

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO BIOQUIMICO

QUE PRESENTA:

Domínguez Lastra Mónica Itzel

CON EL TEMA:

**ENCAPSULAMIENTO DE EXTRACTO DE
CAFÉ VERDE MEDIANTE SECADO POR
ASPERSIÓN**

MEDIANTE:

TITULACION INTEGRADA

(INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 CAFÉ.....	6
2.2 CAFÉ VERDE.....	12
2.2.1 COMPONENTES DEL CAFÉ VERDE.....	12
2.2.2 ANTIOXIDANTES.....	13
2.2.2.1 LOS COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA PLANTAS.....	13
2.2.2.2 ESTRUCTURAS DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS.....	14
2.2.2.3 ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS.....	15
2.2.2.4 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS FENOLES DE LOS ALIMENTOS....	17
2.3 ENCAPSULACIÓN.....	21
2.3.1 MÉTODOS DE ENCAPSULACIÓN.....	21
2.3.1.1 LIOFILIZACIÓN	22
2.3.1.2 SECADO POR ASPERSIÓN.....	25
2.3.2 AGENTES UTILIZADOS EN EL SECADO POR ASPERSIÓN.....	27
2.3.3 AVANCES EN LA ENCAPSULACIÓN DE INGREDIENTES.....	27
3. JUSTIFICACIÓN.....	34
4. OBJETIVO.....	36
5. PROBLEMAS A RESOLVER PRIORIZANDOLOS.....	36
6. MATERIALES Y MÉTODOS	37
6.1 MATERIAS PRIMAS.....	37
6.2 OBTENCIÓN DEL EXTRACTO DE CAFÉ VERDE.....	37
6.3 SECADO POR ASPERSIÓN.....	37
6.3.1 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES.....	37
6.3.2 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DE PROCESO.....	38
6.3.3 DETERMINACIÓN DEL COLOR Y ACTIVIDAD ACUOSA	38
6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	38
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
7.1 RENDIMIENTO DE PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN	39
7.2 CONTENIDO DE FENOLES TOTALES EN LOS POLVOS SECOS.....	42

7.3 ACTIVIDAD DE AGUA Y COLOR DE LOS POLVOS SECOS.....	47
8. CONCLUSIONES.....	53
9.COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y / O APLICADAS.....	54
10. BIBLIOGRAFÍA.....	55
11. ANEXOS	62

1. Introducción

El estrés oxidativo ha sido implicado en el desarrollo de numerosas enfermedades crónicas y en el proceso de envejecimiento. El término estrés oxidativo hace referencia al desequilibrio entre la generación de especies oxidantes (radicales libres y otras especies reactivas) y la capacidad de los sistemas de defensa antioxidante del organismo para hacer frente a la agresión oxidativa y sus efectos adversos. La dieta humana contiene diferentes antioxidantes naturales que pueden contribuir al refuerzo de las defensas naturales del organismo. Así, los efectos beneficiosos derivados del consumo de dietas ricas en alimentos vegetales han sido atribuidos principalmente a las vitaminas antioxidantes, los carotenoides y, particularmente, a los compuestos fenólicos presentes en estos alimentos. Por este motivo, distintas organizaciones internacionales recomiendan el consumo de al menos 5 raciones diarias de frutas y/o verduras con la finalidad de aportar una ingesta adecuada de antioxidantes naturales y mejorar el estado de salud general (Halliwell y Whiteman, 2004).

Debido a que la prevención de enfermedades crónicas constituye una mejor estrategia que su tratamiento, reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares o el cáncer se ha convertido en una materia de gran interés para profesionales de la salud, científicos y también para la industria alimentaria (Liu, 2003). Por esta razón, es que se recomienda una ingesta elevada de antioxidantes y así reducir el riesgo de enfermedades asociadas al estrés oxidativo.

El café contiene un número de sustancias bioquímicamente activas; una de las más importantes y conocidas es la cafeína, un derivado de las xantinas; además es una fuente considerable de polifenoles y compuestos fenólicos, los que pudieran contribuir en cantidad y variedad al ingreso de antioxidantes en la dieta, particularmente en el caso de nuestro país, donde no se consumen de forma regular otras bebidas, como el vino o el té.

En el extracto de café verde existe una gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos, ejemplificados por los ácidos clorogénico, cafeico, fenílico y cúmarico, pero al tostarse, se afecta marcadamente su composición en fenoles debido a la reacción de Maillard, lo cual le confiere un sabor y aroma agradables, y se originan pigmentos denominados melanoidinas, que le dan al café tostado su color característico (Gutiérrez 2002).

Uno de los métodos para la protección de compuestos bioquímicos en los alimentos es la encapsulación, la cual los protege de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de

procesamiento y empackado mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al.*, 2002; Montes *et al.*, 2007).
Entre los métodos de encapsulación más empleados se encuentra la liofilización y secado por aspersión.

2. Antecedentes

2.1 Café

El café (kawah que significa fuerza) es oriundo de la provincia de Kaffa, en el suroeste de Etiopía, pasando más tarde a Arabia y difundiendo como bebida hace unos 800 años. Aunque otras versiones sostienen que la primera planta se cultivó en Yemén, distrito de Arabia, y que data del año 575. Solo fue hasta los siglos XV y XVI cuando el cultivo se promovió intensamente para su uso como bebida, dispersándose desde la península arábiga el Cairo y a todo el imperio otomano a mediados del siglo XV, y cruzando a finales del siglo XVI el Mediterráneo. El café llegó a Colombia alrededor del siglo XVIII; las primeras semillas de *Coffea arabica* fueron compradas de las Antillas Francesas y cultivadas en Cúcuta. Unos años después, el café plantado en el valle del Cauca y Antioquia. Para 1821, con el ánimo de estimular el cultivo, fue prohibida la importación.

El cafeto (figura 1A) es un arbusto perteneciente a la familia de las rubiáceas, que puede alcanzar los 10 m en estado silvestre; en los cultivos se le mantiene normalmente en tamaño más reducido, aproximadamente de 3 m. El fruto es denominado cereza o baya y su semilla se compone de dos partes: almendra y pergamino.



A.



B.

Figura 1. A. Fotografía del fruto del cafeto. B. Fotografía de la semilla del cafeto.

La almendra es dura y de color verdoso cubierta de una película plateada cuando está seca, y del embrión, que es una planta muy pequeña que está dentro de la almendra.

Protegiendo a la semilla (figura 1B) se encuentra el pergamino que está cubierto de una sustancia azucarada que es el mucilago. La parte roja o amarilla del fruto maduro se conoce con el nombre de pulpa. Las dos especies de interés comercial en el género son *Coffea arabica* y *Coffea canephora* var. Robusta, conocidos como

arabica y robusta respectivamente. El *C. arabica*, originario de etiopia produce un café fino, aromático que necesita de clima fresco, siendo un cultivo delicado, menos productivo y reservado a tierras de alta montaña. El *C. robusta*, originado del Congo es resistente al clima caliente y a los parásitos, y debido a estas características de resistencia en comparación con el arabica se le denomina robusta (Díaz Poveda , 2011).

El café arábigo (*Coffea arabica* L.) es la principal variedad comercial que se cultiva en México. Es una especie nativa de etiopia.

Los arbustos y árboles de café son del tipo perenne, leñoso y de un tallo resistente cubierto de corcho.

Morfología de órganos:

Tallo

El arbusto de café está compuesto generalmente de un solo tallo o eje central. El tallo exhibe dos tipos de crecimiento. Uno que hace crecer al arbusto verticalmente y otro en forma horizontal o lateral. El crecimiento vertical u ortotrópico es originado por una zona de crecimiento activo o plúmula en el ápice de la planta que va alargando a ésta durante toda su vida, formando el tallo central, nudos y entrenudos.

En los primeros 9 a 11 nudos de una planta joven sólo brotan hojas. De ahí en adelante ésta comienza a emitir ramas laterales. Estas ramas de crecimiento lateral o plagiotrópico se originan de unas yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas. En cada axila se forman dos o más yemas unas sobre las otras. De las yemas superiores se desarrollan las ramas laterales que crecen horizontalmente. La yema inferior a menudo llamada accesoria, da origen a nuevos brotes ortotrópicos. Usualmente esta yema no se desarrolla a menos que el tallo principal sea decapitado, podado o agobiado.

La muerte de la yema apical causada por ataque de enfermedades, insectos, deficiencias nutricionales u otros pueden causar la activación de las yemas accesorias a formar nuevos brotes que sustituirán al original. Las yemas crecen primero en sentido horizontal, luego se doblan y crecen verticalmente formando una rama ortotrópica que a su vez forma hojas y ramas laterales. No es hasta que el tejido del tallo principal o sustituto (según sea el caso) se vuelve lo suficiente maduro que se emiten las ramas laterales. En la parte inferior del tronco donde ya no hay hojas se forman yemas que al podar o doblar el tallo brotan de esos nuevos chupones que sustituyen el anterior. En resumen puede concluirse que el café exhibe un dimorfismo único en su crecimiento vegetativo.

Ramas

Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas en el tallo central. Estas ramas se alargan continuamente y son producidas a medida que el eje central se alarga y madura. El crecimiento de éstas y la emisión de nuevas laterales en forma opuesta y decusada van dando lugar a una planta de forma cónica.

Las ramas primarias plagiotrópicas dan origen a otras ramas que se conocen como secundarias y terciarias. En estas ramas se producen hojas, flores y frutos. A excepción de algunas especies, en el tronco o tallo del C. arábica normalmente se producen sólo yemas vegetativas, nunca flores ni fruto.

Si a una rama lateral se le poda su ápice, no se induce la formación de otras ramas laterales en la misma axila, o sea, no tiene poder de renovación.

En el caso de la propagación vegetativa, si se enraíza o se injerta una rama ortotrópica se obtiene una planta normal; de lo contrario, si fuere una rama plagiotrópica obtendríamos una planta baja y compacta con sólo ramas laterales. Es decir, que una rama plagiotrópica no da origen a una rama ortotrópica. Esta diferencia es de mucha importancia práctica cuando se propaga por injertos o esquejes y cuando se aplican los sistemas de poda. La eliminación del ápice de crecimiento de una rama lateral puede inducir al desarrollo de ramas secundarias y terciarias.

Raíces

Al igual que en el tallo en el sistema radical hay un eje central o raíz pivotante que crece y se desarrolla en forma cónica. Esta puede alcanzar hasta un metro de profundidad si las condiciones del suelo lo permiten.

De la raíz pivotante salen dos tipos de raíces: unas fuertes y vigorosas que crecen en sentido lateral y que ayudan en el anclaje del arbusto y otras que salen de éstas de carácter secundario y terciario. Normalmente éstas se conocen como raicillas o pelos absorbentes.

El sistema radical del cafeto es uno superficial, ya que se ha constatado que alrededor del 94% de las raíces se encuentran en el primer pie de profundidad en el suelo. Las raíces laterales pueden extenderse hasta un metro alejadas del tronco. Generalmente la longitud de las raíces coincide con el largo de las ramas.

Hojas

Las hojas aparecen en las ramas laterales o plagiotrópicas en un mismo plano y en posición opuesta. Tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en

la inferior. La lámina es de textura fina, fuerte y ondulada. Su forma varía de ovalada (elíptica) a lanceolada. El haz de la hoja es de color verde brillante y verde claro mate en el envés. En la parte superior de la hoja las venas son hundidas y prominentes en la cara inferior. Su tamaño puede variar de 3 a 6 pulgadas de largo.

La vida de las hojas en la especie arábica es de 7 a 8 meses.

Inflorescencia

Las flores son pequeñas, de color blanco y de olor fragante. Los cinco pétalos de la corola se unen formando un tubo. El número de pétalos puede variar de 4 a 9 dependiendo de la especie y la variedad. El cáliz está dividido en 4 a 5 sépalos.

Las yemas florales aparecen generalmente a los dos o tres años dependiendo de la variedad. Nacen en las axilas de las hojas en las ramas laterales. Estas yemas tienen la capacidad de evolucionar en ramificaciones. La florecida no alcanza su plenitud hasta el cuarto o quinto año.

La inflorescencia del café es una cima de eje muy corto que posee un número variado de flores. En los arábigos es de 2 a 9. Como regla general se forman en la madera o tejido producida el año anterior. En las partes lignificadas del arbusto que posean de uno a tres años aparecen en gran número.

Los granos de polen en la especies canephora y liberica son fácilmente transportados por brisas leves mientras que en la especie arábica no, debido a que son pesados y pegajosos.

Las especies canephora y liberica son especies alógamas y los arábigos son autogamos. En las especies donde ocurre la polinización cruzada el elemento polinizador principal es el viento y luego los insectos. En los arábigos el 94% de la polinización es autopolinización y sólo en un 6% puede ocurrir polinización cruzada.

Fruto

El fruto del cafeto es una drupa. Es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla (caracolillo).

El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo aunque algunas variedades maduran color amarillo.

El tiempo que transcurre (cuadro 1) desde la floración hasta la maduración del grano varía según la especie.

Cuadro 1. Tiempo que transcurre desde la floración hasta la maduración del grano.

Especie	Tiempo
<i>C. arábica</i>	6 a 8 meses
<i>C. canephora</i>	9 a 11 meses
<i>C. liberica</i>	11-14 meses

Las partes de la fruta desde el exterior al interior son:

- Epicarpio (cutícula, cáscara, pulpa) - de color rojo o amarillo en su madurez, jugoso y envuelve todas las demás partes del fruto.
- Mesocarpio (mucílago, baba) - de consistencia gelatinosa y color cremoso.
- Endocarpio (pergamino, cascarilla) - cubierta corácea de color crema a marrón que envuelve la semilla.
- Espermoderma (película plateada) - envuelve la semilla (integumento seminal).
- Endospermo - la semilla propiamente constituida.
- Embrión - localizado en la superficie convexa de la semilla y representado por un hipócotilo y dos cotiledones.

La semilla o cotiledón tiene un surco o hendidura en el centro del lado plano por donde se unen las dos semillas. El grano o semilla tiene un extremo que termina en forma puntiaguda donde se encuentra el embrión (Díaz Poveda 2011).

En la literatura científica se han descrito numerosas variedades botánicas y hortícolas de *C. arabica*.

Esta especie posee dos variedades botánicas que son: *Coffea arabica* var. arábica y *Coffea arabica* var. bourbon. De estas dos especies se han producido numerosas mutaciones y existen además un gran número de cultivares. La primera es la más común de las dos, habiendo sido introducida al cultivo por los

holandeses en el Lejano Oriente. Fue llevada a la Martinica por los franceses y posteriormente a Brasil, donde aún es la variedad más ampliamente, cultivada. La variedad arábica pronto se vuelve un árbol robusto si no se le poda. Las principales ramas salen casi perpendiculares del tronco volviéndose después colgantes cuando se forman las ramas secundarias y producen fruta. Las hojas son elípticas, acuminadas y acunadas; ellas y las ramitas que las soportan generalmente son de punta bronceada cuando están jóvenes. Según los estudiosos la *var. bourbon* es una mutante recesiva. Fue importada a la isla de Reunión directamente de Arabia por los franceses y más tarde fue llevada a las Indias Occidentales; de allí fue llevada a Centro y Sudamérica. La *var. bourbon* constituye un árbol más o menos delgado, cuyas ramas principales salen del tronco a un ángulo más o menos de 45 grados, volviéndose más tarde casi horizontales y colgantes. Las hojas son más anchas y las puntas bronceadas, por lo general están ausentes.

Como se ha mencionado antes, una característica de *C. arabica* y también de las otras especies, es la frecuente aparición de mutantes distintivas de reproducción verdadera, algunas de las cuales son más o menos no fructificantes mientras que otras son superiores en cuanto al vigor y a la calidad del grano. Tres de estas especies cultivadas, clasificadas anteriormente como variedades, son el café Maragogipe (*C. arabica* cv. maragogipe = *C. arabica* var. maragogipe Hort.) que fue descubierta en Brasil en 1870; también se encontró en Brasil en 1871 "amarella", "Botucatú" o "Golden drop coffee" (*C. arabica* cv. amarella = *C. arabica* var. amarella Hort. ex Froehner), y "el café angustifolia" (*C. arabica* cv. angustifolia = *C. arabica* var. angustifolia (Roxb.) Miq, el cual apareció por primera vez en la provincia de Menado, de las Célebes (Sula Wesi). Las dos primeras están plantadas comercialmente. Otras plantas cultivadas de interés comercial son la bien conocida "mocha" (anteriormente *C. mokkae* Cramer), "laurina" (sin.: *C. arabica* var. laurina [Smeathman] D. C.), "caturra", una variante del café bourbon, y "Kent's" notable por su resistencia a la roya por *Hemileia* por sus grandes rendimientos de excelente café. Otras mutantes son "cera", "anomala", "carlycanthema", "goiaba", "semperflorens", "crespa", "erecta", "fasciata", "columnaris", "bullata", "variegata", "monosperma", "Polysperma", "murta", "nana" y "purpurascens". La mayoría de éstas son curiosidades hortícolas, aunque una gran cantidad de ellas se han venido utilizando en estudios citológicos y genéticos.

Innumerables variedades hortícolas, o sea cultivadas de *C. arabica* son conocidas; cada país, región o localidad posee sus propias razas especialmente seleccionadas y adaptadas. Por ejemplo, el "Blue Mountain coffee" es famoso en Jamaica; el café "Kent's", en la India; y el East, en Africa: los cafés "Kenya" y "Kilimanjaro", en el este de África; los cafés Menado, Malang, Padang, Preanger y Bungi, en Indonesia; el café "Nacional" (var. arabica), en Brasil; el bourbon (var.

bourbon) y maragogipe, en el norte de América del Sur, Centroamérica, México y las Indias Occidentales; y el café "Porto Rican", en Puerto Rico, entre otros. En muchos casos, como en los referentes a Kilimanjaro, Nacional de Brasil y Bourbon de la América Central, etc., los nombres realmente se refieren a grupos de variedades o razas (Cárdenas, 2007).

En México, y específicamente en el estado de Chiapas la *C. arabica* es la especie más cosechada.

El café llegó a México hace más de 200 años, entrando por Veracruz desde Cuba. Durante el Porfiriato, la cafecultura creció de manera importante en grandes fincas especializadas, para posteriormente convertirse en una actividad de pequeños productores, en su mayoría de origen indígena.

Hoy México ocupa el 9º lugar como productor de café verde, aportando el 3% del volumen mundial con 1 millón 287 mil 643 toneladas, para ello participan alrededor de 500 mil productores que siembran en 761 mil hectáreas, cuyas plantaciones se encuentran en 12 entidades del país, sin embargo, los estados de Chiapas y Veracruz concentran el 70% de la producción nacional (Vázquez Hernández, 2011).

2.2 Café verde

Los granos de café verde se obtienen de la cereza o de la baya. Este proceso implica la remoción del epicarpio (piel exterior roja), del mesocarpio (pulpa y mucilago), del endocarpio (pergamino) y por último la piel plateada que cubre el endospermo.

El café verde no tiene sabor o aroma propio y sus compuestos químicos incluyen numerosos complejos, sustancias relativamente insolubles, que generalmente son poco volátiles y sin aroma. El grano de café intacto puede ser considerado como una pequeña autoclave donde en el proceso de tostado estas sustancias reaccionan e interactúan en condiciones controladas para producir el deseable producto final (Díaz Poveda, 2011).

2.2.1 Componentes del café verde

Los ácidos clorogénicos (CGA), ésteres del ácido quínico con varios ácidos hidroxicinámicos, particularmente ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido p-cumárico (figura 2), hacen parte de los compuestos más importantes presentes en los granos de café verde. Estos se dividen en seis clases: ácidos cafeoilquínicos (CQA), ácidos dicafeoilquínicos (diCQA), ácidos ferulilquínicos (FQA), ácidos p-cumaroilquínicos (pCoQA), ácidos cafeoilferuloilquínicos (CFQA) y ácidos

feruloilcafeoilquinicos (FCQA), los primeros tres representan cerca del 98 % del contenido de ácidos clorogénicos, siendo los ácidos cafeoilquinicos mayoritarios.

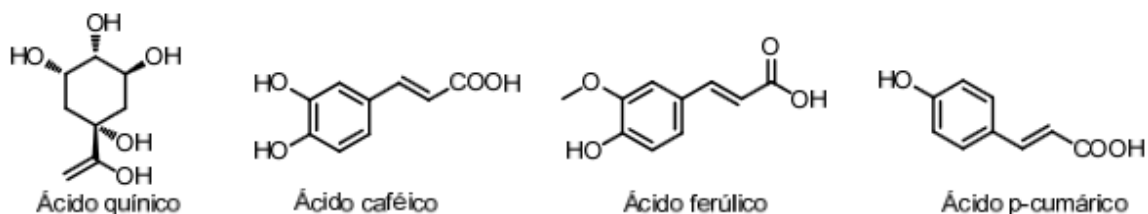


Figura 2. Fórmula estructural de los compuestos base de los CGA.

La trigonelina, alcaloides como la cafeína, lípidos como cafestol y kahweol, aminoácidos como el ácido glutámico y carbohidratos como la sacarosa, también forman parte de la composición química del café verde, junto a los CGA constituyen los componentes no volátiles y los precursores del café tostado (figura 3) (Brezová *et al.*, 2009).

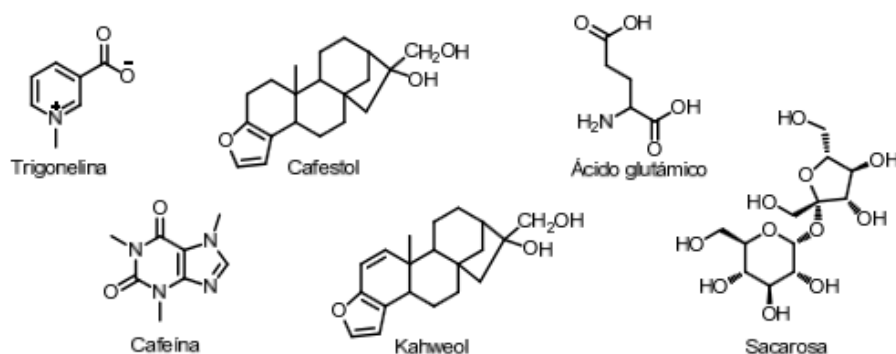


Figura 3. Fórmula estructural de algunos componentes presentes en el café verde.

2.2.2 Antioxidantes

2.2.2.1. Los compuestos fenólicos en las plantas

Las plantas vasculares sintetizan una gran cantidad de moléculas orgánicas, como consecuencia de su metabolismo secundario.

Los fenoles son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Se localizan en todas las partes de las plantas y su concentración es variable a lo largo del ciclo vegetativo. Estos compuestos participan en diversas funciones, tales como la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, la actividad

enzimática, la fotosíntesis, la formación de componentes estructurales, la alelopatía y la defensa ante los factores adversos del ambiente.

Los fenoles están asociados al color, las características sensoriales (sabor, astringencia, dureza), las características nutritivas y las propiedades antioxidantes de los alimentos de origen vegetal. La característica antioxidante de los fenoles se debe a la reactividad del grupo fenol (Robbins, 2003; Kähkönen *et al.*, 2001).

2.2.2.2. Estructuras de los compuestos fenólicos

El término fenoles comprende aproximadamente 8000 compuestos que aparecen en la naturaleza. Todos ellos poseen una estructura común: un anillo fenol -un anillo aromático que lleva al menos un sustituyente hidroxilo (figura 4). (Kähkönen, *et al.*, 1999).

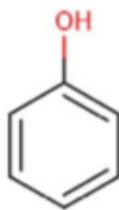


Figura 4. Fenol

Los flavonoides (figura 5) son los polifenoles que poseen al menos 2 subunidades fenólicas; los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se denominan taninos (Robbins, 2003).

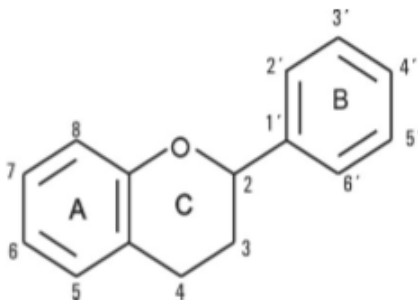


Figura 5. Estructura básica de los flavonoides.

Los flavonoides son derivados fenólicos sintetizados en cantidades substanciales por las plantas. Comprenden alrededor de 4000 compuestos identificados, son derivados hidroxilados, metoxilados y glicosilados de la 2 fenil benzo y pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo pirano. Estos compuestos poseen actividad antioxidante y capacidad para capturar radicales libres (Vinson *et al.*, 1995). La actividad antioxidante de

los distintos grupos de compuestos depende de la estructura individual y del número de oxidrilos sustituyentes, así como del peso molecular. En los flavonoides, esta característica se asocia con la presencia en la molécula de grupos orto dihidroxi en el anillo B, un doble enlace entre el C2 y C3 en conjunto con la posición 4-oxo en el anillo C, y grupos 3-5 hidroxilo, y la función 4 – oxo en los anillos A y C (Velioglu *et al.*,1998).

Los taninos o polifenoles poliméricos (figura 6) tienen mayor actividad antioxidante que los fenoles monoméricos simples (Hagerman *et al.*, 1998).

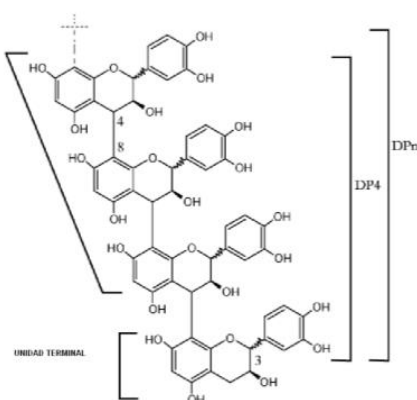


Figura 6. Taninos (polímeros de catequina).

2.2.2.3. Actividad biológica de los compuestos fenólicos

Los polifenoles poseen acciones molusquicidas, antihelmínticas, antihepatotóxicas, antiinflamatorias, antidiarreicas, antiúlcera, antivirales, antialérgicas y vasodilatadoras. Se ha verificado que inhiben la replicación del virus de la inmunodeficiencia Humana (HIV) y del virus simplex humano (HSV), inhiben las glucosil transferasas del *Streptococcus mutans* (caries dental), inhiben la autoxidación del ascorbato, también inhiben efectos citotóxicos, la promoción del crecimiento tumoral y la enzima xantina mono- amina oxidasa. La actividad antioxidante de los fenoles es el origen de funciones biológicas tales como la antimutagénica, anticancerígena y antienvjecimiento (Velioglu *et al.*, 1998; Proestos *et al.*, 2005).

Los flavonoides, en particular, exhiben una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo actividad antibacteriana, antiviral, antiinflamatoria, antialérgica, antioxidante, antitrombótica y vasodilatadora (Siddhuraju y Becker, 2003).

Existe evidencia epidemiológica acerca de los beneficios para la salud del consumo abundante de frutas y verduras en la dieta.

Altas ingestas de frutas y verduras están asociadas con el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades. El pensamiento vigente vincula el alto

contenido de antioxidantes con la inhibición de las enfermedades provocadas por el daño oxidativo, tales como la enfermedad cardíaca, las hemiplejias y el cáncer (Robbins, 2003).

Se ha probado, tanto epidemiológica, así como experimentalmente, la relación existente entre una ingesta aumentada de antioxidantes en la dieta, así como de vitaminas C y E, y β caroteno y la prevención de la enfermedad coronaria. Hertog (1993) determinó que la ingesta de flavonoides en la dieta, la mayoría a partir de té, se asoció con una reducción de las muertes por enfermedades coronarias. Los flavonoides de las plantas, específicamente los del té, son poderosos antioxidantes, comprobados *in vitro* en un sistema de oxidación de lipoproteínas (LDL) simulando lo que ocurre en el cuerpo humano (Vinson *et al.*, 1995).

Las hierbas utilizadas para realzar y complementar los sabores de los alimentos son fuentes de compuestos fenólicos; el consumo de hierbas está asociado con una baja incidencia de cáncer y baja mortalidad por esta misma enfermedad (Wei-Zheng y Wang, 2001).

Los flavonoides y otros compuestos fenólicos actúan en forma preventiva en el desarrollo del cáncer y de la enfermedad coronaria. La ingestión de vino tinto desalcoholizado o de una mezcla de compuestos fenólicos extraída del vino tinto mejora el nivel antioxidante del plasma en humanos. El consumo de dietas controladas altas en frutas y verduras incrementa significativamente la capacidad antioxidante del plasma en humanos. Estudios epidemiológicos han demostrado una asociación negativa significativa entre la ingesta de frutas y verduras y la mortalidad debida a la enfermedad cardíaca (Käkhönen *et al.*, 1999).

Un aumento en la ingesta de antioxidantes fenólicos naturales se correlaciona con una reducción de las enfermedades coronarias. Dietas ricas en compuestos fenólicos se asocian con mayor expectativa de vida. Estas propiedades incluyen actividad anticáncer, antiviral, antiinflamatoria, efectos sobre la fragilidad capilar y habilidad para inhibir la agregación de las plaquetas humanas. Estos compuestos pueden moderar la peroxidación de los lípidos involucrados en la aterogénesis, trombosis y carcinogénesis. Sus propiedades conocidas incluyen la captura de radicales libres, fuerte actividad antioxidante, inhibición de las enzimas hidrolíticas y oxidativas (fosfolipasa A2, ciclooxigenasa, lipoxigenasa) y acción antiinflamatoria (Siddhuraju *et al.*, 2003).

Los flavonoides provenientes de verduras y frutas consumidos en la dieta están inversamente relacionados con la mortalidad causada por la enfermedad coronaria. Los flavonoides del vino tinto han demostrado fuerte actividad de inhibición de la oxidación de las LDL; *in vitro* e *in vivo* reducen la agregación de las plaquetas y esto se asocia con la reducción de la mortalidad por enfermedad cardiovascular. La (+) catequina ha demostrado prevenir la oxidación del plasma

humano e inhibir la oxidación de las LDL. Los flavonoides pueden explicar los efectos protectores de la dieta mediterránea (rica en vegetales, frutas y vino) contra las enfermedades cardiovasculares. La mayor concentración de (+) catequina en el plasma se observó en sujetos que consumieron frutas, verduras y vino. Su acción antioxidante y antiagregación de las plaquetas puede explicar parcialmente la protección relativa contra la enfermedad coronaria (Ruidavets *et al.*, 2000).

2.2.2.4. Actividad antioxidante de los fenoles de los alimentos

Los flavonoides son la clase predominantemente descrita de los fenoles presentes en los alimentos, porque son aproximadamente 2/3 de los fenoles consumidos en la dieta humana. Los taninos también son una fuente importante de antioxidantes. Debido a su presencia ubicua en los alimentos de origen vegetal, los humanos consumen compuestos fenólicos a diario. El rango de consumo es de 25 mg a 1g por día dependiendo del tipo de dieta (frutas, vegetales, granos, té, especias) (Robbins, 2003; Hagerman *et al.*, 1998).

Existen numerosos estudios sobre la actividad antioxidante de los alimentos de consumo corriente en las diferentes culturas: las frutas, las hierbas, el té, el cacao, las verduras, los cereales, entre otros.

Las frutas, especialmente las agrupadas en lengua inglesa bajo el nombre de berries - *Vaccinium myrtillus* (arándanos), *Ribes nigrum* (cassis ó corintos negros), *Ribes grossularia* (uvaespina ó grosella), *Rubus idaeus* (frambuesa), *Ribes rubrum* (corintos rojos) y *Fragaria ananassa* (frutilla)- son una fuente importante de antioxidantes en la dieta. En estas frutas se encuentran presentes derivados de los ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoicos, antocianos, flavonoles, catequinas y taninos (hidrolizables y condensados). Muchos de estos compuestos exhiben una variedad de efectos biológicos, incluyendo actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria y acciones vasodilatadoras. Los extractos de las frutas antes mencionadas resultaron altamente antioxidantes, inhibieron la formación de hidroperóxidos en metil linoleato y la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de los liposomas. También tienen capacidad para capturar especies reactivas del oxígeno generadas químicamente (Kähkönen *et al.*, 2001).

Las frutas en general, y en particular, las frutas pequeñas o berries, contienen una amplia gama de flavonoides y ácidos fenólicos que muestran actividad antioxidante. Los principales subgrupos en berries y frutas son los antocianos, proantocianidinas, flavonoles y catequinas. Los estudios sobre la actividad antioxidante han sido enfocados principalmente en uvas, en las cuales se ha verificado que inhiben la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad humanas (LDL) en un nivel comparable con el del vino. El extracto de frutillas frescas ha

actuado como un antioxidante 5 veces más activo que el trolox, en un sistema artificial que genera peróxido. Los extractos de blackberries, corintos rojos y negros, blueberries, frambuesas negras y rojas poseen una alta actividad como captadores de radicales superóxido. Los ácidos hidroxinámicos típicamente presentes en las frutas han demostrado inhibir la oxidación en las LDL *in vitro*. Los extractos fenólicos de berries (blackberries, frambuesas, cerezas, blueberries, y frutillas) inhiben la oxidación de las LDL humanas y la oxidación de los liposomas (Kähkönen *et al.*, 1999).

El té se ha usado como bebida de consumo diario y como medicina por cientos de años en China. Posee efectos antipiréticos y diuréticos, actividad antioxidante, antimutagénica y anticáncer, así como también capacidad para capturar los radicales libres y el oxígeno activo. Previene el daño oxidativo sobre el DNA e inhibe la peroxidación de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). La ingesta regular de té mejora el status antioxidante *in vivo*, y por lo tanto, disminuye la incidencia de ciertos tipos de cáncer y de enfermedades coronarias. Los antioxidantes del té protegen contra fuertes mutágenos en modelos animales. Por otra parte, en estudios epidemiológicos se ha comprobado una disminución de la incidencia de cáncer en asociación a altos consumos de té. El poder antioxidante del té se correlaciona fuertemente con el contenido de polifenoles totales, en particular epicatequina. La actividad antioxidante se incrementa con el incremento de los sustituyentes del tipo orto dihidroxi. El epigallocatequina-galato tiene 4 de estos grupos, y es el compuesto que mayor actividad presenta. Las propiedades antioxidantes y antimutagénicas del extracto de té varían con la intensidad de la fermentación del té durante el proceso de manufactura. Durante la fermentación, los flavonoles de las hojas verdes del té, principalmente catequinas y sus ésteres gálicos, sufren una polimerización oxidativa catalizada por la polifenoloxidasas, que vuelve negras las hojas. El contenido inicial de catequina, se convierte en tearubingenina y teaflavinas, que dan al té negro su característica astringencia. El té verde contiene 30 a 42% de catequinas sobre la masa total seca, mientras que el té negro contiene 3 al 10% y el té Oolong, semifermentado, contiene 8 al 20% de catequina. Los extractos de té verde tienen fuerte acción antioxidante, debida a los compuestos activos catequina, epigallocatequina-galato, epicatequina-galato, epigallocatequina y epicatequina. El extracto crudo de té verde tiene mayor actividad antioxidante que una mezcla de catequina reconstituida. La actividad antioxidante de estas catequinas ha sido demostrada en aceites calentados, en emulsiones de β caroteno/ linoleato, en ensayos de actividad de captura de radicales con iniciadores de radicales, en tests de captura de superóxido, en oxidaciones aceleradas por el calor y suministro de oxígeno, y en reacciones catalizadas por enzimas. Las propiedades antioxidantes parecen explicar la acción antimutagénica. El té verde no fermentado tiene un poder antioxidante superior al del té negro fermentado

(Roedig-Penman y Gordon, 1997; Vinson *et al.*, 1995; Gow-Chin Yen y Hui-Yin Chen, 1995; Benzie y Szeto, 1999).

Los granos de cacao no fermentados son ricos en polifenoles, los cuales comprenden 12 al 18% del peso seco total del grano entero. Los polifenoles presentes son catequinas, procianidinas y antocianidinas. Luego de la fermentación y el secado, los flavonoides sufren una variedad de reacciones de oxidación y polimerización que originan taninos. Los fenoles del cacao tienen propiedades antioxidantes *in vitro*.

El café verde tiene alto contenido de polifenoles, entre ellos el ácido ferúlico y cafeico, cuya actividad antioxidante ha sido demostrada *in vitro* e *in vivo*. El grado de tostado disminuye la concentración en polifenoles. El café descafeinado no presenta diferencias con el café sin descafeinar respecto de su poder antioxidante. La protección contra la oxidación de las LDL no se debe a un solo compuesto, sino que es el resultado de la acción de varios compuestos fenólicos. La composición química de las bebidas varía grandemente: consiste en epicatequinas en el té verde, epicatequinas y taninos en el té negro, catequinas, procianidinas y antocianinas en el cacao, y en el café hay ácido clorogénico, ácido cafeico y melanoidinas. Café, cacao y té contienen polifenoles con altas actividades antioxidantes (Ricchelle *et al.*, 2001).

Existe relación entre el contenido de procianidinas de las muestras de cacao y su potencial antioxidante. Las muestras que han fermentado más intensamente tienen menor poder antioxidante y menor contenido de procianidina. El contenido de procianidina es un indicador del potencial antioxidante, ya que se correlaciona en forma directa con el poder antioxidante (Adamson *et al.*, 1999).

En hierbas aromáticas tales como Salvia, tomillo, Ginkgo biloba, menta, artemisia, aloe, valeriana, ciboulette, diente de león, dill, lavanda, hinojo, orégano, mejorana, melisa, perejil, romero, albahaca, laurel, sauco, coriandro, perejil, azafrán, diente de león, manzanilla, tilo, tomillo, y vinca se estudió el poder antioxidante y la composición polifenólica. Cada hierba tiene una composición fenólica diferente, y el poder antioxidante de cada uno de estos compuestos también es diferente. La actividad anti-oxidante de los flavonoides se incrementa con el N° de grupos hidroxilo sustituyentes del anillo B, específicamente en el C-3'. Existe una correlación lineal positiva entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de las hierbas, en consecuencia, las hierbas son una buena fuente potencial de antioxidantes naturales. Romero y tomillo presentaron mayor concentración polifenólica y mayor poder antioxidante (Proestos *et al.*, 2005).

Se ha determinado actividad antioxidante en porotos, remolacha, maíz tierno, brócoli, ajo, cebolla, espárragos, papas, romero, salvia, orégano, tomillo, nuez moscada, avena, hojas de pino (el picnogenol se obtiene del *Pinus maritima* y

actúa como captor de radicales libres hidroxilo y superóxido) y corteza de abedul. No se encontró correlación entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante de los extractos de plantas en los grupos estudiados trabajando sobre la oxidación del metil linoleato. En los berries si se encontró relación entre alto contenido de polifenoles y alta actividad antioxidante. Las verduras ensayadas mostraron baja concentración de fenoles respecto a las berries. Pero la piel de remolacha, la piel de papas color púrpura y la piel de la remolacha azucarera mostraron actividad antioxidante interesante. En los cereales, la concentración de fenoles es aún más baja que en las verduras, y el poder antioxidante es bajo. Entre las hierbas, el tomillo posee fuerte acción antioxidante (Käkhönen *et al.*, 1999).

Las semillas y cáscaras de trigo sarraceno, lino, semillas y cáscaras de girasol, raíces de ginseng, raíces y flores de Echinacea, papas de carne blanca y púrpura, arándanos, cerezas, pieles de cebolla morada, raíces y aceite de rábano picante y trigo fueron estudiadas en cuanto a su actividad antioxidante. Se encontró correlación directa entre concentración fenólica y actividad antioxidante (Velioglu *et al.*, 1998).

Los cítricos contienen flavonoides en forma de flavonas polimetoxiladas y flavanonas glicosiladas. Tienen propiedades anticancerígenas, antivirales, antiinflamatorias, efectos sobre la fragilidad capilar y capacidad para inhibir la agregación de las plaquetas humanas. Las cáscaras y las semillas de los cítricos tienen capacidad antioxidante con respecto a la oxidación del citronelal, debida a estos compuestos fenólicos. Sus extractos pueden ser útiles para evitar la oxidación de los jugos de frutas y aceites esenciales. Generalmente, las semillas poseen mayor actividad antioxidante que las cáscaras. No siempre se verifica una relación directa entre mayor concentración fenólica y mayor actividad antioxidante en los cítricos (Bocco *et al.*, 1998).

Moringa oleifera es un árbol nativo del Noroeste de la India, se cultiva como cerco verde. Sus frutos verdes se consumen como una verdura, se comen también las flores y las hojas jóvenes. Una pasta de hojas se emplea como emplasto para heridas. El extracto metabólico ha demostrado tener actividad antiúlceras gástricas en ratas. El jugo de hojas frescas posee acción antibacteriana contra *Micrococcus pyogenes* var. *Aureus*, *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis*. En un ensayo en ratas alimentadas con una dieta alta en grasas adicionada de jugo fresco de *Moringa oleifera*, se observó un descenso del nivel de colesterol en el suero, en el hígado y en el riñón. Tradicionalmente, el ghee o manteca clarificada de leche de vaca o búfala se ha preparado con hojas de *Moringa*, lo cual retarda el deterioro oxidativo del ghee, por actuar como antioxidante natural. El poder reductor o antioxidante de los extractos de *Moringa* aumenta con el aumento de concentración de polifenoles de estos extractos. Los flavonoides están entre los más potentes antioxidantes de las plantas debido a que poseen uno o más de los siguientes

componentes estructurales que están involucrados en la actividad antiradical o antioxidante: un grupo orto-difenol en el anillo B, un doble enlace conjugado en 2-3, con una función oxo en el C4 y grupos hidroxilo en las posiciones 3 y 5 (Siddhuraju y Becker, 2003).

Los extractos crudos de frutas, hierbas, verduras, cereales y otros materiales vegetales ricos en fenoles están generando interés en la industria de los alimentos debido a que retardan la degradación oxidativa de los lípidos, y por lo tanto mejoran la calidad y el valor nutricional de los alimentos. La importancia de los constituyentes antioxidantes de los materiales vegetales en el mantenimiento de la salud y la protección contra la enfermedad coronaria y el cáncer aumenta el interés de los elaboradores de alimentos y de los consumidores. La tendencia se encamina hacia la preparación de alimentos con valores específicos para la salud (Kähkönen *et al.*, 1999).

2.3 Encapsulación

2.3.1 Métodos de encapsulación

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela, 2009), esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs *et al.*, 2006). Se utiliza de igual manera el término de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Yañez *et al.*, 2002).

Entre las primeras aplicaciones prácticas de la microencapsulación se destaca la industria farmacéutica, médica, textil, alimentos (Dutta *et al.*, 2009; Rai *et al.*, 2009), pesticida (Araneda y Valenzuela, 2009; Li *et al.*, 2009), cosmética, química (Fuchs *et al.*, 2006), de imprenta (Madene *et al.*, 2006) agroquímica (Villamizar y Martínez, 2008) fragancias, tintes, agentes antimicrobianos (Zong *et al.*, 2009), biomédica (Champagne y Fustier, 2007; Luo y Pozrikidis, 2009) y de plásticos (Dutta *et al.*, 2009).

Respecto al área de alimentos, las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al.*, 2002; Montes *et al.*, 2007). Una aplicación especialmente importante en alimentos es la

nanoencapsulación que involucra la incorporación, absorción o dispersión, de componentes bioactivos en pequeñas vesículas con diámetro nano (o submicrón) (Bouwmeester *et al.*, 2009), estas nanopartículas encapsuladas en la interfase de gotas de emulsión pueden mejorar la estabilidad y controlar las gotas (Prestidge y Simovic, 2006); y ser utilizadas como transportadores comestibles para componentes de sabor-aroma o para encapsulación o nutraceúticos, así como para mejorar la elasticidad de plásticos y paquetes de alimentos bioactivos (Sozer y Kokini, 2009).

La estructura formada por el agente microencapsulante alrededor de la sustancia microencapsulada (núcleo) es llamada pared, esta protege el núcleo contra el deterioro y liberación bajo condiciones deseadas (Young *et al.*, 1992; Madene *et al.*, 2006).

La técnica de microencapsulación ha permitido solucionar algunos problemas limitando las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que puede controlar la eliminación de saborizantes, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas (Favaro *et al.*, 2010).

Diversas técnicas han sido desarrolladas o aplicadas para la fabricación de microcápsulas, pudiendo ser clasificadas como métodos físicos, químicos, o fisicoquímicos. El tipo de proceso utilizado depende de las propiedades del agente encapsulante, así como de las limitaciones del material activo, del mecanismo de liberación deseado y el costo (Shahidi , 1993). En el caso de sabores y aromas, varios métodos físicos, químicos o físico-químicos han sido desarrollados para encapsularlos y utilizarlos en la industria de alimentos (Spray drying, Spray chilling, Extrusión, Liofilización, Inclusión molecular, Coacervación, Separación en fase orgánica etc); el secado por aspersion es el que más se utiliza (Favaro, 2010).

2.3.1.1 Liofilización

El sistema de secado por vacío, llamado liofilización, ha resultado ser muy eficiente a la hora de preservar las características del fruto inicial. Este método se diferencia de los convencionales ya que el secado no se produce por el cambio de estado de líquido a gas, sino que se realiza primero por el paso de fase líquida a sólida y luego directamente de sólido a gas (sublimación); evitando así que los componentes del producto queden rodeados de soluciones hipertónicas durante la extracción del agua fuera de él.

Para que este fenómeno ocurra, la presión máxima a la cual puede estar la muestra es la presión del punto triple en el diagrama de fases del agua (0.006

atmósferas) y a una temperatura máxima de 0.01°C. Es por esto que el producto primero debe ser congelado y luego introducido en una cámara de vacío (liofilizador) para llevar a cabo la sublimación. Esta técnica, al trabajar a menores temperaturas, evita en gran medida las pérdidas nutricionales y organolépticas (perceptibles a través de los sentidos) que se producen con los otros tipos de secado. Así, al ser aplicada en la deshidratación de frutas, da como resultado productos de mejor calidad nutricional, sabor y textura (Karelovic, 2012).

Etapas del proceso de Liofilización.

El proceso de liofilización puede subdividirse en 3 etapas: El pre-congelamiento, congelamiento primario y congelamiento secundario. Cada una de ellas tiene gran importancia en la calidad final del producto. Las etapas se detallan a continuación:

- **Pre-congelamiento**

La liofilización es una técnica poco utilizada en el tratamiento de frutas debido los altos costos del proceso. En el pasado los estudios sobre optimización de este proceso se han centrado especialmente en las fases de secado, ignorando la etapa de congelación. Sin embargo, el pre-congelamiento es un paso muy importante en la liofilización, ya que incide tanto en el rendimiento del proceso, como en la calidad del producto.

Aunque parece simple, el paso de congelación es probablemente el paso más complejo en la liofilización y puede llevarse a cabo mediante diversos métodos. En esta etapa ocurren varios fenómenos que juegan en contra de las propiedades de la fruta, los más importantes son:

a) El agua líquida presente en las células, para poder pasar a fase sólida (Hielo), debe cristalizar. Ello implica la nucleación y el posterior crecimiento de cristales de hielo. El tamaño de cristales está determinado en gran parte por la velocidad de enfriamiento: a menor velocidad, mayor es el tiempo que tienen los cristales para difundir, por esta razón los cristales más grandes crecen a expensas de los más chicos aumentando considerablemente el tamaño promedio de ellos. Si se considera el tamaño de los cristales de agua, dependiendo del tipo de hielo formado, estos pueden llegar a variar en volumen hasta un 9% en relación a su estado líquido, lo cual provoca presiones internas que generan daños estructurales al interior del fruto. Al dañarse las membranas celulares, pierden la capacidad de trabajar de manera semipermeable provocando su desnaturalización, lo que ocasiona pérdidas nutricionales y afecta severamente el sabor. Además, esto da lugar a la formación de grandes cristales de hielo extracelular que separa y rompe las células, provocando alteraciones en la textura del alimento y exudación de agua al momento de descongelar. Al deteriorarse las

membranas celulares, toda la estructura interna del fruto se debilita, ocasionando pérdidas de firmeza que influyen directamente en la textura de la fruta.

b) El tamaño de los cristales de hielo también tendrá una influencia significativa en la permeabilidad de la capa seca al vapor que fluye desde la interfase producto congelado- producto seco (hielo-vapor) hacia el exterior, como en el tiempo de rehidratación del producto. Así de un gran número de granos pequeños resultará una capa seca que resulte en caminos intrincados para el paso del vapor, lo que significará una tasa de secado más baja. Por otra parte, significará una gran superficie expuesta al agua al momento de la rehidratación, lográndose esto en corto tiempo.

De lo anterior, la situación ideal de congelamiento estará dada por una alta velocidad de congelamiento y que los cristales de hielo formados no tiendan a influir volumétricamente sobre el alimento.

c) La concentración de sales va aumentando a medida que aumenta la proporción de agua en estado sólido. Presentándose, al igual que en el secado convencional, soluciones hipertónicas que rodean las células del producto, con la diferencia que debido a la baja temperatura, la cinética de los fenómenos de lisis es menor y que el tiempo que dura esta situación puede hacerse lo suficientemente corto para evitar daños.

d) Quemadura por frío: Cuando entra aire caliente al interior de la cámara de congelación, produce un gradiente de temperatura entre el aire frío interno y el caliente que penetra. Cuando el aire se calienta aumenta su capacidad de absorción de humedad.

En una cámara de congelación, la única fuente de humedad disponible es el hielo contenido en los alimentos congelados. El aire caliente toma la humedad de los alimentos protegidos deficientemente, desecándolos. Luego, esta humedad es depositada al enfriarse el aire en las superficies frías del congelador.

La quemadura por frío es una gran desecación superficial en un alimento congelado, producido por la deshidratación anterior. Aparece en la superficie del tejido como manchas de color oscuro al ir concentrándose y oxidándose los pigmentos de las capas más superficiales. También aparecen zonas blanco-grisáceas debidas a los huecos dejados por el hielo después de su sublimación. Si el fenómeno se mantiene durante suficiente tiempo, las capas superficiales se van esponjando y empiezan a deshidratarse las inferiores.

Si la quemadura es pequeña, el fenómeno es reversible por exposición a la humedad y rehidratación. Si la quemadura has sido por el contrario más profunda,

se han producido oxidaciones, cambios químicos que ya no son reversibles. La quemadura por frío causa una merma importante en el producto y una pérdida de valor del mismo porque disminuyen sus cualidades organolépticas.

- **Secado primario**

Durante el secado primario, los cristales de hielo formados durante la congelación son evaporados. La presión de la cámara de vacío se reduce por debajo de la presión de vapor del hielo, y la temperatura de almacenamiento se eleva al suministrar el calor, eliminando el hielo por sublimación. Al final de secado primario, el producto aún puede contener entre 15-20% de agua aproximadamente, que luego se elimina durante la etapa de secado secundario. Para llevar a cabo el proceso se deben considerar dos aspectos fundamentales:
Flujo de calor del ambiente a la interfase: Una vez descongelada el área superficial del producto esta se empezará a calentar por el efecto de la temperatura ambiente dentro de la cámara. Por lo que existirá una transferencia de calor entre la parte descongelada (seca) y la parte congelada mediante radiación.

Flujo de vapor desde la interfase: El vapor generado en la interfase fluye al exterior a través de la cáscara seca. Esto se debe fundamentalmente a los gradientes de presión parcial y total existentes a través de ella. El gradiente de presión total entre el exterior y la interfase depende de la tasa de sublimación y de la permeabilidad de la cáscara seca.

- **Secado secundario**

Cuando el último cristal de hielo ha desaparecido, el producto se calienta hasta la temperatura máxima admisible por la parte seca. La deshidratación final se realiza entonces bajo gran vacío para eliminar el agua que no se cristalizó previamente y que está ligada muy fuertemente a la masa parcialmente seca. Durante esta etapa la humedad residual disminuye progresivamente hasta obtener el nivel deseado, que dependerá del producto y del tiempo que se desee preservar. (Karelovic, 2012).

2.3.1.2 Secado por aspersión

La microencapsulación por el método de secado por aspersión es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: vitaminas (C, E), ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Wandrey *et al.*, 2010). Este método es el más utilizado en la industria alimenticia por ser el más económico que el anterior de cocrystalización para, conservar los nutrientes

(Young *et al.*, 1992; García *et al.*), disponibilidad fácil de equipamientos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final y flexible (Favaro *et al.*, 2010).

En comparación con otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por aspersión, se encuentra entre 96 y 100%, valores superiores en comparación con otros métodos (López y Gómez, 2008).

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

Al respecto, el proceso de secado por aspersión involucra tres etapas: preparación de la dispersión o emulsión, homogenización y atomización (Parize *et al.*, 2008). Este proceso consiste en atomizar el material que se encuentra en estado líquido, ya sea como solución o como dispersión, formándose al final finas gotas sobre una corriente de gas calentado, cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas, y a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En este método el componente ó sustancia a encapsular es rodeado por una matriz protectora, normalmente un polímero como goma acacia, maltodextrina, almidón y carbometilcelulosa (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Parize *et al.*, 2008).

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

Los méritos de este proceso son la disponibilidad de equipos, costo bajo de los procesos, buena retención de volátiles, buena estabilidad del producto final y producción a gran escala en modo continuo.

2.3.2. Agentes utilizados en el secado por aspersión

Los biopolímeros son utilizados para proteger y transportar los compuestos activos que van dirigidos a diferentes funciones específicas (Chen *et al.*, 2006; Niebla, 2009). Los biopolímeros se clasifican de acuerdo a su origen en naturales y sintéticos. Los de origen natural provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (algas/quitosano), origen vegetal (lípidos, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliacético y polihidroxicanoatos) (Tharanathan, 2003). La mayoría de estos biopolímeros en estado vítreo, son solubles en agua y tienen una alta estabilidad física y química (Yuliani *et al.*, 2004). Los usos más frecuentes son el mejoramiento de las características reológicas y de textura en los alimentos a los que se incorporan, así como ser agentes de revestimiento de medicamentos y agentes de encapsulación para la protección de microorganismos (Ruiz *et al.*, 2009). Por otra parte se encuentran los biopolímeros sintéticos, que a pesar de su éxito como sistemas encapsulantes, no pueden ser utilizados para su aplicación en alimentos, a menos que sean reconocidos generalmente como seguros, por sus siglas en inglés GRAS (da Acosta *et al.*, 2011).

Las Maltodextrinas se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (García *et al.*, 2004), está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Madene *et al.*, 2006).

2.3.3. Avances en la encapsulación de ingredientes

García Cruz (2011), señala en el proyecto de investigación “Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas” que el análisis estadístico de sus resultados del efecto de las condiciones de secado en las propiedades físicas de los polvos, mostró efectos significativos de la temperatura en el rendimiento, el contenido de humedad y T_s (temperatura de aire de salida de la cámara de secado), mientras la velocidad de atomización tuvo un efecto significativo en el contenido de humedad para un $\alpha=0.05$.

De donde se observó que para la menor T_s (°C) que fue de 56.0 ± 0.71 , se obtuvo el mayor % de rendimiento con un valor de 85.54 ± 2.66 , sin embargo también se observó que con dicha T_s , también se obtuvo la mayor cantidad de

humedad (% bs) con un valor de 9.57 ± 0.20 , en comparación con todos los tratamientos.

En cuanto al efecto en el rendimiento El mayor rendimiento fue obtenido en el tratamiento T7 con una temperatura de entrada de 130 °C a 22,000 rpm y $Fa (Lh-1)=2.8$, que resulta de una combinación de una temperatura del aire de entrada baja y altas velocidades de atomización y de flujo de alimentación. Señala también que la temperatura del aire de entrada es el factor más importante sobre los rendimientos obtenidos, pues encontró una tendencia de un incremento del rendimiento al disminuir la temperatura. Este comportamiento se atribuyó a que el aumento de T_e causó la adherencia de los polvos en la pared de la cámara de secado, reduciéndose la producción de polvos y el rendimiento. Estos resultados fueron comparados con Obón et al. (2009), que señala que bajas temperaturas originan que el comportamiento gomoso y pegajoso de las partículas disminuya, además que temperaturas superiores a 180°C degradan los compuestos presentes del jugo de tuna.

Los resultados de rendimiento de secado de Garcia Cruz (2011), fueron congruentes con los obtenidos por Obón et al. (2009) para colorante de jugo de *Opuntia stricta*, Goula & Adamopoulos (2005) para pulpa de tomate, Chegini & Ghobadian (2007) para jugo de naranja, León-Martínez et al. (2010) para mucílago de nopal Ofi. Estos autores sugieren que la recuperación de productos ricos en azúcares secados por aspersión es afectada por las altas temperaturas ya que se promueven cambios en la estructura del material y en el estado termoplástico del polímero y la deposición en la pared del secador incrementa; aún cuando las altas temperaturas aumentan la velocidad de secado y reducen el tiempo de operación. De acuerdo a los resultados obtenidos por García Cruz (2011), el efecto positivo de la velocidad de atomización sobre el rendimiento pudo atribuirse a que el área de superficie contacto fue mayor cuando V_a se incrementó, favoreciendo la deshidratación, ya que transferencia de calor y masa aumentó, este análisis coincide con Abadio et al. (2004) que reporta que un incremento de la velocidad de atomización reduce el tamaño de partícula, lo que provoca un aumento de la superficie de contacto.

León-Martínez et al. (2010) señalan que la V_a (velocidad de atomización) tiene un efecto positivo con respecto al rendimiento de polvos, el cual es más evidente a altas velocidades de F_a (flujo de alimentación), estos autores sugieren que se debe al efecto compartido de ambas en el tamaño de las gotas en la atomización y su transferencia de calor y masa.

El efecto del flujo de alimentación en el rendimiento de secado en el trabajo de García Cruz (2011), fue poco notorio, es decir la diferencia F_a no influyó en la recuperación de los polvos.

Por su parte, León-Martínez *et al* (2010) sugieren una relación inversa del Fa con la recuperación de polvos debido a que existe una menor transferencia de calor y masa.

Chegini y Ghobadian (2007) obtuvieron mayores rendimientos a Fa bajos, esto lo atribuyen a que el secado es correcto pues es menor cantidad de fluido es atomizado en la cámara de secado y se logra eliminar mayor cantidad de humedad aún cuando el tiempo de secado es mayor.

Los rendimientos obtenidos a las diferentes condiciones de operación empleadas por García cruz (2011), fueron menores a 100%, esto es debido a que el producto seco se quedó adherido y acumulado en las paredes del secador y del ciclón, lo cual dificultó su recuperación causando una pérdida parcial. Las variaciones de las condiciones de velocidad y humedad del aire comprimido, presión de atomización fueron factores difíciles de controlar y estos pudieron afectar el rendimiento de secado.

Los rendimientos de polvos de mucílago de pitahaya de este estudio fueron mayores a los obtenidos por León-Martínez *et al.* (2010) para polvos de mucílago de nopal *Opuntia ficus indica*, esto puede atribuirse según García Cruz (2011), a factores como la concentración de sólidos y viscosidad del fluido alimentado, relacionadas con las condiciones de extracción de mucílago. La relación material: agua empleada fueron para nopal 1:3 y pitahaya 1:4, Oomah y Mazza (2001) mencionan que un incremento de la concentración de sólidos aumenta la viscosidad del extracto, debido al aumento de la relación material: agua pero se reduce la recuperación de polvos un alto contenido de sólidos. Además, la temperatura y el tiempo de extracción de mucílago de nopal fueron mayores, 86°C y 3.6 h; mientras que para pitahaya fueron 80°C y 1h, causando probablemente por una ruptura inicial mayor de las cadenas del polímero en el mucílago de nopal.

Referente al efecto en el contenido de humedad para “Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas” por Garcia Cruz (2011), el contenido de humedad (% en base seca) de los polvos de mucílago de pitahaya fue menor al 10% ,esto señala el autor, asegura la estabilidad del producto . El análisis de varianza de García Cruz (2011), donde ($\alpha = 0.05$) mostró que hubo un efecto significativo de las variables temperatura del aire de entrada y velocidad de atomización en el contenido de humedad. Los mínimos valores de humedad se obtienen a altas T_e , esto se atribuye a que la fuerza impulsora para remover la humedad aumenta si la diferencia entre la temperatura del medio de secado (aire) y las partículas es mayor, produciendo polvos con menor contenido humedad.

Estos resultados son congruentes con los obtenidos en tomate (Goula y Adamopoulos, 2005), tuna (Obón *et al.*, 2009), naranja (Chegini & Ghobadian, 2007; Goula y Adamopoulos, 2010), y mucílago de *Opuntia ficus indica* (León-Martínez *et al.*, 2010).

El menor contenido de humedad en los tratamientos realizados en el trabajo de Garcia Cruz (2011), se encontró para el tratamiento con una combinación de una temperatura del aire de entrada alta, una baja velocidad de atomización y de flujo de alimentación. Rodríguez *et al.* (2005) señalan que la diferencia de la temperatura entre el medio de secado (aire) y las partículas es mayor, entonces la humedad se elimina más rápido.

Adicionalmente, la humedad del aire de secado puede ser un factor que influya en la humedad residual de los polvos.

Goula y Adamopoulos (2005) sugieren que el incremento de T_e ocasiona una mayor pérdida de agua debido al incremento de la velocidad de transferencia de calor de las partículas, causando una remoción más rápida de la humedad.

El aumento de la velocidad de atomización produjo polvos con menor humedad, esto se atribuyó que el tamaño de gota fue menor ocasionando un incremento de superficie de contacto entre el aire y las partículas, lo que permitió una mayor deshidratación del producto.

Abadio *et al.* (2004) reportaron el efecto de la velocidad de atomización en el secado de jugo de piña y sugiere que la relación de V_a con el tiempo de permanencia de la partícula en la cámara de secado y la superficie de contacto aire-partícula. El flujo de alimentación influyó ligeramente en el contenido de humedad de los polvos, sin embargo un decremento de F_a produjo gotas de menor tamaño, lo cual incremento el área de contacto con el aire caliente y ocasiona una mayor eliminación de la humedad. Un incremento del F_a significa que un mayor grado de humedad del fluido atomizado deber ser removido, por lo que el tiempo de residencia en la cámara de secado es mayor (León-Martínez *et al.*, 2010; Chegini y Ghodabian, 2007; Goula y Adamopoulos, 2005).

Los resultados de contenido de humedad de los polvos de mucílago de pitahaya en el trabajo de Garcia Cruz, fueron menores a los obtenidos por León-Martínez *et al.* (2010).

Goula y Adamopoulos *et al.* (2005) mencionan que la humedad residual de los polvos influye en otras propiedades del polvo como la densidad volumétrica y la solubilidad. Un menor contenido de humedad favorece la solubilidad de los polvos, disminuye su higroscopicidad y aumenta su temperatura de transición vítrea (T_g), debido a que el efecto plastificante del agua disminuye.

En el análisis de resultados del efecto en la temperatura del aire de salida para el trabajo “Optimización del secado por aspersión de mucilago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas” por García Cruz (2011), el rango de temperatura del aire obtenido a la salida de la cámara de secado (T_s) fue de 56 a 88 °C. El incremento de T_s se obtuvo cuando la temperatura de secado fue alta, la velocidad de atomización baja y velocidad de alimentación baja.

Establece que temperatura de salida depende de factores como la temperatura del aire a la entrada, la atomización y las características del fluido alimentado. Goula y Adamopoulos *et al.* (2005) sugieren que las altas temperaturas del aire a la salida de la cámara de secado están estrechamente relacionadas con las altas temperaturas del aire a la entrada, al igual que los bajos flujos de alimentación. García Cruz (2011) reporta que el contenido de humedad de los polvos disminuyó cuando T_e y T_s fueron altas. El menor contenido de humedad correspondió a la más alta temperatura de salida.

León-Martínez *et al.* (2010) mencionan que la humedad residual del producto es controlada por la temperatura de salida y que el incremento de la temperatura de salida se relaciona con un menor rendimiento del producto.

Oomah y Mazza (2001) señalan que un incremento en la temperatura del aire a la salida favorece la recuperación de los polvos, el mayor rendimiento lo obtienen cuando T_s es 85°C, mientras que para este trabajo, la más alta recuperación de polvos se logró cuando T_s es 88°C. El comportamiento de productos con alto contenido de azúcares se relaciona con su temperatura a la salida del secador, la cual es aproximada a T_s (Goula y Adamopoulos, 2005, 2010).

Como se mencionó anteriormente, la microencapsulación puede ser considerada como una forma especial de empaquetar en la que un material en particular puede ser cubierto de manera individual para protegerlo de factores que puedan causar deterioro, tales como: oxígeno, humedad o luz. En un sentido amplio, la microencapsulación provee un medio para envasar, separar y almacenar materiales en escala microscópica, esto protege al material sensible, extendiendo su vida en anaquel (Re, 1998 citado por Pedroza, 2002).

El secado es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados han sido ampliamente utilizados, desde los albores de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en época de carencia de alimentos (Fito *et al.*, 2001 citado por Vega *et al.* 2005).

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados, ya que al reducir el contenido de humedad, se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran (Doymaz y Pala, 2003). También el secado de los alimentos reduce su peso y en muchos casos el volumen, lo que incluye en una reducción importante, de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo (Barbosa y Vega, 2000).

Actualmente el aire caliente, sigue siendo el método de deshidratación más usado en la industria alimentaria (Hatamipour y Mowla, 2002), sin embargo la estabilidad del producto, es fuertemente afectada por las condiciones de secado (Chou y Chua, 2001). El daño térmico incurrido en un producto durante el secado es directamente proporcional a la temperatura y tiempo (Lin *et al.*, 1998). La temperatura alta y secado por mucho tiempo está asociado a menudo con el daño que afecta adversamente la textura, color, sabor y valor nutritivo de los productos (Zanoni *et al.*, 1999).

La pérdida de la calidad nutritiva, durante el procesado y el almacenamiento de alimentos se han vuelto un problema importante; desde el descubrimiento de las vitaminas básicas y sus formularios, se han hecho los esfuerzos para su optimización de los nutrientes durante el manejo de post-cosecha, proceso comercial, distribución, almacenamiento y preparación (Gregory, 1996; citado por Erenturk *et al.*, 2004).

En los alimentos originales, las gotitas de lípido, lisosomas o membranas son protegidos por las capas de proteínas hidratadas, contra el acceso de oxígeno del aire. Debido a la deshidratación, la capa protectora es deteriorada. Por tanto, los lípidos y estructuras no lipídicas son expuestas al oxígeno, siendo la oxidación de lípidos (incluido los esteroides) y estructuras no lipídicas más rápidos que en alimentos originales ricos en agua. Altas concentraciones de radicales libres implica mayor pérdida de los antioxidantes.

Los cambios en la actividad antioxidante relacionado con la remoción de agua es muy relativo, si la evaporación del agua es moderada y el tiempo de remoción es mínima; los antioxidantes no son dañados usualmente durante el secado (Pocorny y Schmidt, 2001).

El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado, que permita además obtener un producto de calidad. Por otro lado, un buen modelo matemático, que describa el proceso de secado puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos, tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o la disminución del rendimiento (Olivas *et al.*, 1999 citado por Vega *et al.*, 2005).

En el presente proyecto de investigación se discutirá el efecto de las variables temperatura y flujo en el proceso de encapsulación de antioxidantes del café verde, y cómo influyen en el rendimiento del proceso y cuantificación de dichos compuestos después del secado por aspersion.

3. Justificación

El progreso de la investigación desarrollada en los últimos años sobre el café, considerado entre los consumidores como una bebida que goza de popularidad universal, ha manifestado la importancia de éste como infusión y como uno de los productos primarios más valiosos, ubicándose en segundo lugar junto al petróleo como fuente de divisas para los países de desarrollo. Su cultivo, procesamiento, transporte y comercialización proporcionan empleo a millones de personas en todo el mundo, siendo crucial en la economía y la política de muchos países. El café es producido en más de 60 países y proporciona un medio de vida a alrededor de 25 millones de familias cafecultoras de todo el mundo. Para muchos de los países menos adelantados del mundo, las exportaciones de café representan una parte sustancial de sus ingresos en divisas, en algunos casos más del 80 % (Cadena, 1995).

Debido al gran impacto que genera el café en los consumidores, se han realizado diversos estudios sobre la capacidad antioxidante, ya que se ha demostrado que los alimentos con alto contenido en compuestos antioxidantes es benéfico para la salud, destacando su importancia en la prevención de numerosas enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo como cáncer, diabetes, Parkinson, enfermedades inflamatorias, etc. (Krinsky, 1992). Dentro de los antioxidantes que posee el café se encuentran los CGA, los ácidos fenólicos y los polifenoles presentes en el grano verde. La variación de la capacidad antioxidante en el café se debe a las importantes modificaciones que sufre el grano durante el proceso de tostado.

Gómez *et al.* (2008) analizaron la composición del café según el grado de tostado identificando la presencia de cafeína y compuestos fenólicos como ácido vinílico, ácido ferúlico y como principal isómero de los CGA el ácido 3- cafeolquinico, encontrados en mayor proporción en el café verde y cuya cantidad disminuye con el aumento del grado de tostado, generando compuestos marrones, específicamente melanoidinas MRP. Su investigación realizada sobre la capacidad antioxidante permitió conocer que el extracto de café verde, posee capacidad antioxidante significativamente alta, comparada con las muestra de café tostado.

Para no alterar los componentes nutrimentales en los alimentos y poder preservarlos en su procesamiento, una alternativa es emplear tecnologías de encapsulamiento como liofilización y secado por aspersión.

La ventaja de la tecnología de secado de alimentos, son ampliamente conocidas, ya que al reducir el contenido de humedad, previene el crecimiento de microorganismos y minimizar las demás reacciones que los deterioran. También el secado de los alimentos reduce el peso y en algunos casos el volumen; lo que

incluye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo (Yañez *et al.*, 2002).

La pérdida de actividad antioxidante hidrofílica natural, durante el procesado de los alimentos se ha vuelto un problema, debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas, luz, secado y grado higrométrico. Por tanto, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos, como son temperatura y flujo de alimentación en el secado (Pocorny y Schmidt, 2001).

4. Objetivo

Evaluar el efecto de las condiciones de secado por aspersion sobre el rendimiento y retención de antioxidantes en el extracto seco de café verde.

5. Problemas a resolver priorizándolos

Los compuestos fenólicos poseen excelentes propiedades beneficiosas para la salud. Sin embargo, son compuestos sensibles a la acción de agentes externos como aire, temperatura, luz y enzimas oxidativas, constituyendo un inconveniente para su formulación y manipulación previa a su posible aplicación en diferentes sectores industriales (alimentación, farmacéutica, entre otras).

Una alternativa para la encapsulación de fenoles, es el secado por aspersion, donde se deben tomar en cuenta la estructura de los mismos y como afectan las variables que intervienen en el proceso de secado, como son la temperatura y el flujo de alimentación.

Para poder lograr encapsular los compuestos fenólicos, en este caso de un extracto elaborado a partir de café verde, es importante realizar una previa liofilización, esto con la finalidad de lograr un extracto estable y con características homogéneas en su composición.

6. Materiales y métodos

6.1 Materias primas

El café fue adquirido de productores de café del Municipio de San Fernando Chiapas. La muestra vegetal fueron granos de café verde enteros secos.

6.2 Obtención del extracto de café verde

A los granos de café verde, se les retiró la cascara (parte del epicarpio) y se procedió a moler hasta tener un tamaño de partícula de malla 100, y se sometieron a extracción acuosa a 90 °C durante una hora en proporción polvo de café- agua 1:5.75 (p:v). Posteriormente, el extracto fue filtrado dos veces utilizando filtro Whatman No. 1, congelado y finalmente liofilizado a -42°C y 0.25 mbars.

6.3 Secado por aspersion

Los extractos fueron suspendidos en la solución encapsulante y deshidratados en un secador por aspersion tipo laboratorio Marca Büchi. Se evaluó el efecto de la temperatura del aire de entrada (90,125 y160° C) y el flujo de alimentación al secador (3, 6 y 9 mL/min). El polvo obtenido fue evaluado en términos de rendimiento del proceso de secado y contenido de antioxidantes después del secado.

Como agente encapsulante se empleó maltodextrina al 33% (p/v).La solución fue hidratada con agua destilada a 40° C durante 24 horas.

6.3.1 Determinación de fenoles totales

La concentración de fenoles totales se midió utilizando el método de Folin - Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1999), empleando ácido gálico como estándar.

Una alícuota de 100 µL de muestra se transfirió a un tubo de ensaye junto a 4.2 mL de agua y 500 µL de reactivo de Folin Ciocalteau al 2 N.

La mezcla se agito vigorosamente durante 1 minuto para luego agregar 1 mL de solución acuosa de carbonato de sodio al 20 % y 4.2 mL de agua destilada. La mezcla se dejó en reposo en oscuridad durante 1 hora. Posteriormente se leyó la absorbancia de la muestra a 765 nm en un espectrofotómetro HACR DR 5000. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de

extracto o polvo (mg EAG/ g empleando una curva estándar de ácido gálico de 0 a 1000 mg/mL (ANEXO I).

6.3.2 Determinación del rendimiento de proceso

El rendimiento del proceso de secado se evaluó de acuerdo a la relación de los gramos obtenidos de polvo y la concentración de sólidos en la solución de alimentación (concentración de agente encapsulante).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{g polvo obtenido}}{\text{g agente encapsulante}} \times 100$$

6.3.3 Determinación del color y actividad acuosa

La actividad acuosa se determinó con la ayuda de un higrómetro Hygropalm y el color con un colorímetro ColorTech utilizando el sistema CieLab.

6.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial 3^2 con tres repeticiones y tres repeticiones del punto central. Los factores fueron la temperatura (95, 125 y 160°C) y el flujo de alimentación (3, 6 y 9 mL/min). Un análisis de varianza permitió determinar que factor tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el rendimiento de proceso y fenoles totales. La prueba de medias utilizada fue la diferencia mínima significativa entre las medias de los tratamientos.

7. Resultados y discusión

7.1 Rendimiento de proceso de secado por aspersión

El cuadro 2 descompone la variabilidad de rendimiento en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que el valor de P para el flujo de alimentación es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento de proceso con un 95.0% de nivel de confianza. Sin embargo, se observa que la temperatura no tuvo un efecto estadístico significativo (cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el rendimiento de proceso

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:FLUJO	857.467	2	428.733	5.89	0.0102
B:TEMPERATURA	237.943	2	118.972	1.63	0.2213
RESIDUOS	1382.74	19	72.7756		
TOTAL (CORREGIDO)	2486.32	23			

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La prueba de múltiples rangos se muestra en el cuadro 3. En este cuadro se muestra que a 3 y 6 mL/min se obtienen los mayores rendimientos de proceso, observándose que si se incrementa a 9 mL/min el rendimiento disminuye significativamente.

Cuadro 3. Pruebas de Múltiple Rangos para rendimiento de proceso

<i>Flujo de alimentación (ml/min)</i>	<i>Rendimiento de proceso (%)</i>
3	53.13 a
6	45.93 a
9	36.30 b

La gráfica de efectos principales (figura 7) muestra que el rendimiento de proceso es directamente proporcional al incremento de la temperatura e inversamente proporcional al flujo de alimentación.

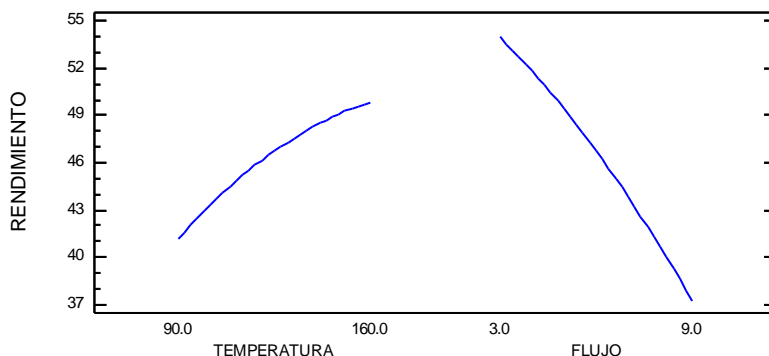


Figura 7. Diagrama de efectos principales sobre el rendimiento de proceso.

Modelación matemática para el rendimiento de proceso

En el cuadro 4 se muestra el análisis de varianza para el rendimiento de proceso. En este cuadro se muestra que únicamente el término del flujo de alimentación en el modelo matemático tuvo un efecto estadístico significativo sobre el rendimiento de proceso.

Cuadro 4. Análisis de Varianza para el modelo matemático para el rendimiento de proceso.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	229.392	1	229.392	3.53	0.0776
B:FLUJO DE ALIMENTACIÓN	849.663	1	849.663	13.07	0.0021
AA	8.55166	1	8.55166	0.13	0.7213
AB	209.327	1	209.327	3.22	0.0905
BB	7.80403	1	7.80403	0.12	0.7332
BLOQUES	68.4033	1	68.4033	1.05	0.3193
ERROR TOTAL	1105.01	17	65.0003		
TOTAL (CORREGIDO)	2486.32	23			

El cuadro 4 particiona la variabilidad del rendimiento de proceso en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, el flujo de alimentación tiene un valor-P menor que 0.05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica el 55.5565% de la variabilidad en el rendimiento de proceso. El modelo matemático se puede expresar como en la ecuación 1:

$$\text{Rendimiento} = 63.53 + 0.091T - 7.28F - 0.001T^2 + 0.048TF - 0.134F^2 \quad (1)$$

Donde T es la temperatura del aire de secado (°C) y F es el flujo de alimentación en mL/min.

El diagrama de Pareto muestra que el flujo de alimentación tuvo un efecto estadístico significativo observándose la tendencia negativa que muestra que el rendimiento de proceso es inversamente proporcional al flujo de alimentación (figura 8), es decir, es necesario disminuir el flujo de alimentación para que el rendimiento de proceso aumente.

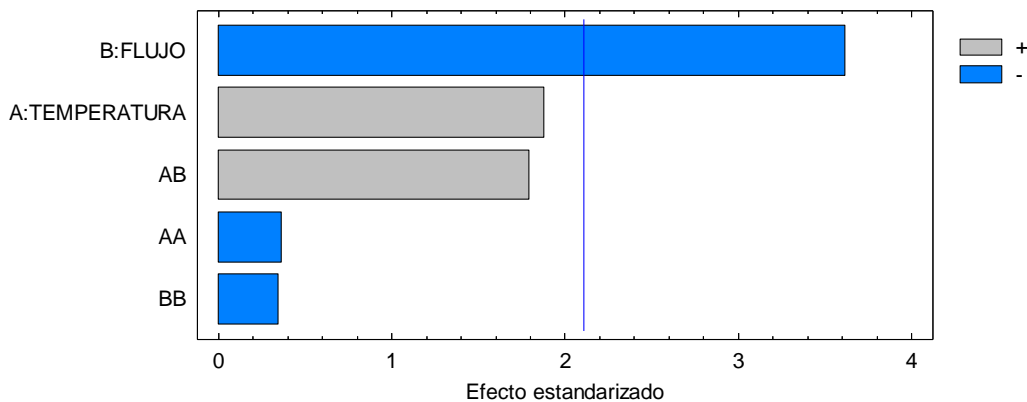


Figura 8. Diagrama de Pareto para el rendimiento de proceso.

De acuerdo al análisis estadístico realizado, se encontró que al evaluar las dos variables que intervienen en el rendimiento del proceso de secado, que son la temperatura y el flujo de alimentación, la variable que mostró efecto significativo en el proceso fue el flujo de alimentación, donde se obtuvieron rendimientos que

oscilaron entre 36.30 y 53.13%, de donde los mayores porcentajes corresponden a los flujos más pequeños, es decir 3 y 6 mL/min. García Cruz (2011) evaluó el secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) demostrando que el flujo de alimentación no influyó en la recuperación de los polvos. Sin embargo, sugiere que debe de existir una relación inversa del flujo de alimentación con la recuperación de polvos debido a que existe una menor transferencia de calor y masa. Aún sin existir diferencia estadística significativa, reporta mayores rendimientos a flujos de alimentación bajos, atribuyendo a que a menor cantidad de fluido atomizado en la cámara de secado, se logra eliminar mayor cantidad de humedad aun cuando el tiempo de secado es mayor.

Con lo que respecta a la temperatura, nuestros resultados no coinciden con otros autores quienes han mostrado que la temperatura del aire de secado afecta el rendimiento de proceso. García Cruz (2011) señala en sus resultados que la temperatura del aire de entrada es el factor más importante sobre los rendimientos obtenidos, se encontró una tendencia de un incremento del rendimiento al disminuir la temperatura. Este comportamiento se atribuyó a que el aumento de T_e causó la adherencia de los polvos en la pared de la cámara de secado, reduciéndose la producción de polvos y el rendimiento. Obón *et al.* (2009) señalan que bajas temperaturas originan que el comportamiento gomoso y pegajoso de las partículas disminuya, además que temperaturas superiores a 180°C degradan los compuestos presentes del jugo de tuna.

Los resultados de rendimiento de secado fueron congruentes con los obtenidos por Obón *et al.* (2009) para colorante de jugo de *Opuntia stricta*; Goula & Adamopoulos (2005) para pulpa de tomate, Chegini y Ghobadian (2007) para jugo de naranja, León-Martínez *et al.* (2010) para mucílago de nopal Ofi. Estos autores sugieren que la recuperación de productos ricos en azúcares ya sea por sus agentes encapsulantes o por la naturaleza misma del ingrediente a encapsular por secado por aspersión, es afectada por las altas temperaturas ya que se promueven cambios en la estructura del material y en el estado termoplástico del polímero y la deposición en la pared del secador incrementa; aún cuando las altas temperaturas aumentan la velocidad de secado y reducen el tiempo de operación.

7.2 Contenido de fenoles totales en los polvos secos

El cuadro 5 descompone la variabilidad de los fenoles retenidos en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, el flujo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de fenoles con un 95.0% de nivel de confianza.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para fenoles

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	4.49373	2	2.24686	0.60	0.5614
B:FLUJO	36.0031	2	18.0016	4.77	0.0210
RESIDUOS	71.7205	19	3.77476		
TOTAL (CORREGIDO)	118.976	23			

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La prueba de medias (cuadro 6) muestra que el máximo valor de fenoles totales fue de 31.62 ppm utilizando un flujo de alimentación de 9 mL/min, valor estadísticamente igual al obtenido con flujo de 3 mL/min, observándose poca tendencia.

Cuadro 6. Pruebas de Múltiple Rangos para FENOLES por FLUJO

(Método: 95.0 porcentaje LSD)

<i>Flujo de alimentación (mL/min)</i>	<i>Fenoles totales (ppm)</i>
6	28.5031 b
3	29.6708 ab
9	31.6255 a

La figura 9 muestra el diagrama de Fisher que muestra esquemáticamente el efecto del flujo de alimentación sobre el contenido de fenoles en los polvos asperjados. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

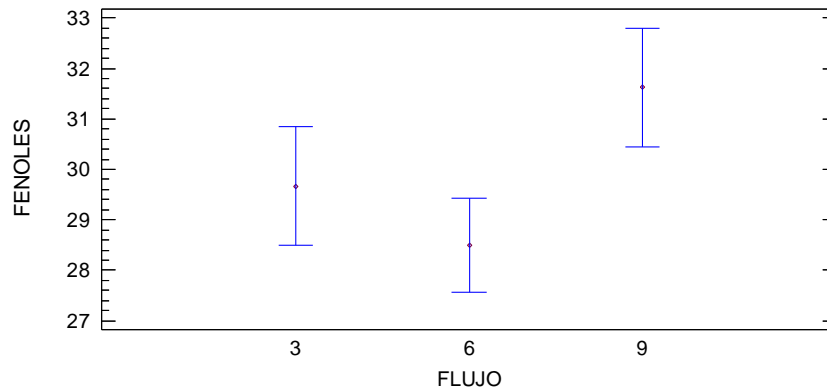


Figura 9. Diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Modelación matemáticas del contenido de fenoles totales en los polvos.

El cuadro 7 particiona la variabilidad de fenoles totales en el polvo en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica el 40.7021% de la variabilidad del contenido de fenoles. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Cuadro 8 .Análisis de Varianza para FENOLES.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	3.5678	1	3.5678	0.86	0.3668
B:FLUJO	11.4629	1	11.4629	2.76	0.1148
AA	0.925926	1	0.925926	0.22	0.6427
AB	1.00785	1	1.00785	0.24	0.6285
BB	24.5402	1	24.5402	5.91	0.0264
BLOQUES	0.162577	1	0.162577	0.04	0.8454
ERROR TOTAL	70.5501	17	4.15001		
TOTAL (CORREGIDO)	118.976	23			

La ecuación matemática para el contenido de fenoles se puede escribir:

$\text{FENOLES} = 40.7533 - 0.0897371 \cdot \text{TEMPERATURA} - 2.95684 \cdot \text{FLUJO} + 0.000340136 \cdot \text{TEMPERATURA}^2 + 0.00338036 \cdot \text{TEMPERATURA} \cdot \text{FLUJO} + 0.23834 \cdot \text{FLUJO}^2$	(2)
---	-----

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales, es decir, la temperatura en °C y el flujo en mL/min.

El diagrama de Pareto muestra que el término cuadrático del flujo de alimentación tuvo un efecto estadístico significativo observándose la tendencia negativa que muestra que la concentración de fenoles.

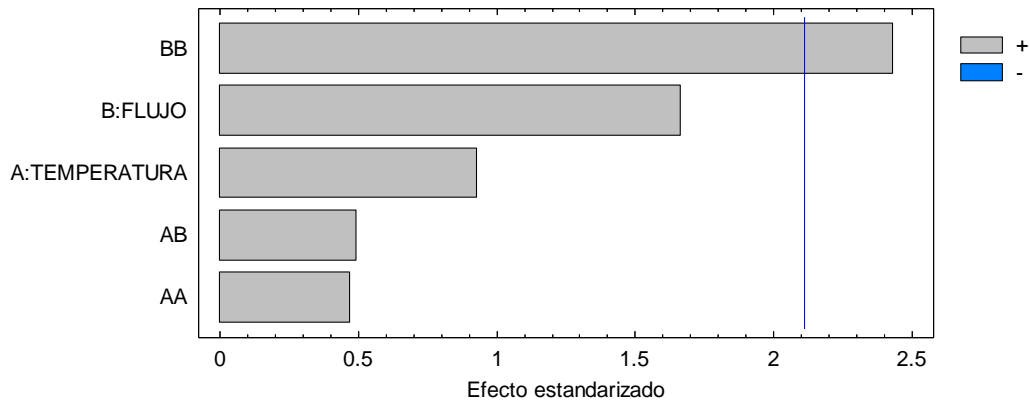


Figura 10. Diagrama de Pareto estandarizado para fenoles.

Con el análisis de resultados se puede determinar que la única variable del encapsulamiento de secado por aspersión para extracto de café verde con efecto significativo en la cuantificación de fenoles totales; es el flujo de la alimentación, de donde se obtuvo que para flujos de alimentación mayor, en este caso 9 mL/min, se obtuvo la mayor cantidad de fenoles totales; con un promedio de 94.88 ppm, mientras que para el flujo de alimentación más pequeño que fue de 3 mL/min; se obtuvo una concentración promedio de fenoles totales de 81.09 ppm. Es decir, es necesario aumentar el flujo de alimentación para que la concentración de fenoles totales aumente, para que la exposición a altas temperaturas no sea con tiempos de residencia largos. El mayor porcentaje de recuperación de fenoles totales fue de 55.20 % para una temperatura de 160 °C y un flujo de 9 mL/min en donde se obtuvieron 7.96 g de polvo obtenido, mientras que el menor porcentaje obtenido fue de 24.63 % para una temperatura de 125 °C, un flujo de 9 mL/min y un rendimiento de 3.83 g de polvo obtenido.

Los resultados encontrados difieren con los resultados reportados por Dian Shofinita *et al.* (2014) en su proyecto “El secado por aspersión de extractos de piel de naranja: Rendimiento, contenido de fenoles totales, y la evaluación económica”, señalan que el análisis estadístico realizado mostró que no hubo un efecto significativo de las temperaturas del aire de salida en la recuperación de compuestos fenólicos totales con un nivel de confianza de 95%. Las recuperaciones de compuestos fenólicos totales oscilaron entre 89.4% y 91.9% para temperaturas de aire de entrada entre 100 °C y 200 °C y temperaturas de salida por debajo de 80 °C.

Esto coincide con lo descrito por Liazid *et al.* (2007) quienes señalan que la mayor parte de los compuestos fenólicos no se degradan por debajo de la temperatura

de 100 ° C. Altas recuperaciones de compuestos fenólicos totales también han sido reportados por Fang y Bhandari (2011), durante el secado por atomización de jugo de arrayán. Estos resultados sugieren que el secado por aspersion es un procedimiento adecuado para el secado de algunos materiales sensibles al calor, tales como compuestos fenólicos.

7.3 Actividad de agua y color de los polvos secos

- Análisis de Aw

El cuadro 9 muestra el análisis de varianza para la actividad acuosa de los polvos obtenidos.

Cuadro 9. Análisis de Varianza para Aw.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	0.000449104	2	0.000224552	1.29	0.2988
B:FLUJO DE ALIMENTACIÓN	0.0025961	2	0.00129805	7.45	0.0041
RESIDUOS	0.00331173	19	0.000174302		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00608796	23			

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla de ANOVA (Cuadro 9) descompone la variabilidad de Aw en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la Aw con un 95.0% de nivel de confianza.

La prueba de medias muestra que los valores máximos de actividad de agua promedios obtenidos (0.42 y 0.414) para flujos de 6 y 9 mL/min, en donde existe mayor agua que retirar con el mismo aire caliente.

Cuadro 10. Pruebas de Múltiple Rangos para Aw por flujo de alimentación.

<i>Flujo de alimentación (ml/min)</i>	<i>Media LS</i>
3	0.394 b
9	0.414 a
6	0.420 a

Modelación matemática de la actividad acuosa de los polvos obtenidos.

El cuadro 11 muestra el efecto de las variables sobre el coeficiente del modelo para la actividad acuosa de los polvos, observándose que el flujo y su término cuadrático fueron los que tuvieron efecto estadístico significativo sobre la actividad acuosa de los polvos.

Cuadro 11. Análisis de Varianza para el modelo matemática de la Aw

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:TEMPERATURA	0.000154083	1	0.000154083	0.79	0.3858
B:FLUJO	0.00122008	1	0.00122008	6.27	0.0227
AA	0.000295021	1	0.000295021	1.52	0.2348
AB	0.000006125	1	0.000006125	0.03	0.8612
BB	0.00137602	1	0.00137602	7.08	0.0165
Bloques	4.16667E-8	1	4.16667E-8	0.00	0.9885
Error total	0.00330556	17	0.000194445		
Total (CORREGIDO)	0.00608796	23			

El estadístico R² indica que el modelo, así ajustado, explica el 45.7033% de la variabilidad en la Aw. El modelo matemático ajustado se puede escribir:

$$Aw = 0.445351 - 0.00167024*TEMPERATURA + 0.0237361*FLUJO + 0.00000607143*TEMPERATURA^2 + 0.00000833333*TEMPERATURA*FLUJO - 0.00178472*FLUJO^2$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales, es decir, la temperatura en °C y el flujo en mL/min.

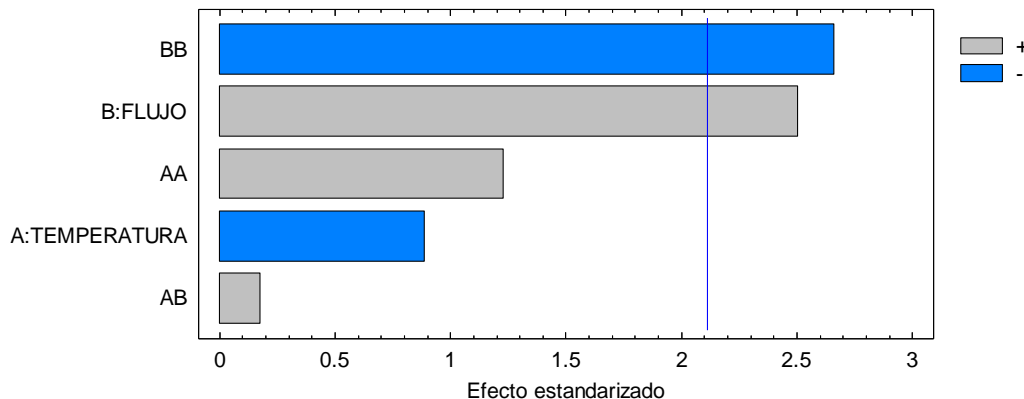


Figura 11. Diagrama de Pareto estandarizado para Aw.

El diagrama de Pareto (Figura 11) muestra que el flujo de alimentación tuvo un efecto estadístico significativo observándose la tendencia positiva, es decir, la Aw aumentará con el incremento de la misma. Sin embargo, el término cuadrático afecta negativamente la Aw.

Con el análisis anterior se puede determinar que de las variables evaluadas en el efecto de secado por aspersion para encapsular extracto de café verde, que fueron la temperatura de entrada y el flujo de alimentación, únicamente esta última tuvo un efecto significativo en la determinación de la Aw, ya que se encontró que a mayores flujos de alimentación, mayores valores de Aw. Para los flujos con mayor velocidad de alimentación que en este caso fueron de 9 ml/min se obtuvo una Aw promedio de 0.4148, mientras que para los flujos más pequeños se obtuvo una Aw promedio de 0.3946. Esto se debe a que los flujos con menores velocidades de alimentación (mL/min), son sometidos más tiempo al efecto de la temperatura y por lo tanto, reducen su actividad acuosa, este analisis se obtuvo también por Mahboubeh Fazaeli *et al.* (2012), señalan en su trabajo "Efecto de las condiciones de secado por aspersion y composición de la alimentación en las propiedades físicas de polvo de jugo de mora" que la alta actividad de agua indica más agua libre disponible para las reacciones bioquímicas y por lo tanto, la vida útil más corta. Con base en sus resultados, obtuvo que la actividad media del agua de los polvos en este estudio osciló entre 0.15 y 0.32 por lo tanto se puede considerar bastante estable microbiológicamente. Sus resultados mostraron que el contenido

de humedad de los polvos disminuyó con el aumento de la temperatura del aire de entrada. Esto se debe a que a mayor temperatura de entrada, la tasa de transferencia de calor a la partícula es mayor, proporcionando una mayor fuerza motriz para evaporación de la humedad. En consecuencia, se obtienen polvos con reducido contenido de humedad y baja Aw. Se reportaron resultados similares por Goula y Adamopoulos (2005b), Chegini y Ghobadian (2005), Rodríguez-Hernández et al. (2005), en tomate, jugo de naranja y cactus jugo de pera respectivamente.

- Análisis de parámetros de color en el polvo .

El análisis del color fue realizado con el colorímetro ColorTech utilizando el método CieLab, de donde apartir del espectro de reflexión de las muestras, el equipo utilizado permite obtener por lectura directa los valores de las coordenadas del espacio uniforme de color CIEL*a*b*, así como las coordenadas psicométricas tono (h^*ab) y croma (C^*ab). La coordenada a^* representa la cantidad de rojo (+)/verde (-), la coordenada b^* la cantidad de amarillo (+)/azul (-) y la coordenada L^* recibe el nombre de claridad o luminosidad y puede tomar valores entre 0 y 100. El croma indica la intensidad o saturación del color, toma el valor 0 para estímulos acromáticos y, normalmente, no pasa de 150 aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos. El tono varía entre 0 y 360°, donde 0° se corresponde con el color rojo-púrpura; 90° con el color amarillo; 180° con el color azulado-verde; y 270° con el color azul (Gilbert, 1992).

Los valores promedio de L, a y b encontrados corresponden a 81.8, -0.44 y 0.967, respectivamente. El parámetro L que corresponde a la luminosidad, de acuerdo al valor promedio obtenido de 81.8, refiere a que se obtuvieron polvos muy claros, casi blancos. Para la coordenada "a" donde se obtuvo un valor de -0.44, representa la ausencia de color rojo (+)/verde (-), y la coordenada "b", con un valor de 0.967, representa la ausencia de color amarillo (+)/azul (-).

Los cuadros 12, 13 y 14, particionan la variabilidad de luminosidad, el parámetro "b" y el "a" en las muestras en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, el análisis estadístico mostró que ni la temperatura ni el flujo de aire tuvieron un efecto estadístico significativo ($p < 0.05$) sobre los parámetros de color "L", "a" o "b" de las muestras secadas.

Cuadro 12. Análisis de Varianza para la luminosidad de las muestras.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:FLUJO	0.0160576	2	0.0080288	1.63	0.2224
B:TEMPERATURA	0.0119726	2	0.0059863	1.21	0.3189
RESIDUOS	0.0936652	19	0.00492975		
TOTAL (CORREGIDO)	0.121728	23			

Cuadro 13. Análisis de Varianza para el parámetro “b” de las muestras.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	0.197057	2	0.0985283	2.16	0.1427
B:FLUJO	0.126188	2	0.0630938	1.38	0.2747
RESIDUOS	0.866203	19	0.0455896		
TOTAL (CORREGIDO)	1.1713	23			

Cuadro 14. Análisis de Varianza para el parámetro “a” de las muestras.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:TEMPERATURA	0.00672552	2	0.00336276	0.41	0.6704
B:FLUJO	0.0444255	2	0.0222128	2.70	0.0931
RESIDUOS	0.156452	19	0.0082343		
TOTAL (CORREGIDO)	0.212393	23			

*Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Con estos resultados se observa que los parámetros de color pudieran estar en función de la concentración de fenoles totales (ppm), donde para el valor mayor de L^* de 82.91, se obtuvo uno de los más altos valores para concentración de fenoles, que fue de 99.2 ppm, donde para el parámetro a^* , se obtuvo un valor de -0.4055 y para b^* de 1.0335, esto además de estar en función también de la adición del agente encapsulante, en este caso maltodextrina.

Esto de acuerdo a lo reportado por Zhen Peng *et al.* (2012) quienes en su trabajo “Efecto de los agentes encapsulantes en las propiedades físico-químicas, actividad antioxidante y los componentes biológicos de harinas de camote purpura obtenidas por secado por aspersión” señalan que los parámetros de color, incluyendo valores de C (saturación) de las harinas secadas por aspersión con diferentes acarreadores, a^* , b^* , hue y croma, en general, presentan un aumento en el valor de L^* que fue como resultado de la adición de los acarreadores. Esta observación fue similar a la realizada por Ahmed *et al.* (2010) y Grabowski *et al.* (2006). El valor L^* de harina de referencia no fue significativamente diferente de la encontrada con ciclodextrina, pero es significativamente diferente de aquellas con Maltodextrina y a las de la mezcla maltodextrina- ciclodextrina. Los valores de croma en harinas con agentes encapsulantes fueron significativamente más bajos que los de la harina sin agentes encapsulantes. Los cambios en los parámetros de color observados en el estudio de Zhen Peng *et al.* (2012) coinciden también con el resultado reportado por Ahmed *et al.* (2010). Los cambios en los parámetros de color no son influenciados por las variables temperatura y flujo de atomización, sin embargo si se ven afectados por la adición de soporte y están asociados con la variación de fenoles (García-Viguera y del Freno, 1999; Mondy y Gosselin, 1988).

8. Conclusión

Al evaluar el efecto de las condiciones de secado por aspersión sobre el rendimiento y retención de antioxidantes en el extracto seco de café verde, pudimos encontrar que:

- De acuerdo al análisis del efecto de la temperatura de entrada en el secado por aspersión y el flujo de alimentación, sobre el rendimiento del proceso, la variable que mostro efecto significativo en el proceso fue el flujo de alimentación, donde se obtuvieron rendimientos que oscilan entre 36.30 a 53.13%, de donde los mayores porcentajes corresponden a los flujos más pequeños, es decir 3 y 6 mL/min.
- Se determinó que la única variable del encapsulamiento de secado por aspersión para extracto de café verde con efecto significativo en la cuantificación de fenoles totales es el flujo de la alimentación, de donde se obtuvo que para flujos de alimentación mayor, en este caso 9 ml/min, se obtuvo la mayor cantidad de fenoles totales; con un promedio de 94.88 ppm.
- El flujo de alimentación tuvo un efecto significativo en la determinación de la A_w , ya que se encontró que a mayores flujos de alimentación, mayores valores de A_w .
- Las variables evaluadas no tuvieron efecto significativo en los parámetros de color "L", "a" y "b". Los valores promedio de L, a y b encontrados corresponden a 81.8, -0.44 y 0.967, respectivamente.

9. Competencias desarrolladas y/o aplicadas.

- a. Comprende los conceptos de liofilización y secado por aspersion.**
- b. Trabaja en equipo y organiza las actividades del mismo.**
- c. Comprende la utilización de software Statgraphics para el análisis de resultados.**
- d. Interpreta los resultados del análisis estadístico.**
- e. Compara y discute los resultados de forma adecuada.**
- f. Redacta de forma clara los resultados.**

10. Bibliografía

Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V. y Oliveira, V. M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering* 64, 285-287.

Adamson, G. E.; Lazarus, S.A.; Mitchell, A.E.; Prior, R. L.; Guohua Cau; Jacobs, P.H.; Kremers; B.G.; Hammerstone, J.F.; Rucker, R.; Ritter, K. y H. Schmitz. (1999). HPLC method for the Quantification of procyanidins in cocoa and Chocolate samples and correlation to total antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 47, 4184 - 4188.

Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J. C., y Eun, J. B. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT e Food Science and Technology*, 43, 1307e1312.

Araneda, C. y F. Valenzuela. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora* 22(11): 9-19.

Barbosa, G y Vega, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza- España.

Brezobá, V. y Slebodová, A. (2009). A coffee as a source of antioxidants: an EPR study. *Food Chem.* 859-868.

Bocco, A., Cuvelier, M.E.; Richard, H. Y Berset, C.(1998). Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 46, 2123-2129.

Bouwmeester, H., S. Dekkers, M. Noordam, W. Hagens, A. Bulder, S. Voorde, S. Wijnhoven y H. Marvin. (2009). Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 53(1): 52-62.

Cadena G. (1995). *Ciencia y tecnología: café y desarrollo*.123-128.

Cardenas. (2007). Caracterización morfológica y agronómica de la colección del núcleo de café (*Coffea arabica* L.) del CATIE .6-21.

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

- Chegini, G. R. y Ghobadian, B. (2007). Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. World Journal of Agricultural Sciences 3 (2), 230-236.**
- Chen, L., Remondetto, G. E y Subirade, M., (2006). Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. Trends in Food Science & Technology. 272-283.**
- Chou, K y Chua, J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. Trends in Food Science and Technology, 12, pp. 359 –369.**
- Da Acosta, S.B. (2011). Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated oregano essential oil. Journal of food Engineering. Doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.043.**
- Dian Shofinita. (2014). El secado por aspersión de extractos de piel de naranja: Rendimiento, contenido de fenoles totales, y la evaluación económica.31-42.**
- Diaz poveda. (2011). Determinación de la composición y la capacidad antioxidante de aceites obtenidos por extracción con CO₂ supercrítico de granos de café con diferente grado de tostion. 24-38.**
- Dutta, P., S. Tripathi, G. Mazutti y J. Dutta. (2009). Review: Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. Journal Food Chemistry 114(4): 1173–1182.**
- Doymaz, I. y Pala, M. (2003). The thin – layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering, 60, pp. 125- 130.**
- Erenturk, S; Gulaboglu, S y Gulteking, S. (2005). The Effects of Cutting y Drying Medium on the Vitamin C Content of Rosehip during Drying. Journal of Food Engineering 68, pp. 513-518.**
- Fang, Z. y Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. Food Chem. 129 (3), 1139–1147, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.093>.**
- Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade y F. Netto. (2010). The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. Food Hydrocolloids 24(4): 336-340.**
- Fuchs, M., C. Turchiuli, M. Bohin, M. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. Peyrat y E. Dumoulin. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering 75(1): 27-35.**

- Garcia Cruz (2011). Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas. 41-67.
- García, G., M. González, M. Ochoa y H. Medrano. (2004). Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(4): 262-266.
- Garcia-Viguera, C., y Bridle, P. (1999). Influence of structure on colour stability of anthocyanins and flavylum salts with ascorbic acid. *Food Chemistry*, 64, 21-26.
- Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley y R. Saurel. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International* 40(9): 1107-1121.
- Gomez, J. y Ames, J. (2008). Antioxidant activity and protective effects of Green and dark coffee components against human low density lipoprotein oxidation. *Eur. Food Res. Technol.* 1017-1024.
- Goula, A. y Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering* 66, 25-34.
- Grabowski, J. A., Truong, V. D., y Daubert, C. R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*, 71, 209-217.
- Gutierrez Maydata (2002). *Café, antioxidantes y protección a la salud*, 72-81.
- Hagerman, A.; Riedl, K.; Alexander Jones, G.; Sovik, K.; Ritchard, N.; Hartzfeld, P. y T. Riechel. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 46, 1887-1892.
- Halliwell B. y Whiteman M. (2004). Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *Br J Pharmacol.* 142:231- 255.
- Hatamipour, S. y Mowla, D. (2002). Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. *Journal of Food Engineering*, 55, pp, 247-252.
- Heidebach, T., P. Forst y U. Kulozik. (2010). Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids.* 23(7): 1670-1677.
- Kähkönen, Marja; Anu I. Copia y Marina Heinonen. (2001). Berry phenolics and their Antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 49, 4076 – 4082.

Karelovic Martínez, (2012). Influencia del método de congelamiento en el daño microestructural de arándanos liofilizados. 4-12, 14-17.

Krinsnky, N. (1992). Mechanism of action of biological antioxidants. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 248-254.

León-Martínez, F. M., Méndez Lagunas, L. L. y Rodríguez, R. J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on powder properties and characterization. Carbohydrate Polymers 81, 864–870.

Liazid, A., Palma, M., Brigui, J. y Barroso, C.G. (2007). Investigation on phenolic compounds stability during microwave-assisted extraction. J. Chromatogr. A 1140 (1–2), 29–34, <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.040>.

Lin, M.; Durance, D y Scaman, H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrots slices. Food Research International, Vol.31 N° 2 pp. 111 – 117.

Liu RH. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. Am J Clin Nutr. 78:517S- 520S.

López, H. y D. Gómez. (2008). Preparación de microesferas mediante secado por aspersión, [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152008000300010&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152008000300010&lng=es;); consulta: junio 2014.

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

Mahboubeh Fazaeli (2012). Efecto de las condiciones de secado por aspersión y composición de la alimentación en las propiedades físicas de polvo de jugo de mora. 667–675.

Mondy, N. L., y Gosselin, B. Y. (1988). Effect of peeling on total phenols, total glycoalkaloids discoloration and flavour of cooked potatoes. Journal of Food Science, 3, 756e759.

Niebla, B.L. (2009). Evaluación de encapsulamiento de compuestos de sabor en matrices de almidón. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional. 97.

Obón, J. M., Castellar, M.R., Alacid, M. y Fernández-López, J.A. (2009). Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. Journal of Food Engineering 90, 471–479.

Oomah, B. D. y Mazza, G. (2001). Optimization of a spray drying process for flaxseed gum. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 135-143.

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

Pocorny, J y Schmidt, S. (2001). Natural antioxidant functionality during food processing. Wood head publishing limited Cambridge England. Part 4.

Prestidge, C. y S. Simovic. (2006). Nanoparticle encapsulation of emulsion droplets. *International Journal of Pharmaceutical* 324(1):92-100.

Proestos, C.; N. Chorianopoulos; G. J. E. Nychas y M. Komaitis. (2005). RP- HPLC analysis of the phenolic compounds of plant extracts. Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 53, 1190-1195.

Ricchelle, M.; Isabelle Tavazzi y Elizabeth Offord. (2001). Comparison of the antioxidant activity of commonly consumed polyphenolic beverages (Coffee, Cocoa and Tea) prepared per cup serving. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 49, 3438 – 3442.

Robbins, R. (2003). Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 51, 2866-2887.

Rodríguez-Hernández, G. R.; González-García, R.; Grajales-Lagunés, A. y Ruiz-Cabrera, M. A. (2005). Spray-Drying of Cactus Pear Juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology* 23, 955–973.

Roedig-Penman, A. y M. H. Gordon. (1997). Antioxidant properties of catequins and Green tea extracts in model food emulsions. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 45, 4267-4270.

Ruidavets, J. B.; Teissedre, P.L.; Ferrières, J.; Carando, S.; Bougard, G. Y J. J Ca-Banis. (2000). Catechin in the mediterranean diet: vegetable, fruit or wine? *Atherosclerosis*. Vol. 153, 107-117.

Ruiz, M. A., Martín V., J., Morales H.M.E. y Gallardo, L.V., (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica*. 50 (1):43-50.

Shahidi, F. (2008). Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods. *Trends in Food Science and Technology* 20: 376-387.

Siddhuraju, P. y K. Becker. (2003). Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 51, 2144 – 2155.

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

Tharanathan, R. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical review in food science and technology.* 71-78.

Vazquez Hernandez. (2011). Tipificación y caracterización de café comercial mediante métodos instrumentales y quimiometría. 6-15.

Vega, A.; Andrés, A y Fito P (2005). modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* L. cv lamuyo). *Información tecnológica-* vol. 16 N°6: Págs.: 3-11.

Velioglu, Y.S., Mazza, G.; Gao, L. y B.D. Oomah. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 46, 4113-4117.

Vinson, J.A.; Yousef A. Dabbag; Mamdouh M. Sherry y Jinhee Jang. (1995). Plant flavonoids, especially tea flavonols, are powerful antioxidants using an in vitro oxidation model for heart disease. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 43, N°11, 2800- 2802.

Wandrey, C., A. Bartkowiak, y S. Harding. (2010). Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, http://www.nottingham.ac.uk/ncmh/harding_pdfs/Paper329.pdf. 83-86 p.; consulta: febrero 2011.

Wei Zheng y Shiow Y. Wang. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 49, 5165-5170.

Yañez, J., J. Salazar, L. Chaires, J. Jimenez, M. Marquez y E. Ramos. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva* 21: 313-319.

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

Young, S., X. Sarda y M. Rosenberg. (1992). Microencapsulating properties of whey proteins with carbohydrates. *Journal Dairy Science* 76(10): 2878- 2885.

Yuliani, S., Bhandari, B., Rutgers, R., y D., Arcy B. (2004). Application of microencapsulated flavor to extrusión product. *Food Reviews International*. 20 (2): 163-185.

Zanoni, B.; Peri, C.; Nani, R. y Lavelly, V. (1999). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, Vol. 31, N°. 5, pp. 395-401.

Zhen Peng (2012). Efecto de los agentes encapsulantes en las propiedades físico-químicas, actividad antioxidante y los componentes biológicos de harinas de camote purpura obtenidas por secado por aspersion. 348-355.

Zong, M., Y. Deng, B. Cristopher, N. Hua, X. Zai y Z. Li. (2009). Microencapsulation of tamoxifen: Application to cotton fabric. *Colloids and Surfaces. Biointerfaces* 69(1): 85–90.

11. Anexos

Anexo 1. Curva estándar de ácido gálico (método de Folin Ciocalteu).

Cuantificación de Fenoles Totales.

