



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE QUÍMICA



PROGRAMA DE POSGRADO EN ALIMENTOS DEL CENTRO DE LA  
REPÚBLICA (PROPAC)

**“EFECTO DEL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN  
SOBRE LA CALIDAD FUNCIONAL DE POLVOS PARA  
PREPARAR BEBIDAS DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa*)”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:  
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Presenta:

**IBQ. GERSAÍN ASCENCIO URBANO**

Expediente: 264136

DIRIGIDO POR

**DRA. ROSALÍA REYNOSO CAMACHO**

CENTRO UNIVERSITARIO, SANTIAGO DE QUERÉTARO, OCTUBRE, 2018.



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

**"EFECTO DEL PROCESO DE SECADO POR  
ASPERCIÓN SOBRE LA CALIDAD FUNCIONAL DE  
POLVOS PARA PREPARAR BEBIDAS DE JAMAICA  
(Hibiscus sabdariffa)"**

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencia y Tecnología de alimentos.

**Presenta:**  
IBQ. Gersaín Ascencio Urbano

**Dirigido por:**  
Dra. Rosalía Reynoso Camacho

Dra. Rosalía Reynoso Camacho  
Presidente

Firma

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano  
Secretario

Firma

Dr. Luis Miquel Salgado Rodríguez  
Vocal

Firma

Dr. Gerardo Nava Morales  
Suplente

Firma

Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez  
Suplente

Firma

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano  
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre, 2018.

## RESUMEN

Algunos compuestos bioactivos como los polifenoles tienen un poder antioxidante que se correlaciona con beneficios a la salud. Sin embargo, los polifenoles una vez adicionados a los productos alimenticios pueden oxidarse y perder su funcionalidad. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue elaborar polvos para preparar bebidas a base de extractos de Jamaica en combinación con té verde y Garcinia mediante el secado por aspersión conservando los componentes fitoquímicos y sus propiedades funcionales. La primera etapa consistió en obtener las mejores condiciones de procesamiento, para lo cual se usó un diseño central compuesto con 15 tratamientos para el que las variables dependientes fueron la temperatura de secado (130, 155 y 180 °C), el flujo de alimentación (3, 3.5 y 4 mL/min) y los sólidos solubles de la mezcla alimentada (10, 15 y 20 Brix). Se determinaron las variables como el porcentaje de rendimiento del secado, tiempo de reconstitución y antocianinas monoméricas. Una vez logradas las condiciones idóneas de secado (155 °C, 3.5 mL/min y 15 Brix) se procedió a la elaboración de los productos usando la variedad criolla y Sudán, adicionando té verde, Garcinia y otros aditivos para elaborar bebidas. El rendimiento fue similar en promedio en 59.95 %, la eficiencia de encapsulamiento fue del 95 % para todas las muestras; el menor tiempo de reconstitución fue de 43 segundos. Los parámetros de color CIELAB mostraron que durante el secado la variedad criolla mostró menor pérdida de color comparado con la de Sudán y la incorporación de té verde a criolla, generó una tonalidad más roja. Los productos que presentaron una mayor cantidad de fenoles totales correspondieron a las mezclas antes del secado y productos terminados de sudan con té verde y criolla con té verde con 870 y 815 mg EAG/100 g respectivamente disminuyendo estos durante el secado en un 8.64 % y 9.75 %. En el caso de flavonoides las mayores concentraciones fueron de las mezclas con Garcinia, Sudan y criolla; 91.10 y 89.54 mg eq de catequina/100 g con decremento por el secado de 2.15 y 11.3 % respectivamente. La variedad Sudán tuvo la mayor cantidad de antocianinas monoméricas respecto a los de la variedad criolla, en promedio con una concentración de 136.17 y 44.79 mg eq de cianidina-3-sambubiosido/100 g. En el caso de las capacidades antioxidantes por ABTS y DPPH los más altos calores correspondieron a las mezclas de té verde con sudan y criolla previas al secado con 110.48 y 86 µmol eq de trolox/g, con una disminución del secado de 6.34 y 2.16 % respectivamente. El secado por aspersión mostró ser un proceso idóneo de encapsulamiento de fitoquímicos de extractos de Jamaica, así como de bioactivos de té verde y Garcinia, con buenas propiedades fisicoquímicas y capacidad antioxidante.

**Palabras clave:** Secado por aspersión, hibiscus sabdariffa, fitoquímicos, capacidad antioxidante.

## ABSTRACT

Some bioactive compounds such as polyphenols have an antioxidant capacity that correlates with benefits in health. However, polyphenols added to food products can oxidize and lose their functionality. Therefore, the objective of this work was to prepare powders to prepare beverages based on extracts of Jamaica in combination with green tea and garcinia by spray drying, conserving the phytochemical components and their functional properties. The first stage consisted of obtaining the best processing conditions, for which a Central Composed Design of 15 treatments was used, for which the dependent variables were the drying temperature (130, 155 and 180 °C), the feeding flow (3, 3.5 and 4 mL/min) and the soluble solids of the mixture (10, 15 and 20 Brix). Yield, reconstitution time and monomeric anthocyanins were the variables determined. Once identified the conditions of drying (155 °C, 3.5 mL/ min and 15 Brix), the beverages were elaborated using the Criolla and Sudan varieties, adding green tea, garcinia and other additives. Yield was similar 59.95% for all treatments, the encapsulation efficiency was 95% for all the samples; the shortest reconstitution time was 43 seconds. The CIELAB color parameters showed that during drying the Criolla variety showed less loss of color compared to the Sudan and the incorporation of green tea to Criolla, generated a redder hue. The products that presented a higher concentration of total phenolic compounds corresponded to the mixtures before the drying and finished products with green tea and criolla with green tea with values of 870 and 815 mg EAG/100 g respectively, decreasing these during the drying at 8.64% and 9.75%. For flavonoids, the highest concentrations were the mixtures with garcinia, Sudan and criolla; 91.10 and 89.54 mg eq of catechin/100 g respectively, these decrease by drying 2.15 and 11.3% respectively. The Sudan variety had the highest amount of monomeric anthocyanins compared to those of the Criolla variety, with concentration of 136.17 and 44.79 mg eq of cyanidin-3-sambubioside/100 g. antioxidant capacities by ABTS and DPPH, the highest values corresponded to the mixtures of green tea with sudan and Criolla before to drying with 110.48 and 86 µmol eq of trolox/g, decreasing during drying 6.34 and 2.16% respectively. The spray drying is an ideal process of encapsulation of phytochemicals from extracts of Jamaica, as well as bioactives of green tea and garcinia, with good physicochemical properties and antioxidant capacity.

**Key words:** Spray dry, hibiscus sabdariffa, phytochemicals, powders to prepare beverages.

## **DEDICATORIAS**

A mi familia, sin la cual no hubiese podido lograr esta meta...porque todo se lo debo a ellos.

A mi madre, que incondicionalmente ha confiado en nosotros, nos ha alentado en cada momento difícil de la vida y nos ha enseñado a no darnos por vencidos.

A mi padre, quien con sus enseñanzas nos permitió adquirir el impulso para buscar y luchar por nuestros sueños.

A mis hermanos a quienes amo sin medida, que sin ellos no tendría la mejor de las satisfacciones... el tenerlos como hermanos y disfrutar de su compañía.

A mis sobrinos, quienes me han enseñado a valorar la vida pasando momentos muy gratos y divertidos; siempre los extraño.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme vivir y disfrutar de esta etapa de crecimiento y aprendizaje al lado de mis compañeros, amigos y familiares.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mi posgrado en esta gran universidad.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y al Programa de Posgrado en Alimentos del centro de la República, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Al Programa de Seguimiento del Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER) por haber apoyado oportunamente este proyecto.

A la doctora Rosalía Reynoso Camacho, por dejar formar parte de su equipo de trabajo y dirigir este proyecto. Gracias por su confianza, su apoyo y sus enseñanzas.

A los doctores Iza Fernanda Pérez Ramírez, Silvia Lorena Amaya Llano, Luis Miguel Salgado Rodríguez, Gerardo Nava Morales por la atención, sugerencias, comentarios y aportaciones a este proyecto cuando fue necesario.

A las doctoras Anaberta Cardador; Estela V. B. quienes me permitieron avanzar en mi proyecto otorgándome su valiosa ayuda.

Al personal administrativo, en especial a Carmelita por su buena disposición y apoyo invaluable durante toda la estancia en el posgrado.

A mis compañeros de generación con los cuales aprendimos en esta parte de la vida y con los cuales aprendí mucho.

A mis compañeros del laboratorio de Bioquímica Molecular: A mi compañera de generación Gloria, gracias por permitirme compartir todas las vivencias durante este tiempo. A Elí, gracias por ser la mejor guía, por todo el apoyo y la ayuda que desinteresadamente me ofreciste. A Yuri, gracias por ser puente con nuevos amigos y por ofrecerme tu cálida amistad. A Alex, gracias por tu amistad y la ayuda que me otorgaste cuando los momentos críticos se sucedían. A Julio, por ser un gran amigo

y del cual se aprende mucho. A Ale, gracias por ser una gran amiga. A Luci, gracias por tu sincera amistad. Nacho, gracias por ser un gran nuevo amigo

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DEDICATORIAS .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	xiii
INDICE DE CUADROS .....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Bebidas no alcohólicas .....	3
2.2. Consumo de bebidas no alcohólicas en México .....	3
2.3. Tipos de bebidas .....	4
2.4. Tendencias de consumo en el mercado actual .....	5
2.5. Algunas bebidas en polvo del mercado .....	6
2.6. <i>Garcinia cambogia</i> .....	6
2.6.1. Constituyentes bioactivos .....	7
2.6.2. <i>Garcinia cambogia</i> y algunos efectos biológicos .....	8
2.7. Té verde ( <i>Camellia sinensis</i> ) .....	10
2.7.1. Constituyentes bioactivos .....	11
2.7.2. Té verde y algunos efectos biológicos.....	11
2.8. Jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> ).....	13
2.8.1. Variedades de Jamaica .....	13
2.8.2. Constituyentes bioactivos .....	15

2.8.3. Jamaica y algunos efectos biológicos .....	16
2.9. Conservación de propiedades funcionales de los fitoquímicos de jamaica.....	18
2.10. Tipos de microencapsulamiento de compuestos funcionales.....	19
2.11. Ventajas y desventajas de los métodos de secado .....	20
2.12. Secado por aspersión .....	23
2.12.1. Etapas del secado por aspersión.....	24
a) Atomización de la solución alimentada.....	24
b) Contacto de la pulverización con el aire caliente.....	25
c) Evaporación de la humedad .....	25
d) Recuperación del producto.....	26
2.12.2. Materiales encapsulantes .....	27
2.12.3. Factores determinantes en el proceso de secado por aspersión....	29
2.12.4. Estabilidad de los compuestos bioactivos de jamaica aplicando secado por aspersión .....	29
2.10.5. Precedentes de bebidas elaboradas mediante el secado por aspersión a base de extractos naturales .....	30
3. JUSTIFICACIÓN .....	31
4. HIPÓTESIS .....	33
5. OBJETIVOS .....	34
5.1. General.....	34
5.2. Específicos .....	34
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
6.1. Localización.....	35
6.2. Materiales .....	35

6.2.1. Maltodextrina y goma arábiga .....	35
6.3. Elaboración de extractos .....	35
6.4. Preparación de las mezclas para el proceso de secado por aspersión	36
6.5. Determinaciones de las muestras obtenidas del diseño central compuesto para obtener las mejores condiciones de proceso.....	38
6.5.1. Rendimiento.....	38
6.5.2. Tiempo de reconstitución.....	39
6.5.3. Antocianinas monoméricas.....	39
6.6. Formulaciones de polvos a base de jamaica para preparar bebidas con potencial para disminuir el peso corporal .....	40
6.7. Determinaciones realizadas a los productos una vez establecidas las condiciones de proceso de secado .....	40
6.7.1. Determinaciones proximales y fisicoquímicas .....	41
6.7.1.1. Rendimiento.....	41
6.7.1.2. Tiempo de reconstitución.....	41
6.7.1.3. Humedad y sólidos totales.....	42
6.7.1.4. Densidad aparente .....	42
6.7.1.5. Índice de solubilidad .....	42
6.7.1.6. pH.....	43
6.7.1.7. Acidez titulable.....	43
6.7.1.8. Actividad acuosa.....	43
6.7.2. Determinaciones colorimétricas.....	44
6.7.2.1. Determinación de los parámetros de color (CIE L*a*b*) .....	44
6.7.3. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante .....	44
6.7.3.1. Fenoles totales .....	44
6.7.3.2. Flavonoides totales.....	45

6.7.3.3. Antocianinas monoméricas.....	45
6.7.3.4. Eficiencia de encapsulamiento .....	45
6.7.3.5. Índice de pardeamiento e índice de color polimérico.....	46
6.7.3.6. Capacidad antioxidante por las técnicas de ABTS y DPPH .....	47
6.8. Análisis estadístico .....	48
7. Resultados y discusión .....	49
7.1. Determinación de las condiciones de secado por aspersión de los extractos de Jamaica .....	50
7.1.1. Análisis de la variable respuesta: Rendimiento .....	50
7.1.2. Análisis de la variable respuesta: Tiempo de reconstitución .....	55
7.1.3. Análisis de la variable respuesta: Antocianinas .....	59
7.2. Formulaciones de las mezclas finales para los 6 productos objetivo...	63
7.3. Determinaciones proximales y fisicoquímicas .....	64
7.3.1. Humedad y sólidos totales.....	64
7.3.2. Rendimiento y propiedades fisicoquímicas de los productos del secado.....	65
7.3.3. pH, acidez titulable y actividad acuosa .....	67
7.4. Determinaciones colorimétricas.....	69
7.4.1. Parámetros de color (CIEL *a*b*) y variación de color .....	69
7.5. Determinaciones funcionales y fitoquímicas .....	72
7.5.1. Fenoles totales .....	72
7.5.2. Flavonoides totales.....	73
7.5.3. Antocianinas monoméricas.....	74
7.5.4. Eficiencia de encapsulamiento .....	75
7.5.5. Índice de color polimérico e índice de pardeamiento.....	76
7.5.6. Capacidad antioxidante mediante DPPH.....	78

7.5.7. Capacidad antioxidante mediante ABTS .....	80
8. CONCLUSIONES.....	82
9. BIBLIOGRAFIA.....	84

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Hojas y fruto de <i>Garcinia cambogia</i> .....	7
<b>Figura 2.</b> Hojas y extracto de té verde .....	10
<b>Figura 3.</b> Peso corporal de los sujetos en experimentación .....	13
<b>Figura 4.</b> Variedades de Jamaica reportadas por Christian y Jackson.....	14
<b>Figura 5.</b> Efecto de los extractos acuosos y metanólicos de los cálices criolla y alma blanca sobre el peso corporal en un modelo animal con una dieta alta en grasa y fructosa.....	16
<b>Figura 6.</b> Etapas del secado por aspersión .....	24
<b>Figura 7.</b> Diagrama de un ciclón separador típico. ....	26
<b>Figura 8.</b> Estructura de la goma arábiga .....	27
<b>Figura 9.</b> Estructura de la maltodextrina.....	28
<b>Figura 10.</b> Equipo de secado por aspersión .....	38
<b>Figura 11.</b> Interacciones para la variable respuesta rendimiento .....	53
<b>Figura 12.</b> Perfilador de deseabilidad para el rendimiento .....	54
<b>Figura 13.</b> Superficies de respuesta para rendimiento .....	55
<b>Figura 14.</b> Interacciones de los parámetros evaluados en el tiempo de reconstitución .....	57
<b>Figura 15.</b> Perfilador de deseabilidad para la variable tiempo de reconstitución ..	58
<b>Figura 16.</b> Superficie de respuesta para tiempo de reconstitución.....	59
<b>Figura 17.</b> Interacciones de los parámetros evaluados para antocianinas .....	61
<b>Figura 18.</b> Perfilador de deseabilidad para la variable antocianinas.....	62
<b>Figura 19.</b> Superficie de respuesta para la variable antocianinas .....	63
<b>Figura 20.</b> Productos finales elaborados mediante el secado por aspersión.....	64

<b>Figura 21.</b> Fenoles totales de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión.....	72
<b>Figura 22.</b> Flavonoides totales de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión .....	74
<b>Figura 23.</b> Antocianinas monoméricas de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión .....	75
<b>Figura 24.</b> Capacidad antioxidante mediante DPPH de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión .....	79
<b>Figura 25.</b> Capacidad antioxidante mediante ABTS de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión .....	81

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Variaciones en peso corporal en ratas alimentadas con dietas experimentales .....	9
<b>Cuadro 2.</b> Bioquímica de plasma de ratas alimentadas con dietas experimentales	9
<b>Cuadro 3.</b> Niveles basales de los grupos de estudio .....	12
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros de los sujetos durante el tiempo de experimentación.....	12
<b>Cuadro 5.</b> Características agronómicas de cinco variedades de Jamaica .....	15
<b>Cuadro 6.</b> Fenoles totales de cálices deshidratados de variedades de Jamaica..	15
<b>Cuadro 7.</b> Resultados de las medias de los individuos en estudio con extractos de jamaica en polvo .....	17
<b>Cuadro 8.</b> Tipos de microencapsulamiento. ....	19
<b>Cuadro 9.</b> Formulación base para evaluar el diseño central compuesto .....	36
<b>Cuadro 10.</b> Diseño central compuesto (DCC) .....	37
<b>Cuadro 11.</b> Formulación base de las mezclas finales para el secado por aspersión .....	40
<b>Cuadro 12.</b> Listado de determinaciones realizadas a las mezclas, productos en polvo y reconstituidos después de establecer las condiciones de mezclado .....	41
<b>Cuadro 13.</b> Diseño central compuesto con los datos obtenidos en las tres variables respuesta .....	50
<b>Cuadro 14.</b> Análisis de varianza de la variable rendimiento .....	50
<b>Cuadro 15.</b> Análisis de efecto de los parámetros para la variable rendimiento ....	51
<b>Cuadro 16.</b> Análisis de varianza para la variable tiempo de reconstitución.....	55
<b>Cuadro 17.</b> Análisis de efecto de los parámetros de la variable tiempo de reconstitución .....	56
<b>Cuadro 18.</b> Análisis de varianza de la variable antocianinas.....	60
<b>Cuadro 19.</b> Análisis de efecto de los parámetros de la variable antocianinas.....	60

<b>Cuadro 20.</b> Formulación base de las mezclas finales para el secado por aspersión .....	64
<b>Cuadro 21.</b> Humedad y sólidos totales de los productos del secado .....	65
<b>Cuadro 22.</b> Rendimiento y propiedades fisicoquímicas de los productos del secado por aspersión .....	68
<b>Cuadro 23.</b> pH, acidez titulable y actividad acuosa de los productos reconstituidos del secado por aspersión .....	68
<b>Cuadro 24.</b> Determinación de color de las mezclas previas al secado y de los productos del secado por aspersión.....	70
<b>Cuadro 25.</b> Cambio de color como consecuencia del proceso de secado por aspersión.....	71
<b>Cuadro 26.</b> Eficiencia de encapsulamiento en los productos del secado por aspersión.....	76
<b>Cuadro 27.</b> Índice de color polimérico e índice de padeamiento de los productos del secado por aspersión .....	78

## 1. INTRODUCCION

A nivel mundial, las tendencias en bebidas van dirigidas a productos que ofrezcan formatos adaptables a los requerimientos de los consumidores; dado que los consumidores de hoy en día buscan maneras convenientes de adoptar un estilo de vida saludable que sea flexible y equilibrado a menudo desean que haya más variedad en sus bebidas de consumo diario y que éstas permitan llevarlas consigo sin que implique una carga excesiva en los equipajes diarios que se llevan al trabajo, al gimnasio, escuela, etc. Los consumidores quieren hacer algo más que satisfacer su sed, a la vez que desean aprovechar el tiempo al máximo del día a día; requieren productos que además de un buen sabor tengan compuestos bioactivos que ofrezcan alguna propiedad funcional como lo hacen algunos extractos vegetales ricos en compuestos bioactivos, entre los que se encuentran los cálices de Jamaica. Diversos estudios han demostrado que los compuestos polifenólicos de la Jamaica, del té verde y la Garcinia presentan propiedades antioxidantes, vasodilatadoras, antitrombóticas, antiinflamatorias, antiapoptóticas, antilipidémicas, antiobesogénicas y antiaterogénicas (Guardiola y Mach, 2014). Sin embargo, el efecto de variables ambientales tales como el pH, la luz, iones metálicos, oxígeno y actividades enzimáticas tienen un efecto sobre la estabilidad de sus compuestos bioactivos, como en las antocianinas, por ejemplo. El consenso general es que las antocianinas son degradadas por estas variables durante procesamientos prolongados y durante el almacenamiento de los productos alimenticios en los cuales se les aplica (Mahdavi, *et al.*, 2014; Patras *et al.*, 2010).

Durante el proceso de elaboración de productos en polvo mediante el secado por aspersión, tales como leches en polvo, sustitutos de crema y algunos otros alimentos se utilizan rangos de temperatura entre 100 a 190 °C, lo cual podría causar daños a los componentes de los alimentos que se están llevando a dicho proceso, esto siempre y cuando no se manejen adecuadamente variables como material encapsulante, flujo de alimentación, temperatura de secado, etc. Por lo tanto, el secado por aspersión puede ser una alternativa para su conservación, para minimizar las pérdidas de estos compuestos (Fang *et al.*, 2012; Fu *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, en esta propuesta se buscó desarrollar polvos para preparar bebidas instantáneas obtenidas mediante el secado por aspersión en los que se utilizaron dos variedades de Jamaica con diferentes contenidos fitoquímicos.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Bebidas no alcohólicas**

Las bebidas no alcohólicas están disponibles en casi cualquier parte del mundo. Desde los polos hasta los trópicos y desde las naciones más desarrolladas hasta las naciones que menos lo son; están disponibles en botellas, latas, paquetes de papel laminado, bolsas y casi cualquier otra forma de envasado conocida (Varnam y Sutherland, 1994). A pesar de que no hay una definición exacta de bebidas no alcohólicas Ashurst (2016) las define como bebidas a base de agua edulcorada, usualmente con una acides balanceada, azúcar, con saborizantes y colorantes sintéticos, conteniendo o no una cantidad de jugo de fruta y otros ingredientes. Hay dos tipos básicos de bebidas no alcohólicas: aquellas denominadas listas para tomar que son las que dominan los mercados mundiales y los productos denominados concentrados o diluyibles que incluyen los polvos para preparar bebidas, cuyo mercado es mucho menor. Estas bebidas han sido parte de nuestra cultura, se consumen principalmente para refrescarse y por con sumidores de casi todas las edades. Se encuentran adecuadamente en las tiendas de conveniencia y están disponibles todo el año; los consumidores eligen estas bebidas de acuerdo a como mejor se adapten a su estilo de vida, necesidades nutricionales o simplemente por su gusto (Mohan y Ramalakshmi, 2011).

### **2.2. Consumo de bebidas no alcohólicas en México**

Las bebidas tienen un peso importante dentro del gasto que los hogares efectúan en alimentos y bebidas no alcohólicas. De acuerdo con los datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) del 2016, los hogares del país gastaron en promedio 112,572 pesos para adquirir diversos bienes y servicios; siendo un 35.2 % de dicho gasto el destinado a alimentos y bebidas no alcohólicas. Destacando las bebidas carbonatadas (refrescos) con más de la mitad del gasto y los polvos para preparar bebidas con sólo un 3% del gasto (Rivera *et al.*, 2017). Sin embargo, se espera que el impuesto implementado a los refrescos produzca una diferencia significativa en dicho gasto y se produzca un crecimiento de los productos

bajos en calorías, entre los que se encuentran los polvos para preparar bebidas y que los consumidores opten por hábitos alimenticios más sanos (Ablin, 2013; Colchero *et al.*, 2017; GPBP, 2013).

### **2.3. Tipos de bebidas.**

**Agua:** De acuerdo al Codex alimentarius (2015) comprende las aguas naturales y otras aguas embotelladas, cada una de las cuales pueden ser sin gas o con gas.

**Bebidas lácteas:** La norma NOM-183-SCFI-2012 define a estas como un producto elaborado a partir de ingredientes propios de la leche, tales como caseína, grasa, suero de leche, agua para uso y consumo humano, con un mínimo de 22 g/L de proteína de leche y, de esta, el 80% de caseína, puede contener grasas de origen vegetal.

**Bebidas alcohólicas:** La norma NOM-199-SCFI-2017 las clasifica de tres formas: 1) Bebida alcohólica destilada: indicando que es el producto obtenido por destilación de mostos fermentados que se hayan elaborado a partir de materias primas en las que la totalidad o una parte de sus azúcares fermentables, hayan sufrido como principal fermentación la alcohólica. Su contenido alcohólico debe ser de 32 % Alc. Vol. 2) Bebida alcohólica fermentada: es el producto de la fermentación principalmente de la fermentación alcohólica de materias primas. Su contenido alcohólico debe ser de 2% a 20% Alc. Vol. y 3) Bebida alcohólica preparada: es el producto elaborado a base de bebidas alcohólicas destiladas, fermentadas, licores o mezclas de ellos y agua, aromatizados y saborizadas con procedimientos específicos y que pueden adicionarse de otros ingredientes, aditivos y coadyuvantes.

**Bebidas energéticas:** Son bebidas sin alcohol con cafeína e hidratos de carbono, aminoácidos, vitaminas, minerales y colorantes. Se las puede ubicar como un alimento funcional, ya que han sido diseñadas para proporcionar un beneficio específico, el de brindar al consumidor una bebida que le ofrezca vitalidad cuando, debe actuar ante esfuerzos extras, físicos o mentales (Melgarejo, 2004)

**Bebidas carbonatadas (Refrescos):** De acuerdo al Codex alimentarius (2015) comprenden todas las bebidas aromatizadas a base de agua con adición de anhídrido carbónico y con edulcorantes nutritivos, no nutritivos y otros aditivos permitidos. Incluye la gaseosa y bebidas con gas como “colas”, bebidas refrescantes a base de raíces y ciertos tipos de especias, lima – limón y otros tipos de cítricos, tanto los de tipo dietéticos o ligero como normal.

**Bebidas en polvo:** La norma NOM - 218 – SSA1- 2011 define a estas como el producto con o sin azúcares, con o sin edulcorantes calóricos y no calóricos, adicionados o no de jugo, leche y aditivos para alimentos.

#### **2.4. Tendencias de consumo en el mercado actual**

Los consumidores de hoy en día buscan maneras convenientes de adoptar un estilo de vida saludable que sea flexible y equilibrado; a menudo desean que haya más variedad en sus bebidas de consumo diario y que éstas permitan llevarlas consigo sin que implique una carga excesiva en los equipajes diarios que se llevan al trabajo, al deporte, la escuela, etc. Los consumidores quieren hacer algo más que satisfacer su sed a la vez que desean aprovechar el tiempo al máximo el día a día sin que la preparación de estas les lleve mucho tiempo. Para muchos, esto también significa echar un vistazo a la cantidad de azúcar que su bebida contiene, ya que el exceso de azúcar plantea riesgos de salud para el cuerpo humano que no deben ser subestimados; además de que el producto que estén consumiendo debe ser económicamente accesible (Mintel, 2017; WHO, 2018; PAHO, 2017). En relación a esto, la tendencia más significativa en el desarrollo de bebidas no alcohólicas en los últimos años ha sido el uso de edulcorantes sin calorías, existiendo por ello productos con leyendas del tipo “bajo en calorías”, “diet” o “light”. Otra área de desarrollo, y quizás la más obvia, es la búsqueda constante de nuevos sabores e ingredientes inusuales, existiendo un gran interés en el uso de diversos extractos botánicos como guaraná, ginseng, té verde, sábila, etc. La tercer área importante para el desarrollo es la de bebidas que contienen ingredientes con un efecto fisiológico especial en el organismo como antioxidantes, vitaminas u otros compuestos funcionales. Así también, es probable que los desarrollos de

presentaciones ofrezcan algunas nuevas e interesantes oportunidades en el futuro y que las bebidas presenten nuevas e innovadoras presentaciones (Ablin, 2013; Ashurst, 2016).

### **2.5. Algunas bebidas en polvo del mercado.**

En el mercado se comercializan polvos para preparar bebidas saborizadas, elaborados con ingredientes naturales o artificiales que al disolverse con agua proporcionan características sensoriales (sabor, color, olor y cuerpo a la bebida). Estas características sensoriales dependen del dulzor de los edulcorantes añadidos, de la acidez que le confieren los ácidos presentes, de los saborizantes, así como de otros factores (PROFECO, 2011). Algunas de las presentaciones de mayor acceso en el mercado son Tang, Zuko, Cligh, Kool-Aid, Frescogari en sus presentaciones sabor Jamaica, por mencionar algunos. Sin embargo, de acuerdo a un análisis realizado por la Procuraduría Federal del Consumidor en el 2011, algunas marcas del mercado muestran que las bebidas no declaran los verdaderos constituyentes de sus formulaciones en su etiqueta. En el caso de Kool Aid se determinó que sus productos están elaborados con saborizantes y colorantes artificiales. Para la marca Tang se indicó que el producto declara que los productos están hechos con fruta natural en su totalidad y sólo contienen aproximadamente el 1% se extracto natural. Finalmente, en la marca Frescogari se determinó que el contenido de vitamina C era menor al que se declara.

### **2.6. *Garcinia cambogia***

También conocido como tamarindo malabar. Es un árbol de hoja perenne originario del sudeste asiático y, en particular, del sur de la India e Indonesia. La parte del fruto que se utiliza como fitoterapéutico son la cáscara y el pericarpio del fruto maduro secos. Este árbol crece hasta 15 metros de altura en condiciones favorables de humedad o calor. Tiene hojas de color verde oscuro, produce flores de color naranja rojizo, frutos aproximadamente del tamaño de una pequeña calabaza amarillenta o rojiza (3 – 4 cm de ancho y 4 – 6 cm de largo) con muchas semillas; siendo demasiado ácido para comerlo fresco (Figura 1) (Geetha *et al.*, 2011).



**Figura 1.-** Hojas y fruto de *Garcinia cambogia*. (Geetha *et al.*, 2011)

Este es un cultivo semi-domesticado, tropical y subexplotado. El género *Garcinia* se distribuye en los trópicos del viejo mundo, principalmente India, sudeste de Asia, África occidental y central, donde los climas húmedos y calurosos son favorables (Shameer *et al.*, 2016).

### **2.6.1. Constituyentes bioactivos**

De acuerdo con Patil y Appaiah, (2015) existen entre 50 y 300 variedades emparentadas las cuales son una fuente rica de metabolitos secundarios entre los que se incluyen xantonas, flavonoides, benzofenonas (Garcinol y guttiferona K), lactonas, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos como fitoquímicos mayoritarios. Siendo el ácido hidroxicítrico el principal ácido orgánico de algunas variedades de *Garcinia*.

El extracto de la *Garcinia cambogia* se ha usado tradicionalmente en la India para tratar trastornos de la piel (erupciones de alergias, quemaduras), aliviar quemaduras solares, aliviar la disentería, tumores, diarrea, supresor del apetito, antifúngico, cardioprotector, antiulcerogénico y antihelmíntico (Geetha *et al.*, 2011). Siendo una de las plantas medicinales útiles en el tratamiento de la obesidad debido a su acción directa al estimular el metabolismo o modulando el apetito (Shameer *et al.*, 2016; Villar del Fresno, 2005).

## **2.6.2. *Garcinia cambogia* y algunos efectos biológicos**

En relación a esto Guillén-Enríquez *et al.*, (2018) evaluaron el efecto de extracto en polvo de *Garcinia cambogia* en un modelo *In vivo* el cual estuvo conformado de siete grupos de ratas Wistar macho (5 en cada grupo). Dichos grupos estuvieron conformados de la siguiente manera: tres grupos a los cuales no se les dio tratamiento alguno fueron alimentados con una dieta alta en grasa (HF) con 20.7 g de aceite de soya por 100 g de peso, 9 g de azúcar por 100 g de peso y 35 g de almidón de maíz por 100 g de peso; dieta alta en azúcar (HS) con 15 g de aceite de soya por 100 g de peso, 51.9 g de azúcar por 100 g de peso y 4.9 g de almidón de maíz por 100 g de peso y dieta alta en grasa y azúcar (HFS) con 20.7 g de aceite de soya por 100 g de peso, 30.4 g de azúcar por 100 g de peso y 13.8 g de almidón de maíz por 100 g de peso. Además, tres grupos restantes alimentados con las mismas dietas anteriormente enunciadas, a las cuales se les suplementó extracto de HF+ (dieta HF con 5.9 g de extracto por 100 g de peso), HS+ (dieta HS con 5.9 g de extracto por 100 g de peso) y HFS+ (dieta HS con 5.9 g de extracto por 100 g de peso) incluyéndose un grupo control alimentado con una dieta estándar. A estos animales se les indujo obesidad durante 5 semanas, después de este tiempo se procedió a dar el tratamiento con *Garcinia* durante 11 semanas; continuamente se estuvo monitoreando el peso corporal y una vez transcurrido el tiempo de experimentación se sacrificaron y se determinaron los parámetros bioquímicos tales como glucosa, colesterol total, HDL – C y triglicéridos en sangre.

El cuadro 1 indica la variación del peso corporal durante el transcurso del tiempo en el que se estuvo dando tratamiento a los animales, en el cual es posible observar que la mayor variación de peso en los animales suplementados con el extracto de *Garcinia* fue para el correspondiente a la dieta alta en grasa (HF+) con un valor absoluto de  $47.0 \pm 23.6$  gramos, siendo menor para la dieta alta en azúcar (HS+) con un valor absoluto de  $16.3 \pm 21.3$ ; no registrándose reducción de peso corporal en el tratamiento de combinado con grasa y azúcar (HFS+) por el contrario, se registró un aumento de peso corporal de un  $1.2 \pm 30.5$  gramos.

**Cuadro 1.- Variaciones en peso corporal en ratas alimentadas con dietas experimentales.**

Dieta	Peso corporal (g)		
	Inicial	Final	Δ Cambio
Control	374.6 ± 22.3 <sup>b</sup>	544.8 ± 23.6 <sup>ab</sup>	81.2 ± 21.6 <sup>a</sup>
HF	425.6 ± 13.7 <sup>a</sup>	480.4 ± 30.8 <sup>a</sup>	54.8 ± 18.3 <sup>bc</sup>
HS	433.4 ± 33.4 <sup>a</sup>	483.4 ± 45.5 <sup>a</sup>	49.9 ± 27.6 <sup>b</sup>
HFS	421.7 ± 32.1 <sup>a</sup>	473.1 ± 35.9 <sup>a</sup>	51.4 ± 10.3 <sup>bc</sup>
HF+	423.3 ± 37.6 <sup>a</sup>	376.3 ± 45.6 <sup>c</sup>	-47 ± 23.6 <sup>d</sup>
HS+	432.9 ± 30.2 <sup>a</sup>	416.6 ± 30.2 <sup>bc</sup>	-16.3 ± 21.3 <sup>c</sup>
HFS+	413.3 ± 18.7 <sup>ab</sup>	414.5 ± 22.9 <sup>bc</sup>	1.2 ± 30.5 <sup>c</sup>

Medias ± DS. Letras diferentes en cada columna indican diferencia estadística ( $p<0.05$ ).

En el cuadro 2 se observa que la dieta que mostró resultados parecidos con el grupo control correspondió al de la dieta alta en grasa suplementada con Garcinia (HF+) con  $103.3 \pm 4.9$  mg/dL; para el colesterol total, siendo aún menor al grupo control correspondió al grupo de dieta combinada con alta grasa y azúcar (HFS+) con  $115.3 \pm 5.9$  mg/dL a pesar de que no hay diferencia significativa en ninguno de los grupos experimentales; en el caso del HDL – C el grupo de dieta experimental que menor contenido manifestó fue la dieta combinada con grasa y azúcar suplementada con Garcinia con un contenido de  $115.3 \pm 1.8$  mg/dL. Finalmente, para triglicéridos se observa que el menor contenido correspondió a la dieta combinada de grasa y azúcar con un contenido de  $137 \pm 1.4$  mg/dL siendo aproximadamente la mitad del contenido del grupo control.

**Cuadro 2.- Bioquímica de plasma de ratas alimentadas con dietas experimentales.**

	Glucosa	Colesterol total	HDL - C	Triglicéridos
Control	103.4 ± 8.4	126.6 ± 18.7	43 ± 7.3	248.4 ± 65.5
HF	121.1 ± 16.6	116.6 ± 15.8	33.6 ± 6.7	144.7 ± 12.2
HS	118.7 ± 6.1	128.8 ± 12	35.8 ± 5	208.1 ± 39.7
HFS	116.7 ± 20	115.2 ± 7.1	34.2 ± 6	151.5 ± 17.8
HF+	103.3 ± 4.9	117.3 ± 10.4	28.6 ± 3.1	142 ± 10.6
HS+	122.9 ± 18.1	121.6 ± 13.1	32.9 ± 4.3	142 ± 10.6
HFS+	108.3 ± 8.1	115.3 ± 5.9	27.1 ± 1.8	137 ± 7.8

Medias ± DS. Letras diferentes en cada columna indican diferencia estadística ( $p<0.05$ )

## **2.7. Té verde (*Camelia sinensis*)**

El té verde se origina de las hojas de la planta denominada *Camellia sinensis*, se produce por el secado de las hojas verdes de dicha planta. Es una planta que procede del sur de China y sudeste de Asia, aunque hoy se cultiva alrededor del mundo, tanto en regiones tropicales como subtropicales. Es un arbusto que posee una fuerte raíz principal: sus hojas y brotes son los que se utilizan para elaborar el té. En los campos de té se podan los arbustos para que sobrepasen los dos metros de altura, lo que es necesario para la cosecha manual de sus hojas. Estas son de color verde oscuro y de bordes aserrados, miden de 4 – 15 cm de longitud y de 2 – 5 cm de ancho (Figura 2) (INECOL, 2018). En general, los tipos de té se organizan de acuerdo al grado de fermentación: el té verde que no es fermentado; té oolong que está semifermentado y té negro totalmente fermentado. El té verde se produce de las dos o tres primeras hojas de la rama y el brote, los cuales tienen el sabor y el aroma característicos del té; para los otros casos son hojas maduras (Pastoriza *et al.*, 2017).



**Figura 2.- Hojas y extracto de té verde (Kapoor, *et al.*, 2013).**

Las hojas contienen alrededor de un 4% de cafeína. La diferente composición química de las hojas recolectadas según la edad y las distintas maneras de procesarlas para obtener diferentes grados de oxidación permite elaborar el té verde, negro, blanco, rojo, amarillo y oolong (Powell *et al.*, 2015).

### **2.7.1. Constituyentes bioactivos**

La composición química de las hojas de té suele ser compleja y como muchos otros extractos crudos de productos naturales, el té verde suele tener muchas sustancias. En general, los ingredientes principales encontrados en este son polifenoles, proteínas, lignina, aminoácidos, cafeína, ácidos orgánicos y clorofila (Kapoor et al., 2013). Entre los polifenoles se encuentra una mezcla de compuestos entre los que se incluyen flavanoles, flavandoles, flavonoides y ácidos fenólicos, principalmente quercetina, kaempferol, miricetina y sus glucósidos. Los flavanoles son el fragmento más abundante de los polifenoles y se conocen comúnmente como catequinas. Dentro de las más conocidas en el té verde están (-) – epicatequina (EC), (-)-epicatequina-3-galato (ECG), (-)-epigalocatequina (EGC) y la epigalocatequin galato (EGCG) (INECOL, 2018).

Se ha propuesto que los polifenoles del té verde funciones benéficas sobre el organismo entre las que se encuentran hipoglucemiantes, prevención de la diabetes, la prevención de desórdenes neurodegenerativos como la enfermedad de Alzheimer, retardan el envejecimiento celular, regula los niveles de colesterol, previenen las enfermedades del corazón, previenen algunos tipos de cáncer, ayudan en la prevención de la diabetes mellitus tipo 2 (Powell et al., 2015).

### **2.7.2. Té verde y algunos efectos biológicos**

En relación a esto Auvichayapat *et al.*, (2008) evaluaron el efecto de extractos de té verde sobre un grupo de 60 personas obesas tailandesas (donde el índice de masa corporal para obesidad va de 25 – 39.9 kg/m<sup>2</sup>); este grupo se dividió en otros dos grupos uno de 30 personas a las cuales se les dio tratamiento de 250 mg de té verde en polvo durante 12 semanas durante el desayuno, la comida y la cena; y otro de 30 personas al cual se les dio un placebo de celulosa durante el mismo tiempo. A los sujetos de estudio mantuvieron sus rutinas cotidianas durante el estudio, se les determinó el peso, el índice de masa corporal, el porcentaje de grasa, la medida de la cintura y caderas al inicio, a la 4<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup> y 12<sup>a</sup> semanas. Los niveles basales de cada grupo se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.- Niveles basales de los grupos de estudio**

Parámetro	Grupo placebo	Grupo de té verde
Edad	48.95 ± 4.96	48.53 ± 5.50
Hombres	9	9
Mujeres	21	21
Estatura (m)	1.59 ± 0.08	1.61 ± 0.12
Peso (kg)	71.90 ± 11.70	69.30 ± 9.54
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	28 ± 3.51	27.42 ± 3.26
Cintura (cm)	92.23 ± 13.18	88.06 ± 8.7
Cadera (cm)	106.20 ± 11.98	102.40 ± 6.30

Medias ± desviación estándar

Una vez concluido el tiempo de experimentación se obtuvieron los resultados en el cuadro 4, donde se observa que a partir de la cuarta semana el grupo al cual se le proporcionó té verde tuvo una disminución en el peso, en el índice de masa corporal, el porcentaje de grasa corporal y diámetro de cintura con respecto a los niveles basales no ocurriendo significativamente para el grupo placebo.

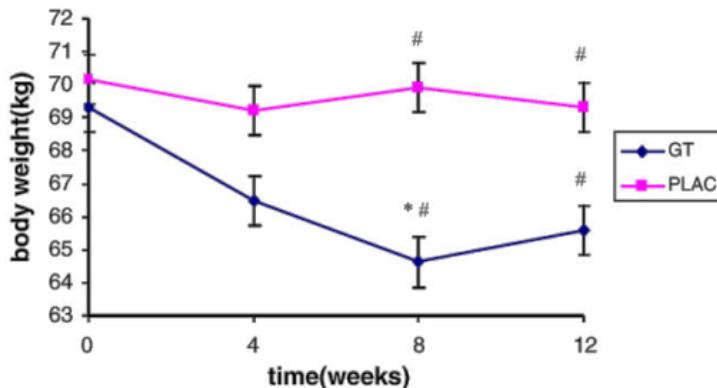
**Cuadro 4.- Parámetros de los sujetos durante el tiempo de experimentación**

	Niveles basales		Semana 4	
	Té verde	Placebo	Té verde	Placebo
Peso (kg)	69.30 ± 9.54	71.9 ± 11.70	67.56 ± 9.14	70.26 ± 12.79
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	27.42 ± 3.26	28 ± 3.51	25.94 ± 2.37	27.14 ± 3.78
Grasa corporal (%)	39.47 ± 1.67	39.69 ± 1.79	36.57 ± 1.44	36.91 ± 1.95
Cintura (cm)	88.06 ± 8.70	92.23 ± 13.18	86.70 ± 7.57	89.06 ± 11.23
Cadera (cm)	102.40 ± 6.30	106.20 ± 11.98	100.23 ± 4.98	102.33 ± 7.86
Semana 8			Semana 12	
Peso (kg)	64.86 ± 11.04**	69.97 ± 8.45	66.60 ± 8.88*	69.9 ± 2.08
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.39 ± 1.70**	27.01 ± 2.82	24.45 ± 4.50	26.12 ± 4.77
Grasa corporal (%)	32.25 ± 3.13**	36.67 ± 1.30	35.67 ± 1.80	36.92 ± 3.9
Cintura (cm)	81.46 ± 7.70	86.43 ± 8.57	84.20 ± 11.31	88 ± 10.17
Cadera (cm)	99.73 ± 6.18	100.8 ± 6.70	100.40 ± 5.59	101 ± 2.82

Medias ± desviación estándar.\* Valor medio significativamente diferente a los valores basales (p<0.05). \*\* Valor medio significativamente diferente a los valores basales (p<0.001).

En la figura 3 se observa el comportamiento del parámetro peso corporal en ambos grupos (té verde y placebo), donde el grupo suplementado con té verde se mantiene

por debajo de los niveles basales, siendo significativamente diferente en la semana ocho (indicado por \*); en el caso de los niveles mostrados por el grupo placebo, los niveles del peso corporal bajan en la 4<sup>a</sup> semana vuelven al nivel original en la 8<sup>a</sup> semana y nuevamente descienden en la 12<sup>a</sup> semana. Se puede observar que las medias de los valores del peso corporal en la 8<sup>a</sup> y 12<sup>a</sup> semana son significativamente diferentes entre ellos, lo cual está indicado por un #.



**Figura 3.-** Peso corporal de los sujetos en experimentación. Grupo con té verde (GT) y el grupo con placebo (PLAC) al inicio, 4, 8 y 12 semanas después del tratamiento. \* Valor medio fue significativamente diferente a los niveles basales ( $P<0.05$ ) (ANOVA de medidas repetidas). # Valor medio significativamente diferente entre los grupos ( $P<0.05$ ).

## 2.8. Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*)

México cuenta con una producción de casi 7 mil toneladas de estos cálices; y a nivel mundial se encuentra dentro de los principales productores; Tailandia, Sudán, China, México y en menor escala Egipto, Senegal, Tanzania, Mali y Jamaica. En México, la jamaica se cultiva en los estados de Oaxaca, Michoacán Colima, Veracruz y Guerrero; siendo este último el estado que ocupa el primer lugar a nivel nacional con aproximadamente el 90 % de la producción total, con un volumen mayor a las 3 mil toneladas de cálices secos por ciclo de cultivo (SAGARPA, 2016; Contreras et al., 2009).

### 2.8.1. Variedades de Jamaica

Christian y Jackson (2009) describen tres tipos de tonalidades de Jamaica, dos de ellas rojas y una blanca; cosechada en Diciembre y de tonalidad roja (TRED), otra

de ellas cuya tonalidad es más obscura que puede cosecharse tanto en Abril como Diciembre (ERED) y la otra variedad blanca (WHTC) debido a que la coloración de sus cálices se encuentra entre el verde y blanco y solamente se cosecha en Diciembre (Figura 4). Borrás-Linares *et al.* (2015) evaluó 25 variedades de cálices y determinó sus compuestos fenólicos y capacidad antioxidante; así también Duarte-Valenzuela *et al.*, (2016) caracterizó nutricionalmente hasta 20 variedades mejoradas de Jamaica, incluyendo en ambos estudios las tres variedades mencionadas por Christian y Jackson (2009). Ahora bien, en el caso de nuestro país, las tonalidades de mayor consumo son las rojas y obscuras, la disponibilidad de estas variedades está en función de los mejoramientos que se han realizado a los cultivos.



**Figura 4.** Variedades de Jamaica reportadas por Christian y Jackson (2009).

En relación al color de los cálices de la Jamaica, de acuerdo a Salinas-Moreno *et al.* (2012), este varía desde el verde–amarillento hasta el rojo intenso, y se encuentra relacionado con el contenido de los compuestos fitoquímicos encontrados en cada una de las variedades. Los cálices oscuros poseen mayor contenido de antocianinas que los cálices claros, mientras que las variedades de cálices blancos tienen alto contenido de vitamina C. Sin embargo, el ambiente de producción tiene un efecto elevado en la concentración de los principales compuestos fenólicos presentes en los cálices.

Dentro de las características agronómicas de algunas variedades que se cultivan en nuestro país, la variedad Alma Blanca es la que presenta las primeras flores y termina su producción antes que las otras variedades y a pesar de ser una planta

de menor altura, es la de mayor rendimiento, mientras que Tecanoapa es una planta alta con mayor número de ramas por planta pero bajo rendimiento (Cuadro 5) (Ariza – Flores *et al.*, 2014).

**Cuadro 5.** Características agronómicas de cinco variedades de Jamaica

Variedad	Días a primera flor	Días a ultima flor	Altura a primer fruto (cm)	altura de planta (cm)	numero de ramas por planta	Rendimiento (kg/ha)
Alma blanca	88.3	119.4	104.9	197.7	10	570.1
Rosaliz	98.9	130.8	118.4	212.6	9	397.5
Cotzaltzin	87.2	127.4	101.6	213.8	7.8	426.1
Tecanoapa	97.6	130.7	114.2	212.6	11.3	376.5
Criolla	108	131.7	112.3	209.4	9.2	495.3

(Ariza–Flores *et al.*, 2014).

### 2.8.2. Constituyentes bioactivos

Los constituyentes fitoquímicos más relevantes de la Jamaica con propiedades antiobesogénicas incluyen los compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, ácidos orgánicos, etc. En el Cuadro 6, se muestra la composición total de algunos compuestos fitoquímicos de las variedades registradas en México y que incluyen las coloraciones mostradas en el apartado 2.8.1. Se observa que los compuestos fenólicos solubles y las antocianinas son abundantes en la variedad criolla, mientras que alma blanca carece de antocianinas. Cotzalzin es abundante en taninos, seguido Tecanoapa; por su parte la variedad Criolla presenta una mayor cantidad de taninos y antocianinas; siendo la de consumo generalizado en nuestro país.

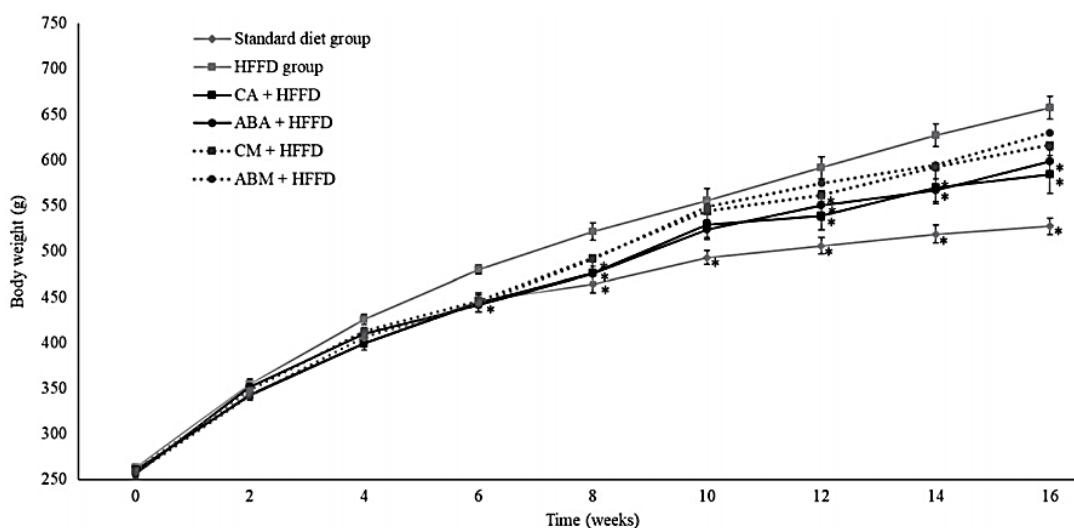
**Cuadro 6.** Fenoles totales de cálices deshidratados de variedades de Jamaica.

Compuesto	Alma blanca	Rosaliz	Cotzaltzin	Tecanoapa	Criolla
Fenoles solubles (mg EAG/100 g)*	2.54 ± 0.1	2.54 ± 0.2	2.58 ± 0.1	2.24 ± 0.1	5.09 ± 0.1
Taninos (mg EC/100 g)**	65.5 ± 5.1	380.6 ± 20.4	1481.2 ± 36.5	1159.3 ± 25.9	729.5 ± 16.3
Antocianinas (mg EA3G/100 g)***	0.1 ± 0.01	0.7 ± 0.04	3.0 ± 0.17	2.3 ± 0.13	20.6 ± 0.61

Los resultados son expresados en base seca. \*Equivalentes de ácido gálico; \*\*Equivalentes de catequina;\*\*\*Equivalentes de cianidrina-3-glucosido (Ariza-Flores *et al.*, 2014).

### 2.8.3. Jamaica y algunos efectos biológicos

Morales-Luna *et al.* (2018) evaluó extractos acuosos y metanólicos de dos variedades de Jamaica roja (criolla) y blanca (alma blanca) sobre un modelo *in vivo* alimentado con una dieta alta en grasa y fructosa. Se determinaron fenoles totales encontrando que la mayor concentración la presentan los extractos de alma blanca metanólico con 1975 mg EAG/100 g de cálices secos y la menor para alma blanca acuoso con 1226 mg EAG/100 g de cálices cada uno, en el caso de flavonoides la mayor concentración fue para alma blanca metanólico con 4257 EC/100 g y la menor para criolla acuoso con 580 EAG/100 g. En relación a las capacidades antioxidantes el IC<sub>50</sub> con el ensayo ABTS fue mayor para alma blanca acuoso y para DPPH para criolla acuoso con 7.44. Sobre el efecto de los extractos sobre el peso corporal se determinó que la mayor reducción se observó en aquellos animales tratados con los extractos acuosos (Figura 5).



**Figura 5.** Efecto de los extractos acuosos y metanólicos de los cálices criolla y alma blanca sobre el peso corporal en un modelo animal con una dieta alta en grasa y fructosa.

Los resultados se expresan como la media ± DE. Los resultados se analizaron con una ANOVA. \*P<0.05 haciendo una comparación con el grupo obeso mediante la prueba de Dunnett. Donde HFFD: dieta alta en grasa y fructosa; CA: extracto acuoso de criolla; ABA:

extracto acuoso de alma blanca; CM: extracto metanólico de criolla; ABM: extracto metanólico de alma blanca. (Morales –Luna *et al.*, 2018).

En relación al tamaño de los adipocitos, los animales tratados con estos extractos acuosos mostraron un menor tamaño, con valores similares al control sano. Con respecto a la acumulación de triglicéridos en hígado, la mayor protección fue inducida por un extracto acuoso de alma blanca (Morales-Luna *et al.*, 2018).

En un estudio se evaluó el efecto del consumo de compuestos bioactivos de la Jamaica microencapsulada. Dicho estudio fue realizado por Gurrola – Díaz *et al.*, (2010), lo aplicaron en 150 personas con edad entre 30 y 71 años, de estos se tomaron 80 como control y 72 con síndrome metabólico; se dividieron en tres grupos: grupo 1: tratamiento preventivo (dieta) ajustada individualmente, grupo 2: tratamiento con 100 mg de polvo de extracto de Jamaica tomados en capsulas y grupo 3: tratamiento dietario con polvo de extracto de Jamaica. Los parámetros que se analizaron durante el estudio fueron colesterol total, HDL-c, la taza TAG/HDL –c y los triglicéridos. En el cuadro 7, se observan los resultados antes del tratamiento de los grupos control y de los enfermos con síndrome metabólico.

**Cuadro 7.** Resultados de las medias de los individuos en estudio con extractos de Jamaica en polvo

CONTROLES						
	Pretratamiento			Postratamiento		
	Dieta	HSEP	HSEP + D	DIETA	HSEP	HSEP + D
Colesterol total (mg/dl)	202.9 ± 38.5	202.6 ± 41.6	181.2 ± 24.6	181.7 ± 29.2 ***	197.5 ± 37.0	172.9 ± 33.1
HDL – c (mg/dl)	46.7 ± 9.3	41.6 ± 10.3	41.2 ± 12.4	47.1 ± 9.1 *	45.8 ± 9.3 *	42.8 ± 9.6
Triglicéridos (mg/dl)	112.5 ± 39.7	148.0 ± 61.3	102 ± 66.3	90.3 ± 36.5 **	113.8 ± 54.1 **	93.6 ± 44.7
Tasa TAG/HDL - c	2.5 ± 1.0	3.7 ± 1.7	3.1 ± 3.0	2.0 ± 0.9 *	2.8 ± 1.5 **	2.4 ± 1.4
SÍNDROME METABÓLICO						
Colesterol total (mg/dl)	183.9 ± 24.7	199.8 ± 40.5	181.7 ± 53.3	196.7 ± 22.9	179.7 ± 21.2 *	183.7 ± 46.5
HDL – c (mg/dl)	39.2 ± 6.8	32 ± 5.8	34.6 ± 7	48.4 ± 7.2 **	44.5 ± 8.3 ***	45 ± 11.5 **
Triglicéridos (mg/dl)	184.3 ± 83.6	172.3 ± 107.4	177.1 ± 82.9	152.9 ± 69.8	137.6 ± 62.1	109.9 ± 46.3 ***
Tasa TAG/HDL - c	5.1 ± 3.3	6.2 ± 5.3	5.2 ± 2.4	3.6 ± 2.4	3.5 ± 1.7 *	2.7 ± 1.2 ***

Se muestran las medias  $\pm$  desviación estándar, TC: colesterol total; TAG: triglicéridos; HDL-c: Lipoproteína de alta densidad – colesterol; LDL – c: Lipoproteína de baja densidad – colesterol.

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$  para una comparación de los pre y postratamientos en los respectivos grupos usando la prueba de t de Student.

Se observa que los controles para el caso del grupo de sólo dieta, los cuatro parámetros disminuyeron significativamente respecto al pretratamiento, para el caso del grupo HSEP (extracto de jamaica en polvo) los únicos parámetros que se redujeron significativamente fueron los de HDL-C, Triglicéridos y se redujo la tasa de TAG/HDL – C; en el caso del grupo HSEP + D (extracto de jamaica en polvo con dieta) no hubo diferencias significativas con respecto a los valores antes del tratamiento. En el caso de los enfermos con síndrome metabólico, se observa que en el grupo de dieta postratamiento el único parámetro que se redujo significativamente fue el de HDL-C , para el grupo de HSEP (extracto de Jamaica en polvo) los parámetros significativamente diferentes fueron colesterol total, HDL – C y la tasa TAG/HDL – C, finalizando con el grupo HSEP + D (extracto de jamaica en polvo con dieta) los parámetros que redujeron significativamente fueron HDL – C, triglicéridos y la tasa TAG/HDL–C lo cual podría hacernos pensar que existe un efecto significativo de los extractos de jamaica sobre los enfermos con síndrome metabólico.

## **2.9. Conservación de propiedades funcionales de los fitoquímicos de Jamaica**

Un producto o bebida en polvo es deseable por el fácil manejo, transporte práctico, el almacenamiento y especialmente la protección de los compuestos funcionales de los alimentos. En general, los productos en polvo tienen una larga vida de anaquel cuando son empacados apropiadamente. El secado por aspersión es un método práctico y económico con el que se puede obtener una gran cantidad de polvos, puede ser aplicado exitosamente para compuestos termolábiles, tales como, antocianinas, sabores y olores; esto mediante el uso adecuado de agentes encapsulantes (Main *et al.*, 1978) para ello es de gran importancia considerar las temperaturas de entrada y de salida, el flujo de alimentación, las características de la mezcla, el tiempo de residencia en el secador, entre otros parámetros para

obtener un producto en polvo homogéneo durante el secado por aspersión (Cid–Ortega *et al.*, 2012).

## 2.10. Tipos de microencapsulamiento de compuestos funcionales

Existen otra serie de procesos que permiten el encapsulamiento de compuestos bioactivos, microorganismos incluyendo compuestos no necesariamente para la industria alimentaria tales como detergentes, fertilizantes, entre otros; lo que indica la versatilidad de la aplicación de dicho proceso en la aplicación industrial (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Tipos de microencapsulamiento.

Tipos de microencapsulamiento			
Físicos	Químicos	Fisicoquímicos	Electrodinámicos
Secado por aspersión	Polimerización interfacial	Coacervación simple	Electrospraying
Extrusión	Inclusión molecular	Coacervación compleja	Electrospinning
Lecho fluidizado		Liposomas	

Adaptado de Nava *et al.* (2015).

Los procesos físicos realizan modificaciones en las estructuras de los materiales que microencapsulan las matrices alimenticias, quedando dentro de estos materiales microencapsulantes e interaccionando débilmente entre ellos (Chiou y Landrish, 2007). En los procesos químicos se produce una polimerización de un monómero en la interface de dos sustancias inmiscibles, formando una membrana que dará lugar a la pared de la microcápsula produciéndose modificaciones en los distintos grupos reactivos que contengan cada una de las matrices uniéndolas de forma tal que se liguen a los materiales de microencapsulamiento (Nava *et al.*, 2015).

Los procesos fisicoquímicos generalmente se utilizan para posibilitar la mezcla de dos soluciones inmiscibles de tal manera que al adicionar surfactantes y mecanismos físicos homogeneizadores se permita dicho proceso (Esquivel–González *et al.*, 2015). En los métodos electrodinámicos, las gotas de las mezclas producidas por cargas dosificadas mediante un conductor son altamente cargadas impidiendo su coagulación y promoviendo su autodispersión hasta ser cargadas por

las altas temperaturas que se producen por la misma energía eléctrica hasta ser adheridas en una superficie receptora (Jaworek, 2007).

## **2.11. Ventajas y desventajas de los métodos de secado**

El método de encapsulamiento se elige de acuerdo a la aplicación requerida, el material a encapsular, el encapsulante, el costo, las propiedades físicas y químicas del producto que se desee tener (Aldana *et al.*, 2011).

- **Métodos físicos**

El proceso de **lecho fluidizado** es útil cuando el material central son partículas sólidas, las cuales se localizan en una cámara con corriente de aire hacia arriba donde el recubrimiento se atomiza, las partículas pueden hacer ciclos aleatorios dentro de la cámara con el fin de recibir sucesivas capas de recubrimiento. Sin embargo, el hecho de que el material por encapsular ya sea sólido aumenta el costo debido a que se debe hacer uso de otros procesos que permitan producir dicho núcleo (Aldana *et al.*, 2011). Los desafíos técnicos que este proceso implica se deben a la operación a altas temperaturas y la exposición directa del núcleo al aire durante ciclos repetidos lo que puede ser perjudicial para los compuestos sensibles que pueden ser susceptibles a la degradación oxidativa tanto con los componentes de aire como a las altas temperaturas. Otro inconveniente en este proceso es la incapacidad para recubrir partículas de un tamaño menor 50 µm debido a que se producen adhesiones entre partículas debido a las fuerzas de arrastre ejercidas por el gas fluidizador. Además, el hecho de ser un proceso por lotes lo hace lento y costoso (Anandharamakrishnan, 2015; Bhandari y Roos, 2012).

Al encapsular por **Extrusión** uno de los inconvenientes es que la cantidad de encapsulante puede ser excesivo, de tal manera que se pierde solubilidad y los productos se hacen amorfos; así como la degradación de los productos debido a la fricción continua con los tornillos giratorios (Gómez-Cruz y Jiménez-Munguía, 2014). El proceso requiere un gran consumo de energía para llevar a altas temperaturas el procesamiento, las cuales a su vez, pueden limitar su aplicabilidad en el procesamiento de compuestos termolábiles. Además de existir un número

limitado de materiales encapsulantes disponibles. Sin embargo, una de las ventajas que tiene este proceso es que es continuo y eficiente, permitiendo un gran rendimiento, así como la automatización y el manejo de las variables (Mishra, 2015; Krokida, 2017).

El **secado por aspersión** es el método de mayor uso y el de menor costo. Las aplicaciones en alimentos son diversas, van desde la producción de leche en polvo ya sea mediante leche descremada o entera, suero de leche en polvo (ordinario o enriquecido), comida infantil. El proceso es muy versátil que se pueden producir detergentes, jabones, agentes tensoactivos, pesticidas, herbicidas, fungicidas e insecticidas; encapsular colorantes, pigmentos, fertilizantes, antibióticos, vacunas, vitaminas, levaduras, fitoquímicos, enzimas, hormonas, aminoácidos, materiales cerámicos, etc. (Chegini y Ghobadian, 2005) Este es un proceso continuo, constantemente controlado y permite secar grandes cantidades de mezclas, permite una homogeneidad de productos, con una excelente presentación, tiempos de operación relativamente cortos y el producto final es un polvo fluido y soluble (Quek *et al.*, 2007). Sin embargo, los problemas de recolección de los productos y los productos finos aumentan el costo, especialmente cuando se requieren filtros para recoger el polvo de salida del sistema ciclónico recolector; también, debido a las altas temperaturas que se pueden manejar en el proceso de secado de materiales para el secado de materiales con alta resistencia al calor (Macassi y de Ugaz, 1995; Krokida, 2017). De acuerdo a Bhandari y Roos (2012) la ventaja de este proceso es que es posible escalar los procesos, indicando también que los costos de este proceso son reducidos y que las condiciones de secado son fáciles de manipular.

- **Métodos químicos**

En la **polimerización interfacial** se disuelve un monómero hidrofóbico con capacidad de formar polímeros en el material que se desea encapsular por lo que se debe añadir un catalizador que genere la polimerización del encapsulante; algunos de los más utilizados son las poliéster, poliamidas, poliuretanos, poliureas y nylon materiales que no permiten una solubilidad inmediata de los encapsulados

y que pueden ocasionar alguna reacción alérgica en los consumidores (Reyna *et al.*, 2015; Yáñez *et al.*, 2002).

En el caso de la **inclusión molecular** se produce una asociación entre el núcleo y el encapsulante mediante fuerzas de van der Waals al hacer uso de solventes tales como el etanol, lo que sería un inconveniente dado que existirían trazas de dicho solvente (Bhandari y Roos, 2012). Algunos de los encapsulantes más utilizados son las ciclodextrinas, dichos encapsulantes tienen la ventaja de encapsular sabores, olores y compuestos volátiles termosensibles; sin embargo, el alto costo de dichos materiales hace poco redituable el encapsulamiento por dicho método añadiendo a esto el hecho de que las ciclodextrinas no están del todo reconocidas como productos GRAS (generalmente reconocidos como seguros) (Bhandari y Roos, 2012).

- **Fisicoquímicos**

Para la **coacervación simple y compleja**, para la primera se usa utiliza sólo un tipo de polímero y en la segunda se usan dos o más, además de agentes activadores muy reactivos que permiten la formación del encapsulante alrededor de las gotas mediante cambios de pH o ionización (Ezhilarasi *et al.*, 2013). Este método suele ser complicado debido a la gran cantidad de pruebas de materiales encapsulantes necesarias, así como a la necesidad de evaporación de volátiles y oxidación del producto por residuos en la superficie de la cápsula, entre otros (Guevara - Bretón y Jiménez - Munguía, 2008).

En el proceso de formación de **liposomas** se forman vesículas de fosfolípidos alrededor del material a encapsular mediante la adición de cargas, esto, al adicionar aminas tales como fosfatidil serina o diacetil fosfato. Sin embargo, el inconveniente de este proceso es que los productos obtenidos se deben evitar la exposición al oxígeno, mantenerse a temperaturas bajas y la probabilidad de que acarren solventes en ellos (Guevara y Jiménez, 2008; Villena *et al.*, 2009; Aldana *et al.*, 2011).

- **Electrodinámicos**

En el método de **electrospinning** producen una serie de fibras finas mediante la aplicación de un fuerte campo eléctrico entre el dispositivo receptor del producto y el tubo capilar que dispensa la solución polimérica. Sin embargo, los polímeros de grado alimenticio no han sido exitosos en gran parte debido a que los materiales que en teoría encapsulan no son de grado alimenticio y necesitan disolventes tóxicos (Bhandari y Roos, 2012).

En el caso del **electrospraying** se producen nanogelos a base de proteínas, biopolímeros complejos y coacervados. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no se puede hacer producción de alimentos debido al uso de disolventes o agentes de reticulación que pueden ser tóxicos (Celli *et al.*, 2015). Una de las ventajas que este proceso tiene es que puede realizarse a temperatura ambiente (Mishra, 2015).

## 2.12. Secado por aspersión

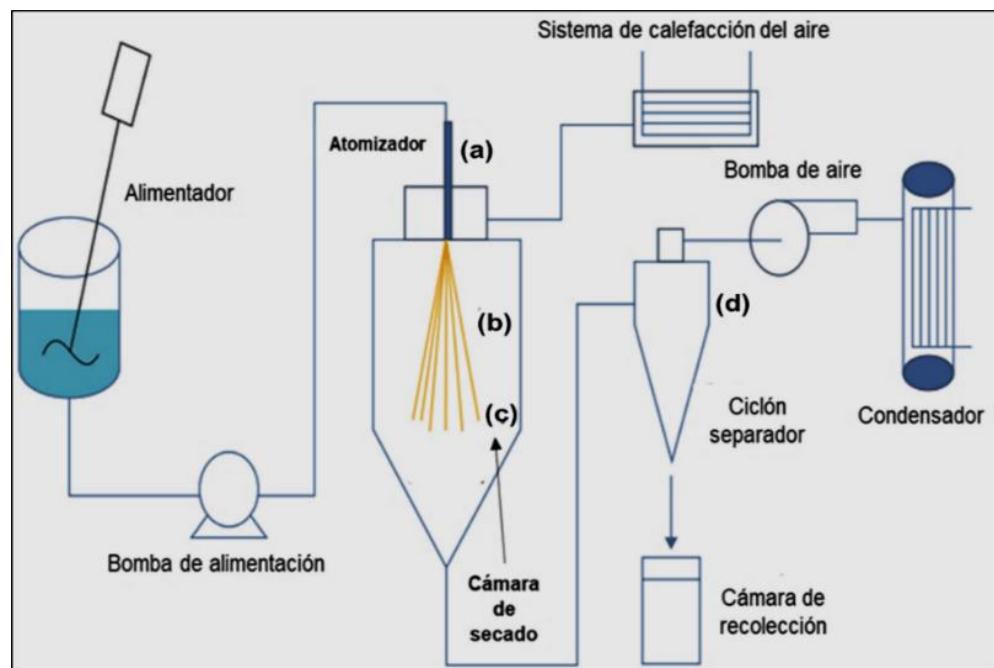
Este es un proceso mediante el cual ciertas sustancias bioactivas en forma líquida (enzimas, sabores, vitaminas, aceites esenciales o microorganismos) son introducidas en una matriz homogénea o heterogénea con el objetivo de impedir su perdida, para protegerlas de la reacción con otros compuestos presentes en el ambiente o la matriz en la cual se aplica, impedir que sufran reacciones de oxidación debido a la luz, al oxígeno o controlar su liberación hasta llegar a su objetivo dentro del sistema gástrico (Esquivel-González *et al.*, 2015). En el sentido económico el secado por aspersión se ha aplicado en extractos de acai, berries, granadas, papa dulce morada, zanahoria negra entre otros vegetales, ya que es desde 30 a 50 veces menos costoso que el liofilizado (Lao y Giusti, 2017).

El secado por aspersión se utiliza generalmente en la industria alimentaria para garantizar un producto de solubilidad inmediata, con una estabilidad microbiológica de los productos, evitar el riesgo del uso de productos químicos, reducir la degradación biológica, disminuyendo los costos de almacenamiento y transporte (Coronel-Delgado *et al.*, 2016). Además, este proceso permite encapsular sabores de los compuestos bioactivos debido a los materiales de pared comúnmente utilizados (Ishwarya *et al.*, 2013).

En este proceso se utiliza un gas, generalmente aire o en casos en los que se utilizan solventes filmables en las mezclas de secado, se utiliza nitrógeno; la alimentación inicial del proceso de secado puede ser una solución, una emulsión o una suspensión, produciéndose entonces en la fase se atomización un polvo fino ( $10\text{--}50\ \mu\text{m}$ ) o partículas de gran tamaño ( $2\text{--}3\ \text{nm}$ ) (De Barros *et al.*, 2013).

### 2.12.1. Etapas del secado por aspersión

El secado por aspersión consiste de cuatro etapas continuas, las cuales se llevan a cabo dentro de un sistema como el que se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Etapas del secado por aspersión. a) Atomización, b) Contacto aire–gota, c) Evaporación, d) Recuperación del producto seco (Ishwarya *et al.*, 2013).

#### a) Atomización de la solución alimentada

Durante la atomización se produce una separación del líquido alimentado en un gran número de gotas permitiendo en el resto del proceso la transferencia de humedad desde el interior de las gotas hacia el medio circundante. Esta etapa es importante debido a que influye en la forma, estructura, la velocidad de secado y la funcionalidad del producto final (Masters, 1985).

**b) Contacto de la pulverización con el aire caliente**

En esta etapa y las posteriores del proceso de secado por aspersión constituyen la formación de partículas. Una vez formada las gotitas, el siguiente paso es ponerlas en contacto con el aire caliente. Esto permite una evaporación rápida de la humedad de la superficie de las gotitas de manera uniforme. Siendo un requisito importante la aplicación de un flujo uniforme de aire a todas las partes de la cámara de secado (Oakley, 2004).

Una vez que las gotitas se encuentran en la cámara y en contacto con el aire caliente; su temperatura se mantiene baja debido a que tiene lugar una evaporación a alta velocidad y está próxima a la temperatura del bulbo húmedo (temperatura del aire a la cual se produce la evaporación). Esto permite que la partícula se mantenga a una temperatura inferior a la temperatura de salida del aire de secado. El aire frío, a su vez, transporta de forma neumática las partículas secas a través del sistema. El tiempo de contacto del aire caliente con las gotas que se pulverizan es de unos pocos segundos, durante el cual se logra el secado y la temperatura del aire cae instantáneamente (Garti y McClements, 2012).

**c) Evaporación de la humedad**

La velocidad de evaporación se lleva a cabo en dos períodos:

I) Período de velocidad constante, en el cual la difusión de humedad desde el interior de las gotas, permite tener la superficie saturada de líquido, el tamaño de la gota va disminuyendo y en la superficie la temperatura permanece constante. El aire de secado disminuye su temperatura a medida que gana humedad.

II) Período de velocidad decreciente, en este la velocidad de migración de la humedad a la superficie no es suficiente para mantenerla saturada, aparecen áreas secas sobre la superficie, alcanzándose el punto crítico de humedad en donde la gota ya no puede contraerse más en volumen y su temperatura comienza a ascender. En este punto el aire de secado llega a la temperatura y a una humedad crítica, su temperatura sigue disminuyendo hasta la fijada por el final del proceso y con ello aumentando su humedad. La velocidad de secado y el tiempo requerido

para el secado son dependientes de la temperatura del aire de secado, de la cantidad de calor transferido y del diámetro de la gota a secar (Ishwarya *et al.*, 2013).

#### d) Recuperación del producto

Para ello se hace uso de un separador ciclónico el cual es un dispositivo mecánico estacionario que utiliza la fuerza centrífuga para separar las partículas sólidas del aire portador. Consiste en una parte cilíndrica superior (barril) y una parte cónica inferior (cono) (Figura 7). La corriente de aire, cargada con partículas sólidas, entra tangencialmente en la parte superior del cilindro y se desplaza hacia abajo en el cono, formando un vórtice externo. El aumento de la velocidad del aire en el vórtice exterior ejerce una fuerza centrífuga sobre las partículas, separándolas de la corriente de gas. Cuando la corriente de gas alcanza el fondo del cono, se crea un vórtice interior, invirtiendo así su dirección y saliendo en la parte superior como aire limpio. Las partículas caen en la cámara de recolección unida a la parte inferior del ciclón (Utikar *et al.*, 2010) (Figura 7).

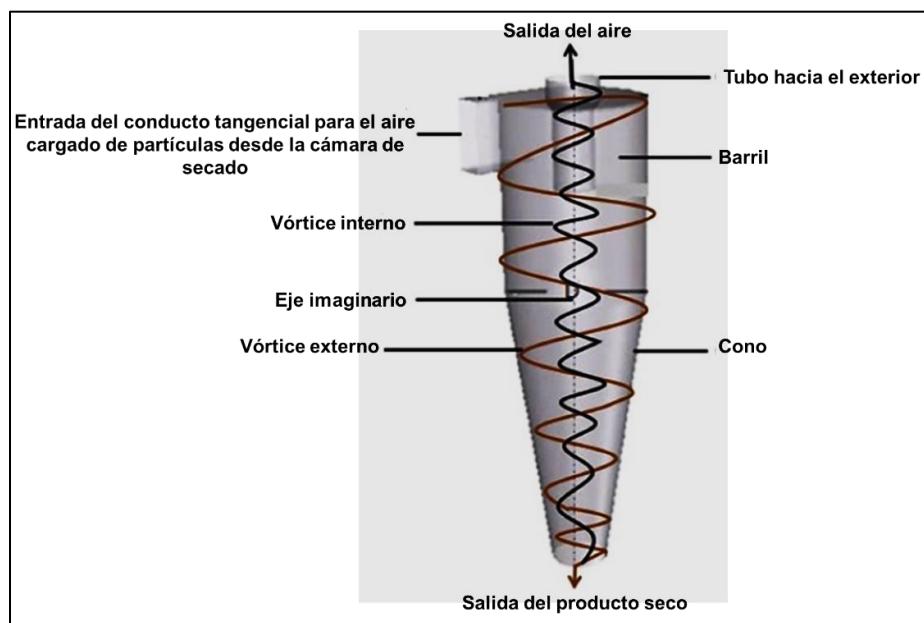
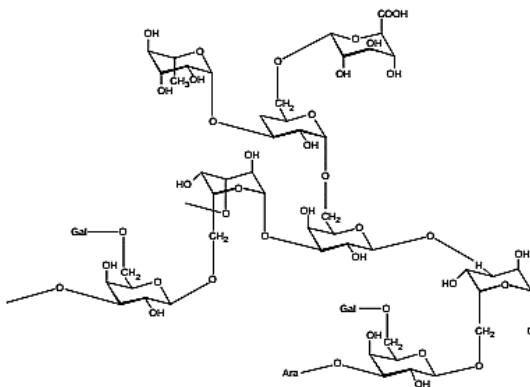


Figura 7. Diagrama de un ciclón separador típico (Utikar *et al.*, 2010).

## 2.12.2. Materiales encapsulantes

Actualmente existe una amplia variedad de materiales encapsulantes entre los que se encuentran algunos carbohidratos, lípidos, proteínas y polímeros; por lo que la mezcla con mejores condiciones para ser sometida al equipo debe presentar buen contenido de sólidos solubles (Guevara – Bretón y Jiménez – Munguía, 2008). La funcionalidad de las cadenas poliméricas de los materiales encapsulantes hace posible obtener micropartículas con una buena solubilidad en agua y una baja viscosidad a altas concentraciones comparada con el uso de proteínas (Esquivel-González *et al.*, 2015). A continuación se indican las características de algunos de los materiales comúnmente utilizados en este proceso:

**I. Goma arábiga:** La goma arábiga es un polímero complejo con muchas ramificaciones, formado principalmente por unidades de D-galactosa, L-arabinosa y porciones menores de 4-O-metil-D-glucoronato y L-ramnosa (Figura 8) en las siguientes proporciones: 4:2:2:1.

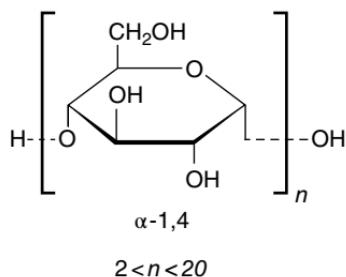


**Figura 8.** Estructura de la goma arábiga (Islam *et al.*, 1997).

Es el material de pared más comúnmente usado para encapsular compuestos lipofílicos, debido a sus excelentes propiedades de emulsificación, de formar películas, su alta solubilidad, baja viscosidad en sistemas acuosos. Además, la goma arábiga es estable a un amplio rango de pH y esto le da la capacidad de formar películas alrededor del material encapsulado. Sin embargo, muestra una limitada protección contra las reacciones de oxidación, debido a que actúa como

una barrera semipermeable (Abdalbasit, 2018, Anandharamakrishnan, 2015; Islam *et al.*, 1997).

**II. Maltodextrina:** se obtiene de la hidrólisis parcial del almidón ya sea por métodos enzimáticos o por reacciones acidas. Su estructura se compone de unidades múltiples de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ : 1 → 4 (Figura 9).



**Figura 9.** Estructura de la maltodextrina (López y Millán, 2009).

El número de unidades de glucosas (n) decide su equivalencia de dextrosa (DE) que es una medida del grado de hidrólisis de este polímero a sus unidades monoméricas constituyentes. En términos de apariencia, la maltodextrina es un polvo higroscópico blanco cremoso, que tiene un sabor suave o moderadamente dulce. Es altamente soluble en agua (aproximadamente 500 g/L), al ser un oligosacárido aumenta los Brix y muestra una baja viscosidad incluso en altas concentraciones; también se puede usar en combinación con goma arábiga, proteína de leche o almidones modificados para obtener mejores resultados de encapsulamiento (Anandharamakrishnan *et al.*, 2015; Lopez y Millan, 2009).

Tuyen *et al.* (2016) evaluaron el encapsulamiento de polifenoles de uva en matrices de maltodextrina, proteína de leche y proteína de chicharo usando un rango de temperaturas que oscilaban entre 120 – 140 °C, obteniendo mejores rendimiento con la maltodextrina (70% - 90%) de microencapsulamiento de dichos polifenoles. Díaz-Bandera *et al.* (2015) evaluaron el encapsulamiento de antocianinas de Jamaica usando diferentes encapsulantes teniendo los siguientes rendimientos: maltodextrina (85%), pectina (62%), gelatina (50%), carboximetilcelulosa (54%), proteína de suero de leche (50%), carragenina (54%) y goma arábiga (63%). Estos materiales no fueron evaluados respecto a su solubilidad y vida de anaquel.

### **2.12.3. Factores determinantes en el proceso de secado por aspersión**

Los principales factores para la optimización del secado por aspersión son la temperatura de la alimentación, la temperatura de entrada del aire y la temperatura de salida del aire (Liu *et al.*, 2001). La temperatura de la alimentación modifica la viscosidad de la mezcla, su fluidez y, por lo tanto, su capacidad de ser rociada homogéneamente. Cuando la temperatura de la alimentación se incrementa, la viscosidad y el tamaño de las gotas disminuye, pero las altas temperaturas pueden provocar la volatilización o la degradación de algunos componentes. Para el caso de antocianinas algunos estudios como el de Lao y Giusti (2016) muestran que la temperatura óptima de encapsulamiento de antocianinas de maíz morado fue de 150 °C. Ersus y Yurdagel (2007) reportaron que durante el proceso de secado por aspersión de antocianinas se probaron tres temperaturas de secado siendo la primera de 160 °C y al incrementar a 180 °C y 200 °C se observó una pérdida de antocianinas desde un 5.48% hasta un 6.03% independientemente del material de encapsulamiento.

### **2.12.4. Estabilidad de los compuestos bioactivos de Jamaica aplicando secado por aspersión**

En la literatura se tienen reportes de la estabilidad de las antocianinas encapsuladas mediante el método que atañe a este proyecto. Salazar-González *et al.*, (2009) reportó que al encapsular extractos de Jamaica mediante una mezcla de goma arábica y maltodextrina en proporciones equivalentes, con lo cual lograron retener el 91% de las antocianinas que inicialmente se alimentaron en el proceso. Nayak y Rastogi, (2010) encapsularon antocianinas de *Garcinia índica* utilizando de forma individual maltodextrina, goma arábica y fosfato tricálcico obteniendo los mejores resultados con el encapsulamiento de maltodextrina (485 mg de cianidina glucósido/100 g de fruto). Por otra parte, De Souza *et al.*, (2015) encapsularon antocianinas de uvas mediante secado por aspersión (*Vitis labrusca*) usando maltodextrina y también por liofilización, teniendo como mejor resultado un mayor encapsulamiento de antocianinas por el secado por aspersión.

## **2.12.5. Precedentes de bebidas elaboradas mediante el secado por aspersión a base de extractos naturales**

Hasta el momento la literatura no tiene reportes sobre la elaboración de polvos para preparar bebidas a base de extractos de Jamaica que contengan los fitoquímicos con sus propiedades funcionales. Actualmente se comercializan polvos, jarabes y concentrados para preparar bebidas saborizadas elaborados con ingredientes naturales o artificiales que al disolverse en agua proporcionan sabores, colores olores y textura características del producto natural, de los cuales no se reporta la metodología de elaboración. El dulzor de estos polvos depende de los edulcorantes y azúcares añadidos, de la acidez que le confieren los ácidos orgánicos presentes, de los saborizantes artificiales o extractos naturales empleados, así como otros aditivos empleados. Las formulaciones de estos productos son muy versátiles, existe aquellas que incluso contienen cálices en polvo, azúcar o edulcorantes sintéticos; el contenido de azúcar se modifica según el grado de dulzor que se desee en la bebida ya reconstituida, según la PROFECO, los productos presentan desde 30 hasta 90 gramos de azúcar en un litro de bebida preparada (PROFECO, 2011). Ochoa-Velasco *et al.* (2017) elaboraron polvos para preparar de granada incluyendo extractos mezclados con manzana, estos se secaron por aspersión haciendo uso de goma arábica y maltodextrina como encapsulantes, presentando un encapsulamiento de compuestos polifenólicos del 60%. También demostraron que las mezclas de goma arábica-maltodextrina en proporciones de 40:60 y 20:80 resultando en polvos con tiempos promedios de solubilidad de 45 segundos e índice de disolución del 85%.

Por lo tanto, la evidencia indica que el secado por aspersión es una alternativa idónea para producir polvos para preparar bebidas derivados de extractos de productos naturales; además, de ser un método efectivo, económico, accesible que permite microencapsular compuestos volátiles de pronta degradación.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Las tendencias en el mercado de bebidas han venido cambiando en los últimos tiempos, se ha pasado del consumo exclusivo de bebidas con gran contenido de azúcar a opciones más saludables en las que se ha sustituido el contenido de este por edulcorantes no calóricos; así también se piden productos más complejos donde estos no sólo cuenten con bajos contenidos de carbohidratos sino que estén elaborados con extractos naturales que otorguen un efecto fisiológico positivo; además, de que las presentaciones al consumidor coadyuven al aprovechamiento del tiempo en la vida cotidiana mediante la utilización de poco espacio y sea posible el consumo inmediato.

Nuestro país es uno de los principales productores de Jamaica en el mundo y registra un consumo aproximado de 14 mil toneladas al año, además de su gran aceptación por parte de los consumidores; esta planta tiene efectos benéficos en la salud tales como la disminución de peso corporal, antihipertensiva, antipirético, etc. En algunas variedades de tonalidad roja se ha determinado la propiedad de disminución de peso corporal; la cual se le ha atribuido al contenido de las antocianinas. Sin embargo, se ha reportado que los extractos de las variedades moradas tienen cantidades importantes de compuestos polifenólicos y ácidos orgánicos a los que se les ha atribuido el efecto ya mencionado. Si a estos beneficios de la jamaica se adicionan los que ofrecen el té verde y Garcinia cambogia a los cuales se les atribuyen propiedades antioxidantes y antiobesogénicas los efectos en conjunto podrían potenciarse.

Por otro lado, una alternativa al consumo de los extractos de Jamaica, té verde y de Garcinia son las bebidas en polvo, las cuales deben ser elaboradas en condiciones que favorezcan la conservación de sus principios activos, siendo uno de los procesos idóneos para dicha finalidad el secado por aspersión debido a que es un proceso continuo, bajo costo, escalable, con productos uniformes, sin necesidad del uso de solventes de posibilidad tóxica; sin embargo, para que esto se posibilite se deben conocer las condiciones de proceso que permitan obtener el producto con las mejores características propias de una bebida instantánea y los rendimientos óptimos de proceso.

Es por ello, que en el presente proyecto se propuso estudiar el uso de los cálices de Jamaica de las variedades criolla y negra Sudán para la elaboración de polvos para preparar bebidas, las cuales deben ser elaboradas en condiciones que favorezcan la preservación de los fitoquímicos de la Jamaica; siendo para ello un proceso idóneo el secado por aspersión, para el cual se probaron distintas condiciones de dicha técnica de elaboración.

Es por ello, que en el presente proyecto se propuso estudiar el efecto del secado por aspersión en la producción de polvos para preparar bebidas a partir de los cálices de las variedades criollas y negra Sudán, a las cuales se les adicionó té verde y Garcinia cambogia para mejorar sus propiedades funcionales.

#### **4. HIPOTESIS**

La aplicación del secado por aspersión para la elaboración de polvos para preparar bebidas a base de extractos acuosos de Jamaica de las variedades Sudán y criolla en combinación con extractos de té verde y *Garcinia*, permitirá encapsular sus fitoquímicos permitiendo mantener su actividad funcional.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. GENERAL**

Elaborar polvos para preparar bebidas a base de extractos de Jamaica en combinación con té verde y Garcinia mediante el secado por aspersión y la determinación de la conservación de los componentes fitoquímicos y sus propiedades funcionales.

### **5.2. ESPECÍFICOS**

1. Identificar las mejores condiciones de secado por aspersión de extractos de jamaica para las variables respuesta: rendimiento, tiempo de reconstitución y contenido de antocianinas.
2. Elaborar polvos mediante el secado por aspersión para preparar bebidas a base de extractos de Jamaica y adicionadas con compuestos funcionales como té verde y *Garcinia cambogia*.
3. Determinar el efecto del proceso de secado por aspersión en las mezclas de bebidas a base de Jamaica sobre sus propiedades fisicoquímicas, compuestos fitoquímicos y la capacidad antioxidante determinada mediante DPPH y ABTS.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Localización**

El desarrollo experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Bioquímica molecular del departamento del posgrado en alimentos (PROPAC) de la Universidad Autónoma de Querétaro.

### **6.2. Materiales**

Se emplearon dos variedades de Jamaica: Sudan Morada y Criolla las cuales se adquirieron de productores del estado Guerrero.

#### **6.2.1. Maltodextrina y goma arábiga**

Se utilizó maltodextrina de 20 Equivalentes de dextrosa y goma arábiga de las marcas Cargyll Inc., México; ambas en una mezcla idénticamente proporcional como encapsulantes; así como sorbitol al 70 % de la marca Millikan S.A de C.V. como humectante para el producto de secado.

### **6.3. Elaboración de los extractos**

La preparación de los extractos se realizó de acuerdo a la metodología de Pérez-Ramírez *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se pesaron 30 g de Jamaica, y se disolvieron en 1 L de agua purificada. Dicha cantidad de agua se calentó a una temperatura de 100 °C hasta el punto de ebullición; llegado este punto se agregó la cantidad de Jamaica y se dejó a dicha temperatura durante 15 min. Se dejó enfriar el extracto a temperatura ambiente, una vez alcanzada la temperatura a 25 °C se procedió a filtrar el extracto en un tamizador científico de 150 µm (Seedburo equipment Company, U.S.A.) y se recolectó el extracto en recipientes secos y limpios.

#### **6.4. Preparación de las mezclas para el proceso de secado por aspersión**

Para la formulación de las mezclas base del secado por aspersión se adicionaron aditivos como conservadores y saborizantes artificiales, ácidos orgánicos como ácido málico, tartárico, ácido sórbico y un colorante artificial; los dos primeros poseen son potenciadores del sabor, reguladores del pH de los productos finales y el tercero es conservador e inhibidor de microorganismos. Para dar el dulzor al producto final se utilizó sucralosa y acesulfame; además de sorbitol como humectante para coadyuvar a la rápida reconstitución de los polvos producto del secado. Los rangos de concentración de los aditivos utilizados estuvieron de acuerdo a lo establecido por la norma (NOM-218-SSA-2011; Rubio, 2015).

En la primera fase experimental se establecieron las mejores condiciones de proceso, utilizando un diseño experimental. Las mezclas se elaboraron al 3%, se adicionaron los aditivos y se agitaron (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Formulación base para evaluar el diseño central compuesto.

<b>Formulación base para el secado por aspersión requerida para 1 Litro de extracto de Jamaica al 3%</b>	
Ácido málico	9.6 gramos
Ácido tartárico	4 gramos
Ácido sórbico	1.550 gramos
Sucralosa	250 miligramos
Acesulfame	250 miligramos
Fructosa	5 gramos
Sorbitol	9 mililitros
Colorante	2 mililitros

Posteriormente se adicionó la maltodextrina con goma arábica (proporción 1:1) así, hasta ajustar los 10, 15 y 20 grados Brix. Una vez obtenidas las mezclas con los grados Brix correspondientes, se secó por aspersión con cada una de las condiciones del diseño.

Para obtener las mejores condiciones de proceso de secado se utilizó un diseño central compuesto (DCC) (Cuadro 10), en el cual se evaluaron las variables dependientes: temperatura de secado (130, 155 y 180 °C), flujo de alimentación

(3, 3.5 y 4 mL/min) y los grados Brix de la mezcla (10, 15 y 20 Brix); siendo las variables respuesta: cantidad de antocianinas monoméricas expresadas como mg equivalentes de Cianidina-3-sambubiosido/100 g de materia seca, el rendimiento expresado como porcentaje y el tiempo de reconstitución expresado en segundos. Dicho modelo se analizó siguiendo los parámetros del modelo de mínimos cuadrados, ajuste de modelo, interacciones entre variables, función de la deseabilidad del modelo, así como la comparación entre medias mediante la prueba de Tukey-Kramer. Para llevar a cabo el proceso de secado se utilizó un equipo Büchi de secado por aspersión como el que se muestra en la Figura 10.

**Cuadro 10.** Diseño central compuesto (DCC)

Corrida	Flujo de alimentación (mL/min)	Temperatura de secado (°C)	Brix
1	3.0	130	20
2	3.0	130	20
3	3.0	155	15
4	3.0	180	20
5	3.0	180	10
6	3.50	130	10
7	3.50	155	15
8	3.50	155	20
9	3.50	155	10
10	3.50	180	15
11	4.0	130	10
12	4.0	130	15
13	4.0	155	15
14	4.0	180	20
15	4.0	180	10

Diseño experimental elaborado con el software estadístico JMP ver 10.0.



**Figura 10.** Equipo de secado por aspersión. Minispray dryer Büchi B-290 (Büchi Labortechnik, Flawil Switzerland).

Una vez obtenidas las muestras secadas por aspersión, estas se almacenaron en bolsas con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente protegidas de la luz para sus posteriores determinaciones.

#### **6.5. Determinaciones de las muestras obtenidas del diseño central compuesto para obtener las mejores condiciones de proceso**

A las muestras obtenidas del diseño central compuesto se le realizaron las siguientes determinaciones: Rendimiento, tiempo de reconstitución y antocianinas monoméricas.

##### **6.5.1. Rendimiento.**

Esta determinación se realizó de acuerdo a la siguiente formula (López *et al.*, 2006):

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{W_p}{W_m} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$W_p$  = Peso del producto seco obtenido

$W_m$  = Peso de los sólidos de la mezcla antes del secado

### **6.5.2. Tiempo de reconstitución**

El tiempo de reconstitución se determinó de acuerdo a la metodología de Díaz-Bandera (2015), la cual consiste en colocar sobre una placa de agitación magnética un vaso de precipitado de 50 mL con 20 mL de agua destilada, se agita a 400 RPM. Una vez colocados 50 mg de polvo sobre la superficie del agua se inició el registro del tiempo, hasta alcanzar totalidad de la disolución. Los resultados se expresaron en segundos.

### **6.5.3. Antocianinas monoméricas**

Esta determinación se realizó mediante el método espectrofotométrico de pH diferencial propuesto por Giusti y Wrolstad (2001). Las antocianinas presentan una transición con las modificaciones de pH, lo cual se manifiesta con un cambio en la absorbancia (color). La forma oxonio (cation flavilio) predomina a pH 1 con un color intenso, y el hemiacetal, incoloro, a pH de 4.5 (Selim *et al.*, 2008). El método pH diferencial se basa en esta reacción y permite la medición precisa y rápida del total de antocianinas. Esta técnica se aplicó tanto a las mezclas antes del secado por aspersión como a los reconstituidos de los productos del secado; para lo cual, se tomaron 50  $\mu$ L de muestra, por triplicado; se agregaron 200  $\mu$ L de solución buffer de cloruro de potasio (0.025 M, pH 1) y a las otras se le añadieron 200  $\mu$ L de solución buffer de acetato de sodio (0.4 M, pH 4.5). Las disoluciones se dejaron reposar 15 min a temperatura ambiente protegidas de la luz. La absorbancia se midió a 520 nm y 700 nm, para ello se utilizó un lector de placas (Thermo multiskan Go, Japón) contra un blanco de agua destilada. La concentración de antocianinas monoméricas en solución (mg/L) se calculó como mg eq de cianidina-3-sambubiosido (C-3-sb) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Antocianinas monoméricas } \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A * PM * FD * 1000}{\varepsilon * 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$$A = (Abs_{520} - Abs_{700})pH_{1.0} - (Abs_{520} - Abs_{700})pH_{4.5} \quad \text{Ecuación 3}$$

Pm = Peso molecular de la Cianidina-3-sambubiosido: 449.2 g/mol.

FD= Factor de dilución

$\epsilon$  = Coeficiente de absorción molar de la Cianidina-3-sambubiosido (26900 L/cm<sup>2</sup>\*mol).

### **6.6. Formulaciones de polvos a base de Jamaica para preparar bebidas con potencial para disminuir el peso corporal**

Una vez identificada las condiciones de secado por aspersión se procedió a elaborar polvos para preparar bebidas adicionadas con compuestos que potencien sus beneficios para disminuir el peso corporal (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Formulación base de las mezclas finales para el secado por aspersión.

<b>Formulación base para el secado por aspersión requerida para 1 Litro de extracto de Jamaica al 3%</b>	
Ácido málico	9.6 gramos
Ácido tartárico	4 gramos
Ácido sórbico	1.550 gramos
Sucralosa	250 miligramos
Acesulfame	250 miligramos
Fructosa	5 gramos
Sorbitol	9 mililitros
Colorante	2 mililitros

A las mezclas correspondientes que contenían Garcinia se les adicionaron 2 gramos y las de té verde 4 gramos.

### **6.7. Determinaciones realizadas a los productos una vez establecidas las condiciones de proceso de secado**

En el Cuadro 12 se detallan cada uno de los análisis que se realizaron tanto a las mezclas antes del proceso de secado por aspersión, a los productos en polvo de dicho proceso y a los reconstituidos del producto una vez establecidas las condiciones de secado.

**Cuadro 12.** Listado de determinaciones realizadas a las mezclas, productos en polvo y reconstituidos después de establecer las condiciones de secado.

Determinación	Mezclas antes del secado	Polvos	Microencapsulados reconstituidos
<b>Determinaciones proximales y fisicoquímicas.</b>			
Rendimiento		X	
Tiempo de reconstitución		X	
% Humedad		X	
% Sólidos totales		X	
Densidad aparente		X	
Índice de solubilidad		X	
pH			X
Acidez titulable			X
Actividad acuosa		X	
<b>Determinaciones colorimétricas</b>			
Parámetros de color	X		X
Cambio de color	X		X
<b>Determinaciones funcionales y fitoquímicas</b>			
Fenoles totales	X		X
Flavonoides totales	X		X
Antocianinas monoméricas	X		X
Eficiencia de encapsulamiento		X	
Índice de color polimérico		X	
Índice de pardeamiento		X	
Capacidad antioxidante - ABTS	X		X
Capacidad antioxidante - DPPH	X		X

### 6.7.1. Determinaciones proximales y fisicoquímicas

#### 6.7.1.1. Rendimiento

La metodología para determinar el rendimiento se refiere en el apartado 6.5.1

#### 6.7.1.2. Tiempo de reconstitución

La metodología para determinar el tiempo de reconstitución se refiere en el apartado 6.5.2.

#### **6.7.1.3. Humedad y sólidos totales**

Estas determinaciones se realizaron de acuerdo a la metodología descrita en la norma NMX-F-083-1986, en crisoles a peso constante (12 h a 105 °C en horno), se colocó 1 g de muestra de cada uno de los productos secados por aspersión y se metieron en el horno (Felisa FE – 291, México) durante 24 h; posteriormente se registró el peso de los crisoles con la muestra. Después se procedió a colocar los crisoles con la muestra dentro de una mufla (ARSA AR -340, México) durante 5 h a una temperatura de 550 °C, una vez transcurrido este tiempo, los crisoles se colocaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente para registrar su peso. Los cálculos de porcentaje de humedad se realizaron de la siguiente manera:

$$\% \text{Humedad} = \left( \frac{(W_c + W_m) - W_1}{W_m} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\% \text{sólidos totales} = 100 - \text{contenido de humedad (\%)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$W_c$  = Peso del crisol

$W_m$  = Peso de la muestra húmeda

$W_1$  = Peso del crisol con la muestra seca

$W_2$  = Peso del crisol con la muestra calcinada en la mufla

#### **6.7.1.4. Densidad aparente**

La densidad aparente se determinó utilizando 500 mg de los polvos, los cuales se colocaron en una probeta graduada cilíndrica de 5 mL y se determinó el volumen ocupado después de mantenerla en agitación para homogenizar y tratar de compactar la muestra durante un minuto. La densidad aparente se calculó como g/mL (Elversson *et al.*, 2005).

#### **6.7.1.5. Índice de solubilidad**

Para determinar este parámetro se siguió la metodología de Arrazola *et al.*, (2014). De los productos del secado se pesaron 500 mg de polvo los cuales se

diluyeron en 20 mL de agua destilada, se agitaron hasta solubilizar la muestra durante 30 minutos. Luego se realizó una centrifugación a 3000 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, se tomó una alícuota del 3 ml pasándose a crisoles. Las muestras se secaron a 105 °C en una estufa de laboratorio durante 8 horas. La solubilidad se calculó por diferencia de peso y se expresó como índice de solubilidad (%).

$$\text{Indice de solubilidad (\%)} = \left( \frac{p * 100}{p} \right) * \left( \frac{100 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

#### 6.7.1.6. pH

Se procedió a reconstituir los polvos en agua destilada, llevándolos a los 15 grados Brix de la mezcla original con los cuales se elaboraron los secados por aspersión. Una vez hecho esto, se procedió a tomar una muestra de 10 mL de la solución y se procedió a leer su pH en un potenciómetro con electro de cristal (F-74BW, Horiba; Japón) (AOAC 943.02).

#### 6.7.1.7. Acidez titulable

Una vez obtenidos los productos del secado se reconstituyeron a los Brix originales, una vez hecho esto, se procedió a seguir la metodología de que indica la norma NMX-F-102-S-1978 para acidez titulable, la cual consiste en tomar 10 mL de cada muestra reconstituida con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.3. Los resultados se expresaron como gramos equivalentes de ácido cítrico.

#### 6.7.1.8. Actividad acuosa

La determinación de la actividad acuosa nos permite predecir la estabilidad y la vida útil de un producto, teniendo una relación con el contenido de humedad mediante el grado de interacción de los solutos de los polvos con el agua, lo que refleja la facilidad de esta para permanecer en el alimento (Badui y Cejudo, 2006). Para ello, se hizo uso de un lector de actividad acuosa (AquaLab Lite, USA) en

el cual se introdujeron 2 gramos de muestra en polvo proporcionándonos una lectura directa de la actividad acuosa.

### **6.7.2. Determinaciones colorimétricas**

#### **6.7.2.1. Determinación de los parámetros de color (CIEL\*a\*b\*)**

Para determinar los parámetros L\*, a\*, b\* y H, tanto de las mezclas antes del secado y de los polvos reconstituidos se utilizó un colorímetro (Minolta CR – 200, Japón), donde los valores L\* indica la medida de luminosidad, que varía de 0 (Negro) a 100 (blanco); el valor a\* oscila entre -100 (verdor) y +100 (enrojecimiento) y el valor b\* oscila entre -100 (azul) y +100 (amarillo). Para el parámetro de color H se aplicó la formula siguiente:

$$H = \arco{\tangente} \frac{b}{a} \quad \text{Ecuación 7}$$

Las variaciones del color ( $\Delta E$ ) nos indica cómo cambiaron de color las muestras y este parámetro se determinó en las mezclas antes del secado como de las soluciones reconstituidas de los polvos. Esto se calculó con la ecuación 8, utilizando los parámetros L\*, a\*, b\*.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

### **6.7.3. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante**

#### **6.7.3.1. Fenoles totales**

Para dicha determinación se usó la técnica descrita por Singleton *et al.* (1999) para lo cual se tomó una alícuota de 4  $\mu\text{L}$  de cada muestra tanto de la mezcla previa al secado como de las reconstituidas; estas se llevaron a un volumen final de 74  $\mu\text{L}$  con agua destilada, se adicionaron 37.5  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin 1N y 187.5  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio al 20%. Se dejó reposar la mezcla protegida de la luz y a temperatura ambiente durante 2 h, tras lo cual se realizó la medición de la absorbancia a 765 nm en un lector de placas (Thermo multiskan Go, Japón).

Para la cuantificación se utilizó ácido gálico como estándar y se expresaron los resultados como mg equivalentes de ácido gálico/g de materia seca.

#### **6.7.3.2. Flavonoides totales**

Para esta determinación se siguió la metodología propuesta por Liu *et al.* (2002) la cual consistió en adicionar a una alícuota de 4 µL de cada muestra (mezcla antes del secado y producto reconstituido), 7.5 µL de nitrito de sodio al 5%, 15 µL de cloruro de aluminio al 10% y 50 µL de hidróxido de sodio 1 M. La reacción se dejó reposar en protección de la luz y a temperatura ambiente durante 30 min; posteriormente se midió la absorbancia a 510 nm en un lector de placas (Thermo multiskan Go, Japón). Se utilizó catequina como estándar y los resultados se expresaron como mg equivalentes de catequina/g de muestra.

#### **6.7.3.3. Antocianinas monoméricas**

La metodología para determinar el rendimiento se refiere en el apartado 6.5.3.

#### **6.7.3.4. Eficiencia de encapsulamiento**

Se usó la determinación por el método de pH diferencial de antocianinas descrito anteriormente. Se realizaron dos cuantificaciones, esto de acuerdo a la metodología propuesta por Idham *et al.*, (2012).

La metodología consiste en realizar la cuantificación de las antocianinas totales (AT) y las superficiales (AS). En el caso de la determinación de las antocianinas totales en cada uno de los polvos, se mezclaron 100 mg en 1 mL de agua destilada, se molieron en un mortero para destruir la membrana encapsulante; posteriormente se añadieron 9 mL de etanol puro agitándose en vortex (Benchmark Benchmixer, USA) durante 5 min y después se filtró el contenido.

Para la determinación de antocianinas superficiales (AS) se diluyeron 100 mg de muestra con 100 mL de etanol puro en un vortex durante 30 segundos, se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min a 20 °C. Una vez separadas las fases se filtró el sobrenadante en acrodiscos de 0.45 µm.

El contenido de antocianinas totales como superficiales se determinó usando el método de pH diferencial. La eficiencia de encapsulamiento se calculó de acuerdo a la ecuación 9.

$$Eficiencia\ de\ encapsulamiento\ (\%EE) = \frac{(AT - AS)}{AT} * 100 \quad \textbf{Ecuación 9}$$

Donde:

%EE= Eficiencia de encapsulamiento

AT = Antocianinas totales

AS = Antocianinas superficiales.

#### 6.7.3.5. Índice de pardeamiento e índice de color polimérico

El índice de pardeamiento se determinó por espectrometría (Thermo multiskan Go, Japón) de acuerdo a lo descrito por Sinela *et al.* (2017) siguiendo la ecuación 10. Para ello, se diluyeron 10 mg de cada polvo en 900 µL de ácido málico (1/90 v/v) a pH= 2.2. Se leyó a 420 y 520 nm.

$$BI = \frac{A_{420\ nm}}{A_{520\ nm}} \quad \textbf{Ecuación 10}$$

Dónde:

BI = Índice de pardeamiento (Brown index, por sus siglas en inglés)

A<sub>420 nm</sub> = Absorbancia a 420 nm

A<sub>520 nm</sub> = Absorbancia a 520 nm

El índice de color polimérico (ICP) es la relación del color polimérico y la densidad del color. Una solución de metabisulfito de potasio se añadió a las muestras en solución para decolorar las antocianinas monoméricas. El color residual llamado color polimérico de las muestras en solución es atribuido a la presencia de antocianinas poliméricas. Usándose la ecuación 11 se determinó dicho parámetro.

$$Indice\ de\ color\ polimerico\ (ICP) = \frac{\text{Color polimérico}}{\text{Densidad de color}} \quad \textbf{Ecuación 11}$$

Para la determinación del color polimérico se tomaron 140  $\mu$ L de las muestras diluidas en ácido málico a pH: 2.2, posteriormente se añadieron 10  $\mu$ L de agua Mili-Q para la densidad de color y metabisulfito (1M) para el color polimérico. Para determinar el color polimérico se empleó la ecuación 12 con las mediciones de las absorbancia de las muestras con metabisulfito.

$$\text{Color polimérico} = [(A_{420nm} - A_{700nm}) + (A_{420nm} - A_{700nm})] * FD \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

FD= Factor de dilución

Para determinar la densidad de color se empleó la ecuación 13 con las mediciones de las absorbancias de las muestras en agua.

$$DC = [(A_{420nm} - A_{700nm}) - (A_{420nm} - A_{700nm})] * FD \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

DC = Densidad de color

FD = factor de dilución.

#### 6.7.3.6. Capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH

La actividad antioxidante se determinó mediante la metodología ABTS\*\* (2,2'azinobis-3 etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico) (7 mM), desarrollada por *Re et al.* (1999) donde se generó primero el radical ABTS por medio de una reacción de oxidación, en una solución de persulfato de potasio (12 h antes de ser utilizado). Una vez formado el radical, este se diluyó con etanol hasta obtener un valor de absorbancia entre 0.76 ( $\pm 0.1$ ) a 734 nm.

Después se aplicaron 20  $\mu$ L de muestra tanto para las mezclas previas al secado como a los productos reconstituidos y 230  $\mu$ L del radical ABTS. Se incluyeron dos controles uno de metanol y otro de agua destilada (20  $\mu$ L de cada uno respectivamente) a los cuales se les agregaron los 230  $\mu$ L del radical ABTS así,

también, se integraron dos blancos de agua destilada y metanol. Los resultados se expresaron como µg equivalentes de trolox/g de materia seca.

Adicionalmente, se determinó la capacidad antioxidante por el método DPPH\* desarrollado por Brand-Williams *et al.*, (1995), basado en la disminución de la absorbancia debida a la reducción del radical DPPH\*. Para lo cual, se preparó una solución 0.1 mM de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) en metanol posteriormente, 200 µL de esta solución se adicionó a las mezclas antes de secar y los productos reconstituidos (20 µL de cada uno respectivamente). Después de 30 minutos de incubación a temperatura ambiente y protegido de la luz se determinó la absorbancia de la mezcla a 517 nm. Los resultados se expresaron como µg equivalentes de Trolox/g de materia seca.

#### **6.8. Análisis estadístico**

Para el procesamiento de los microencapsulados mediante el secado por aspersión se realizó un Diseño Central Compuesto (DCC). Para analizar las mejores condiciones de procesamiento a partir de dicho diseño experimental se procedieron a analizar las variables respuesta “Rendimiento, Tiempo de reconstitución y contenido de antocianinas” mediante ajuste del modelo, regiones de optimización, deseabilidad de las respuestas, interacción de factores. Los resultados obtenidos se expresan como la media ± desviación estándar (DE). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Se realizó una prueba t de Student para muestras independientes con una significancia P<0.05 para determinar si existieron diferencias entre las muestras antes del secado por aspersión y después del proceso. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico JMP 10.0.

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1. Determinación de las condiciones de secado por aspersión de los extractos de Jamaica**

La primera etapa del proyecto consistió en determinar cuáles eran las mejores condiciones de proceso en el secado por aspersión, se evaluaron variables respuesta tales como el rendimiento, el tiempo de reconstitución y la cantidad de antocianinas en el producto del secado; se consideraron dichas variables debido a que el objetivo del proyecto fue desarrollar polvos a base de extractos de jamaica que tuviesen características de una bebida en polvo; es decir, tiempos cortos en su dilución, un rendimiento adecuado debido, a que se desea industrializar dicho producto, y antocianinas encapsuladas necesarias para que se produzca un efecto funcional significativo en el consumidor.

En el Cuadro 13 se presenta el diseño central compuesto con los valores obtenidos, se recurrió a este tipo de diseño debido a la necesidad del desarrollo de un nuevo producto y que permitiera a la vez identificar las mejores condiciones del proceso, minimizando la cantidad de información que puede ser obtenida con un menor número de experimentos individuales (Careaga, 2015; Castaño *et al.*, 2003; López *et al.*, 2010). Para mejorar tanto las respuestas de rendimiento como de encapsulamiento de fitoquímicos se recurrió a una mezcla de Maltodextrina goma arábiga en una proporción 1:1.

**Cuadro 13.** Diseño central compuesto con los datos obtenidos en las tres variables respuesta.

Flujo de alimentación (mL/min)	Temperatura de secado (°C)	Brix	Rendimiento (%)	Tiempo de reconstitución (s)	Antocianinas (mg eq C-3-sb/100 g de polvo)
3	130	20	50.3 ± 0.4	40 ± 0.71	130.3 ± 0.80
3	130	20	64 ± 0.5	105 ± 0.71	133.2 ± 0.63
3	155	15	72.07 ± 0.4	47 ± 0.87	131.9 ± 0.71
3	180	20	62.2 ± 0.8	40 ± 0.59	130.8 ± 0.51
3	180	10	71.8 ± 0.76	106 ± 0.52	132.1 ± 0.44
3.5	130	10	64 ± 0.95	42 ± 0.77	131.9 ± 0.52
3.5	155	15	58.07 ± 0.9	56 ± 0.69	132.89 ± 0.51
3.5	155	20	62.2 ± 0.78	41 ± 0.67	130.2 ± 0.34
3.5	155	10	76 ± 0.85	111 ± 0.89	133.45 ± 0.71
3.5	180	15	77.9 ± 0.79	42 ± 0.97	131.91 ± 0.32
4	130	10	64 ± 0.96	45 ± 0.97	130.1 ± 0.64
4	130	15	47.3 ± 0.94	86 ± 0.89	132.9 ± 0.7
4	155	15	61.33 ± 0.69	45 ± 0.67	134.12 ± 0.8
4	180	20	57.5 ± 0.71	40 ± 0.95	129.8 ± 0.57
4	180	10	66.8 ± 0.85	110 ± 0.94	132.89 ± 0.62

Los resultados son expresados como la media ± desviación estándar (DE) (n=2) para el rendimiento y (n =3) para tiempo de reconstitución y antocianinas. Cianidina-3-sambubiosido = C-3-sb.

#### 7.1.1. Análisis de la variable respuesta: Rendimiento

Con los resultados obtenidos para el rendimiento, se realizó un análisis de varianza (Cuadro 14), en donde el valor de P fue menor a 0.05, con un ajuste de 0.67 ( $R^2$ ).

**Cuadro 14.** Análisis de varianza para la variable respuesta rendimiento

Análisis de varianza					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Modelo	6	1124.78	187.46	7.23	0.0003
Error	21	544.5	25.9	$R^2 = 0.67$	

La influencia de cada uno de los parámetros (efectos) significativos sobre el rendimiento son mostrados en el Cuadro 15. En donde se aprecia, que si bien

todos fueron significativos, la mayor influencia (P más cercano a cero) se encuentra asociada a los grados Brix, al flujo de alimentación, la temperatura de secado y los grados Brix de la mezcla. El modelo obtenido es descrito en la ecuación 14, la cual describe el comportamiento del rendimiento en función de los parámetros incluidos en esta misma.

**Cuadro 15.** Análisis de efecto de los parámetros para la variable rendimiento.

Efecto de los parámetros	
Fuente	Prob > F
Flujo de alimentación (mL/min)	0.0004
Temperatura de secado (C)	0.0052
Grados Brix	0.0003

#### Modelo de predicción:

$$R(\%) = 95.36 + (-10.57 * X) + (0.16 + Y) + (-1.12 * W(X - 3.53)) + ((X - 3.53) * (-13.8))(X - 3.53) + ((Y - 156.78) * 0.21) * (X - 3.53) + ((W - 14.64) * (-.60))$$

**Ecuación 14**

Donde:

R (%) = Rendimiento

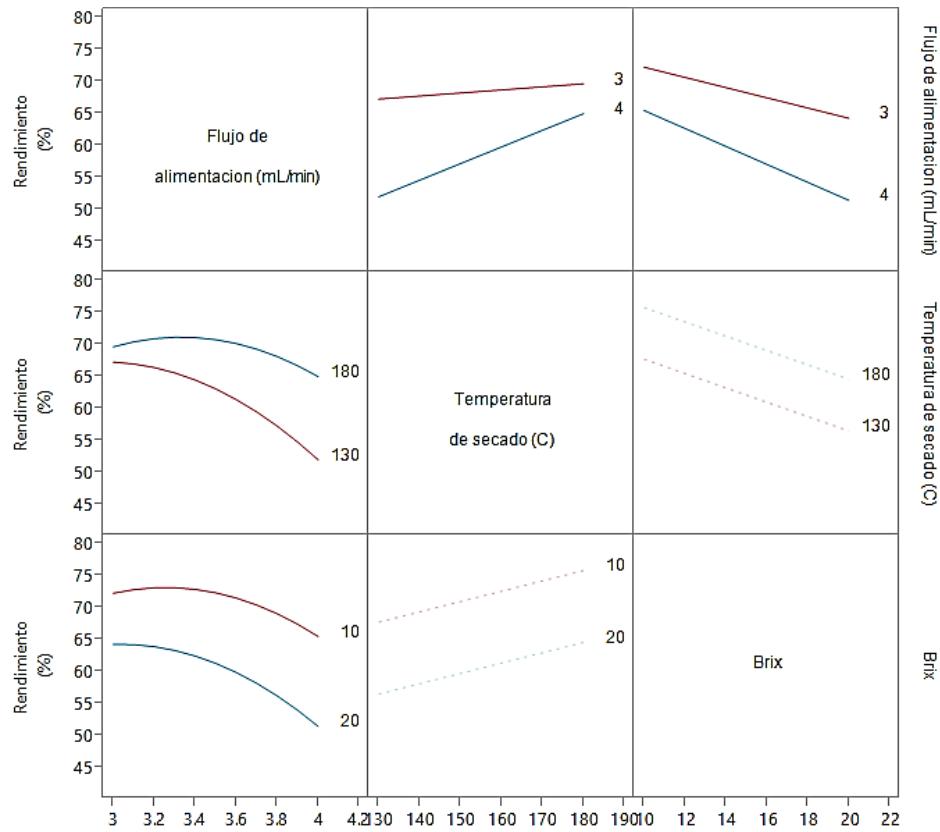
X = Flujo de alimentación (mL/min)

Y = Temperatura de secado (°C)

W = Brix

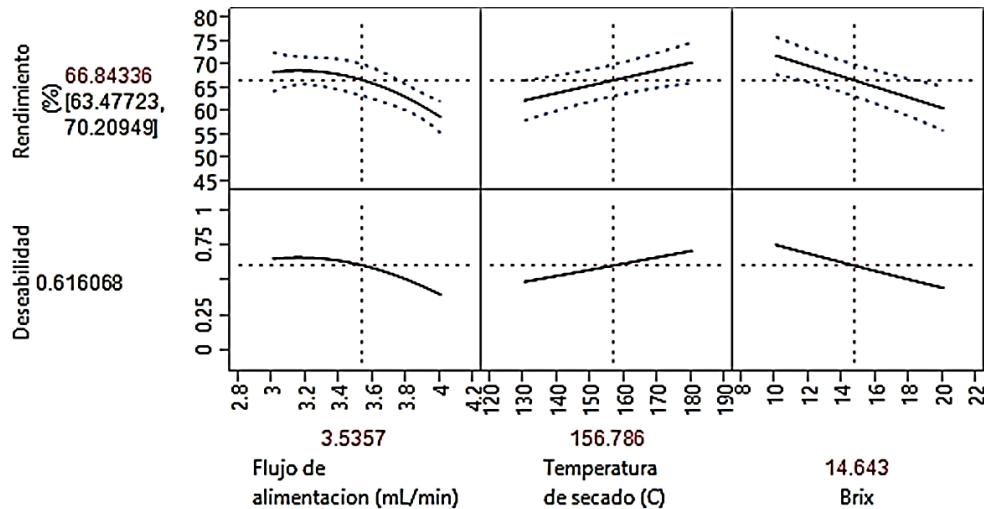
No se encontró una interacción evidente, a pesar de que el modelo indica una interacción entre los grados Brix y el flujo de alimentación, tal contradicción puede ser la razón del relativamente bajo ajuste observado ( $R^2 = 0.67$ ) (Figura 11). Ahora bien, al ubicarse en dicha figura, la sección central superior indica el gráfico de interacción entre el flujo de alimentación y la temperatura de secado mostrando que para flujos de alimentación de 3 mL/min y con variaciones de temperatura de secado entre 130 y 180 °C el rendimiento no son muy marcadas; en cambio, para flujos de 4 mL/min y con el mismo rango de temperatura los rendimientos tienden a tener una mayor variación y serán menores que a 3 mL/min. En el caso de la interacción flujo de alimentación y Brix (sección superior

derecha) indica que para flujos cercanos a 3 mL/min el rendimiento tiende a disminuir cuando los Brix pasan de 10 a 20, teniendo el mismo comportamiento de decaimiento para flujos cercanos a 4 mL/min pero siendo mayor el rendimiento para el flujo de 3 mL/min. En la misma figura 8, en el cuadrante central izquierdo se encuentra la interacción entre el flujo de alimentación y la temperatura de secado en la cual a temperaturas cercanas a 180 °C y variando los flujos de alimentación de 3 a 4 mL/min se produce una curva con un rendimiento máximo en la región de los flujos de 3.2 a 3.6 mL/min hasta llegar a un mínimo en 4 mL/min. Para la misma interacción, a temperaturas próximas a 130 °C el comportamiento es más marcado, siendo el máximo rendimiento para un flujo próximo a 3 mL/min del cual la curva de rendimiento comienza su decaimiento. Finalmente (Figura 11), en la región inferior izquierda, la interacción entre Brix y flujo de alimentación, se describe un curva decreciente en la se puede observar un máximo rendimiento entre los rangos de 3.2 a 3.6 mL/min de flujo; en otro caso, para 20 Brix se describe una curva con un decaimiento más pronunciado que tiene un máximo en 3 mL/min a partir del cual se observa el descenso en el rendimiento.



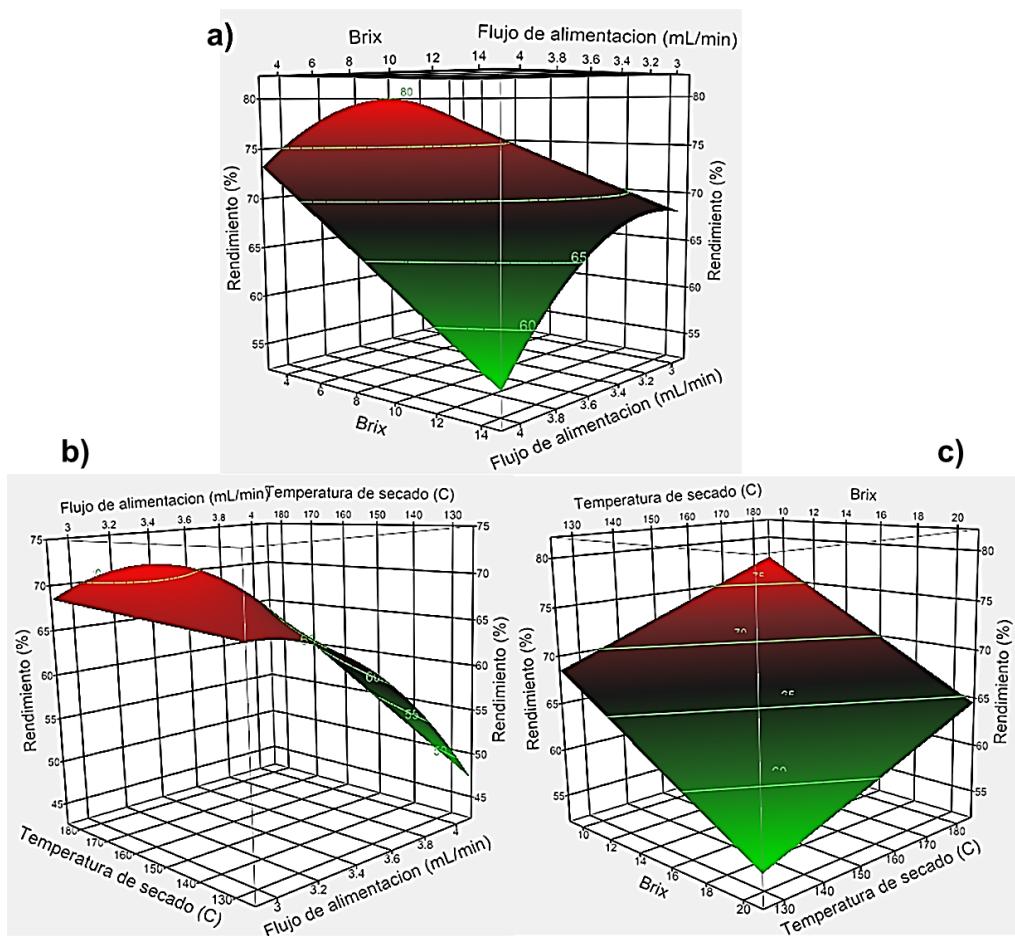
**Figura 11.** Interacciones para la variable respuesta rendimiento

Las mejores condiciones de secado, con respecto a la mayor cantidad de rendimiento fueron determinadas mediante la prueba de deseabilidad (Figura 12), en donde, de acuerdo con dicha prueba, las mejores condiciones de secado son las siguientes: 3.5 mL/min, 156.78 °C y 14.64 Brix.



**Figura 12.** Perfilador de deseabilidad para el rendimiento

En la Figura 13 se muestran las superficies de repuesta para los parámetros analizados, indicando los comportamientos ya descritos. Para la figura del inciso a) Se observa que al variar el flujo de alimentación de 4 hasta aproximadamente 3.5 mL/min se obtiene un máximo en el rendimiento, caso contrario a la variación de los grados Brix, que al reducirlos se obtiene un mayor rendimiento, el cual se indica por la coloración roja de la gráfica. Para el caso de la Figura 13b se observa el rendimiento en función de la temperatura de secado y el flujo de alimentación; en donde es posible observar una curva creciente al disminuir el flujo de alimentación, de 4 a 3 mL/min así mismo, en relación a la temperatura de secado se observa una curvatura en la que es posible observar un máximo en el rendimiento entre los 14 y los 16 Brix. Finalmente en la figura 13c los parámetros de temperatura de secado y Brix muestran el comportamiento de la respuesta rendimiento, en la que al variar los Brix de 20 a 10 se forma un plano inclinado con un comportamiento creciente; en el otro caso, al variar de 130 a 180 °C la temperatura de secado el rendimiento aumenta en dicho plano, la misma coloración del plano, de verde a rojo indica el comportamiento de mayor rendimiento.



**Figura 13.** Superficies de respuesta para rendimiento

#### 7.1.2. Análisis de la variable respuesta: Tiempo de reconstitución

Con los resultados obtenidos para el tiempo de reconstitución, se realizó un análisis de varianza (Cuadro 16), en donde el valor de P fue menor a 0.05, con un ajuste de 0.88 ( $R^2$ ).

**Cuadro 16.** Análisis de varianza para la variable tiempo de reconstitución.

Análisis de varianza					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Modelo	6	19288.58	3214.76	27.53	<0.0001
Error	21	2451.42	116.73	$R^2 = 0.88$	

La influencia de cada uno de los parámetros (efectos) significativos sobre el tiempo de reconstitución son mostrados en el Cuadro 17, donde se aprecia, que

todos fueron significativos, pero la mayor influencia (P más cercano a cero) se encuentra asociada a flujo de alimentación, temperatura de secado\*Brix y Brix\*Brix de la mezcla. El modelo obtenido es descrito en la ecuación 15, la cual describe el comportamiento del tiempo de reconstitución en función de los parámetros incluidos en esta misma.

**Cuadro 17.** Análisis de efecto de los parámetros de la variable tiempo de reconstitución.

Efecto de los parámetros	
Fuente	Prob > F
Flujo de alimentación (mL/min)	<0.0001
Brix	0.0002
Flujo de alimentación (mL/min)*Brix	0.0010
Temperatura de secado (C)*Brix	<0.0001
Brix*Brix	<0.0001

La ecuación 15 muestra el comportamiento de la variable respuesta denominada tiempo de reconstitución con la cual se puede generar su comportamiento.

#### Modelo de predicción:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de reconstitución (s)} = & -92.7 + 33.17 * X + (-0.06 * Y) + 2.45 * W(X - 3.53) + \\ & (W - 14.64 * 5.27) * (Y - 156.78) + ((W - 14.64) * -0.23) + (W - 14.64) * ((W - 14.64) * \\ & 1.52) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

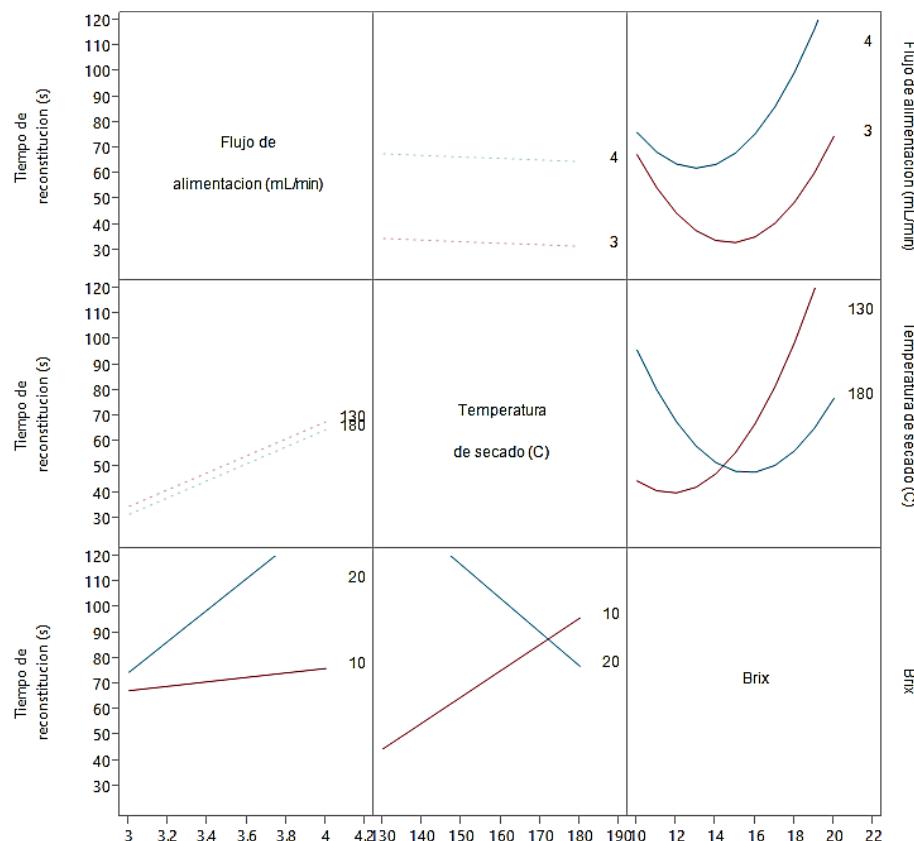
X = Flujo de alimentación (mL/min)

Y = Temperatura de secado (°C)

W = Brix

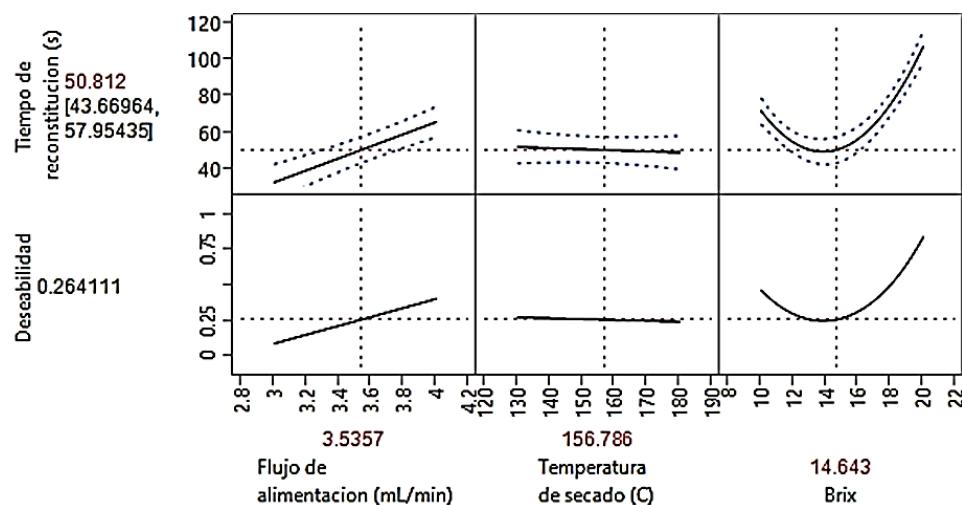
En la figura 14, en la región superior derecha, se observa el comportamiento de la interacción entre el flujo de alimentación y los Brix de la mezcla en la que para un flujo de alimentación de 4 mL/min y el rango que va de 12 a 16 Brix se produce un mínimo en el tiempo de reconstitución, a partir del cual el tiempo tiende a ser mayor; para el otro caso en el que el flujo de alimentación es de 3 mL/min el mínimo se ajusta al rango entre 14 y 18 Brix; sin embargo, el menor tiempo

corresponde al que se produce en la curva descrita por 3 mL/ min lo que es más deseable dado que el objetivo de un polvo para preparar bebida es la rápida solubilidad. En la región central derecha de la gráfica 14 se observa una interacción evidente entre la temperatura de secado y los grados Brix con rangos de 14 y 16 Brix y entre las temperaturas de 130 y 180 °C en la cual el menor tiempo de reconstitución se presenta para curva desarrollada para 130 °C; otra interacción evidente se muestra entre los grados Brix y la temperatura de secado (sección central inferior de la figura 14) que está en el rango de 170 y 180 °C y entre 10 y 20 Brix, la cual indica que al aumentar la temperatura de secado a 20 Brix el tiempo de reconstitución tiende a bajar, siendo el caso contrario para 10 Brix que al aumentar la temperatura el tiempo de reconstitución aumenta. Lo que sería la razón del ajuste observado ( $R^2 = 0.88$ ).



**Figura 14.-** Interacciones de los parámetros evaluados en el tiempo de reconstitución.

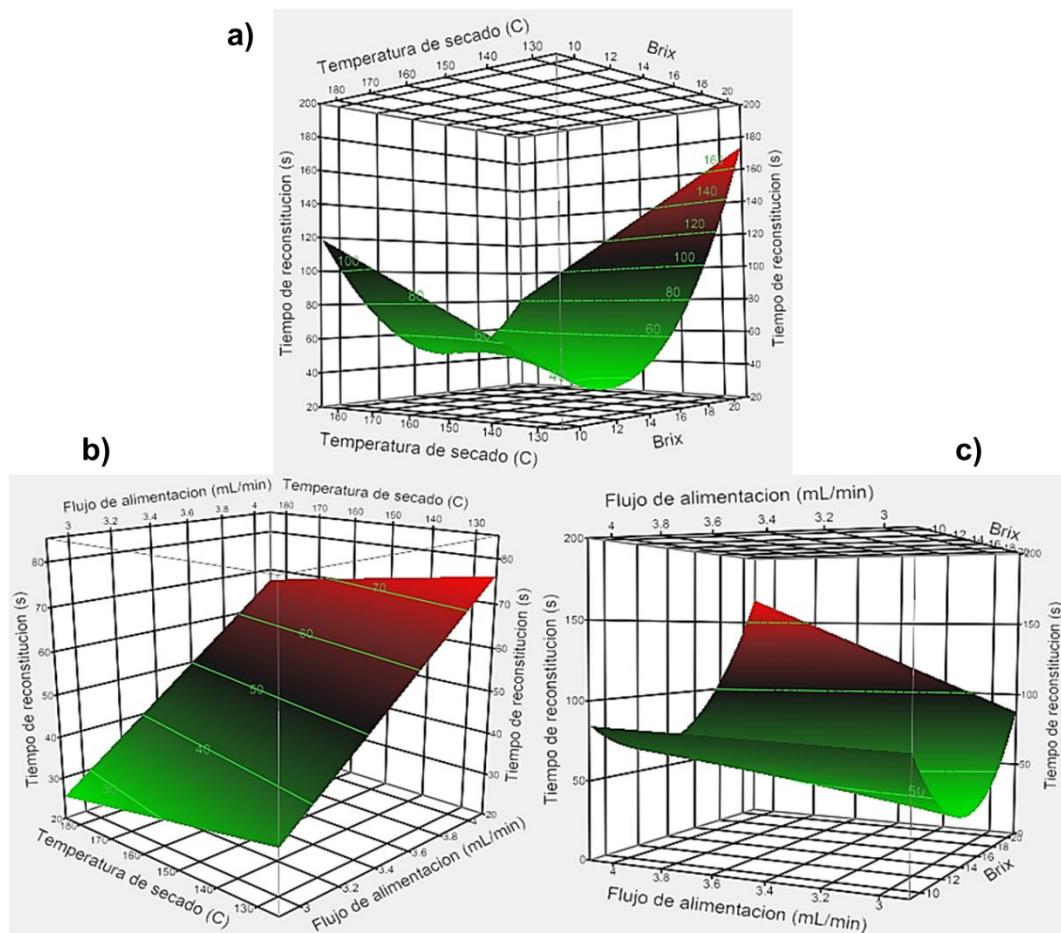
Las mejores condiciones de secado, con respecto al mejor tiempo de reconstitución fueron determinadas mediante la prueba de deseabilidad (Figura 15), de acuerdo a dicha prueba, las mejores condiciones de secado son las siguientes: 3.5 mL/min, 156.7 °C y 14.6 Brix.



**Figura 15.** Perfilador de deseabilidad para la variable tiempo de reconstitución.

En la Figura 16 se muestran las superficies de respuesta con los parámetros significativos para la variable respuesta tiempo de reconstitución, indicando las condiciones ya analizadas anteriormente. Para la figura 16a los parámetros que se evalúan en la respuesta son la temperatura de secado y los Brix, mostrando un comportamiento en el cual al variar la temperatura de secado de 180 a 130 °C se van obteniendo tiempos menores en la reconstitución de los polvos, lo cual se indica por la coloración verde de la curva; en el caso de la variación de los Brix en la curva tiende a mostrar un mínimo cuando hay una variación entre los 12 y los 16 Brix; en caso contrario si se varían los Brix más allá de los 16, el tiempo de reconstitución aumenta lo que puede observarse en la coloración roja de la curva. A bajas temperaturas, a partir de 12 grado Brix, valores mayores de este parámetro y mayor tiempo de reconstitución. En el caso de la figura 16b se observan los parámetros de temperatura de secado y flujo de alimentación como significativos para la respuesta tiempo de reconstitución, donde al variar la temperatura de secado de 180 a 130 °C en combinación de flujos de alimentación

menores de 3.4 mL/min se obtienen tiempos de reconstitución menores a los 60 segundos en dicho tiempo. En el caso de la figura 16c los parámetros de flujo de alimentación y Brix son los que en combinación determinan el comportamiento del tiempo de reconstitución, se observa que la curva generada por estos parámetros se genera un mínimo en la región de los 3.4 a los 3 mL/min y entre los 12 y 16 Brix, la región mencionada se puede visualizar por la coloración de la curva verde brillante.



**Figura 16.** Superficies de respuesta para tiempo de reconstitución.

### 7.1.3. Análisis de la variable respuesta: Antocianinas

Con los resultados obtenidos para antocianinas, se realizó un análisis de varianza (Cuadro 14), en donde el valor de P fue menor a 0.05, con un ajuste de 0.56 ( $R^2$ ).

**Cuadro 18.** Análisis de varianza de la variable antocianinas.

Análisis de varianza					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Modelo	4	29.27	7.31	7.60	0.0005
Error	23	22.12	0.96		R <sup>2</sup> = 0.56

La influencia de cada uno de los parámetros (efectos) significativos sobre el rendimiento son mostrados en el Cuadro 19. En donde se aprecia, que si bien todos fueron significativos, la mayor influencia (P más cercano a cero) se encuentra asociada a temperatura de secado\*Brix (Cuadro 19). El modelo obtenido es descrito en la ecuación 16, este muestra el comportamiento del rendimiento en función de los parámetros incluidos en esta misma.

**Cuadro 19.** Análisis de efecto de los parámetros de la variable antocianinas

Efecto de los parámetros	
Fuente	Prob > F
Temperatura de secado (C)*Brix	0.0004
Brix*Brix	0.0330

#### Modelo de predicción:

$$\text{Antocianinas} = 135.25 + (-0.012 * Y) + (-0.06 * W(Y - 156.78)) + ((W - 14.64) * (-0.008)) + (W - 14.64) * ((W - 14.64) * (-0.03)) \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

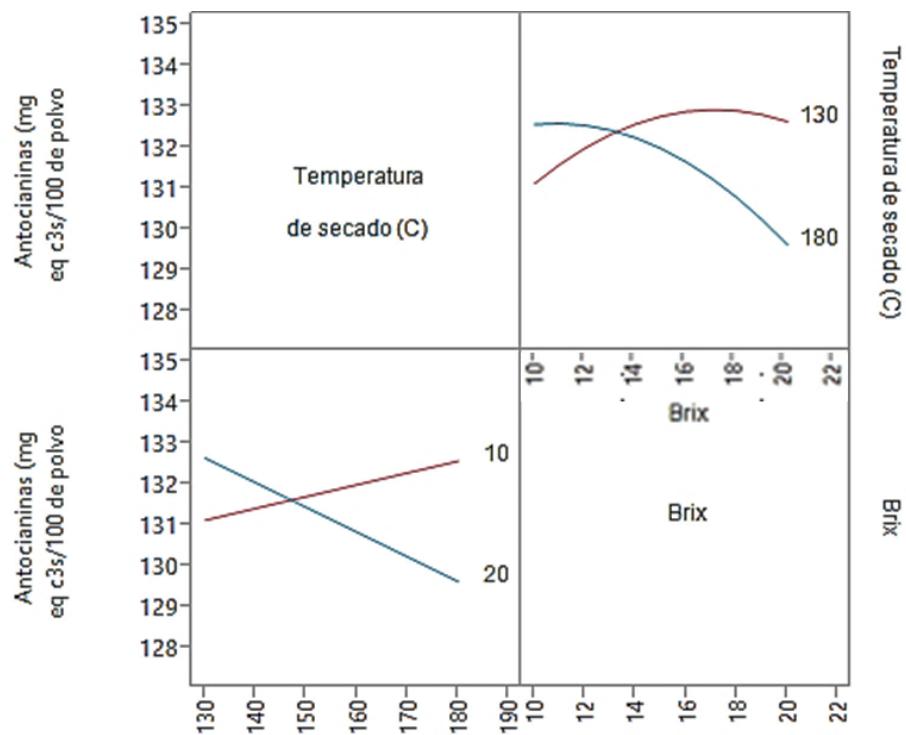
X = Flujo de alimentación (mL/min)

Y = Temperatura de secado (°C)

W = Brix

Las interacciones entre los diferentes efectos (Figura 17) fueron evidentes, una de ellas correspondiente a la temperatura de secado entre 130 y 180 °C (sección superior derecha) con sus variaciones en grados Brix, indicando que la variación de los grados Brix en la curva correspondiente a los 130 °C presenta un máximo en el rango de 16 y 20 Brix; en el caso de la curva correspondiente a los 180 °C

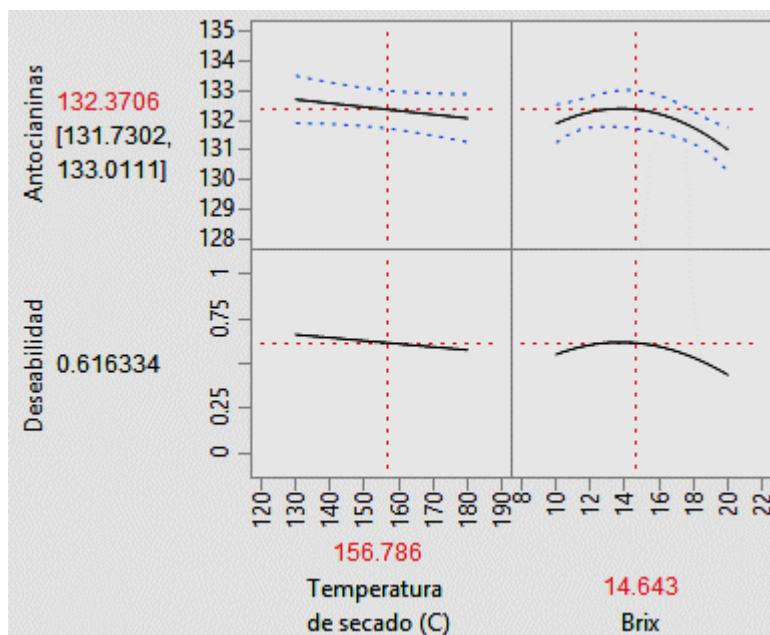
el máximo se ubicó en el rango de los 10 a 14 Brix; la diferencia entre ambas curvas radica en que la correspondiente a los 130° C se desarrolla de forma creciente al variar los grados Brix hasta mantenerse estacionaria en una cantidad aproximada de 132 mg de antocianinas mientras que para la correspondiente a los 180 °C mantendrá un decaimiento pronunciado en la variación de los grados Brix. En la interacción correspondiente a los grados Brix (10 y 20) y la variación de la temperatura de secado (sección inferior izquierda de la Figura 17) se indica que para la recta correspondiente a los 10 Brix la cantidad de antocianinas retenidas en el secado tiende a aumentar a mayores temperaturas caso contrario con la recta de los 20 Brix, que muestra un comportamiento decreciente opuesto al de 10 Brix, tal discrepancia con la prueba de deseabilidad puede ser la razón del bajo ajuste observado ( $R^2 = 0.56$ ).



**Figura 17.** Interacciones de los parámetros evaluados para antocianinas.

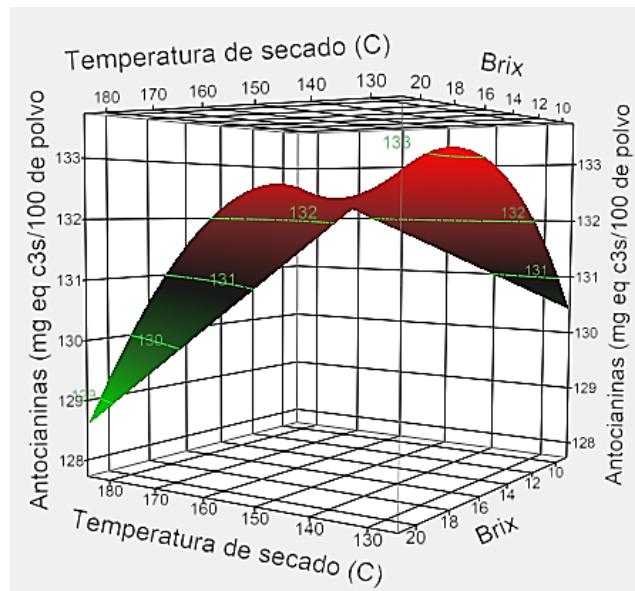
Las mejores condiciones determinadas, con respecto a la mayor cantidad de antocianinas fueron determinadas mediante la prueba de deseabilidad (Figura

18):156.78 °C y 14.64 Brix. No presentando una respuesta para el flujo de alimentación.



**Figura 18.** Perfilador de deseabilidad para la variable antocianinas.

En la Figura 19, se observa una única superficie de respuesta donde los parámetros determinantes son los Brix y la temperatura de secado. En todo caso el rango que produce la mejor retención de antocianinas iguales o mayores a 133 miligramos, corresponden a aquellos que van de 140 a 130 °C y los 20 a 14 Brix. C



**Figura 19.** Superficie de respuesta para la variable antocianinas

Una vez realizados los análisis pertinentes se observó que los requerimientos de deseabilidad para cada una de las respuestas correspondían a los siguientes parámetros: la temperatura de entrada de 155 °C, Flujo de alimentación de 3.5 mL/min y 15 Brix.

## 7.2. Formulaciones de las mezclas finales para los 6 productos objetivo

Una vez conocidas las condiciones de secado correspondientes, se procedió a secar cada una de las mezclas de ambas variedades incluyendo aquellas a las que se les adicionó té verde y Garcinia (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Formulación base de las mezclas finales para el secado por aspersión.

Formulación base para el secado por aspersión requerida para 1 Litro de extracto de Jamaica al 3%	
Ácido málico	9.6 gramos
Ácido tartárico	4 gramos
Ácido sórbico	1.550 gramos
Sucralosa	250 miligramos
Acesulfame	250 miligramos

Fructosa	5 gramos
Sorbitol	9 mililitros
Colorante	2 mililitros

Dicha mezcla corresponde tanto para las variedades Sudán y Criolla; aplicándoseles también extractos de té verde y Garcinia, las cuales se llevaron a 15 Brix. Obteniéndose 6 bebidas en total (Figura 20).



**Figura 20.** Productos finales elaborados mediante el secado por aspersión.

### 7.3. Determinaciones proximales y fisicoquímicas

#### 7.3.1. Humedad y sólidos totales

Se muestran los resultados de dichos parámetros para los productos elaborados, incluyéndose un producto comercial (Tang sabor jamaica) que se pueden observar en el Cuadro 21. La determinación de la humedad se realizó debido a que es uno de los parámetros que permiten que un producto en polvo mantenga

sus propiedades funcionales en almacenamiento y debido a que son productos muy higroscópicos (López *et al.*, 2010). Como puede observarse, las variaciones entre los productos son significativas estadísticamente; sin embargo, las diferencias prácticas corresponden a estos con la bebida comercial, esto podría deberse a parámetros tanto de proceso, materiales constitutivos de los productos que determinarían la porosidad del encapsulante y la cantidad de los sólidos que contenga inicialmente (Al-kahtani y Hassan, 1990).

**Cuadro 21.** Humedad y sólidos totales de los productos del secado.

Producto	Humedad (%)	Sólidos totales (%)
Sudán	4.71 ± 0.62 <sup>a</sup>	95.29 ± 0.56 <sup>d</sup>
Sudán con té verde	4.12 ± 0.26 <sup>c</sup>	95.88 ± 0.36 <sup>b</sup>
Sudán con Garcinia	4.22 ± 0.28 <sup>b</sup>	95.78 ± 0.53 <sup>c</sup>
Criolla	4.71 ± 0.28 <sup>a</sup>	95.29 ± 0.66 <sup>d</sup>
Criolla con té verde	4.12 ± 0.37 <sup>c</sup>	95.88 ± 0.66 <sup>b</sup>
Criolla con Garcinia	4.22 ± 0.40 <sup>b</sup>	95.78 ± 0.71 <sup>c</sup>
Sin colorante	4.12 ± 0.40 <sup>c</sup>	95.88 ± 0.44 <sup>b</sup>
Tang - Jamaica	2.20 ± 0.36 <sup>d</sup>	97.8 ± 0.37 <sup>a</sup>

Los resultados son expresados como la media ± DE (n=3). Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo a la prueba de Tukey – Kramer.

En el caso de los sólidos totales existen variaciones significativas entre cada uno de los productos, obteniéndose valores desde 96.88 hasta el 95.29 % en los productos, siendo mayor la cantidad de sólidos totales para los polvos comerciales. Como sabemos los sólidos pueden alterar el sabor del agua y provocar una reacción fisiológica desagradable momentánea en el consumidor (NMX-F-527-1992); por lo cual, los productos desarrollados mediante el secado por aspersión podrían tener una aceptación distinta comparada con el producto comercial.

### 7.3.2. Rendimiento y propiedades fisicoquímicas de los productos del secado

Para el caso del rendimiento, es decir la recuperación del producto del proceso de secado; en cada una de los productos del secado de ambas variedades

(Cuadro 22), no se observó diferencia estadística significativa, presentándose valores de entre 59.39-60.85%. Estos resultados podrían corresponder a que el diseño central compuesto permitió llegar a las condiciones de proceso idóneas en las cuales dicho parámetro pudiese ser redituable; a pesar de que la cantidad de sólidos solubles en las mezclas del secado son menores de 30 Brix, que son los grados Brix generalmente se utilizan en el secado por aspersión.

Los resultados mostrados en el Cuadro 22 son comparables con los mostrados por Sulieman, (2014) quien obtuvo rendimientos entre 30.1% y 34.3% al encapsular con maltodextrina. En relación a esto Al - Kahtani y Hassan (1990) indican que es común notar una tendencia de pérdida del secado del producto al pegarse en la cámara de secado cuando la concentración de sólidos solubles es mayor a 24.5%, por lo que sugiere que no se debe pasar de dicha concentración para que no exista una perdida evidente del producto. Además, de que el hecho de que una mezcla para secado contenga altos contenidos de azúcares produce pérdidas en el rendimiento debido a que dichos compuestos químicos evitan la pérdida de humedad produciéndose melazas sin posibilidad de recuperación (Guzmán-Gil y Castaño-Castrillón, 2002).

No existe una diferencia significativa en los tiempos de reconstitución en los productos desarrollados; sin embargo, lo que sí es destacable, es la diferencia entre estos y el producto comercial: Tang - Jamaica (Cuadro 22); lo cual puede deberse a distintos factores tales como a que en la bebida comercial se aplicó un proceso de elaboración distinto al del secado por aspersión, a que los materiales utilizados están en concentraciones distintas, al uso de humectantes con mayor capacidad, entre otros (Barros, 2009).

Los resultados de densidad aparente muestran que no existe variación significativa alguna entre los productos encapsulados elaborados en nuestro proceso; por el contrario, al comparar con el producto comercial mencionado es posible observar una diferencia significativa (Cuadro 22), esto podría deberse a los materiales de los cuales está compuesto dicho producto, en relación a esto Tonon *et al.* (2010) indican que la densidad aparente está relacionada con la cantidad de humedad contenida tendiendo a tener mayor densidad aparente (>

1.0 g/mL) aquellos polvos con mayor humedad debido a la presencia de agua, la cual es más densa que los sólidos secos, en este caso los productos conservan una humedad que no es deseable. En relación a este parámetro Martínez y Serra, (2015) en encapsulados de Jamaica obtuvo una densidad de 0.83 g/mL, lo que va acorde con nuestros resultados.

Se determinó el índice de solubilidad de cada uno de los productos obteniéndose variaciones poco significativas entre ellos, incluso con el producto comercial usado como control; en este sentido los resultados son similares a los obtenidos por Mahdavi *et al.* (2014) quien obtuvo un índice de solubilidad de 91.091.

**Cuadro 22.** Rendimiento y propiedades fisicoquímicas de los productos secado por aspersión.

Producto	Rendimiento (%)	Tiempo de reconstitución (s)	Densidad aparente (g/mL)	Índice de solubilidad (%)
Sudán	59.3 ± 0.5 <sup>a</sup>	42.44± 0.8 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.02a	97.0 ± 0.3 <sup>a</sup>
Sudán con té verde	60.1 ± 0.5 <sup>a</sup>	43.4 ± 0.8 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.01a	95.1 ± 0.3 <sup>a</sup>
Sudán con Garcinia	60.8 ± 0.6 <sup>a</sup>	43.6 ± 0.6 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.2a	95.0 ± 0.4 <sup>a</sup>
Criolla	59.6 ± 0.5 <sup>a</sup>	43.1 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.18a	97.6 ± 0.3 <sup>a</sup>
Criolla con té verde	60.3 ± 0.4 <sup>a</sup>	43.3 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.11a	95.4 ± 0.4 <sup>a</sup>
Criolla con Garcinia	59.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	43.5 ± 0.6 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.09 <sup>a</sup>	94.9 ± 0.5 <sup>a</sup>
Sin colorante	59.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	43.3 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.09 <sup>a</sup>	96.3 ± 0.3 <sup>a</sup>
Tang - Jamaica	n.d.	20.1 ± 0.3 <sup>b</sup>	0.63 ± 0.10 <sup>b</sup>	99.4 ± 0.3 <sup>a</sup>

Los datos se expresan como la media ± DE (n=3). Las letras diferentes en cada parámetro indican diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la prueba de Tukey-Kramer. n.d.= no detectado.

### 7.3.3. pH, acidez titulable y actividad acuosa

El pH de los productos reconstituidos de los productos del secado se mantuvieron en rangos ácidos, variando desde 2.07 hasta 3.31, siendo el control comercial (Tang – Jamaica) aún más ácido (Cuadro 23), dado que puede tener constituyentes tales como los ácidos málico, tartárico en mayor concentración a los adicionados en nuestras mezclas; lo que le daría este efecto y lo que podría

potenciar el efecto característico del sabor ácido del sabor a Jamaica. En relación a este parámetro Selim *et al.*, (2008) indican que a pH ácidos las soluciones polifenólicas de extractos de Jamaica presentan la mayor estabilidad de dichos compuestos encapsulados; por lo que sus capacidades funcionales mantendrían su viabilidad.

**Cuadro 23.** pH, acidez titulable y actividad acuosa de los productos reconstituidos del secado por aspersión.

Producto	pH	Acidez titulable (g de ácido cítrico)	Actividad acuosa
Sudan	3.23 ± 0.58 <sup>d</sup>	0.20 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>
Sudan con té verde	2.12 ± 0.52 <sup>f</sup>	0.79 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>
Sudán con Garcinia	2.83 ± 0.68 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>b</sup>
Criolla	2.40 ± 0.42 <sup>c</sup>	0.64 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>b</sup>
Criolla con té verde	2.22 ± 0.35 <sup>e</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>b</sup>
Criolla con Garcinia	2.07 ± 0.61 <sup>g</sup>	0.26 ± 0.05 <sup>bc</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>b</sup>
Sin colorante	3.31 ± 0.69 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>b</sup>
Tang - Jamaica	2.04 ± 0.67 <sup>h</sup>	0.71 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.31 ± 0.02 <sup>a</sup>

Los datos se expresan como la media ± desviación estándar (DE) (n=3). Letras diferentes en cada parámetro determinado indican diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) con la prueba de Tukey-Kramer.

Para la acidez titulable los valores obtenidos se encuentran desde 0.20 hasta un 0.79 gramos equivalentes de ácido cítrico los cuales son similares a lo reportado por Martínez - Cruz *et al.*, (2011) quien obtuvo una acidez titulable de  $0.71 \pm 0.03$  gramos equivalentes de ácido cítrico.

En relación a la actividad acuosa (Cuadro 23) se ha propuesto como un posible indicador de proliferación de microorganismos y como indicador de degradación de compuestos funcionales de los alimentos. Selim *et al.* (2008), recomendaron que los rangos de estabilidad deben estar entré (0.1 y 0.6) esto debido a que el agua está estrechamente unida a los sitios polares de la superficie y, en general, no está disponible para ningún tipo de reacción, por lo que los procesos de degradación permitirían, en este caso, mantener una vida de anaquel considerable. De tal manera que si se incrementa el contenido de humedad, se produce una movilidad mayor de los reactivos, lo que conduciría a una mayor

velocidad de reacción y, por lo tanto, a una posible degradación de los encapsulados (Badui y Cejudo, 2006). Gradinaru *et al.*, (2003) reportaron valores entre 0.33 y 0.84, lo que sugiere que el proceso de secado realizado en nuestro estudio fue más eficiente.

#### **7.4. Determinaciones colorimétricas**

##### **7.4.1. Parámetros del color y variación de color**

El color es uno de los parámetros importantes de los productos derivados de la Jamaica, ya que su calidad está relacionado con la intensidad y tonalidad del color y estos a su vez, son considerados como un atributo de aceptabilidad y calidad para el consumidor (Duangmal *et al.*, 2008; Selim *et al.*, 2008). En este caso, se determinaron los parámetros de color CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $h$ ) antes del proceso de secado como después de haberse realizado dicho proceso (Cuadro 24) observándose que las variaciones en la coordenada correspondiente a la luminosidad ( $L^*$ ) en las mezclas están entre 9.77-12.48 siendo valores que indican poca luminosidad, una vez realizado el proceso se observa que dicho parámetro tiende a decrecer para Sudán y criolla y cuando se adiciona Garcinia estos valores aumentan.

Para el parámetro que indica la variación entre los colores rojos y verdes ( $a^*$ ) se observa que antes del secado los valores varían entre 0.72 hasta el 1.53, una vez realizado el proceso de secado los valores variaron de 0.47 a 1.93. Para el caso de Sudan después del proceso de secado se observa una disminución de este valor, mostrando criolla menores cambios. Para el valor  $b^*$  después del secado se presentan valores más negativos, presentando tonalidades más azules. En general la muestra comercial fue menos rojas y con tonalidad más azul (Cuadro 24) lo que indicaría una posible degradación, polimerización o complejación de las antocianinas con otros constituyentes que integran la mezcla del secado.

**Cuadro 24.** Determinación de color de las mezclas previas al secado y de los productos del secado reconstituidos

Muestra	Estado	L	a*	b*	H
Sudán	Antes	10.41 ± 0.057*	0.72 ± 0.05*	-1.28 ± 0.06*	358.94 ± 0.06
	Después	9.94 ± 0.09*	0.47 ± 0.04*	-1.35 ± 0.05*	358.77 ± 0.06
Sudán con té verde	Antes	9.95 ± 0.08*	1.16 ± 0.03*	-1.39 ± 0.08	359.13 ± 0.05
	Después	10.00 ± 0.07*	0.89 ± 0.08*	-1.39 ± 0.05	359.00 ± 0.07
Sudán con Garcinia	Antes	10.03 ± 0.06*	1.23 ± 0.04*	-1.15 ± 0.04*	359.25 ± 0.05
	Después	10.45 ± 0.09*	1.11 ± 0.09*	-1.18 ± 0.08*	359.19 ± 0.04
Criolla	Antes	10.49 ± 0.04*	0.96 ± 0.07*	-1.38 ± 0.07*	359.04 ± 0.03
	Después	9.83 ± 0.06*	0.95 ± 0.05*	-1.43 ± 0.05*	359.02 ± 0.05
Criolla con té verde	Antes	12.48 ± 0.09*	1.53 ± 0.09*	-1.30 ± 0.05*	359.29 ± 0.07
	Después	10.73 ± 0.07*	1.93 ± 0.08*	-1.11 ± 0.06*	359.48 ± 0.07
Criolla con Garcinia	Antes	9.77 ± 0.08*	1.30 ± 0.04*	-1.16 ± 0.07*	359.27 ± 0.06
	Después	9.85 ± 0.06*	0.92 ± 0.05*	-1.25 ± 0.06*	359.06 ± 0.05
Tang - Jamaica		9.91 ± 0.08	0.38 ± 0.08	-1.54 ± 0.07	358.67 ± 0.04

Datos expresados como la media ± desviación estándar (DE) (n=3). Los asteriscos a la derecha de cada parámetro indican diferencia significativa entre tratamientos antes y después del proceso de secado mediante la prueba de t de Student, P < 0.05.

En el caso del valor que indica el matiz (H) de las muestras evaluadas en general se mantuvieron en las variaciones de 358° a 359° (Cuadro 24), correspondiente a matices morados dado que este parámetro se representa en un plano con 360° el cual va de 0 a 45° para los rojos hasta los 316 a 360° para los morados (Manickavasagan *et al.*, 2015; Morales, 2012). Si bien no hay grandes diferencias prácticas en el proceso de secado. Al comparar las bebidas el mayor cambio corresponde al producto de criolla con té verde y el menor para Sudán con té verde. Nuevamente, como se mencionó anteriormente Idham *et al.*, (2012) proponen que existiría una polimerización de antocianinas. Dicha consecuencia

de polimerización podría tener un efecto en la capacidad antioxidante dado que los grupos reactivos de las antocianinas no están disponibles de forma inmediata la capacidad antioxidante de estas tendría un efecto a lo largo del organismo del consumidor cuando los distintos álcalis y ácidos segmentarían dichos polímeros (Ahmed y Abozed, 2015; Bechoff *et al.*, 2014).

Para la variación del color ( $\Delta E$ ) se observa que el mayor cambio de color corresponde a los productos de criolla con té verde ( $1.81 \pm 0.04$ ), mostrando una diferencia significativa con el resto de los productos y el producto con menor variación fue Sudán con té verde (Cuadro 25). Si bien, el  $\Delta E$  representa la magnitud en la diferencia del color, no indica la dirección que esta diferencia sigue. Un valor  $\Delta E=1$  equivale al color verdadero sin diferencia entre lo medido y lo visualizado, que no es perceptible para el ojo humano. Un valor  $\Delta E$  mayor a una o dos unidades representan cambio de color, que puede ser observado a simple vista (Montoya-Ballesteros *et al.*, 2010; Ahmed y Abozed, 2015). Por lo tanto, solo criolla té verde podría presentar cambios que pueden ser percibidos por el ojo humano, lo que podría influir en la decisión de consumo del comprador.

**Cuadro 25.** Cambio de color como consecuencia del proceso de secado por aspersión.

Cambio de color	
Producto	$\Delta E$
Sudán	$0.53 \pm 0.06^b$
Sudán con té verde	$0.27 \pm 0.04^b$
Sudán con Garcinia	$0.43 \pm 0.09^b$
Criolla	$0.66 \pm 0.05^b$
Criolla con té verde	$1.81 \pm 0.04^a$
Criolla con Garcinia	$0.39 \pm 0.07^b$
Sin colorante	$1.51 \pm 0.05^a$

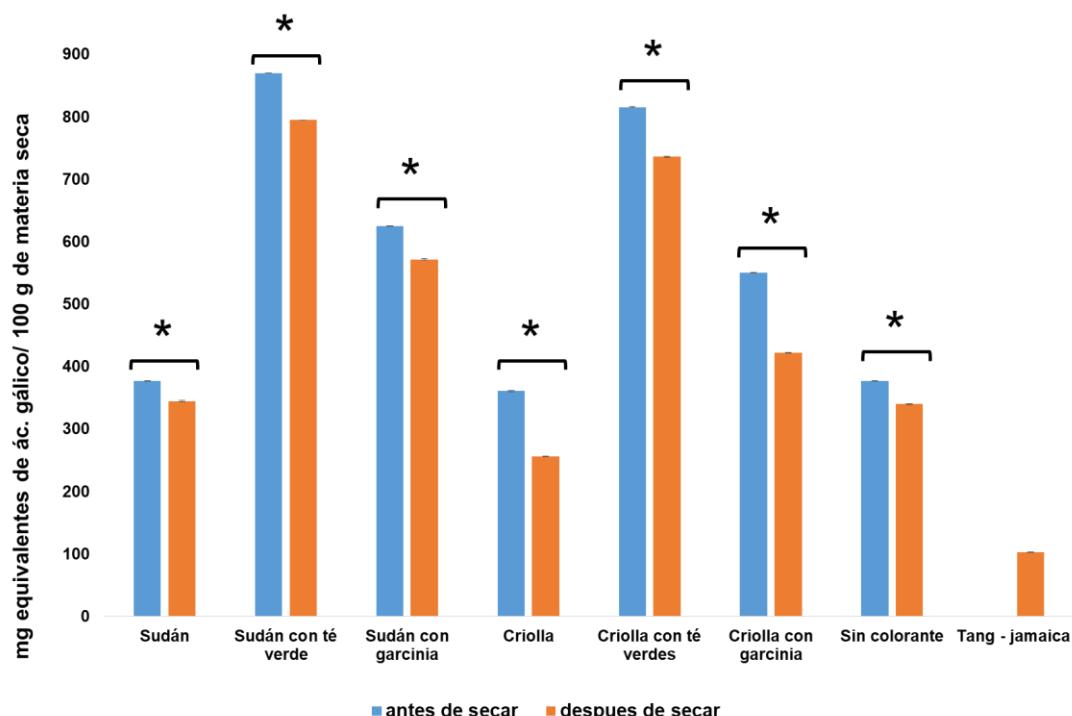
$\Delta E$ : cambio de color de las mezclas previas al secado con respecto a los productos reconstituidos del secado.

Datos expresados como la media  $\pm$  desviación estándar (DE). Valores con diferente letra indican diferencia significativa ( $\alpha = 0.05$ ) Prueba de Tukey – Kramer.

## 7.5. Determinaciones funcionales y fitoquímicas

### 7.5.1. Fenoles totales

El contenido de fenoles totales fue mayor en las muestras de Jamaica adicionadas con té verde, hasta en un 56.65 % con la mezcla que solamente tenía Jamaica y en un 39.74 % para las adicionadas con Garcinia con la mezcla que solamente tenía Jamaica. Puede observarse que la mayor cantidad de fenoles dentro de los productos corresponde a las muestras de Sudan con té verde (870 y 794 mgEAG/100 g de materia seca), siendo las muestras con menor cantidad las de Criolla (360.7 y 256.2 mgEAG/100 g de materia seca); para el caso de la bebida Tang sabor Jamaica (102.4 mg EAG/100 de materia seca) se observa una diferencia evidente comparada con el resto de los productos (Figura 21).



**Figura 21.** Fenoles totales de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión.

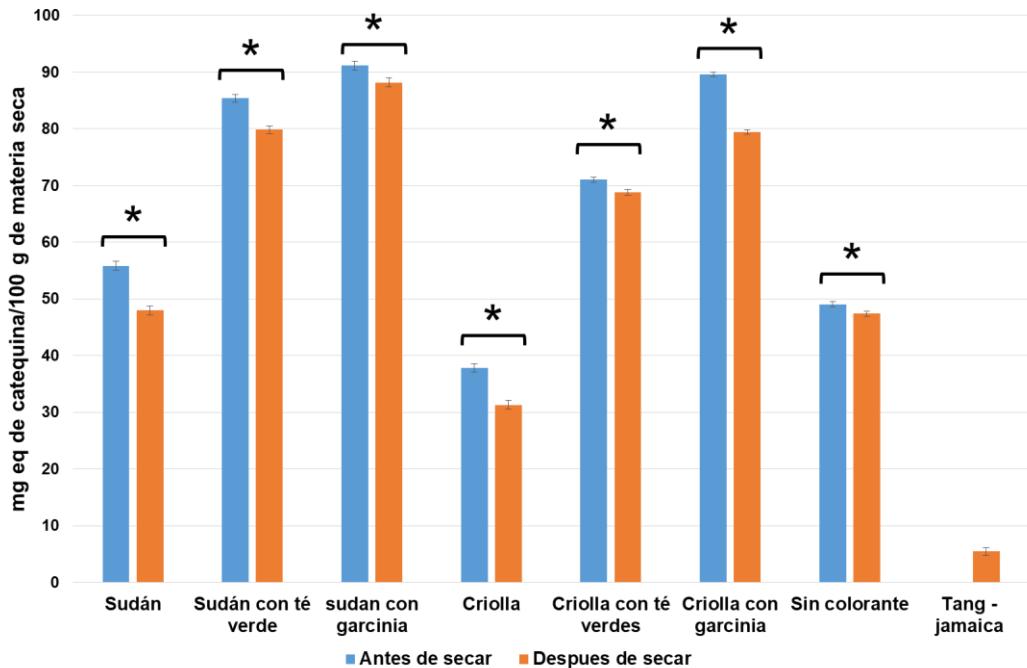
Los datos se expresan como la media ± Desviación estándar (DE). Los asteriscos sobre las barras indican diferencia significativa entre tratamientos antes y después del proceso de secado, P < 0.05.

En relación a los reportados en la literatura Tsai *et al.*, (2002) obtuvo una cantidad de 230 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de materia seca en sus extractos de Jamaica; En el caso de Abou-Arab *et al*, (2011) obtuvo 374.2 mg eq de ácido gálico /100 g de masa seca en extractos de jamaica y Díaz – Bandera *et al.*, (2015) obtuvo 795 mg eq de ácido gálico/100 g de masa seca en polvos de Jamaica secados por aspersión, lo cual indica que estas determinaciones son similares a las previamente reportadas.

También es posible observar que existe una pérdida de fenoles en el proceso de secado las cuales van desde un 28.9 % para el producto denominado Criolla hasta un 8.48 % para el producto Sudan con Garcinia. Dichas pérdidas podrían ser significativas para los productos con menor cantidad de fenoles como lo son Sudán, Criolla y Criolla con Garcinia dado que su poder funcional podría verse afectado en la aplicación de las bebidas.

### **7.5.2. Flavonoides totales**

En la Figura 22 se presentan los resultados de flavonoides y se observa que las mayores cantidades antes del secado corresponden a las muestras propias sudan con Garcinia con 91.10 y 88.16 mg eq catequina/100 g de materia seca para antes y después del secado respectivamente; en el caso de las menores concentraciones las muestras de criolla con 37.78 y 31.3 mg eq catequina/100 g de materia seca para ambos casos, teniendo el caso Tang sabor Jamaica una concentración mínima de 5.45 mg eq catequina/100 g de materia seca. Dichos valores corresponden con los reportados por Anokwuru *et al.*, (2011) de 53.6 mg equivalentes de catequina/100 g de peso seco así como Aziz *et al.*, (2007). Las muestras secadas muestran una disminución del contenido de flavonoides hasta de un 17.15 % para el producto de criolla.



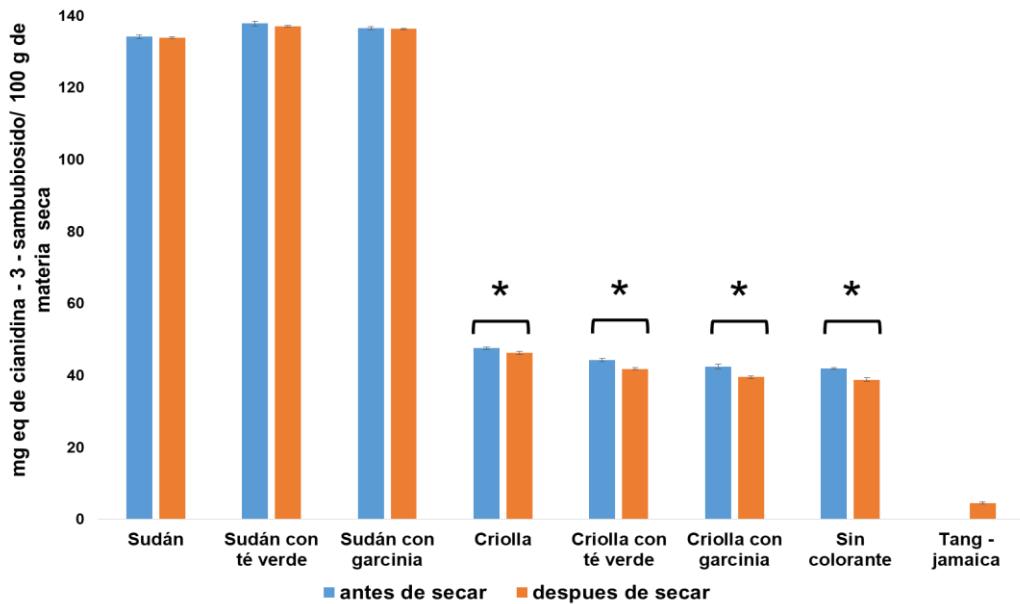
**Figura 22.** Flavonoides totales de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión

Los datos se expresan como la media ± Desviación estándar (DE). Los asteriscos sobre las barras indican diferencia significativa entre tratamientos antes y después del proceso de secado,  $P < 0.05$ .

### 7.5.3. Antocianinas monoméricas

En la Figura 23 se muestra el contenido de antocianinas, las mezclas de Sudan presentaron un 64 % más contenido que las criollas, donde la adición de Garcinia y té verde no modificó el contenido de estos compuestos. Respecto a la pérdida de estos compuestos por efecto del secado se observa que solamente afectó a la variedad criolla con pérdidas de entre 2.81 – 6.92 %.

La concentración de antocianinas encontradas en estos materiales fue menor a la reportada por Tsai *et al.*, (2002), quienes encontraron una cantidad de 230 mg eq de antocianinas encapsuladas con maltodextrina. Gradinaru *et al.*, (2003) obtuvo 83.0 mg eq C-3-sb/100 g de materia seca; sin embargo, Abou-Arab *et al.*, (2011) obtuvo 545.3 mg eq c-3-sb/100 g de materia seca, resultados determinados en extractos de Jamaica con etanol acidificado con ácido clorhídrico.



**Figura 23.** Antocianinas monoméricas de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión

Los datos se expresan como la media  $\pm$  Desviación estándar (DE). Los asteriscos sobre las barras indican diferencia significativa entre tratamientos antes y después del proceso de secado,  $P < 0.05$ .

A este respecto cabe mencionar que la cantidad de antocianinas obtenidas en los extractos dependen de factores tales como los de la temperatura, la calidad de los cálices, las técnicas de extracción, los equipos de extracción, etc. Sin embargo, uno de los efectos positivos más evidentes en el rendimiento de las antocianinas durante su extracción y estabilización es la acidez, dado que la acidificación de las soluciones en las que se encuentren los cálices proporcionará un medio favorable para formar sales entre las antocianinas, partiendo de antocianinas simples y lo que mejoraría la eficiencia de las extracciones de las antocianinas (Abou-Arab *et al.*, 2011; Gradinaru *et al.*, 2003).

#### 7.5.4. Eficiencia de encapsulamiento

Un método de encapsulamiento eficiente se basa en lograr una alta retención de los materiales por encapsular en el núcleo. En el Cuadro 26 se muestra que la eficiencia de encapsulamiento varió del 96.5 hasta un 99.59 %, estos resultados

son comparables a los obtenidos por Mahdavi *et al.* (2014) quienes con la misma mezcla de encapsulante lograron un  $94.291 \pm 1.01\%$  de eficiencia.

En relación a esto Idham *et al.*, (2012) reportaron que la combinación de la maltodextrina con la goma arábiga forman interacciones químicas que pueden ayudar a retener las antocianinas dentro del material encapsulante. Así también, Naczk y Shadhidi, (2004) reportaron que los polifenoles y los sabores podrían formar complejos con los polisacáridos dependiendo de su afinidad, de su solubilidad, peso molecular, movilidad conformacional y la forma de los polifenoles. Mahdavi *et al.*, (2016) sugieren que los complejos que se forman entre el catión flavilio de las antocianinas interactúa con las dextrinas evitando su transformación a otras formas menos estables, sugiriendo que la combinación de maltodextrina con goma arábiga da mayor potencial para el encapsulamiento de antocianinas sobre la maltodextrina o goma arábiga solas, por lo cual la funcionalidad de las antocianinas se vería beneficiada dado que la perdida de estas no se vería mermada por el proceso de secado.

**Cuadro 26.** Eficiencia de encapsulamiento en los productos del secado por aspersión.

Producto	Eficiencia de encapsulamiento (%EE)
Sudán	$99.59 \pm 0.40^a$
Sudán con té verde	$97.61 \pm 0.36^{bc}$
Sudán con Garcinia	$98.65 \pm 0.40^a$
Criolla	$98.77 \pm 0.60^a$
Criolla con té verde	$96.50 \pm 0.50^c$
Criolla con Garcinia	$97.00 \pm 0.42^{bc}$
Sin colorante	$96.50 \pm 0.39^c$
Tang - Jamaica	n.d.

Los datos se expresan como la media  $\pm$  Desviación estándar (DE) (n=3). Letras diferentes indican diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) con la prueba de Tukey-Kramer. n.d. =no detectado.

#### 7.5.5. Índice de color polimérico e índice pardeamiento

El color de la Jamaica está relacionado a su contenido de antocianinas, sin embargo, los resultados por el método de pH diferencial sólo miden las antocianinas monoméricas y estos resultados pueden no estar correlacionados

con la intensidad del color que se percibe visualmente. Esto debido a que las antocianinas poliméricas, los pigmentos producidos por reacciones enzimáticas o no enzimáticas, de pardeamiento, de oscurecimiento por reacciones de maillard, caramelización y la degradación de antocianinas también pueden contribuir a la intensidad de color. El índice de color polimérico varió de 0.50 a 0.84 en los productos de ambas variedades (Cuadro 27), siendo mayor para criolla y para el producto comercial comparado con Sudán. Estos valores son similares a lo reportado por Sinela *et al.*, (2017) quien para un almacenamiento de 58 días de extractos sin encapsular obtuvo un índice de color polimérico de 0.87 lo que indicaría reacciones de condensación entre antocianinas o con otros compuestos polifenólicos presentes en el medio, además, del efecto significativo de la temperatura del secado (González – Palomares *et al.*, 2009).

En relación a esto Idham *et al.*, (2012) indican que la combinación de la maltodextrina con la goma arábica forman interacciones químicas que pueden ayudar a retener las antocianinas dentro del material encapsulante. Naczk y Shadhidi , (2004) adicionaron polifenoles y sabores en el material encapsulante, estos podrían formar complejos con los polisacáridos dependiendo de su afinidad, de su solubilidad, peso molecular, movilidad conformacional y la forma de los polifenoles. Mahdavi *et al.*, (2016) reportaron que se forman complejos entre el catión flavilio de las antocianinas con las dextrinas, evitando su transformación a otras formas menos estables, sugiriendo que la combinación de maltodextrina con goma arábica da mayor potencial para encapsular antocianinas sobre la maltodextrina o goma arábica solas.

**Cuadro 27.** Índice de color polimérico e índice de pardeamiento de los productos del secado por aspersión.

Producto	Índice de color polimérico	Índice de pardeamiento
Sudán	0.50 ± 0.31 <sup>f</sup>	0.48 ± 0.31 <sup>b</sup>
Sudán con té verde	0.54 ± 0.26 <sup>e</sup>	0.54 ± 0.31 <sup>a</sup>
Sudán con Garcinia	0.57 ± 0.26 <sup>d</sup>	0.54 ± 0.31 <sup>a</sup>
Criolla	0.83 ± 0.12 <sup>c</sup>	0.38 ± 0.31 <sup>c</sup>
Criolla con té verde	0.84 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.31 <sup>b</sup>
Criolla con Garcinia	0.84 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.31 <sup>c</sup>
Sin colorante	0.84 ± 0.31 <sup>b</sup>	0.45 ± 0.31 <sup>b</sup>
Tang - Jamaica	0.92 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.46 <sup>b</sup>

Los datos se expresan como la media ± Desviación estándar (DE) (n=3). Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) con la prueba de Tukey-Kramer.

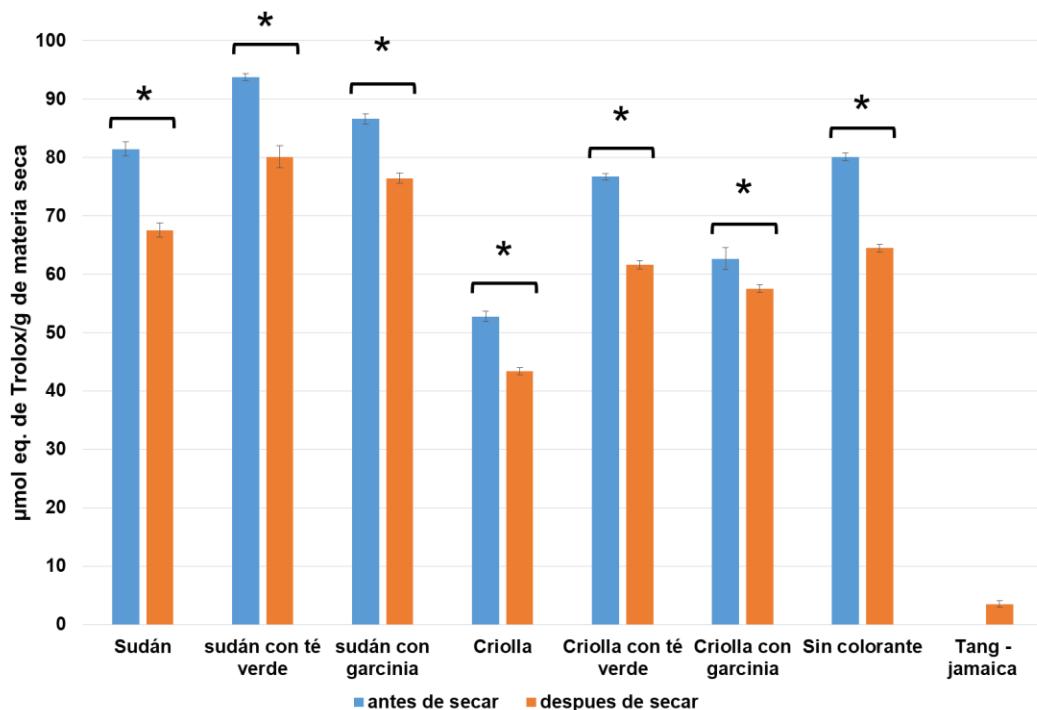
En relación al índice de pardeamiento (Cuadro 27) se observa un rango de 0.38 a 0.54, los valores más altos lo presenta la variedad sudan, sin detectarse para la bebida comercial comparable con lo obtenido por Cisse *et al.*, (2009) quienes obtuvieron índices de pardeamiento entre 0.32 y 0.71, lo cual indicaría una afectación de la temperatura al producir la pérdida del color rojo y su intensidad, con la posterior formación de una coloración marrón (Sinela *et al.*, 2017).

La variación del índice de color polimérico (Cuadro 27) varió de 0.50 a 0.84 en los productos propios en ambas variedades siendo aún mayor para el producto comercial; sin embargo, estos valores de acuerdo con Sinela *et al.*, (2017) quienes para un almacenamiento de 58 días de extractos sin encapsular obtuvo un índice de color polimérico de 0.87 lo que indicaría reacciones de condensación entre antocianinas o con otros compuestos polifenólicos presentes en el medio, además, del efecto significativo de la temperatura del secado (González – Palomares *et al.*, 2009).

#### 7.5.6. Capacidad antioxidante mediante DPPH

Se determinó la capacidad antioxidante de las muestras en los estadios previo y posterior al secado (Figura 24). En general, las muestras de Sudan presentaron

la mayor capacidad antioxidante y la muestra Sudan con té verde mostraron un valor de 81.46 µmol eq de Trolox/g de materia seca, perdiendo un 17.06 % de dicha capacidad durante el secado llegando hasta un 67.56 µmol eq de Trolox/g de materia seca.



**Figura 24.** Capacidad antioxidante mediante DPPH de las mezclas de bebidas antes y después del secado por aspersión.

Los datos se expresan como la media ± Desviación estándar (DE) (n=3). Los asteriscos sobre las barras indican diferencia significativa entre tratamientos antes y después del proceso de secado, P < 0.05.

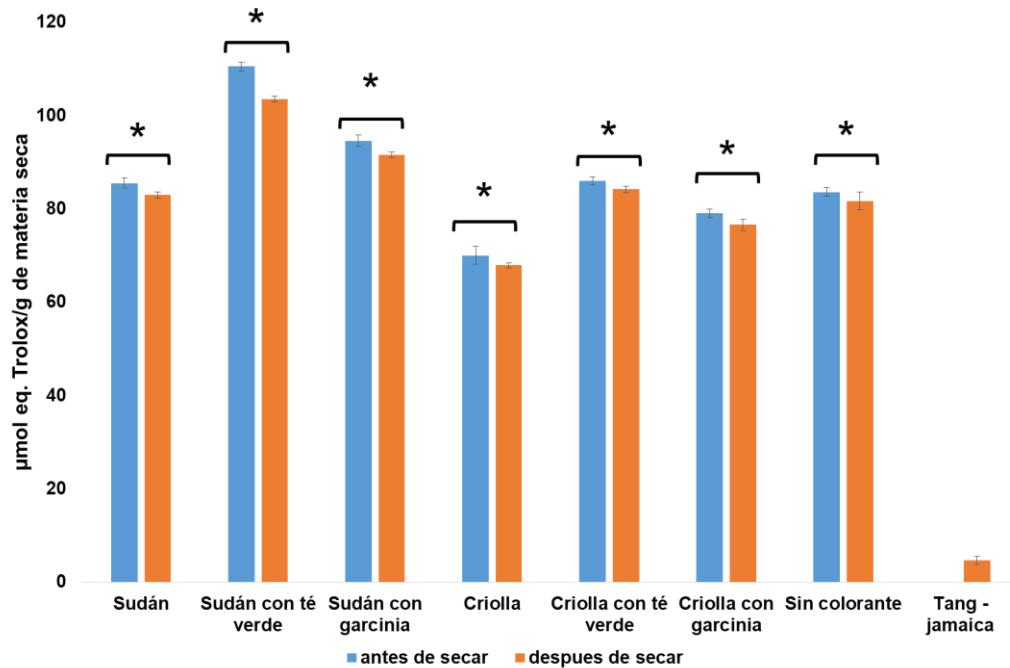
La menor capacidad antioxidante antes del secado la presentó la muestra criolla con 52.8 µmol eq de Trolox/g de materia seca y después del secado de 43.45 µmol eq de Trolox/g de materia con un porcentaje de pérdida de 17.7 %, con la adición de té verde y Garcinia se observaron pérdidas de 8.16 a 19.62%. En este sentido los resultados obtenidos corresponden con los reportados por Gradinaru *et al.*, (2003) quien obtuvo una cantidad equivalente a  $4.2 \pm 0.3$  µmol eq. Trolox/g de materia seca en sus muestras así como Nguyen *et al.*, (2018) quien obtuvo una cantidad de 73.98 µmol eq. Trolox/g de materia seca y Salazar-González *et*

*al.*, (2012) con 62.79 µmol eq. Trolox/g de materia seca. En relación a la determinación de la bebida Tang sabor Jamaica no tiene una cantidad comparable con los productos elaborados por el secado por aspersión, lo que podría indicar un contenido poco efectivo de antocianinas en el producto.

#### **7.5.7. Capacidad antioxidante por ABTS**

El comportamiento de las determinaciones de la capacidad antioxidante por ABTS fue similar a DPPH, las muestras con mayor capacidad fueron las de la variedad sudan. La mayor capacidad antioxidante siempre fue mayor en las mezclas antes del secado, mostrando la mayor capacidad ambas variedades con té verde. La máxima pérdida (6.34 %) la mostró el productos de sudan con té verde, disminuyendo de 110.48 a 103.46 µmol Eq de Trolox/100 g de materia seca. La muestra comercial presentó una baja capacidad antioxidante de 4.66 µmol Eq de Trolox/100 g de materia seca (Figura 25). Chiou y Langrish, (2007) obtuvieron un máximo de 16.5 µmol Eq de Trolox/100 gramos de su secado por aspersión de extractos de Jamaica con maltodextrina, estos resultados son inferiores a lo encontrado en nuestro estudio y esto puede estar relacionado con la variedad de Jamaica, condiciones de siembra, entre otros.

Observando las diferencias con los resultados obtenidos entre las capacidades determinadas por la técnica de DPPH y la mostrada correspondería a que con el ABTS se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico siendo la posible causa de las diferencias entre muestras al mismo proceso de secado por aspersión (Kuskoski *et al.*, 2005).



**Figura 25.** Capacidad antioxidante mediante ABTS de las mezclas previas y productos del secado.

Los datos se expresan como la media  $\pm$  Desviación estándar (DE) ( $n=3$ ). Letras diferentes en cada producto indican diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) con la comparación de cada par por la prueba de t de Student.

## **8. CONCLUSIONES**

En la evaluación del diseño central compuesto, el tiempo de reconstitución fue la respuesta que mostró mayor efecto significativo en función de los parámetros evaluados siendo también satisfactorias las restantes variables respuesta evaluadas y con ello las condiciones de secado obtenidas para la elaboración de bebidas.

En las bebidas ya elaboradas, los rendimientos del secado por aspersión son muy satisfactorios indicando que el proceso de producción puede ser redituable; sin embargo, es necesario trabajar en las condiciones de ayudas a mejorar los tiempos de disolución para que sean idénticos a los de los productos comerciales.

Durante el proceso de secado la variedad criolla mostró menor pérdida de color comparado con la variedad Sudán y la incorporación de té verde a criolla, generó una tonalidad más roja. Lo que sugiere que esto puede mejorar sus propiedades de coloración y con ello ofrecer un producto con mejores características visuales.

Los compuestos fenólicos mostraron poca pérdida durante el secado, siendo las antocianinas las más estables, seguido de flavonoides y la mayor pérdida se reflejó en compuestos fenólicos totales por lo que la funcionalidad de los productos en general se mantendría.

A pesar de que en la variedad Sudán se observan mayores procesos de degradación los productos elaborados no muestran efectos significativos visuales que pudieran producir un rechazo por el consumidor.

Se observaron pocas pérdidas de capacidad antioxidante durante el secado por aspersión, lo que indicaría que los efectos de la temperatura de secado, el flujo de alimentación y los grados Brix son adecuados para la producción con lo que podría esperarse un efecto significativo en el consumidor.

Los productos obtenidos mostraron mejores características fisicoquímicas y de compuestos fitoquímicos comparados con un producto comercial lo que indicaría que el proceso usado para su elaboración es propicio para un posible escalamiento en la producción.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abdalbasit, A. M. (2018). Gum Arabic: Structure, applications and Economics. Springer. Cap. 6 y 13
- Abou-Arab, A. A., Abu-Salem, F. M. y Abou-Arab, E. A. (2011). Physico-chemical properties of natural pigments (anthocyanin) extracted from Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*). *Journal of American Science*, 7(7), 445-456
- Abraham, Z., Malik, S. K., Rao, G. E., Narayanan, S. L. y Biju, S. (2006). Collection and characterization of Malabar tamarind [*Garcinia cambogia* (Gaertn.) Desr.]. *Genetic resources and crop evolution*, 53(2), 401-406
- Ajay, S., Rajesh, S., Pandey, V. y Golhani, D. (2014). In-Vitro antioxidant activity of *garcina cambogia* fruits. *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, 3, 67-73
- Al-Kahtani, H. A. y Hassan, B. H. (1990). Spray drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Science*, 55(4), 1073-1076
- Aldana, A. S., Sandoval, E. R. y Aponte, A. A. (2011). Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos. *Ingeniería y Competitividad*, 5(2), 73-83
- Ahmed, Z. S. y Abozed, S. S. (2015). Functional and antioxidant properties of novel snack crackers incorporated with *Hibiscus sabdariffa* by-product. *Journal of advanced research*, 6(1), 79-87.
- Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray drying techniques for food ingredient encapsulation. John Wiley & Sons. Cap 12
- Anesini, C., Ferraro, G. E. y Filip, R. (2008). Total polyphenol content and antioxidant capacity of commercially available tea (*Camellia sinensis*) in Argentina. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(19), 9225-9229.
- Anokwuru, C. P., Esiaba, I., Ajibaye, O. y Adesuyi, A. O. (2011). Polyphenolic content and antioxidant activity of *Hibiscus sabdariffa* calyx. *Research journal of medicinal plant*, 5(5), 557-566
- AOAC. (1999). International. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC Official Method 940.23. Association of Official Analyst Chemists.

- Arrazola, G., Herazo, I. y Alvis, A. (2014). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena L.*) mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información tecnológica*, 25(3), 31-42
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Aceves, A. C., Guzmán-Maldonado, S. H. y Otero-Sánchez, M. A. (2014). Variedades mexicanas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*) 'Alma blanca' y 'Rosaliz' de color claro, y 'Cotzaltzin' y 'Tecoanapa' de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37, 181-185
- Ashurst, P. R. (2016). Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices. John Wiley & Sons. Cap. 1, 2, 5, 6, 12
- Auvichayapat, P., Prapochanung, M., Tunkamnerdthai, O., Sripanidkulchai, B. O., Auvichayapat, N., Thinkhamrop, B. y Hongprapas, P. (2008). Effectiveness of green tea on weight reduction in obese Thais: A randomized, controlled trial. *Physiology & behavior*, 93(3), 486-491.
- Aziz, E. E., Gad, N. y Badran, N. M. (2007). Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of *Hibiscus sabdariffa L.* *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 73-78
- Badui, D. S., y Cejudo, G. H. R. T. (2006). Química de los alimentos. Pearson educación. Cap. 1, 7, 9 y 15.
- Bhandari, B. y Roos, Y. (2012). Food Materials Science and Engineering. USA: John Wiley & Sons. Cap. 8, 12
- Barros, C. (2009). Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso. Vision Libros. Cap. 1
- Bechoff, A., Cissé, M., Fliedel, G., Declemy, A. L., Ayessou, N., Akissoe, N., y Tomlins, K. I. (2014). Relationships between anthocyanins and other compounds and sensory acceptability of *Hibiscus* drinks. *Food chemistry*, 148, 112-119
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I. y Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and

- antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69, 385-394
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30
- Careaga, M. G. J. (2015). Superficies de respuesta mediante un diseño central compuesto. *Varianza*, 11, 31-36
- Castaño, T. E. y Domínguez, D. J. (2003). Experimentos: estrategias y análisis en ciencia y tecnología. Guanajuato, México: CIMAT. Cap. 9
- Celli, G. B., Ghanem, A. y Brooks, M. S. L. (2015). Bioactive encapsulated powders for functional foods—a review of methods and current limitations. *Food and bioprocess technology*, 8(9), 1825-1837
- Chegini, G. R. y Ghobadian, B. (2005) Effect of Spray-Drying Conditions on Physical Properties of Orange Juice Powder, *Drying Technology: An International Journal*, 23(3), 657-668
- Chiou, D. y Langrish, T. A. G. (2007). Development and characterization of novel nutraceuticals with spray drying technology. *Journal of Food Engineering*, 82(1), 84-91
- Christian, K. R. y Jackson, J. C. (2009). Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(7-8), 663-667
- Cid-Ortega, S. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2012). Propiedades funcionales de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 6(2), 47-63
- Cisse, M., Dornier, M., Sakho, M., Ndiaye, A., Reynes, M. y Sock, O. (2009). Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.): Composition et principales utilisations. *Fruits*, 64(3), 179–193
- Colchero, M. A., Zavala, J. A., Batis, C., Shamah-Levy, T. y Rivera-Dommarco, J. A. (2017). Cambios en los precios de bebidas y alimentos con impuesto en áreas rurales y semirrurales de México. *Salud pública de México*, 59, 137-146

- Contreras, J., Soto, J. y Huchin, A. (2009). Tecnología para el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*) en Quintana Roo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Chetumal, Quintana Roo, México. Folleto Técnico 3. Cap. 5
- Coronel-Delgado, A. Y., Ciro-Velásquez, H. J. y Restrepo-Molina, D. A. (2017). Secado por aspersión de extractos líquidos de cúrcuma: Evaluación del proceso y propiedades de calidad del producto. *Ingeniería y Competitividad*, 19(1), 219-229
- De Barros, R., Vilela, S. y Alvarenga, D. (2013). Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. *Ciência e Tecnología de Alimentos*, 33, 171-178
- De Souza, V. B., Thomazini, M., de Carvalho Balieiro, J. C. y 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
- Díaz-Bandera, D., Villanueva-Carvajal, A., Dublán-García, O., Quintero-Salazar, B. y Dominguez-Lopez, 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(2), 693-698
- Duangmal, K., Saicheua, B., y Sueeprasan, S. (2004). Roselle anthocyanins as a natural food colorant and improvement of its colour stability. *Proceedings of the AIC*, 155-158
- Duarte-Valenzuela, Z. N., Zamora-Gasga, V. M., Montalvo-González, E. y Sáyago-Ayerdi, S. G. (2016). Caracterización nutricional de 20 variedades mejoradas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa L.*) cultivadas en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 199-206
- Elversson, J. y Millqvist-Fureby, A. (2005). Particle size and density in spray drying—effects of carbohydrate properties. *Journal of pharmaceutical sciences*, 94(9), 2049-2060
- Ersus, S. y Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805-812

- Esquivel-González, B. E., Ochoa Martínez, L. A. y Rutiaga-Quiñones, O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180-192
- Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N. y Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647
- Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C. y Chen, X.D. (2012). Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. *Biochemical Engineering Journal* 62 (15), 101–105
- Formagio, A. S. N., Ramos, D. D., Vieira, M. C., Ramalho, S. R., Silva, M. M., Zárate, N. A. H. y Carvalho, J. E. (2015). Phenolic compounds of Hibiscus sabdariffa and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties. *Brazilian Journal of Biology*, 75(1), 69-76
- Fu, N., Woo, M. W., Selomulya, C., Chen, X. D., Patel, K., Schuck, P. y Jeantet, R. (2012). Drying kinetics of skim milk with 50% initial solids. *Journal of Food Engineering* 109 (4), 701–711
- Garti, N. y McClements, D. J. (Eds.). (2012). *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. Elsevier. Cap. 2, 3, 4
- Geetha, R. V. Lakshmi, T. y Roy, A., (2011). Garcinia cambogia (Malabar Tamarind): A pharmacological Review. *Journal of Pharmacy Research*, 4(5), 1464-1466
- Giusti, M. M. y Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 00(1), F1.2.1-F1.2.13
- Gómez-Cruz, N. I. y Jiménez-Munguia, M. T. (2014). Métodos de secado de emulsiones alimentarias. *TSIA*, 8(2), 23-33
- González-Palomares, S., Estarrón-Espinosa, M., Gómez-Leyva, J. F. y Andrade-González, I. (2009). Effect of the temperature on the spray drying of roselle extracts (Hibiscus sabdariffa L.). *Plant foods for human nutrition*, 64(1), 62-67
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. y Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129-1151

- Gradinaru, G., Biliaderis, C. G., Kallithraka, S., Kefalas, P. y García-Viguera, C. (2003). Thermal stability of Hibiscus sabdariffa L. anthocyanins in solution and in solid state: effects of copigmentation and glass transition. *Food Chemistry*, 83(3), 423-436
- Guardiola, S. y Mach, N. (2014). Potencial terapéutico del Hibiscus sabdariffa: una revisión de las evidencias científicas. *Endocrinología y Nutrición*, 61(5), 274-295
- Guevara – Bretón, N. A. y Jiménez – Munguía, T., (2008). Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la industria alimentaria. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 2,36 – 49
- Guillén-Enríquez, C., Lopez-Teros, V., Martín-Orozco, U., López-Díaz, J. A., del Hierro-Ochoa, J., Ramos-Jiménez, A. y Wall-Medrano, A. (2018). Selected Physiological Effects of a Garcinia Gummi-Gutta Extract in Rats Fed with Different Hypercaloric Diets. *Nutrients*, 10(5), 565.
- Gurrola-Díaz, C. M., García-López, P. M., Sánchez-Enríquez, S., Troyo-Sanromán, R., Andrade-González, I. y Gómez-Leyva, J. F. (2010). Effects of Hibiscus sabdariffa extract powder and preventive treatment (diet) on the lipid profiles of patients with metabolic syndrome (MeSy). *Phytomedicine*, 17(7), 500-505
- Guzmán-Gil, S. P. y Castaño-Castrillón, J. J. (2002). Secado por atomización del jugo de la caña de azúcar. *Cenicafé*, 53(4), 327-333
- Hara, Y., Yang, C. S., Isemura, M. y Tomita, I. (Eds.). (2017). Health Benefits of Green Tea: An Evidence-based Approach. CABI. Cap. 1, 12 y 15
- Idham, Z., Muhamad, I. I. y Sarmidi, M. R. (2012). Degradation kinetics and color stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from hibiscus sabdariffa l. *Journal of Food Process Engineering*, 35(4), 522-542
- Igho, O., Kang, H. S., Rachel, P., Barbara, W. y Edzard, E. (2010). The use of Garcinia extract (hydroxycitric acid) as a weight loss supplement: a systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. *Journal of obesity*, 2011, 1 - 10
- Ishwarya, S. P., Anandharamakrishnan, C. y Stapley, A. G. (2015). Spray-freeze-drying: a novel process for the drying of foods and bioproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 41(2), 161-181.

- Islam, A. M., Phillips, G. O., Sljivo, A., Snowden, M. J. y 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
- Jaworek, A. (2007). Electrospray droplet sources for thin film deposition. *Journal of materials science*, 42(1), 266-297
- Jena, B. S., Jayaprakasha, G. K., Singh, R. P. y Sakariah, K. K. (2002). Chemistry and Biochemistry of (-)-Hydroxycitric Acid from Garcinia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 10–22
- Kapoor, M. P., Juneja, L. R., Rao, T. y Okubo, T. (2013). Green tea polyphenols: nutraceuticals of modern life. CRC Press. Cap. 2, 3, 8, 16
- Krokida, M. (2017). Thermal and Nonthermal Encapsulation Methods. USA: CRC Press. Cap. 2, 3, 4, 5 y 7
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J. y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25(4), 726-732
- Lao, F. y Giusti, M. M. (2017). The effect of pigment matrix, temperature and amount of carrier on the yield and final color properties of spray dried purple corn (*Zea mays* L.) cob anthocyanin powders. *Food chemistry*, 227, 376-382
- Liu, X. D., Atarashi, T., Furuta, T., Yoshii, H., Aishima, S., Ohkawara, M. y Linko, P. (2001). Microencapsulation of emulsified hydrophobic flavours by spray drying. *Drying Technology*, 19, 1361–1374
- López, B. E. y Millán, L. D. J. (2009). Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión. *Vitae*, 16(3), 287-296
- López, H. O. D., Menéndez, C. R. A., García, P. C. M., González, S. M. L. y Nogueira M. A. (2010). Estudio de secado por aspersión de extractos de *Plectranthus amboinicus*, *Ocimum tenuiflorum*, *Passiflora incarnata*, *Matricaria recutita* y *Melissa officinalis*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(3), 216-220
- López, H. O. D., Muñoz, C. A., Carmona, F. R., Torres, A. L. y González, S. L. (2006). Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado

por aspersión de extracto acuoso de Calendula officinalis L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 11(1), 1-8

Macassi, A. S. y de Ugaz, O. L. (1995) Secado por atomización (spray dryer). *Revista de Química*, 9(1), 39-48

Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Assadpoor, E. y Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International journal of biological macromolecules*, 85, 379-385.

Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Ghorbani, M. y Assadpoor, E. (2014). Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: a review. *Drying technology*, 32(5), 509-518

Main, J. H., Clydesdale, F. M. y Francis, F. J. (1978). Spray drying anthocyanin concentrates for use as food colorants. *Journal of food science*, 43(6), 1693-1694.

Manickavasagan, A., Thangavel, K., Dev, S. R. S., Delfiya, D. A., Nambi, E., Orsat, V. y Raghavan, G. S. V. (2015). Physicochemical characteristics of date powder produced in a pilot-scale spray dryer. *Drying Technology*, 33(9), 1114-1123

Martínez-Cruz, N. D. S., Arévalo-Niño, K., Verde-Star, M. J., Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, A., Núñez-González, M. A. y Morales-Rubio, M. (2011). Antocianinas y actividad anti radicales libres de Rubus adenotrichus Schltl (zarzamora). *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(4), 66-71

Martínez, J. A y Serna, J. S (2015) Instant drink flower of Jamaica (hibiscus sabdariffa L.). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial de la Universidad del Cauca*. Junio, 1 – 9

Masters, K. (1985). Spray drying handbook. *Spray drying handbook*. 7(2), 419-425

Medina-Carrillo, R. E., Sumaya-Martínez, M. T., Machuca-Sánchez, M. L., Sánchez-Herrera, L. M., Balois-Morales, R. y Jiménez-Ruiz, E. I. (2013). Actividad antioxidante de extractos de cálices deshidratados de 64 variedades de jamaica (hibiscus sabdariffa.) en función de fenólicos y antocianinas totales. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 41-44

Melgarejo, M., (2004). El verdadero poder de las bebidas energéticas. *Revista Énfasis Alimentación*, 6(10), 1- 6

- Mishra, M. (Ed.). (2015). Handbook of encapsulation and controlled release. USA: CRC Press. Cap. 3, 5, 6, 7
- Mohan, L. J. R. y Ramalakshmi, K. (2011). Recent trends on soft beverages. Nueva Delhi: Woodhead Publishing. Cap. 5, 6, 10, 11, 12 y 17
- Montoya-Ballesteros, L. C., Gardea-Béjar, A., Ayala-Chávez, G. M., Martínez-Núñez, Y. Y. y Robles-Ozuna, L. E. (2010). Capsaicinoides y color en chiltepín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*): Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9(2), 197-207
- Morales. E. L. (2012). Evaluación de las propiedades funcionales de pulpa de xoconostle (*Opuntia oligacantha*) y su conservación mediante microcápsulas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Cap. 6
- Morales-Luna, E., Pérez-Ramírez, I. F., Salgado, L. M., Castaño-Tostado, E., Gómez-Aldapa, C. A. y Reynoso-Camacho, R. (2018). The main beneficial effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) on obesity is not only related to its anthocyanin content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1-27.
- Naczk, M. y Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111
- Nava, R. E.; Michelena, Á. G.; Iliná, A. y Martínez, H. J. L. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia*, Septiembre-Diciembre, 64-70
- Nayak, C. A. y Rastogi, N. K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, 28(12), 1396-1404
- Nguyen, N. T. T., Le, H. A. V., Pham, D. A. y Tran, T. N. Y. (2018). Evaluation of physical, nutritional and sensorial properties cookie supplied with *Hibiscus sabdariffa* L. seed powder (without shell). *International Food Research Journal*, 25(3), 281-1287
- Oakley, D.E. (2004). Spray dryer modeling in theory and practice. *Drying Technology* 22(6), 1371–1402

- Ochoa-Velasco, C. E., Salazar-González, C., Cid-Ortega, S. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2017). Antioxidant characteristics of extracts of *Hibiscus sabdariffa* calyces encapsulated with mesquite gum. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1747–1756
- Patil, M. M. y Appaiah, K. A. (2015). Garcinia: Bioactive compounds and health benefits. *Introduction to Functional Food Science*, 110-125.
- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C. y Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3-11
- Pastoriza, S., Mesías, M., Cabrera, C. y Rufián-Henares, J. A. (2017). Healthy properties of green and white teas: an update. *Food & function*, 8(8), 2650-2662
- Pérez-Alonso, C., Báez-González, J. G., Beristain, C. I., Vernon-Carter, E. J. y Vizcarra-Mendoza, M. G. (2003). Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. *Carbohydrate polymers*, 53(2), 197-203
- Pérez-Ramírez, I. F., Castaño-Tostado, E., Ramírez-De León, J. A., Rocha-Guzmán, N. E. y Reynoso-Camacho, R. (2015). Effect of stevia and citric acid on the stability of phenolic compounds and in vitro antioxidant and antidiabetic capacity of a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *Food Chemistry*, 172, 885–892
- Perva-Uzunalić, A., Škerget, M., Knez, Ž., Weinreich, B., Otto, F. y Grüner, S. (2006). Extraction of active ingredients from green tea (*Camellia sinensis*): Extraction efficiency of major catechins and caffeine. *Food Chemistry*, 96(4), 597-605.
- Powell, N. (2015). Green tea and health antioxidant properties, consumption and role in disease prevention. N. Y.: USA: Nova Science Publishers. Cap. 2, 6 y 8
- Procuraduría Federal del Consumidor [PROFECO] (2011). Polvos, jarabes y concentrados para preparar bebidas saborizadas. *Revista del Consumidor*. 289, 2 – 8
- Quek, S. Y., Chok, N. K. y Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Rev. Free Radical Biology and Medicine*, 26 (9), 1231-1237
- Reyna, E. N., Álvarez, G. M., Iliná, A. y Hernández, J. L. M. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (66), 64-70
- Rubio, J. C. R. (2005). Elaboración de bebidas funcionales a base de extractos herbales y su efecto en el control de la obesidad. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Querétaro. Cap. 6
- Salazar-González, C., Vergara-Balderas, F. T., Ortega-Regules, A. E. y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Antioxidant properties and color of Hibiscus sabdariffa extracts. *Ciencia e investigación agraria*, 39(1), 79-90
- Salinas-Moreno, Y., Zúñiga-Hernández, A. R. E., Serrano-Altamirano, V. y Sánchez-Feria, C. (2012). Color en cálices de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(3), 395-407
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SAGARPA – SNICS] (2015). Guía técnica para la descripción varietal de Jamaica [Hibiscus sabdariffa (L.) Torr.]. Cap. 1 y 2
- Selim, K. A., Khalil, K. E., Abdel-Bary, M. S. y Abdel-Azeim, N. A. (2008). Extraction, encapsulation and utilization of red pigments from roselle (Hibiscus sabdariffa L.) as natural food colourants. *Alex J Food Sci Technol. Conf.*, Vol. 2008, 7-20.
- Shameer, P. S., Rameshkumar, K. B. y Mohanan, N. (2016). Diversity of Garcinia species in the Western Ghats. *Diversity of Garcinia species in the Western Ghats: Phytochemical Perspective*, 1. Cap. 1, 2, 8 y 10
- Sinela, A., Rawat, N., Mertz, C., Achir, N., Fulcrand, H. y Dornier, M. (2017). Anthocyanins degradation during storage of Hibiscus sabdariffa extract and evolution of its degradation products. *Food chemistry*, 214, 234-241

- Singleton, V. L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology*, 25 (199), 152-178
- Sulieman, A. M. (2014). Spray drying of karkade (*Hibiscus sabdariffa L.*) Calyces and evaluation of the product. *International journal of food engineering*, 10(1), 157-165
- Tonon, R.V., Brabet, C. y 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
- Tsai, P. J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B. y Jordan, B. R. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) extract. *Food research international*, 35(4), 351-356
- Tuyen, C. K., Nguyen, M. H. y Roach, P. D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of food engineering*, 98(3), 385-392
- Utikar, R., Darmawan, N., Tade, M., Li, Q., Evans, G., Glenny, M. y Pareek, V. (2010). Hydrodynamic simulation of cyclone separators. *Computational Fluid Dynamics*, 241-266
- Varnam, A. y Sutherland, J. M. (1994). *Beverages: technology, chemistry and microbiology* (Vol. 2). Springer Science & Business Media. Cap. 3, 4
- Villar del Fresno, Á. M. y Carretero, M. E. (2005). Garcinia cambogia.: tratamiento del sobrepeso y la obesidad. *Farmacía Profesional*, 19(5), 70-73.
- Villena, M. M., Hernández, M. M., Lara, V. G. y Martínez, M. R. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica*, 50(1), 43-50
- Yáñez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M. y Ramos, E. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y perspectiva*, 21, 313-319

### **Sitios Web:**

- Ablin, A., (2013). Un sector generoso en innovaciones Polvos sumamente movedizos. 08 de noviembre de 2018, de Subsecretaría de Alimentos y Bebidas -

Secretaría de Agregado de Valor. Sitio web:  
<http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=57>

Dirección General de normas (NMX-F-102-S-1978). (1961). Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. 02 de diciembre del 2016, de Dirección general de normas Sitio web:  
<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-102-S-1978.PDF>

Dirección general de normas (NMX-F-083-1986). (1986). Determinación de humedad en productos alimenticios. 02 de diciembre del 2016, de Dirección general de normas Sitio web: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-083-1986.PDF>

Dirección general de normas (NMX-F-527-1992). (1992). Determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión en agua. 08 de agosto del 2018, de Dirección general de normas Sitio web:  
<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-527-1992.PDF>

Grupo Productores de Bebidas en Polvo [GPBP]. (2013). Propuesta IEPS a Bebidas Saborizadas Caso: Bebidas en Polvo. 29 de agosto de 2018, de Cámara de diputados del Gobierno de la República Mexicana Sitio web:  
[http://archivos.diputados.gob.mx/Comisiones LXII/Hacienda/P/250913/14.pdf](http://archivos.diputados.gob.mx/Comisiones_LXII/Hacienda/P/250913/14.pdf)

Instituto de Ecología [INECOL]. (2018). *Camellia sinensis*. 30 de agosto de 2018, de Instituto de Ecología Sitio web: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/596-camellia-sinensis>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2016. 26 de noviembre de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía Sitio web:  
[http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/enchogares/regulares/enigh/nc/2016/doc/presentacion\\_resultados\\_enigh2016.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/enchogares/regulares/enigh/nc/2016/doc/presentacion_resultados_enigh2016.pdf)

MINTEL. (2017). Tendencias mundiales en alimentos y bebidas para 2018. 08 de noviembre de 2018, de MINTEL Sitio web:  
<http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/documento/doc/277698773rad83597.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Organización Mundial de la Salud. (2015). Codex Stan 192 - 2015/Norma general para los aditivos alimentarios. 02 de diciembre de 2017, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Organización Mundial de la Salud Sitio web: [http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS\\_192s.pdf](http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf)

Organización Mundial de la Salud [WHO]. (2018). Obesidad y sobrepeso. 28 de agosto de 2018, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

Rivera, J. A. D.; Velasco, A. B. y Carriedo, A. L., (2017). Consumo de refrescos, bebidas azucaradas y el riesgo de obesidad y diabetes. 30 de septiembre del 2018, de Instituto Nacional de Salud Pública Sitio web: [https://www.paho.org/mex/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=849-vfinal-consumo-de-bebidas-azucaradas&Itemid=493](https://www.paho.org/mex/index.php?option=com_docman&view=download&alias=849-vfinal-consumo-de-bebidas-azucaradas&Itemid=493)

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA] (2016). Conoce más sobre la flor de jamaica. 02 de octubre de 2018, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Sitio web: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/conoce-mas-sobre-la-flor-de-jamaica>

Secretaría de Economía (NOM-183-SCFI-2012). (2011). Producto lácteo y producto lácteo combinado-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. 20 de agosto del 2018, de Secretaría de Economía Sitio web: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4693/seeco1/seeco1.htm>

Secretaría de Economía (NOM-199-SCFI-2017). (2015). Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. 02 de diciembre de 2017, de Secretaría de economía sitio web: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017)

Secretaría de Salud (NOM-218-SSA1-2011). (2011). Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. 02 de diciembre de 2016, de Secretaría de Salud Sitio web: <http://www.salud.gob.mx/cdi/nom/compi/NOM-218-SSA1-2011.pdf>