobsen, C. (2010). Antioxidant activity of yoghurt peptides: part 1-in vitro assays and evaluation in omega-3 enriched milk. *Food Chemistry*, 123(4), 081–1089.
- Favaro, C., Santana A., Monterrey E., Trindade M. & Netto F. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24(4): 336-340.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioprocess Technology*. 90(4), 667-675.
- Fernández-López, J. A., Angosto, J. M., Giménez, P. J., & León, G. (2013). Thermal Stability of Selected Natural Red Extracts Used as Food Colorants. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(1), 11–17.
- Ferrari, C. C., Germer, S. P. M., Alvim, I. D., Vissotto, F. Z., & de Aguirre, J. M. (2012). Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 1237–1245.
- Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. *Drying Technology*, 31(4), 470–478.
- Filková, I., Huang, L. X., & Mujumdar, A.S. (2007). Industrial spray drying systems. In: Mujumdar AS (org). *Handbook of industrial drying*. London: CRC Press, p. 215-256.

- Flagg, E. W., Coates, R. J., & Greenberg, R. S. (1995). Epidemiologic studies of antioxidants and cancer in humans. *Journal of American College of Nutrition*, 14, 419–427.
- Fossen, T., Cabrita, L., & Andersen, O. M. (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry*, 63(4), 435–440.
- Francis, F. J. (1989). Food colorants: anthocyanins. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(4), 273–315.
- Frick, D. (2003). The coloration of Food. *Rev. Prog. Color.* **33**
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 27–35.
- Gallardo-Guerrero, L., Roca, M., & Isabel Mínguez-Mosquera, M. (2002). Distribution of chlorophylls and carotenoids in ripening olives and between oil and alperujo when processed using a two-phase extraction system. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(1), 105–109. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0442-5>
- García, C. (2007). Diccionario totonaco-español, español-totonaco. 1st ed. Veracruz, p.201.
- García, G., M. González, M. Ochoa & H. Medrano. (2004). Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersion. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(4): 262-266.
- Gauche, C., Malagoli, E. D., & Luiz, M. T. B. (2010). Effect of pH on the copigmentation of anthocyanins from Cabernet Sauvignon grape extracts with organic acids. *Scientia Agricola*, 67(1), 41–46.
- Ge, X., Wan, Z., Song, N., Fan, A., & Wu, R. (2009). Efficient methods for the extraction and microencapsulation of red pigments from a hybrid rose. *Journal of Food Engineering*, 94(1), 122–128.
- Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural Plant Pigments with Potential Application in Functional Foods. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 645–649.
- Gerique, A. (2006): An introduction to ethnoecology and ethnobotany, theory and methods. Lecture Notes. Integrative assessment and planning methods for sustainable agroforestry in humid and semiarid regions. Advanced Scientific Training – Loja, Ecuador.

- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121.
- Ghazi, A. (1999). Extraction of beta-carotene from orange peels. *Die Nahrung*, 43(4), 274–277.
- Gibbs, B. F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, C. N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50(3), 213–224.
- Giosanu, D., & Vijan, L. (2013). A comparative study of different methods used to determine the chromatic parameters of red wines. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 14(3), 907–912.
- Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E. B., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., & Willett, W. C. (1995). Intake of carotenoids and retino in relation to risk of prostate cancer. *Journal of Natural Cancer Institute*, 87, 1767–1776.
- Giro-Paloma, J., Martínez, M., Cabeza, L. F., & Fernández, A. I. (2016). Types, methods, techniques, and applications for microencapsulated phase change materials (MPCM): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1059–1075.
- Giuliani, A., Cerretani, L., & Cichelli, A. (2015). Colors: Properties and Determination of Natural Pigments. *Encyclopedia of Food and Health*, 273–283.
- Giusti, M. & Wrolstad. (2005). R. Unit F1.2: characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Wrolstad RE, (Eds). *Handbook of food analytical chemistry—pigments, colorants, flavors, texture, and bioactive food components*. New York: John Wiley & Sons Inc. p F1.2.1–13.
- Glories, Y. (1984). La couleur des vins rouges. Première partie: Les equilibres des anthocyanes et des tanins. *Conn. Vigne Vin*. 18, 195-217.
- Goderska, K., & Czarnecki, Z. (2008). Influence of microencapsulation and spray drying on the viability of Lactobacillus and Bifidobacterium strains. *Polish Journal of Microbiology*, 57(2), 135–140.
- Gómez, J., Mejia, N., Gómez, I., & Benjumea, D. (2014). Evaluation of the analgesic activity of essential oils obtained from Renealmia alpinia Leaves. In XII Congreso Colombiano de Fitoquímica Tradición e Innovación en Productos Naturales (p. 254). Cartagena.

- Gómez-Betancur, I., & Benjumea, D. (2014). Traditional use of the genus *Renealmia* and *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas (Zingiberaceae)-a review in the treatment of snakebites. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(1), 574–582.
- Gómez-Betancur, I., Cortés, N., Benjumea, D., Osorio, E., León, F., & Cutler, S. J. (2015). Antinociceptive activity of extracts and secondary metabolites from wild growing and micropropagated plants of *Renealmia alpinia*. *Journal of Ethnopharmacology*, 165, 191–197.
- Gonçalves, A., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2016). Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 51, 76–87.
- González, J. (2013). Plantas Útiles de la Selva. Organización para Estudios Tropicales Flora Digital de la Selva.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15(7–8), 330–347.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: I. Drying Kinetics and Product Recovery. *Drying Technology*, 26(6), 714–725.
- Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., & Wani, A. A. (2015). Chemistry, encapsulation, and health benefits of Beta-carotene - A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1–12.
- Gupta, M. K., Warner, K., & White P.J. (2004): *Frying Technology and Practices*. AOCS Press, Champaign, IL.
- Harborne, J. B. (1983). Anthocyanins as food colours. *Phytochemistry*, 22(4), 1067–1068.
- Hari, R. K., Patel, T. R., & Martin, A. M. (1994). An overview of pigment production in biological systems: Functions, biosynthesis, and applications in food industry. *Food Reviews International*, 10(1), 49–70.
- Haskell, M. J. (2012). The challenge to reach nutritional adequacy for vitamin A: B-carotene bioavailability and conversion—evidence in humans 1–4. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96, 1193–203.
- Hathcock, J. N., & Rader, J. I. (2003). Aditivos, contaminantes e toxinas naturais de alimentos. In M. Shils, J. Olson, and M. Shike (Eds.), *Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença* (9a th ed.). Brazil: Manole, São Paulo.

- He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 163–187.
- Hendry, G. & Houghton, J. (1996). *Natural Food Colorants*, 2nd ed. Bosto, Ma: Springer Science & Business Media, p. 10.
- Henríquez, C., Almonacid, S., Chiffelle, I., Valenzuela, T., Araya, M., Cabezas, L., ... Speisky, H. (2010). Determination of Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content and Mineral Composition of Different Fruit Tissue of Five Apple Cultivars Grown in Chile. *Chilean J. Agric. Res.*, 70(4), 523–536.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation – Structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71, 41–50.
- Hogekamp, S. & Schubert, H. (2003). Rehydration of food powders. *Food Science and Technology International*, 9, 223–235.
- Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesiuk, A., & Dębski, H. (2008). Anthocyanins of Fruits and Vegetables - Their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 68(1), 5–22.
- Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesiuk, A., & Dębski, H. (2008). Anthocyanins of Fruits and Vegetables - Their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 68(1), 5–22.
- Hornero-Méndez, D., & Mínguez-Mosquera, M. I. (2007). Bioaccessibility of carotenes from carrots: Effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 407–412.
- Hou, D. X. (2003). Potential mechanism of cancer chemoprevention by anthocyanin. *Current Advancements in Molecular Medicines*, 3, 149–159.
- Ibrahim Silva, P., Stringheta, P. C., Teófilo, R. F., & De Oliveira, I. R. N. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 538–544.
- Idarraga, A. (2015). *Producción De Biomoléculas Con Aplicaciones Cosméticas a Partir De Residuos De Frutas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto de Biología. "*Renalmia alpinia* (Rottb.) Maas- IBUNAM:MEXU:PVsn5264". UNIBIO: Colecciones Biológicas. 2010-05-27. Universidad Nacional Autónoma de

- México. Consultada en: 2016-11-23. Disponible en: <http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PVsn5264>.
- Islam, A. M., Phillips, G. O., Slijivo, A., Snowden, M. J., & Williams, P. A. (1997). A review of recent developments on the regulatory , structural and functional aspects of gum arabic. *Food Hydrocolloids*, 11(4), 493–505.
- Jangam, S.V., & Thorat, B.N. (2010) Optimization of spray drying of ginger extract, *Drying Technology*, 28, 1426–1434.
- Jaramillo-Flores, M. E. ., Lugo-Martínez, J. J. ., & Ramírez-SanJuan, E. ., Montellano-Rosales, H. ., Dorantes-Alvarez, L. ., & Hernández-Sánchez, H. . (2005). Effect of sodium chloride, acetic acid, and enzymes on carotene extraction in carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Science*, 70(2), S136–S142.
- Jayasena, V., & Cameron, I. (2008). ??brix/Acid ratio as a predictor of consumer acceptability of crimson seedless table grapes. *Journal of Food Quality*, 31(6), 736–750.
- Jiménez, N., Bohuon, P., Lima, J., Dornier, M., Vaillant, F., & Pérez, A.M. (2010). Kinetics of anthocyanin degradation and browning in reconstituted blackberry juice treated at high temperatures (100-180 °C). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2314–2322.
- Jiménez-Aguilar, D. M., Ortega-Regules, A. E., Lozada-Ramírez, J. D., Pérez-Pérez, M. C. I., Vernon-Carter, E. J., & Welti-Chanes, J. (2011). Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6), 889–894.
- Jinapong, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194–205.
- Kaimainen, M., Laaksonen, O., Järvenpää, E., Sandel, M., & Houppalahti, R. (2015). Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. *Food Chemistry*, 187: 398-406.
- Kapoor, M.P., & Juneja, L.R. (2009). Partially hydrolyzed guar gum dietary fiber. In S.S. Cho & P. Samuel (Eds.), *Fiber ingredients: Food applications and health benefits*. Boca Raton, Florida: CRC Press. p 70–120.
- Kaushik, V., & Roos, Y. H. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT - Food Science and Technology*, 40(8), 1381–1391.

- Kays, S. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, Georgia. 568 p.
- Khonkarn, R., Okonogi, S., Ampasavate, C., & Anuchapreeda, S. (2010). Investigation of fruit peel extracts as sources for compounds with antioxidant and antiproliferative activities against human cell lines. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8–9), 2122–2129.
- Kim, E.H.J., Chen, X.D., & Pearce, D. (2002). Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, 26, 197–212
- Kim, Y.D., & Morr, C.V. (1996). Microencapsulation Properties of Gum Arabic and Several Food Proteins: Spray-Dried Orange Oil Emulsion Particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(5), 1308–1313.
- Kingwatee, N., Apichartsrangkoon, A., Chaikham, P., Worametrachanon, S., Techarung, J., & Pankasemsuk, T. (2015). Spray drying Lactobacillus casei 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 847–853.
- Kobylewski, S., & Jacobson, M. F. (2010). Food Dyes: A Rainbow of Risks. *Decision Sciences*, 30(2), 337–360.
- Komes, D., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., Marković, K., & Kovačević K. (2011). Characterisation of pigments and antioxidant properties of three medicinal plants dried under different drying conditions. Taoukis, Petros S.; Stoforos, Nikolaos G.; Karathanos, Vaios T.; Saravacos, George D. (eds). Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). Microencapsulation of Morinda citrifolia L. extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(5), 622–632
- Krishnan, S., Kshirsagar, A. C., & Singhal, R. S. (2005). The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, 62(4), 309–315.
- Krishnan, S., Kshirsagar, A. C., & Singhal, R. S. (2005). The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, 62(4), 309–315.

- Kuck, L.S., & Noreña, C.P.Z. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194, 569–576.
- Lans, C., Harper, T., Georges, K., & Bridgewater, E. (2001). Medicinal and ethnoveterinary remedies of hunters in Trinidad. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 1(10).
- Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015). Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 405–411.
- Lascurain, M., Avendaño, S., Aníbal, A., Mirna, D., & Covarrubias, M. (2010). *frutos silvestres comestibles en Veracruz comestibles en Veracruz*.
- Lavelli, V., Sri Harsha, P. S. C., & Spigno, G. (2016). Modelling the stability of maltodextrin-encapsulated grape skin phenolics used as a new ingredient in apple puree. *Food Chemistry*, 209, 323–331.
- Lee, Y., & Hwang, K. T. (2017). Changes in physiochemical properties of mulberry fruits during ripening. *Scientia Horticulturae*, 217, 189–196.
- Lichtenthaler, H., & Wellburn, A. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(1955), 591–592.
- Lila, M. A. (2004). Anthocyanins and Human Health: An In Vitro Investigative Approach. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, 2004(5), 306–313.
- Lim, A. S. L., Burdikova, Z., Sheehan, D. J., & Roos, Y. H. (2016). Carotenoid stability in high total solid spray dried emulsions with gum Arabic layered interface and trehalose-WPI composites as wall materials. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34, 310–319.
- Lin, J.Y. & Tang, C.Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101, 140–147
- Liu, Z. Q., Zhou, J. H., Zeng, Y. L., & Ouyang, X. L. (2004). The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 391–396.

- Ljiljana, M. B., Dejan, M. G., & Ranko, M. S. (2016). Spectrophotometric characterization of red wine color from the vineyard region of Metohia. *Journal of Agricultural Sciences*, 61(3), 281–290.
- Loksuwan, J. (2007). Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids* 21, 928-935.
- Loksuwan, J. (2007). Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 21(5–6), 928–935.
- López Hernández, Orestes Darío, & Gómez Carril, Martha. (2008). Preparación de microesferas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 42(3).
- Loypimai P, Moongngarm A, Chottanom P, & Moontree T. (2015) Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27:102-110.
- Luna-Guevara J.J., Ochoa-Velasco C.E., Hernández-Carranza P., Guerrero-Beltrán, J.A. (2017). Microencapsulation of walnut, peanut and pecan oils by spray drying. *Food Structure*, 12, 26-32.
- Maas, P.J.M. (1977). *Renealmia* (Zingiberaceae – Zingiberoideae); Costoideae (Additions) (Zingiberaceae). Flora Neotropica Monograph 18. New York: New York Botanical Garden.
- Macía, M. J. (2003). *Renealmia alpinia* (rothb.) maas (Zingiberaceae): Planta comestible de la Sierra Norte de Puebla (México). *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 60(1), 183–187.
- Madene, A., J. Scher, & S. Desobry. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21.
- Mahdavee Khazaei, K., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati Kakhki, A. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105(1), 57–62.
- Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Assadpoor, E. (2014). Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. *Drying Technology*, 32(5), 509–518.

- Malien-Aubert, C., Dangles, O., & Amiot, M. J. (2001). Color stability of commercial anthocyanin-based extracts in relation to the phenolic composition. Protective effects by intra- and intermolecular copigmentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 170–176.
- Mangels, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. R., Forman, M. R., & Lanza, E. (1993). Carotenoid content of fruits and vegetables: An evaluation of analytic data. *Journal of The American Dietetic Association*, 93(3), 284–296.
- Mantilla, L., Piñeres, R., Cárdenas, D., Montero, I., *et al.*, (2007). Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables. Nicolás Castaño Arboleda; Dairon Cárdenas López; Edgar Otavo Rodríguez (Eds). Editorial Scripto. Bogotá.
- Martínez-Flóres, S., González-Gallego, J., Clebras, J., & Tuñon, Ma. J. (2002). Revisión Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, XVII(6), 271-278.
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science and Technology*, 52, 1–15.
- Masters, K. (1985). *Spray drying handbook* (4th ed.). New York: Wiley.
- Mazza G, & Miniati E. *Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains*. Boca Raton, Fla: CRC Press; 1993.
- McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., & Stevenson, J. (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year- old children in the community: A randomised, double-blinded, placebo- controlled trial. *The Lancet*, 370(9598), 1560–1567.
- McClements, D. J., Decker, E. A., Park, Y., & Weiss, J. (2009). Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, 577-606.
- Medina-Meza I. G, & Barbosa-Cánovas G. V. (2015). Assisted extraction of bioactive compounds from plum and grape peels by ultrasonics and pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 166, 268-275.

- Medina-Torres, L., García-Cruz, E. E., Calderas, F., González Laredo, R. F., Sánchez-Olivares, G., Gallegos-Infante, J. A., & Rodríguez-Ramírez, J. (2013). Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). *LWT - Food Science and Technology*, *50*(2), 642–650.
- Medina-Torres, L., Santiago-Adame, R., Calderas, F., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., & Manero, O. (2016). Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (*Litsea glaucescens*) with maltodextrin. *Industrial Crops and Products*, *90*, 1–8.
- Mercadante, A. Z., Steck, A., & Pfander, H. (1999). Carotenoids from guava (*Psidium guajava* L.): Isolation and structure elucidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *47*(1), 145–151.
- Minioti, K. S., Sakellariou, C. F., & Thomaidis, N. S. (2007) Determination of 13 synthetic food colorants in water-soluble foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography couple with diode-array detector. *Analytica Chimica Acta*. *583*: 103–110.
- Mirhosseini, H., Ping, C., Aghlara, A., Hamid, N., Yusof, S., & Huey, B. (2008). Influence of pectin and CMC on physical stability, turbidity loss rate, cloudiness and flavor release of orange beverage emulsion during storage. *Carbohydrate Polymers*, *73*, 83–91.
- Mokarram, R. R., Mortazavi, S. A., Najafi, M. B. H., & Shahidi, F. (2009). The influence of multi stage alginate coating on survivability of potential probiotic bacteria in simulated gastric and intestinal juice. *Food Research International*, *42*(8), 1040–1045.
- Mongkolsilp, S., Pongbupakit, I., Sae-Lee, N., & Sitthihaworn, W. (2004). Radical scavenging activity and total phenolic content of medicinal plants used in primary health care. *Journal of Pharmaceutics Science*, *9*(1), 32–35.
- Moo-Huchin, V. M., Estrada-Mota, I., Estrada-León, R., Cuevas-Glory, L., Ortiz-Vázquez, E., De Lourdes Vargas Y Vargas, M., ... Sauri-Duch, E. (2014). Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, *152*, 508–515.
- Moo-Huchin, V. M., Moo-Huchin, M. I., Estrada-León, R. J., Cuevas-Glory, L., Estrada-Mota, I. A., Ortiz-Vázquez, E., & Sauri-Duch, E. (2015). Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, *166*, 17–22.

- Moser, P., Telis, V.R.N., de Andrade Neves, N., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food Chemistry*, 214, 308–318.
- Namicela, I. J. (2010) Estudio etnobotánico en las comunidades Shuar de Tiukcha y Shakai del Cantón el Pangui. Licenciatura. Universidad Nacional de Loja.
- National Tropical Botanical Garden Plant Database (NTBG). Meet the plant, *Renalmia alpinia.*, http://ntbg.org/plants/plant_details.php, revisado marzo 2016.
- Negrelle, R. R. B. (2015). *Renalmia* L.f.: botanical, pharmacological and agronomical aspects.. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 17(2), 274-290.
- Nigg, J., Lewis, K., Edinger, T., & Falk, M. (2012). Meta-analysis of attention-deficit/hyperactivity disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms, restriction diet, and synthetic food color additives. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 51(1), 86–97.
- NOM-092-SSA1, & NOM-111-SAA1. (1994). Norma oficial mexicana nom-111-SSA1-1994, bienes y servicios. método para la cuenta de bacterias aerobias en placa, 1–10.
- NOM-111-SSA1-1994. (1994). Norma oficial mexicana nom-111-ssa1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- NOM-113-SSA1-1994. (1994). Norma oficial mexicana nom-113-ssa1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa 1-7.
- Noriega, P., Coba, P. Naikiyai, J., Abad, J. & Martínez A.M. (2011). Extracción, pruebas de estabilidad y análisis químico preliminar de la fracción del colorante obtenido a partir del exocarpo del fruto de *Renalmia alpinia*. *La Granja*. 13(1): 13-20.
- Nunes, P. C., Aquino, J. de S., Rockenbach, I. I., & Stamford, T. L. M. (2016). Physico-Chemical Characterization, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Malay Apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry]. *Plos One*, 11(6).
- Núñez, V., Otero, R., Barona, J., Saldarriaga, M., Osorio, R.G., & Fonnegra, R. (2004). Neutralization of the edema-forming, defibrinating and coagulant effects of *Bothrops asper* venom by extracts of plants used by healers in Colombia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37, 969–977.

- Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, *165*, 172–178.
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, *90*(4), 471–479.
- Okonogi, S., Duangrat, C., Anuchpreeda, S., Tachakittirungrod, S., & Chowwanapoonpohn, S. (2007). Comparison of antioxidant capacities and cytotoxicities of certain fruit peels. *Food Chemistry*, *103*, 839–846.
- Orak, H. H. (2007). Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Scientia Horticulturae*, *111*, 235–241.
- Osorio, C., Forero, D. P., & Carriazo, J. G. (2011). Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. *Food Research International*, *44*(5), 1174–1181.
- Otálora, M. C., Carriazo, J. G., Iturriaga, L., Nazareno, M. A., & Osorio, C. (2015). Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chemistry*, *187*, 174–181.
- Otero, R., Núñez, V., Barona, J., Fonnegra, R., Jiménez, S. L., Osorio, R. G., Saldarriaga, M., & Díaz, A., (2000b). Snakebites and ethnobotany in the northwest region of Colombia. Part III: Neutralization of lethal and enzymatic effects of *Bothrops atrox* venom. *Journal of Ethnopharmacology*, *73*, 233–241.
- Otero, R., Núñez, V., Jiménez, S.L., Fonnegra, R., Osorio, R.G., García, M.E., & Díaz, A., (2000a). Snakebites and ethnobotany in the northwest region of Colombia: part II: neutralization of lethal and enzymatic effects of *Bothrops atrox* venom. *Journal of Ethnopharmacology*, *71*, 505–511.
- Paiva, M. C., Manica, I., Fioravanco, J. C., & Kist, H. (1997). Caracterização química dos frutos de quatro cultivares e de duas seleções de goiabeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *19*, 57–63.
- Papadakis, S. E., Gardeli, C., & Tzia, C. (2006). Spray Drying of Raisin Juice Concentrate. *Drying Technology*, *24*(2), 173–180.

- Parra, H. R. A. (2010). Food Microencapsulation : a Review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2010), 1–18.
- Parra, R. / U. N. del C. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Open Journal Systems*, 63(2), 37055. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055/37055>
- Pasku, L. (2005). Red wine quality establishing on the basis of chromatic properties. *Revista de Chimie*, 56(7), 703-707.
- Pasrija, D., Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 289–296.
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, R. P., (2014). Optimization of the Spray-drying Process for Developing Guava Powder using Response Surface Methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236.
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberero, M., Díaz-Rubio, E., Serrano, J., Goñi, I., et al. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research*, 41, 274–285.
- Pérez-Leonard, H., Bueno-García, G., Brizuela-Herrada, M. A., Tortoló-Cabañas, K., & Gastón-Peña, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 47(1), 14–25.
- Pierucci, A. P., Andrade, L. R., Farina, M., Pedrosa, C., & Rocha-Lehao, M. H. M. (2007). Comparison of a-tocopherol microparticles produced with different wall materials: Pea protein a new interesting alternative. *Journal of Microencapsulation*, 24, 201–213.
- Pietrini, F., Iannelli, M. A., & Massacci, A. (2002). Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photo-inhibitory risks at low temperature, without further limitation to photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 25, 1251–1259.
- Pinzón, I. d. P., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa. *Agronomía Colombiana*, 1(25), 83–95.

- Poiana, M.A., Miogradean, D., Gergen, I. & Harmanescu, M. (2007). The Establishing the Quality of red wines on the basis of chromatic characteristics. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 13(1), 199-208
- Polônio, M.L.T. (2002) Aditivos alimentares e saúde infantil. In Accioly, E., Saunders, C., Lacerda, E.M. (Eds.), *Nutrição em Obstetrícia e Pediatria*. Cultura Médica, Rio de Janeiro. pp. 511–527.
- Pszczola, D. E., (1998). Encapsulated ingredients: providing the right fit. *Food Technology* 52 (12): 70-77.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386–392.
- Rai, M., Asthana, P., Kant, S., Jaiswal, V., & Jaiswal, U. (2009). The encapsulation technology in fruit plants: A review. *Biotechnology Advances*, 27(6): 671-679.
- Rainforest Conservation Found (RFC). (n.d). *Renealmia spp. (Mishquipanga)* disponible en <http://www.rainforestconservation.org/agroforestry-ethnobotany/agroforestry-ethnobotany/renealmia-spp-mishqui-panga/>. Revisado 20 Octubre 017.
- Ramírez, M. J., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2015). Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. *Powder Technology*, 277, 89–96.
- Ravichandran, K., Palaniraj, R., Saw, N. M. M. T., Gabr, A. M. M., Ahmed, A. R., Knorr, D., & Smetanska, I. (2012). Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2216–2221.
- Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2015). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76-83.
- Ré, M. (1998). Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*, 16(6), 1195-1236.
- Reineccius, G. A. (1989). Carbohydrates for flavour encapsulation. *Food Technology*, 45, 144–149.
- Reque, P. M., Steffens, R. S., Jablonski, A., Flóres, S. H., Rios, A. de O., & de Jong, E. V. (2014). Cold storage of blueberry (*Vaccinium spp.*) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 111–116.

- Revilla, E., Ryan, J.-M., & Martín-Ortega, G. (1998). Comparison of Several Procedures Used for the Extraction of Anthocyanins from Red Grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4592–4597.
- Ribeiro, A., Ruphuy, G., Lopes, J. C., Dias, M. M., Barros, L., Barreiro, F., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Spray-drying microencapsulation of synergistic antioxidant mushroom extracts and their use as functional food ingredients. *Food Chemistry*, 188, 612–618.
- Richter, B. E., Jones, B. A., Ezzell, J. L., Porter, N. L., Avdalovic, N., & Pohl, C. (1996). Accelerated solvent extraction: A technique for sample preparation. *Analytical Chemistry*, 68(6), 1033–1039. <https://doi.org/10.1021/ac9508199>
- Rizk, E. M., Bedier, S. H., & Manal, A. E. G. (2014). Utilization of Carotenoid Pigments Extracted From Tomato Peel As Natural Antioxidants and Colorants in Sunflower Oil and Spaghetti. *Egypt Journal of Agriculture Research*, 92(1), 309–321.
- Rocha, G. A., Fávaro-Trindade, C. S., & Grosso, C. R. F. (2012). Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 37–42.
- Rocha, G. A., Trindade, M. A., Netto, F. M., & Favaro-Trindade, C. S. (2009). Microcapsules of a casein hydrolysate: Production, characterization, and application in protein bars. *Food Science Technology International*, 15(4), 407–413.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (1997). Carotenoids and food preparation: The retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods. Washington DC: Usaid-Omni. 88p.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. *Life Sciences*. p 14.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7,20-26.
- Rodriguez-Amaya, D.B., & Kimura, M. HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis; Harvest Plus Technical Monograph Series 2; International Food Policy Research Institute and International Center for Tropical Agriculture: Washington, DC, USA, 2004.
- Rodríguez-Saona, L. E., Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (1999). Color and pigment stability of red radish and red fleshed potato anthocyanins in juice model systems. *Journal of Food Science*, 64, 451–456.

- Rufino, M. d. S. M., Alves, R. E., De Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121(4), 996–1002.
- Rutz, J. K., Borges, C. D., Zambiazzi, R. C., Crizel-Cardozo, M. M., Kuck, L. S., & Noreña, C. P. Z. (2017). Microencapsulation of palm oil by complex coacervation for application in food systems. *Food Chemistry*, 220, 59–66.
- Rutz, J. K., Zambiazzi, R. C., Borges, C. D., Krumreich, F. D., Da Luz, S. R., Hartwig, N., & Da Rosa, C. G. (2013). Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1256–1265.
- Saikia, S., Mahnot, N.K., & Mahanta, C.L. (2015). Optimisation of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray freeze drying. *Food Chemistry*, 171, 144–152.
- Salinas, M. Y., Salas, G. S., Rubio, D. H., & Ramos, N. L. (2005). Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *Journal of Chromatographic Science*, 43(9), 483–487.
- Samborska, K., Gajek, P., & Kamińska-Dwórznička, A. (2015). Spray Drying of Honey: The Effect of Drying Agents on Powder Properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(2), 109–118. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2013-0012>
- Sansone, F., Mencherini, T., Picerno, P., d'Amore, M., Aquino, R. P., & Lauro, M. R. (2011). Maltodextrin/ pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts, *Journal of Food Engineering*. 105 468–476.
- Sant'Anna, V., Gurak, P. D., Damasceno, L., Marczak, F., & Tessaro, I. C. (2013). Dyes and Pigments Tracking bioactive compounds with colour changes in foods e A review. *Dyes and Pigments*, 98(3), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.04.011>
- Santana, A. A., Cano-Higueta, D. M., De Oliveira, R. A., & Telis, V. R. N. (2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, 212, 1–9.
- Santana, A. A., Kurozawa, L. E., Oliveira, R. A. De, Santana, & Park, J. K. (2013). Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying. *Drying Technology*, 31, 825–836.

- Santhalakshmy, S., Don Bosco, S. J., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37–43.
- Santos-Ebinuma, V. C., Roberto, I. C., Simas Teixeira, M. F., & Pessoa, A. (2013). Improving of red colorants production by a new *Penicillium purpurogenum* strain in submerged culture and the effect of different parameters in their stability. *Biotechnology Progress*, 29(3), 778–785.
- Schultes, R., & Von Reis, S. (1995). *Ethnobotany: Evolution of a Discipline*. Portland, USA: Dioscorides Press. [A broad overview of ethnobotany from many of its leading scholars].
- Schweiggert, R. M., Vargas, E., Conrad, J., Hempel, J., Gras, C. C., Ziegler, J. U., & Carle, R. (2016). Carotenoids, carotenoid esters, and anthocyanins of yellow-, orange-, and red-peeled cashew apples (*Anacardium occidentale* L.). *Food Chemistry*, 200, 274–282.
- Selim, K., Khalil, K., Abdel-Bary, M., & Abdel-Azeim, N. (2008). Extraction, encapsulation and utilization of red pigments from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as natural food colourants. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 7–20.
- Shim, S. M., Seo, H., Lee, Y., Moon, G. I., Kim, N. & Park, S. (2011). Consumers' knowledge and safety perceptions of food additives: evaluation on the effectiveness of transmitting information on preservatives. *Food Control*, 22(7), 1054-1060.
- Shishir, M.R.I., Taip, F.S., Aziz, N.A., & Talib, R.A. (2014). Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium Guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 74–81.
- Shrestha, A.K., Ua-arak, T., Adhikari, B.P., Howes, T., & Bhandari, B.R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10(3), 661–673.
- Shrikhande, A.J., (2000). Wine by-products with health benefits. *Food Research International*. 33, 469–474
- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664–669.

- Silva, I.P., Stringheta, P. C., Teofilo, R. F., & De Oliveira, I. R. N. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. *Journal of Food Engineering*, *117*(4), 538–544.
- Silva, L. M. R., De Figueiredo, E. A. T., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., De Figueiredo, R. W., Brasil, I. M., & Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, *143*, 398–404.
- Simon-Brown, K., Solval, K. M., Chotiko, A., Alfaro, L., Reyes, V., Liu, C., & Sathivel, S. (2016). Microencapsulation of ginger (*Zingiber officinale*) extract by spray drying technology. *LWT - Food Science and Technology*, *70*, 119–125.
- Singleton, V. L., Rossi Jr., J. A., & Rossi J A Jr. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158.
- Socaciu, C. (2007). *Food Colors: Chemical and Functional Properties*. 1st ed. CRC PRESS Boca Raton: Taylor & Francis.
- Somchue, W., Sermsri, W., Shiowatana, J., & Siripinyanond, A. (2009). Encapsulation of α -tocopherol in protein-based delivery particles. *Food Research International*, *42*, 909–914.
- Sootitawatt, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., & Linko, P. (2005). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *6*, 107–114.
- Spence, C., Levitan, C. A., Shankar, M. U., & Zampini, M. (2010). Does food color influence taste and flavor perception in humans? *Chemosensory Perception*, *3*(1), 68–84.
- Sravan Kumar, S., Manoj, P., & Giridhar, P. (2014). A method for red-violet pigments extraction from fruits of Malabar spinach (*Basella rubra*) with enhanced antioxidant potential under fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(5), 3037–3043.
- Steenbock, H., & Gross, E. G. (1920). Fat-soluble vitamins. *Biol. Central*, *41*, 149–162.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, *15*(1), 19–38.

- Sudraud, P. (1958). Interpretation of the absorption curves of red wines. *Annals of Agricultural Sciences*, 7, 203.
- Taksima, T., Limpawattana, M., & Klaypradit, W. (2015). LWT - Food Science and Technology Astaxanthin encapsulated in beads using ultrasonic atomizer and application in yogurt as evaluated by consumer sensory profile, 62, 431–437.
- Tan, S. P. (2015). Extraction and Encapsulation of Bioactive Compounds from Bitter Melon.
- Tatar Turan, F., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2015). Evaluation of ultrasonic nozzle with spray-drying as a novel method for the microencapsulation of blueberry's bioactive compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 136–145.
- Tatar Turan, F., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2015). Evaluation of ultrasonic nozzle with spray-drying as a novel method for the microencapsulation of blueberry's bioactive compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 136–145.
- Teoli, F., Luciola, S., Nota, P., Frattarelli, A., Matteocci, F., Carlo, A. Di, ... Forni, C. (2016). Role of pH and pigment concentration for natural dye-sensitized solar cells treated with anthocyanin extracts of common fruits. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 316, 24–30. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.10.009>
- Thevenet, F. (1988). Chapter 5 Acacia Gums Stabilizers for Flavor Encapsulation. In A. C. Society (Ed.), *Flavor Encapsulation* pp. 37–44
- Tiburski, J. H., Rosenthal, A., Deliza, R., de Oliveira Godoy, R. L., & Pacheco, S. (2011). Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. *Food Research International*, 44(7), 2326–2331.
- Timberlake, C.F. (1988). The biological properties of anthocyanin compounds. *NATCOL Quarterly Bulletin* 1:4-15.
- Tlili, N., Mejri, H., Yahia, Y., Saadaoui, E., Rejeb, S., Khaldi, A., & Nasri, N. (2014). Phytochemicals and antioxidant activities of *Rhus tripartita* (Ucria) fruits depending on locality and different stages of maturity. *Food Chemistry*, 160, 98–103.
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418.

- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914.
- Van den Veerle, E., Cueva, E., & Cabrera, O. (2004). Edible Palms of Southern Ecuador. *Palms*, 48(3), 141–147.
- van der Laan, L. N., de Ridder, D. T. D., Viergever, M. A., & Smeets, P. A. M. (2011). The first taste is always with the eyes: A meta-analysis on the neural correlates of processing visual food cues. *Neuro Image*, 55(1), 296–303.
- van der Laan, L. N., Hooge, I. T. C., de Ridder, D. T. D., Viergever, M. A., & Smeets, P. A. M. (2015). Do you like what you see? The role of first fixation and total fixation duration in consumer choice. *Food Quality and Preference*, 39, 46–55.
- Vardin, H., & Yasar, M. (2012). Optimisation of pomegranate (*Punica Granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 167e176.
- Vega, A.J.D., Ruiz-Espinosa, H., Luna-Guevara, J.J., Luna-Guevara M.L., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., & Ochoa Velasco, C.E. (2017). Effect of solvents and extraction methods on total anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant capacity of *Renealmia alpinia* (Rottb.) Maas peel. *Czech Journal of Food Sciences*, 1-10
- Versic, R. J. (1988). In G. A. Reineccius, & S. J. Risch, Flavour encapsulation—An overview. Flavour encapsulation (pp. 1–6). Washington DC: American Chemical Society, 1–6.
- Virga-Gim do Brasil, (n.d). Ingredientes. Disponible en <http://www.virga.com.br/ingredientes>, Revisado 20 Octubre 2017.
- Vissotto, F. Z., Jorge, L. C., Makita, G. T., Rodrigues, M. I., & Menegalli, F. C. (2010) Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 97, 283–291
- Wagner, L. A., & Warthesen, J. J. (1995). Stability of Spray-Dried Encapsulated. *Journal of Food Science*, 60(5), 1048–1053.
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(2), 304–309

- Wang, Y., Lu, Z.X., Lv, F.X., Bie, X.M., (2009). Study on microencapsulation of curcumin pigments by spray drying. *European Food Research and Technology*, 229, 391– 396.
- Wang, Y.-J., & Wang, L. (2000). Structures and Properties of Commercial Maltodextrins from Corn, Potato, and Rice Starches. *Starch - Stärke*, 52(8–9), 296–304.
- Whistler, R. L., & Daniel, J. L. Functions of polysaccharides in foods, in: A.L. Branen, P.M. Davidson, S. Salminen (Eds.), *Food Additives*, Marcel Dekker, New York, 1990, pp. 395–424.
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Oszmiański, J., & Golis, T. (2017). Phytochemical compounds and biological effects of Actinidia fruits. *Journal of Functional Foods*. 30, 194–202.
- Wu, C., Kong, Q., Xu, W., Cheng, L.L., (2005a). Preparation of microencapsulation quercetin and its antioxidative properties in oils. *The Food Industry*, 26, 27–29.
- Wu, R., Zhao, X., Dong, W., (2005b). The development of edible rose jam. *Food Research and Development* 26, 125–127.
- Yáñez, J., Salazar, J. ., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M., & Ramos, E. G. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance Y Perspectiva*, 21(1), 313–319.
- Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomás-Barberán, F. A., Datta, N., Singanusong, R., et al. (2004). Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 113–122.
- Yoon, K.Y., Woodams, E.E., & Hang, Y.D. (2006). Relationship of acid phosphatase activity and Brix/acid ratio in apples. *LWT - Food Science and Technology*, 39(2), 316–320.
- Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X. D., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., ... Linko, P. (2001). Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2(1), 55–61.
- Yoshioka, N., Ichihashi, K. (2008) Determination of 40 synthetic food colors in drinks and dyes by high-performance liquid chromatography using a short column with photodiode array detection. *Talanta*, 74: 1408–1413.
- Young, S. L., Sarda, X., & Rosenberg, M. (1993). Microencapsulation properties of whey proteins. 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science*, 76, 2868–2877.

- Young, S., X. Sarda & M. Rosenberg. (1992). Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. *Journal Dairy Science* 76(10), 2878- 2885.
- Zaidel, D. N. A., Sahat, N. S., Jusoh, Y. M. M., & Muhamad, I. I. (2014). Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 82–89.
- Zepka L.Q, Borsarelli CD, da Silva M.A.A.P., Mercadante A.Z. (2009). Thermal degradation kinetics of carotenoids in a cashew apple juice model and its impact on the system colour. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57(17), 7841-7845
- Zhang, Y., & Zhong, Q. (2013). Encapsulation of bixin in sodium caseinate to deliver the colorant in transparent dispersions. *Food Hydrocolloids*, 33, 1–9.
- Zhou, Y., Zhao, X., & Huang, H. (2015). Effects of Pulsed Electric Fields on Anthocyanin Extraction Yield of Blueberry Processing By-Products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1898–1904.
- Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulation for use in food products or process and methods to make them. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, 3–30.

9. Anexos

9.1 Anexo 1 Actividad antioxidante

Para la preparación de DPPH se pesaron 0.004 g y se aforo en un matraz de 100 mL con etanol absoluto, leyendo la absorbancia del reactivo a 517 nm para obtener un valor en la absorbancia muy cercano a 1. El reactivo se mantuvo en refrigeración y en oscuridad.

Para la preparación del reactivo de Trolox a 200 ppm, usando etanol al 95% como diluyente, se pesaron 0.0002 g del reactivo y se aforo en un matraz aforado de 10 mL. Se realizaron diferentes diluciones con etanol y Trolox siguiendo las cantidades enlistadas en la Tabla 25, para obtener diferentes concentraciones.

Tabla 25 Concentraciones para la preparación de estándares de Trolox

Trolox [μ L]	Etanol [μ L]	Volumen total [μ L]	Concentración ppm
0	1000	1000	0
10	990	1000	2
20	980	1000	4
30	970	1000	6
40	960	1000	8
50	950	1000	10
60	940	1000	12

Para realizar la curva de concentración contra % de inhibición se tomaron 1 mL de cada concentración de Trolox con 1 mL de DPPH, se mantuvo media hora en oscuridad y se leyó la absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro. Graficando la concentración (ppm) contra el % de inhibición (Figura 32) usando la siguiente fórmula para el cálculo.

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{Abs - Abs_I}{Abs} \quad \text{Ec (19)}$$

Abs=Absorbancia del blanco

Abs_I=Absorbancia de la muestra

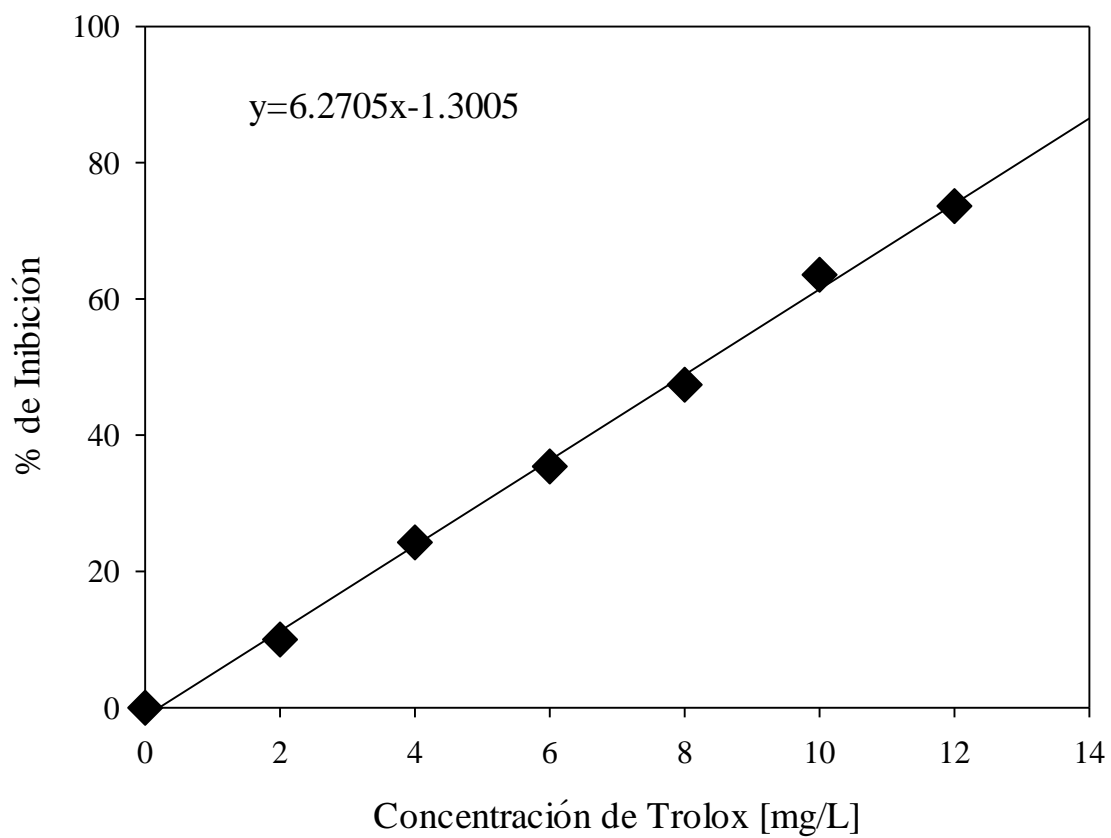


Figura 32. Curva de concentraciones para capacidad antioxidante % de Inhibición contra concentración de Trolox

Anexo 9.2 Antocianinas totales

Preparación de Buffer de KCl

Se toman 0.1864g de cloruro de potasio en 98mL de agua destilada. Se ajusta el pH a 1.0 con HCl concentrado y se afora a 100 mL.

Preparación de Buffer de acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$)

Se toman 3.2812g de acetato de sodio en 98mL de agua destilada, posteriormente se ajusta el pH a 4.5 con HCl concentrado y se aforar a 100 mL.

Anexo 9.3 Compuestos fenólicos totales

Preparación del reactivo de Folin-Ciocalteu

Para la preparación del reactivo de Folin-Ciocalteu al 0.1M se partió de una solución al 2M para la cual se utilizó agua destilada como diluyente. Utilizando 5 mL y agregando agua en un matraz aforado de 100 mL. El reactivo de Folin-Ciocalteu se preparó en completa oscuridad y se almaceno en refrigeración en un recipiente hermético.

Preparación del carbonato de sodio

Además, se preparó una solución de carbonato de sodio al 0.05% p/v. Esta solución se almaceno en un recipiente totalmente hermético y se mantuvo en refrigeración.

Preparación del ácido gálico

Para la preparación del ácido gálico (SIGMA, China, 97.5-102% (titulación), se preparó a una concentración a 1000 ppm pesando 0.01g aforando en un matraz aforad de 10 mL y se diluyo hasta 100 ppm aforando la solución hasta 100 mL, se mantuvo en oscuridad y en refrigeración hasta su uso.

Tabla 26 *Concentraciones para la preparación de estándares de ácido gálico*

Ácido gálico [μ L]	Etanol [μ L]	Volumen total [μ L]	Concentración ppm
50	950	1000	5
100	900	1000	10
150	850	1000	15
200	800	1000	20
250	750	1000	25
400	600	1000	40

Para la obtención de la curva de ácido gálico contra la absorbancia se utilizaron las diluciones de la Tabla 26 se les agrego 1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu a cada concentración y se dejó reposar por tres minutos, pasado ese tiempo se agregó 1 mL de carbonato sodio y se dejó reposar treinta minutos más, para posteriormente leer los valores de la absorbancia a 765 nm y graficar la concentración de ácido gálico (ppm) contra la absorbancia (Figura 33), restando la absorbancia del blanco a la absorbancia de cada concentración.

Para la preparación del blanco se usó 1 mL de Agua destilada+250 μ L de ácido gálico y 750 μ L de etanol al 90% y 1 mL de carbonato de sodio.

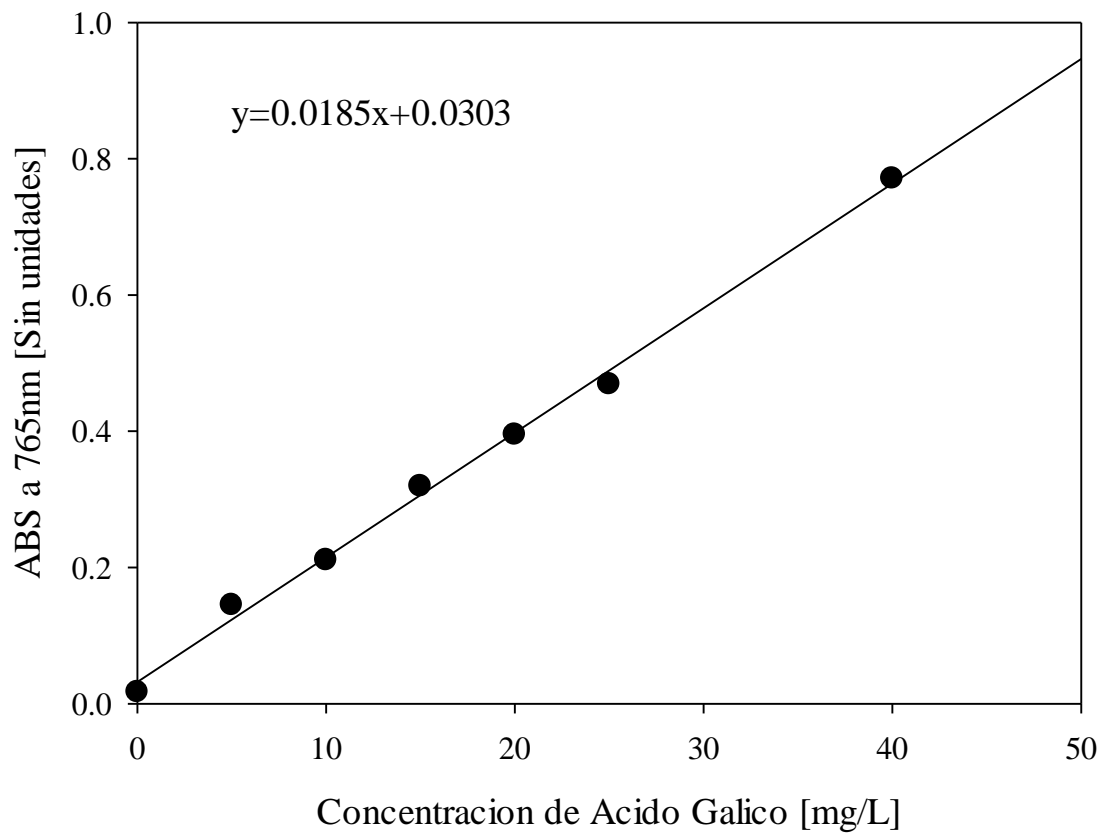


Figura 33. Curva de concentraciones para compuestos fenólicos totales ABS contra concentración de Ácido Gálico

Anexo 9.4 Preparación de los medios de cultivo

Agar de dextrosa y papa: Rehidratar 39 g del medio en un litro de agua destilada. Calentar agitando frecuentemente hasta el punto de ebullición durante 1 minuto para disolverlo por completo. Esterilizar en autoclave a 121°C (15 libras de presión) durante 15 minutos. Enfriar aproximadamente a 45°C y verter en placas.




Rojo bilis Suspende 41,5 g del polvo por litro de agua destilada. Calentando a ebullición 1 o 2 minutos. Enfriar a 45°C y verter en placas.

Cuenta estándar Suspende 23.5 g del medio en un litro de agua purificada. Calentar con a ebullición. Esterilizar en autoclave a 121°C (15 libras de presión) durante 15 minutos. Dejar enfriar a una temperatura entre 45°C y verter en placas.

Anexo 9.5 Formato de evaluación sensorial

Información general							
Producto: _____							
Nombre _____	Edad _____	Género <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino					
Información del cuestionario							
Lea la información antes de llenar el cuestionario	1 Muy desagradable		5 Moderadamente agradable				
	2 Desagradable		6 Agradable				
	3 Moderadamente desagradable		7 Muy agradable				
	4 No me gusta ni me disgusta						
Cuestionario							
Pruebe las muestras e indique su nivel de agrado (marcando con una x la casilla) en la escala que mejor describe su reacción para cada atributo.							
							No _____
Aspecto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Olor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Sabor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Aceptabilidad	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
							No _____
Aspecto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Olor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Sabor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Aceptabilidad	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
							No _____
Aspecto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Olor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Sabor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Aceptabilidad	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
							No _____
Aspecto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Olor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Sabor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Aceptabilidad	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
							No _____
Aspecto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Olor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Sabor	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Aceptabilidad	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Contesta las preguntas marcando la casilla de acuerdo con lo que mejor refleje tu opinión							
		1 Para nada importante			4 Importante		
		2 No me importa			5 Muy importante		
		3 Me resulta indiferente					
¿Qué tan importante es para ti agregar colorantes a los alimentos?							
		1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	
¿Te importa el uso de colorantes naturales?							
		1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	

Anexo 9.6 Resultados adicionales

			
<input checked="" type="checkbox"/> Solicitud de Patente <input type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad		Uso exclusivo Delegaciones y Subdelegaciones de la Secretaría de Economía y Oficinas Regionales del IMPI Sello Folio de entrada Fecha y hora de recepción	
<input type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique cual: <input type="checkbox"/> Modelo Industrial <input type="checkbox"/> Dibujo Industrial		INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL Dirección Divisinal de Patentes OFICINA REGIONAL CENTRO Solicitud: MX/a/2017/013972 Expediente: 31/OCT/2017 Hora: 13:53:56 Folio: MX/E/2017/061457 592455 	
Antes de llenar la forma lee las consideraciones generales al reverso			
I DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S)			
El solicitante es el inventor <input type="checkbox"/>		El solicitante es el causahabiente <input checked="" type="checkbox"/>	
1) Nombre (s): BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA			
2) Nacionalidad (es): MEXICANA			
3) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: 4 SUR 104, COL. CENTRO, C.P. 72000			
Población, Estado y País: PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO			
4) Teléfono (clave): (01 222) 229 55 00 Ext: 3058		5) Fax (clave): (01 222) 229 55 00 Ext: 6058	
II DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR(ES)			
6) Nombre (s): C. MARÍA LORENA LUNA GUEVARA; C. OSCAR JIMÉNEZ GONZÁLEZ; C. JUAN JOSÉ LUNA GUEVARA; C. CARLOS ENRIQUE OCHOA VELASCO			
7) Nacionalidad (es): MEXICANA			
8) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: Facultad de Ingeniería Química FIQ 7-307, Ciudad Universitaria, C.P. 72570; Facultad de Ciencias Químicas E-105, Ciudad Universitaria, C.P. 72570			
Población, Estado y País: PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO			
9) Teléfono (clave):		10) Fax (clave):	
III DATOS DEL (DE LOS) APODERADO (S)			
11) Nombre (s): MTRA. ROSA ISELA AVALOS MÉNDEZ		12) R G P: DDA-J-26065	
13) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: 4 SUR 104, COL. CENTRO, C.P. 72000			
Población, Estado y País: PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO			
14) Teléfono (clave): (01 222) 229 55 00 Ext: 3058		15) Fax (clave): (01 222) 229 55 00 Ext: 5058	
16) Personas Autorizadas para oír y recibir notificaciones: LIC. JAIR VÁZQUEZ TORRES; LIC. GABRIELA SÁNCHEZ ESGUA			
17) Denominación o Título de la invención: ENCAPSULADOS OBTENIDOS DEL PERICARPIO DEL FRUTO RENEALMIA ALPINIA			
18) Fecha de divulgación previa Día Mes Año		19) Clasificación Internacional uso exclusivo del IMPI	
20) Divisional de la solicitud Número		21) Fecha de presentación Día Mes Año	
22) Prioridad Reclamada: País		Fecha de presentación Día Mes Año	
		No. de serie	
Lista de verificación (uso interno)			
No. Hojas		No. Hojas	
<input type="checkbox"/>	Comprobante de pago de la tarifa	<input type="checkbox"/>	Documento de cesión de derechos
<input type="checkbox"/>	Descripción y reivindicación (es) de la invención	<input type="checkbox"/>	Constancia de depósito de material biológico
<input type="checkbox"/>	Dibujo (s) en su caso	<input type="checkbox"/>	Documento (s) comprobatorio(s) de divulgación previa
<input type="checkbox"/>	Resumen de la descripción de la invención	<input type="checkbox"/>	Documento (s) de prioridad
<input type="checkbox"/>	Documento que acredita la personalidad del apoderado	<input type="checkbox"/>	Traducción
		TOTAL DE HOJAS	
Observaciones:			
Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos.			
MTRA. ROSA ISELA AVALOS MÉNDEZ Nombre y firma del solicitante o su apoderado		PUEBLA, PUEBLA 14 DE AGOSTO DE 2017 Lugar y fecha	
Página 1 de 2		IMPI-00-009	

Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión

Microencapsulation of some bioactive compounds through spray drying

A microencapsulação de alguns compostos bioativos por secagem por aspersão

Juan José Luna Guevara

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

juanj.luna@correo.buap.mx

José Mariano López Fuentes

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

lombriculturapepe_buap@yahoo.com.mx

Oscar Jiménez González

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

oscar_j123@hotmail.com

Lorena Luna Guevara

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

lunaguevara@yahoo.com.mx

Resumen

La microencapsulación (ME) permite la incorporación de ingredientes alimentarios en pequeñas cápsulas. Asimismo, favorece la conservación de sabores, aromas y compuestos como acidulantes, antioxidantes y vitaminas, así como algunos alimentos y materiales incluyendo aceites y microorganismos. La ME es una tecnología que puede contribuir al procesamiento de los alimentos al preservar su contenido nutricional, coadyuvar con una liberación controlada en la formulación y facilitar su manipulación. La liberación oportuna de los microencapsulados mejora la eficacia de los aditivos, amplía el campo de aplicación de los ingredientes alimentarios y asegura la dosis óptima, mejorando así la rentabilidad para el fabricante de alimentos. Por tanto, en esta revisión se describen brevemente algunos aspectos relacionados con la ME

Fecha recepción: Diciembre 2015**Fecha aceptación:** Junio 2016

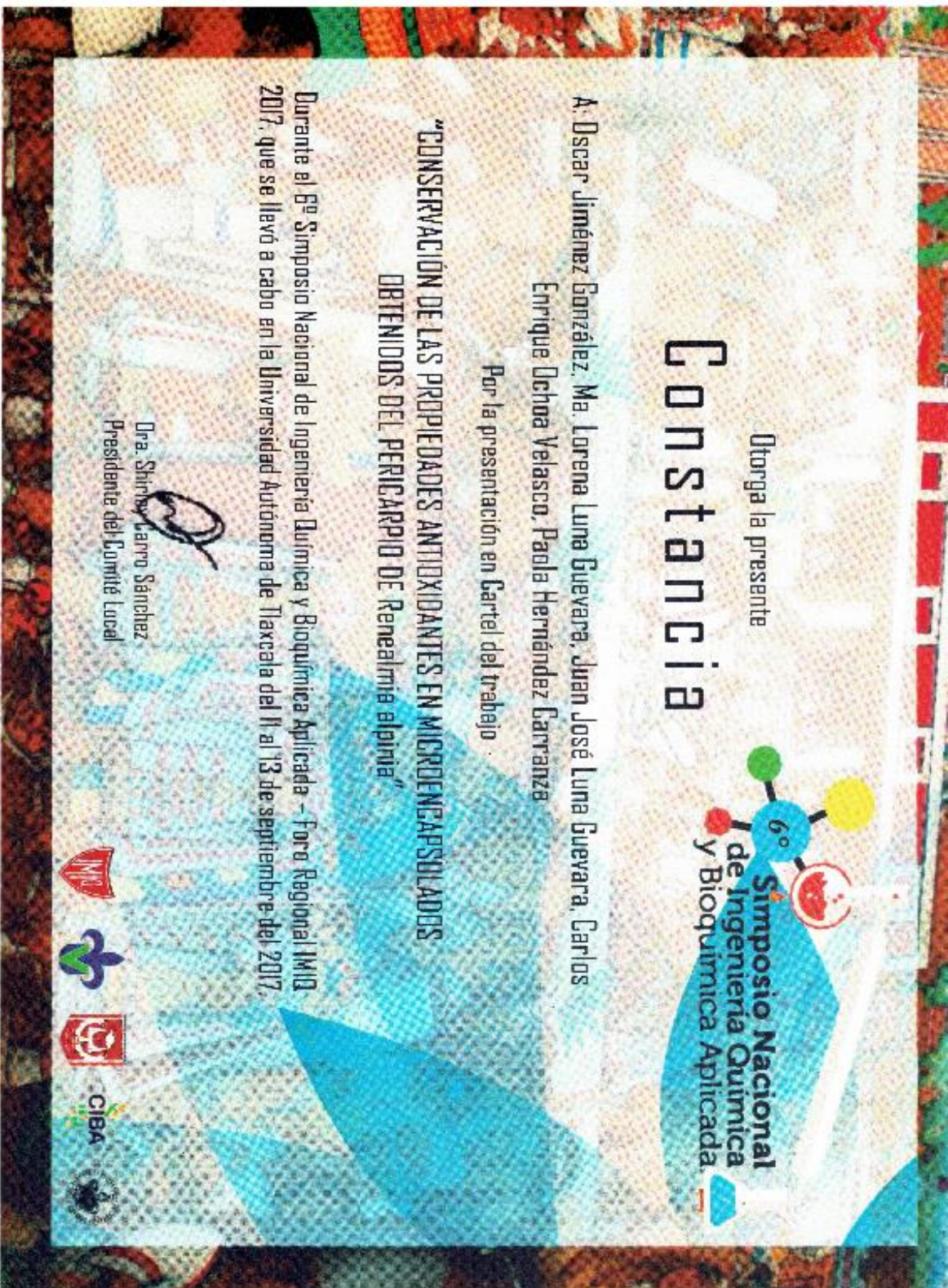
Introducción

La microencapsulación (ME) consiste en el aislamiento de la sustancia activa (en estado líquido, sólido o gaseoso) para obtener productos con una forma esférica y un tamaño micrométrico, en el cual el material activo o core, es protegido por una membrana del medio, facilitando su manejo (Ko et al., 2002) y permitiendo su liberación cuando se requieran cantidades muy pequeñas (Kirby, 1991). En este sentido dichas cápsulas pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas (Chen et al., 2003; Kim et al., 2002; Lee et al., 2003; Ko et al., 2002; Cho et al., 2000; 2003; Parra, 2010; Nesterenko et al., 2013).

La técnica de ME puede ser aplicada para promover la resistencia de los materiales alimenticios empleados a las condiciones de procesamiento y empaquetado, mejorando el sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos, y de esa manera proteger sustancias sensibles al ambiente. Las propiedades de liberación de los microencapsulados pueden depender del contenido de las partículas, el rompimiento, la solubilización, el calentamiento, el pH, o la acción enzimática. Por otro lado, ayudan a enmascarar sabores y olores desagradables de las sustancias (es decir, permiten controlar la liberación del material hasta el estímulo adecuado) (Lee, 2003).

La ME tiene diferentes aplicaciones en la industria alimenticia con la finalidad de mejorar las propiedades y características de los ingredientes alimentarios, un ejemplo es la inmovilización de los ingredientes o la adición de agentes antimicrobianos (Cha et al., 2003; Cha et al., 2002; Choi et al., 2002; Dubey et al., 2009).

Existen varios procesos para producir microencapsulados, entre los que están el secado por aspersión, la aspersión con enfriamiento, el lecho fluidizado, la coacervación/separación de fase, la gelación, la evaporación de solvente, la expansión de fluido supercrítico, la polimerización interfacial (policondensación), la polimerización de la emulsión y la extrusión (Nesterenko et al., 2013). Elegir la técnica de ME para un proceso en particular depende del tamaño, la





CONSERVACIÓN DE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES EN MICROENCAPSULADOS OBTENIDOS DEL PERICARPIO DE *Renalmia alpina*

Oscar Jiménez González^a, Ma. Lorena Luna Guevara^{a*}, J. José Luna Guevara^a, Carlos Enrique Ochoa Velasco^b, Paola Hernández Carranza^b

^a Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México,

^b Facultad de Cs. Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

Resumen

Se estudió la estabilidad antioxidante de extractos del pericarpio de *Renalmia alpina* encapsulados con diferentes recubrimientos, goma arábiga (GA), maltodextrina (MDX) y sacarosa (S). Se evaluó la actividad antioxidante mediante espectrofotometría y el rendimiento (%) inmediatamente después de la obtención de los microencapsulados, mediante secado por aspersión T_m 150°C, realizando la incorporación del agente de recubrimiento en una proporción 1:4 con respecto a los "Bx del extracto. Los rendimientos fueron mayores al 25% con los tratamientos de GA (100%) y GA-MDX (50-50%). La actividad antioxidante se vio favorecida con las interacciones MDX-S y MDX-GA-S con valores de 366.25 ± 23.97 y 343.09 ± 6.45 mg TE/100g, respectivamente; específicamente fue mayor con GA (100%) (375 ± 9.37 mg TE/100g) lo cual puede estar relacionado con un mejor recubrimiento y protección de los compuestos bioactivos.

Introducción

Se ha demostrado la relación entre el consumo de frutas y vegetales con la reducción de enfermedades degenerativas (Ames et al., 1993), por su contenido de antioxidantes naturales, gracias a sus vitaminas, flavonoides, antocianinas y otros compuestos fenólicos (Klimczak et al., 2007). Además, muchos de estos antioxidantes pueden provenir del pericarpio de frutas y así aprovechar su uso, ya que poseen gran cantidad de polifenoles y antocianinas (Tómas-Barberán et al., 2001), y debido a su naturaleza estos pueden ser consumidos y usados en la industria alimenticia, farmacéutica, etc.

El pericarpio de xkijit se caracterizan por ser color morado cuando están maduros (Macía, 2003). Ya que en la comunidad de Cuetzalan, Puebla solo se consume la pulpa y el pericarpio es usado como abono, siendo una fuente importante de antioxidantes, por su alto contenido de antocianinas, las cuales por su inestabilidad pueden ser microencapsuladas para proteger de diversas reacciones o cambios indeseables. Pese a esto, una sola matriz encapsulante no posee todas las características para brindar una buena protección, por lo cual el uso de diferentes agentes encapsulantes en diferentes proporciones ha sido estudiado en la protección de compuestos bioactivos (Santana et al., 2016; Akhavan et al., 2016; Mahdavee et al., 2014; Tonon et al., 2010).

Por lo cual el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la incorporación de diferentes agentes de encapsulación y diferentes proporciones, en la actividad antioxidante de encapsulados de extracto del pericarpio de *Renalmia alpina*.

Tabla 1. Proporción de los agentes encapsulantes basado en el diseño de mezclas

Formula	MDX ^a /Bx	GA ^b /Bx	S ^c /Bx
1	0 / 2.5	100 / 10	0 / 10
2	16.7 / 3.75	16.7 / 5	66.7 / 10
3	50 / 6.25	50 / 10	0 / 10
4	16.7 / 3.75	66.7 / 8.76	16.7 / 10
5	33.3 / 5	33.3 / 7.5	33.3 / 10
6	0 / 2.5	50 / 6.25	50 / 10
7	66.7 / 7.5	16.7 / 8.76	16.7 / 10
8	0 / 2.5	0 / 2.5	100 / 10
9	100 / 10	0 / 10	0 / 10
10	50 / 6.25	0 / 6.25	50 / 10

^aPorcentaje de agente encapsulante y su aporte en "Bx"

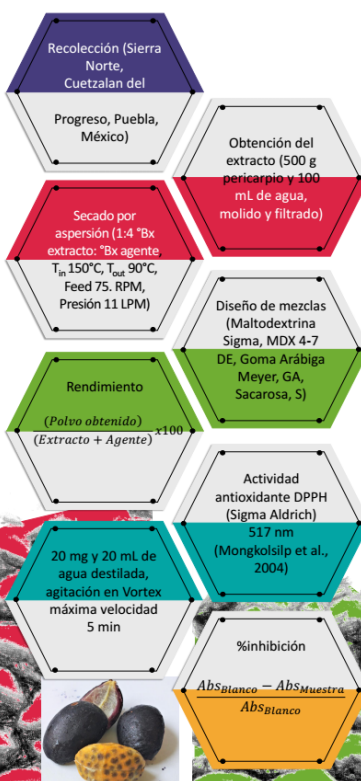
Conclusión

Se logró la protección de la actividad antioxidante de los extractos de xkijit con los tres tipos de recubrimientos, siendo la goma arábiga la que mejores resultados presentó, ya que la fuente de donde provienen estos antioxidantes es natural, estos pueden ser utilizados en la industria alimenticia, además, por su relación con las antocianinas tienen capacidad de servir como pigmentos en diferentes alimentos.

Bibliografía

- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehmad, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, (2016), 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>
- Ames, B. N., Shigenaga, M. K., & Hagen, T. M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17), (1993), 7915–7922. <https://doi.org/10.1073/pnas.90.17.7915>
- Ersus, S., & Yurdagel, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 80(3), (2007), 805–812. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.009>
- Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., & Gliszczynska-Swiglo, A. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), (2007), 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.012>
- Macía, M. J. *Renalmia alpina* (rothb.) maas (Zingiberaceae): Planta comestible de la Sierra Norte de Puebla (México). *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 60(1), (2003), 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.02.012>
- Mahdavee Khazraei, K., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati Kakhki, A. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105(1), (2014), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.carpol.2014.01.042>
- Mongkolkeha, S., Pongsupakitt, I., Sae-Lee, N., & Sithithaworn, W. Radical scavenging activity and total phenolic content of medicinal plants used in primary health care. *SWU J. Pharm. Sci.*, 9(1), (2004), 32–35.
- Otalora, M. C., Carrizo, J. G., Iruirriaga, L., Nazareno, M. A., & Osorio, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 187, (2015), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.090>
- Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), (1997), 152–159. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
- Santana, A. A., Cano-Higuera, D. M., De Oliveira, R. A., & Teles, V. R. N. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, 212, (2016), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.148>
- Souza, V. B. De, Fujita, A., Thomazini, M., Da Silva, E. R., Lacoa, J. F., Genovese, M. I., & Favaro-Trindade, C. S. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. *Food Chemistry*, 164, (2014), 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.049>
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), (2001), 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Tonon, R. V., Brahet, C., & Hubinger, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), (2010), 907–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>

Materiales y métodos

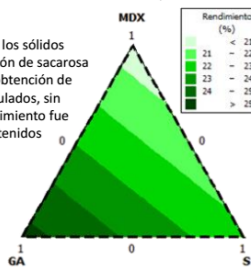


Discusión y resultados

Rendimiento

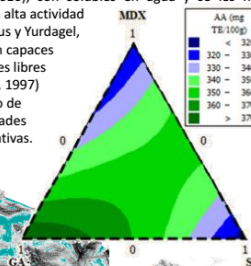
El rendimiento se ve afectado por los agentes encapsulantes (Otalora et al., 2015), así como Sin embargo, el uso de diferentes agentes de recubrimiento, así como las condiciones de proceso aumentarán o disminuirán el rendimiento. En este estudio el efecto del agente encapsulante modificó el rendimiento, donde el uso de GA en la mezcla de alimentación lo incremento, a diferencia de MDX (Figura 2).

El incremento de los sólidos mediante la adición de sacarosa no influye en la obtención de los micro encapsulados, sin embargo, el rendimiento fue superior a los obtenidos con MDX 100%.



Actividad antioxidante

Las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides (Tonon et al., 2010), son solubles en agua y se les ha asociado con una alta actividad antioxidante (Ersus y Yurdagel, 2007), ya que son capaces de inhibir radicales libres (Rice-Evans et al., 1997) y reducir el riesgo de ciertas enfermedades crónico-degenerativas.



De acuerdo con el diseño de experimentos se determinó la actividad antioxidante de cada muestra, presentando la actividad antioxidante más baja en MDX y S al 100%, no obstante Souza et al., (2014) tuvieron comportamientos similares, ya que realizaron la microencapsulación de pigmentos provenientes de uva Bordo (*Vitis labrusca*) con diferentes proporciones de maltodextrina.

Por otro lado, el efecto de la GA en la actividad antioxidante fue mayor, ya que se encontraron valores más altos con el uso de esta, como se observa en la figura 3, entre más se acercaba a GA 100% mayor era el valor de la actividad antioxidante en los microencapsulados, esto puede estar relacionado con el rendimiento ya que GA pudo haber generado un mejor recubrimiento, lo cual dio mayor protección a los antioxidantes.

**CONSERVACIÓN DE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES EN
MICROENCAPSULADOS OBTENIDOS DEL PERICARPIO DE
Renalmia alpinia
ANTIOXIDANT PROPERTIES CONSERVATION ON
MICROENCAPSULATED OBTAIN FROM *Renalmia alpinia* PERICARP**

Oscar Jiménez González ^a, Ma. Lorena Luna Guevara ^{a*}, Juan José Luna Guevara ^a, Carlos Enrique Ochoa Velasco ^b,
Paola Hernández Carranza ^b

^a Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México,

^b Facultad de Cs. Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México

autor de correspondencia: maria.luna@correo.buap.mx

Recibido el 22 de abril del 2017. Aceptado el 28 de julio del 2017.

Resumen

En este trabajo, se analizaron el rendimiento (%) y actividad antioxidante de extractos del pericarpio de *Renalmia alpinia* encapsulados obtenidos por secado por aspersión (T entrada 150°C, velocidad de alimentación 7.5 RPM y presión 11 LPM) con diferentes recubrimientos: goma arábiga (GA), maltodextrina (MDX) y sacarosa (S) incorporados en una proporción 1:4 (10 °Bx). Los rendimientos fueron mayores al 25% con los tratamientos de GA (100%) y GA-MDX (50-50%). La actividad antioxidante fue mayor con GA (100%) (375 ±9.37 mg TE/100g) y con las interacciones MDX-S y MDX-GA-S con valores de 366.25 ± 23.97 y 343.09 ±6.45 mg TE/100g, respectivamente. Los resultados demostraron que las propiedades antioxidantes de los encapsulados estuvieron relacionadas con el tipo de recubrimiento, además proveer información útil para incrementar la estabilidad de los compuestos bioactivos contenidos en el pericarpio de *Renalmia alpinia*.

Palabras clave: *Palabras clave:* *Renalmia alpinia*, microencapsulación, antioxidantes, secado por aspersión.

Abstract

The aim of this work, was the study of the yield and antioxidant activity of pericarp extract from *Renalmia alpina* obtain by spray drying (T inlet 150°C, feed velocity 7.5 RPM, pressure 11LPM) with different coating agents: Arabic gum (AG), maltodextrin (MDX) and sucrose (S). The yields were greater than 25% with treatments of AG (100%) and AG-MDX (50-50%). Also, the antioxidant activity was increased with AG (100%) (375 ± 9.37 mg TE / 100g) and with the MDX-S and MDX-AG-S interactions with values of 366.25 ± 23.97 and 343.09 ± 6.45 mg TE / 100g, respectively. The results showed that the antioxidant properties of encapsulated had a relationship with the wall material, additionally this provide a useful information to increase the stability of the bioactive compounds contained in the *Renalmia alpina* pericarp.

Keywords: *Renalmia alpinia*, microencapsulation, antioxidant activity, spray drying.

1. Introducción

Diversos estudios han demostrado que existe una relación entre el consumo de frutas y vegetales con la reducción del riesgo de padecer algunas enfermedades degenerativas, como cáncer, enfermedades cardiovasculares (Ames et al., 1993), lo anterior debido a que estos son fuente importante de antioxidantes naturales incluyendo vitaminas, flavonoides, antocianinas y otros compuestos fenólicos (Klimczak et al., 2007).

Actualmente varios antioxidantes de origen natural pueden ser usados en la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia (Moo-Huchin et al., 2014), ya que pueden incluso sustituir a los antioxidantes sintéticos (Moure et al., 2001). Se han realizado diversos estudios sobre la

extracción de antioxidantes de diversas frutas para su posible uso en alimentos, en el estudio realizado por Lavelli et al., (2016) adicionaron compuestos fenólicos de uva para la fortificación de puré de manzana; Pasrija et al., (2015) utilizaron polifenoles de té verde para la fortificación de pan; Kaimainen et al., (2015) evaluaron la estabilidad de betalainas adicionadas en jugos; Çam et al., (2014) reportaron el enriquecimiento de helado con fenoles de cáscara de granada; Ezhilarasi et al., (2013) incorporaron extractos microencapsulados de *Garcinia cowa* en harina para elaborar pan. Además, se ha tratado de aprovechar el uso de cáscara de frutas, ya que estas tienen una gran cantidad de polifenoles y antocianinas (Tómas-Barberan et al., 2001), mismas que normalmente son desechadas.

XIX Congreso Internacional Inocuidad de Alimentos

XXXIV Reunión Nacional de Microbiología, Higiene y Toxicología de los Alimentos
2, 3 y 4 de noviembre 2017, Nuevo Vallarta, Nayarit, México.

La Universidad de Guadalajara otorga la presente

CONSTANCIA

A: Jiménez González, O., Luna Guevara, M.L., Luna Guevara, J.J., Ochoa Velasco C., Calderón Fernández, M.L. Contreras Cortes, L E U.

por su participación como:

Autores del trabajo libre presentado en modalidad cartel
“Potencial antioxidante de encapsulados obtenidos con extractos del pericarpio del
fruto xkijit (*Renalmiaalpinia*)”


Dra. Ma. Religio Torres Vitela
Coordinadora General del Evento


Dra. Ruth Padilla Muñoz
Rectora del Centro Universitario de
Ciencias Exactas e Ingenierías


Dr. Oscar Blanco Alonso
Director de la División de Ciencias Básicas del Centro
Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías





POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE ENCAPSULADOS OBTENIDOS CON EXTRACTOS DEL PERICARPIO DEL

XIX Congreso Internacional
Inocuidad de Alimentos

FRUTO XKIJIT (*Renealmia alpinia*)

Jiménez González, O., Luna Guevara, M.L, Luna Guevara, J.J., Ochoa Velasco C., Calderón Fernández, M.L. Contreras Cortes, L.E.U.

Introducción

El xkijit fruto procedente de la Sierra Norte del Estado de Puebla cuyo pericarpio posee una alta capacidad antioxidante asociada a las antocianinas, sin embargo se considera un residuo, ya que el consumo es únicamente de la pulpa.

Por otro lado, la inestabilidad de las antocianinas a diversos factores ambientales (pH, oxígeno, luz, temperatura) las hacen propensas a su degradación, la cual puede prevenirse con la microencapsulación, ya que ayuda a proteger compuestos bioactivos por la formación de una pared que actúa como barrera entre este y el medio al que se exponga.

Las antocianinas pueden ser utilizadas como un aditivo alimentario, ya que puede brindar color y a su vez impartir propiedades antioxidantes, además de sustituir el uso de colorantes artificiales perjudiciales a la salud (Kobylewski & Jacobson, 2010).

Objetivo

Evaluar el efecto de diferentes agentes encapsulantes en la microencapsulación de extractos del pericarpio del fruto xkijit sobre los parámetros de color L*, a*, b*, capacidad antioxidante y contenido de antocianinas.

Metodología

Selección y acondicionamiento



Recolección manual
Libres de daño físico y microbiológico
Lavado y pelado
Almacenamiento a 4°C

Extracción de pigmentos



Maceración en etanol, mediante lavados consecutivos (100g con 500mL etanol 95% v/v, concentración en rotavapor a 55°C)

Preparación de las mezclas



MDX maltodextrina y GA goma arábiga como agentes de recubrimiento en proporción 1:4 con respecto a Bx del extracto, homogenizando a T ambiente

Secado por aspersión

Temperatura de entrada y salida de 150±2°C y 98±2°C respectivamente, velocidad de alimentación de 6.5 RPM y presión de aire de 11±1 LPM



Bibliografía

Fang, Z., and B. Bhandari. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chem.* 129(3), 1139-1147.
Giusti, M. and R. Wrolstad. 2005. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Curr. Protoc. Food Analyt. Chem.* 19(4).
Jiménez-Aguilar, D. M., A. E. Ortega-Regules, J. D. Lozada-Ramírez, M. C. I. Pérez-Pérez, E. J. Verano-Carter, and J. Welbi-Chaves. 2011. Color and chemical stability of spray-dried bayberry extract using mesquite gum

as well material. *J. Food Comp. and Anal.* 24(6), 889-894.
Kobylewski, S., and M. F. Jacobson. 2010. Food Dyes: A Rainbow of Risks. *Drugs Sci. (Med.)* 37:350-360.
Mongkolkeha, S., I. Pongthapak, N. Saetee, and W. Sathasavarn. 2004. Radical scavenging activity and total phenolic content of medicinal plants used in primary health care. *SUV. J. Pharm. Sci.*, 3(1), 32-35.
Tonon, R. V., C. Braslet, and M.D. Hubinger. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acer (*Fraxinus chinensis* Mill.) juice produced with different carrier agents. *Food Res. Int.* 43(3), 907-914.

Evaluación de los microencapsulados

Rendimiento (Fang & Bhandari, 2012).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Polvo obtenido (g)}}{\text{Extracto de xkijit (g)} + \text{agente (g)}} \times 100$$

Color (L*, a*, b* Hunter Lab, Color Flex 45/0 Spectrophotometer).
Antocianinas totales (Giusti & Wrolstad, 2005).
Capacidad antioxidante método DPPH (Mongkolkeha et al., 2004).



Resultados y discusión

El rendimiento (%) no presentó diferencias significativas.

	MDX	GA
Rendimiento (%)	18.59±0.30 ^a	19.47±0.78 ^a
Parámetros de Color		
L*	22.97±0.90 ^b	25.30±1.66 ^a
a*	21.85±0.91 ^a	18.24±0.90 ^b
b*	-7.06±0.61 ^a	-7.48±0.53 ^a
Croma	22.97±0.82 ^a	19.72±0.74 ^b
°Hue	347.06±1.82 ^a	342.66±2.13 ^b

± DS (n=3), subíndices diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (p<0.05).

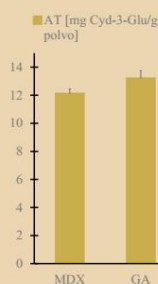


Fig. 2 Antocianinas totales de los polvos con diferentes recubrimientos



Fig. 1 Apariencia general del fruto xkijit (*Renealmia alpinia*)

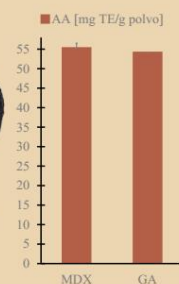


Fig. 3 Capacidad antioxidante de los polvos con diferentes recubrimientos

El contenido de antocianinas (Fig. 2) en las esferas, fue mayor para GA posiblemente brindando una mejor protección en comparación con MDX (Contenido de antocianinas).

Los parámetros de color (Tabla 1), b* fue similar con ambos recubrimientos, mientras que los valores de L* mostraron diferencia significativa (p<0.05) GA son polvos más brillantes, mientras que parámetro a* presentó resultados más altos con MDX lo cual está asociado a microencapsulados más rojos (Jiménez-Aguilar et al., 2011). MDX tiene mayor saturación del color lo cual se correlaciona con los valores de a*. Los valores de °Hue en los microencapsulados con MDX y GA fueron cercanos a 360°(Rojo)

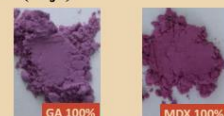


Fig. 4 Polvos con diferentes recubrimientos

Ciertas antocianinas al encontrarse como monómero o dímeros contribuyen a la capacidad antioxidante (Fig. 3), la cual en este caso fue evaluada con el radical libre DPPH no presentó diferencia significativa en los polvos comportamiento similar al obtenido por Tonon et al., (2010) quienes utilizaron los mismos agentes para recubrir antocianinas del açaí.

Conclusión

Los resultados de este estudio indican que el uso de MDX o GA como agentes de recubrimiento en el secado por aspersión de extractos del pericarpio de xkijit, generan microencapsulados con alto potencial antioxidante y contenido significativo de antocianinas. De acuerdo con lo anterior los polvos obtenidos pueden ser adicionados en una gran diversidad de productos alimenticios, sirviendo como pigmentos o colorantes naturales.

Información de Contacto

Para más información por favor contactar

Oscar Jiménez González
oscar_j123@hotmail.com
044 (222) 3238654

Dra. Ma. Lorena Luna Guevara
Profesora Investigadora
Fac. de Ingeniería Química
maria.luna@correo.buap.mx

Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur SN, Cd. Universitaria, San Manuel, Puebla, Pue.

