



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO
POR ASPERSIÓN EN LA OBTENCIÓN DE UN
COLORANTE NATURAL A PARTIR DE
EXTRACTOS LÍQUIDOS DE CÚRCUMA
(*Curcuma longa L*)**

Aura Yazmin Coronel Delgado

Universidad Nacional de Colombia
Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia
2015

Efecto de las condiciones de secado por aspersión en la obtención de un colorante natural a partir de extractos líquidos de cúrcuma (*Curcuma longa L*)

Aura Yazmin Coronel Delgado

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

Héctor José Ciro Velásquez, Ph.D

Codirector:

Jaime Alberto Cárdenas García, MSc.

Universidad Nacional de Colombia
Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, Colombia

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 22 de mayo de 2015

IV Efecto de las condiciones de secado por aspersión en la obtención de un colorante natural a partir de extractos líquidos de cúrcuma (*curcuma longa l*).

Dedicatoria

A Dios, por guiarme en este camino.

A mis padres.

Agradecimientos

A Dios, quien me brindó sabiduría y guió cada uno de mis pasos para poder culminar con éxito esta investigación.

A mi familia, por todo el apoyo que me han dedicado y por estar siempre dispuestos para mí.

Al profesor Héctor José Ciro Velásquez, por haberme proporcionado su asesoría y experiencia para el desarrollo de la investigación

Al ingeniero químico y Magister Jaime Cárdenas y a la empresa TECNAS S.A, por brindarme su experiencia en la industria y el apoyo de la empresa con los recursos para el avance de esta investigación.

A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (DIME) y a COLCIENCIAS por financiar esta investigación.

Resumen

La curcumina es un colorante natural que se obtiene de los rizomas de la planta *Curcuma longa L.*, la cual proporciona un color amarillo naranja; se emplea en la industria farmacéutica, textil y alimentaria, para brindar color a sopas, helados, quesos y para el conocido curry en polvo, además como reemplazante principal de la tartrazina.

La tecnología del secado por aspersion corresponde a una técnica mediante la cual se evapora agua de una fase líquida o semilíquida para su conversión a una fase sólida (producto seco) de un bajo contenido de humedad, siendo empleada universalmente en el área agroalimentaria con el fin de mejorar la conservación, estabilidad, almacenamiento, transporte, entre otras características de esta clase de productos. En esta técnica, el producto líquido (emulsión, solución o dispersión) es atomizado mediante el contacto con aire caliente (u otro gas) para obtener un producto deshidratado. Para realizar este proceso, es necesario emplear agentes encapsulantes o coadyuvantes que faciliten el proceso y protejan al compuesto de la degradación.

El objetivo de esta investigación fue evaluar las condiciones del proceso de secado por aspersion para obtener curcumina en polvo a partir de extracto de cúrcuma mezclado con maltodextrina. Se empleó un diseño central compuesto que consideró la influencia de dos factores: temperatura del aire de entrada (140 - 160°C), temperatura del aire de salida (75-95°C) y velocidad de atomización constante en 28000 RPM. El proceso de secado se optimizó mediante la metodología de superficies de respuesta y los resultados mostraron que las condiciones óptimas para el proceso de secado fueron: temperatura del aire a la entrada y salida de 149°C y 75°C, respectivamente, para las cuales se obtuvieron los siguientes resultados: rendimiento (80,45%), material adherido (2,48%), humedad (2,63±0,02% b.h), actividad de agua (0,175±0,00), solubilidad (98,15±0,02%), parámetros de color para el polvo: L (53,93±0,31) y h^0 (62,87±0,26), para el polvo en solución diluida al 0,1%: L (45,96±1,67) y h^0 (98,23±0,04) y para el polvo en solución

diluida al 0,01%: L ($50,98 \pm 0,46$) y h^0 ($117,88 \pm 0,36$), higroscopicidad ($11,71\% \pm 0,03$) y concentración de curcumina ($9,03 \pm 0,44 \text{mg/g}$).

Adicionalmente para el punto óptimo del colorante en polvo obtenido se evaluaron las isotermas de sorción, temperatura de transición vítrea mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA) y propiedades térmicas (difusividad, conductividad térmica y calor específico). Los resultados mostraron un comportamiento con efecto significativo de la temperatura de almacenamiento, el modelo que se ajustó mejor fue el modelo de GAB para el cual el contenido de humedad en la monocapa estuvo entre 3,7% y 4,25% (b.s), las isotermas presentaron forma sigmoideal correspondiente al tipo III.

Según el análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC), se encontró un punto de desolvatación o pérdida de volátiles a $178,07^\circ\text{C}$, la temperatura de transición vítrea encontrada fue de $65,35^\circ\text{C}$, la cual debe ser alta para incrementar la vida útil del producto. El análisis de TGA mostró una pérdida de masa a partir de los 193°C , indicando degradación del producto. Las propiedades térmicas mostraron un valor de C_p de $2,45 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$, conductividad térmica de $0,164 \pm 0,001 \text{ W/mK}$ y difusividad térmica de $8,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \pm 0,000 \text{ m}^2/\text{s}$.

Palabras Clave: suspensión, optimización, *Curcuma longa*, isotermas de sorción, polvo de curcumina, temperatura de transición vítrea, propiedades térmicas (Fuentes: [Agrovoc](#), [IEEE](#)).

Abstract

Curcumin is a natural dye obtained from the rhizomes of *Curcuma longa L* plant which provides an orange yellow color. This product is used in the pharmaceutical, textile and food industry to provide color to soups, ice cream, cheese and for curry powder, also as the primary replacement for tartrazine.

The spray drying process is a continuous operation in which almost any pumpable liquid can be converted into a free flowing powder with a low moisture content being universally employed in agrifoods products to improve conservation, stability, storage, transportation and other quality features. To perform this process, it is necessary to use encapsulants or carriers which facilitate the process and protect the compound from degradation, oxidation among other factors.

The objective of this study was to evaluate the operating conditions of spray drying to obtain a curcumin powder from turmeric extract mixed with maltodextrin. A central composite design considered the influence of two factors was used: Inlet air temperature (160-140°C) and outlet air temperature of the spray dryer (75-95°C) with a constant atomization speed of 28000 RPM. The drying process was optimized using the response surfaces methodology and the results showed that the optimal operating conditions are given by an inlet air temperature of 149°C and outlet air temperature of 75°C for which is obtained the following results: solids recovery (80.45%), adhered material (2.48%), moisture content (2.63 ± 0.02% w.b), water activity (0.175 ± 0.00), solubility (98.15 ± 0.02%), color parameters of powder: L (53.93 ± 0.31) and h⁰ (62.87 ± 0.26), powder in dilute solution (0.1%): L (45.96 ± 1.67) and h⁰ (98.23 ± 0.04), powder in dilute solution (0.01%): L (50.98 ± 0.46) and h⁰ (117.88 ± 0.36), hygroscopicity (11.71 ± 0.03%) and concentration of curcumin (9.03 ± 0.44mg/g).

Additionally at the optimal point the sorption isotherms, glass transition temperature (DSC), thermal gravimetric analysis (TGA), and thermal properties (diffusivity, thermal conductivity and heat capacity) of the dye powder were evaluated. The results of sorption study showed a significant effect of the temperature where the GAB model was the best model fitted to the experimental data for which the moisture content in the monolayer varied between 3.7% and 4.25% (d.b), corresponding to isotherms type III.

According the analysis by differential scanning calorimetry (DSC) a desolvation/dehydration point was found at 178.07°C and glass transition temperature of 67.35°C, which must be high to increase product shelf life. TGA analysis indicated a weight loss from 193°C specifying degradation of the product. The thermal properties showed a Cp value of 2.45 J/g°C, thermal conductivity and diffusivity of 0.164 ±0.001 W/m K and $8.7 \cdot 10^{-8} \pm 0.000 \text{ m}^2/\text{s}$, respectively.

Keywords: suspension, optimization, *Curcuma longa L*, sorption isotherms, curcumin powder, glass transition temperature, thermal properties (Sources: Agrovoc, IEEEE).

Contenido

| | Pág. |
|--|-----------|
| Contenido | |
| 1. Capítulo 1: Objetivos..... | 17 |
| 1.1 Objetivo General | 17 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 2. Capítulo 2: Estado del Arte..... | 18 |
| 2.1 Curcumina..... | 18 |
| 2.1.1 Métodos de extracción de curcumina..... | 23 |
| 2.2 Secado Por Aspersión..... | 25 |
| 2.3 Materiales empleados para las matrices de protección | 27 |
| 2.2.2 Materiales de protección para secado de curcumina. | 29 |
| 2.4 Transiciones de fases en alimentos | 29 |
| 2.4.1 Temperatura de transición vítrea (Tg). | 30 |
| 3. Capítulo 3: Secado por aspersión de extractos de cúrcuma: Evaluación del proceso y propiedades de calidad. | 31 |
| 4. Capítulo: Caracterización térmica y termodinámica de un colorante en polvo obtenido a partir de extractos líquidos de cúrcuma obtenidos por secado por aspersión | 59 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones..... | 82 |
| 5.1 Conclusiones..... | 82 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 83 |

Lista de figuras

| Capítulo 2. | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 2-1. Estructuras químicas de Curcumina en equilibrio tautomérico ceto-enol..... | 18 |
| Figura 2-2. Planta, raíz y polvo de <i>Curcuma longa</i> | 19 |
| Figura 2-3. Comportamiento de las importaciones de Cúrcuma (<i>Fuente: PHN, 2006</i>). ... | 21 |
| Figura 2-4. Comportamiento de las exportaciones de Cúrcuma (<i>Fuente: Velásquez y Arias, 2010</i>) | 22 |
| | |
| Capítulo 3. | |
| Figura 3-1. Superficie de respuesta para concentración de curcuminoides en el producto en polvo (a) e higroscopicidad (b). | 43 |
| Figura 3-2. (a) Polvo de curcumina en solución diluída al 0,1 y 0,01 %. (b). Polvo de curcumina óptimo..... | 45 |
| Figura 3-3. Microscopías electrónicas de barrido para el polvo de curcumina..... | 46 |
| | |
| Capítulo 4. | |
| Figure 4-1. Sorption isotherms for the turmeric powder in the BET (a) and GAB (b) models. | 66 |
| Figure 4-2. Thermodynamic sorption study: (a) sorption heat (b) Gibbs free energy and (c) differential change entropy..... | 70 |
| Figure 4-3. Thermogram of the turmeric powder obtained with DSC. (a) Glass transition temperature. (b). Total Heat Flow, heat capacity and Reversible heat flow. (c). Total Heat Flow, heat capacity and Non reversible heat flow..... | 72 |
| Figure 4-4. Thermogravimetric analysis of the turmeric powder obtained under the optimal conditions of the spray drying..... | 73 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Capítulo 2. | |
| Tabla 2-1. Volumen de importaciones de Cúrcuma | 21 |
| Tabla 2-2. Volumen de producción de cúrcuma en fresco. | 22 |
| Tabla 2-3. Materiales de protección empleados. | 27 |
| Capítulo 3. | |
| Tabla 3-1. Caracterización del extracto concentrado. | 38 |
| Tabla 3-2. Efectos principales del modelo de regresión polinómico para las variables higroscopicidad y concentración. | 38 |
| Tabla 3-3. Variables de desempeño del proceso y propiedades de calidad de extractos de curcumina secos obtenidos por secado por aspersión. | 38 |
| Tabla 3-4. Parámetros de color para el colorante de curcumina en forma de polvo y diluido obtenido por el proceso de secado por aspersión. | 41 |
| Tabla 3-5. Validación del modelo de secado. | 45 |
| Capítulo 4. | |
| Table 4-1. Constants and statistics for the BET and GAB models at different temperatures. | 67 |
| Table 4-2. Constants and statistics for the BET and GAB models at different temperatures. | 68 |
| Table 4-3. Thermal properties of the turmeric powder. | 74 |

Introducción

La curcumina o ácido turmérico es un polifenol que proviene de los rizomas de la planta *Curcuma longa L.* usándose extensivamente como un colorante alimenticio natural proporcionando un color amarillo naranja, presentando características como antioxidante, anti-inflamatorio, antimicrobiano y propiedades anticancerígenas. No obstante, la curcumina presenta algunos problemas que la han hecho restringida para el uso en los alimentos, tales como degradación rápida bajo pH neutro o alcalino e incluso bajo exposición a la luz y temperatura (Gómez *et al.*, 2009). Otro de los problemas que posee la curcumina es que su vida útil es reducida, por lo que se ha limitado su uso (Montaño y Montes, 2004).

La cúrcuma, raíz de la cual se obtiene la curcumina, posee muchos usos, entre los que se encuentra el culinario debido a su color amarillo característico, sustituyendo el azafrán porque es más económica. Actualmente es empleada en la industria textil, farmacéutica y cosmética, exhibiendo una alta demanda de consumo en toda la industria alimentaria debido a sus pigmentos que le otorgan el color característico. De la cúrcuma se obtienen de entre 3-5% de material colorante, los cuales son denominados curcuminoides, siendo los componentes principales de la curcumina formando cristales anaranjados con sabores picantes (Yadav *et al.*, 2012).

Las distintas propiedades de la curcumina (colorante natural que es capaz de reemplazar colorantes sintéticos) en conjunto con el poco cultivo que existe en Colombia es una oportunidad para generar productos agroindustriales de gran valor agregado. En Antioquia, en el municipio de Uramita están en el proceso de darle aplicaciones que sean innovadoras a esta planta en los distintos mercados. Hoy en los mercados nacional e internacional hay grandes oportunidades debidas a la tendencia en el consumo de productos como los colorantes que sean naturales. De esta forma con este trabajo se

abre un mercado para la cúrcuma, disminuyendo y evitando costos por importación para la industria colombiana (Boletín ATI, 2007).

De otro lado, existe la necesidad por parte de la industria química, farmacéutica, alimentaria entre otras, de tener nuevos productos como lo son los colorantes naturales, que permitan conservar y prolongar las características funcionales, sensoriales y físicas del producto con objetivo de que no se alteren o se degraden, ya sea con el tiempo o durante un proceso de transformación.

Muchos de los productos colorantes existentes y empleados en la industria de alimentos corresponden a colorantes líquidos, los cuales son transformados de su estado inicial (líquido) a productos de naturaleza particulada (polvos). Los condimentos en polvo son altamente empleados en la industria alimentaria, gracias a que son de consumo masivo, y entre aquellos condimentos se encuentra la curcumina que es uno de los colorantes alimenticios naturales de gran uso en el mundo, debido a que es empleada como condimento y es el ingrediente principal del conocido curry en polvo (Alzate, *et al.*, 2012).

En la actualidad una de las técnicas para obtener curcumina corresponde a extracción de la cúrcuma con solventes orgánicos (etanol) mediante agitación, que al final dichos solventes resultan como residuo de este compuesto, implicando la obtención de un compuesto hidrosoluble. La curcumina en este extracto se encuentra en muy bajas proporciones, por lo que se han buscado técnicas para que esta esté más concentrada, disolviéndola en glicerina y rotoevaporándola para obtener un extracto concentrado (Bagchi, 2012; Paulucci *et al.*, 2013).

El secado por aspersión es uno de los métodos de secado de ingredientes agroalimentarios más empleado, ya que es económico y flexible, que produce partículas secas de alta calidad debido a que genera un mecanismo de protección a los procesos de oxidación y volatilización (Shaikh *et al.*, 2006).

Adicionalmente, los sistemas alimentarios experimentan transiciones de fase debido a cambios físicos, químicos y biológicos, bajo efectos de presión o temperatura. El agua es un factor relevante, ya que afecta las propiedades físicas de los productos, entre ellos la actividad de agua la cual se relaciona con las isothermas de sorción (Chen y Chen, 2014).

Una de las transiciones más importantes para el caso de polvos obtenidos por secado por aspersión corresponde a la temperatura de transición vítrea, el material se comporta más frágil y vítreo por debajo de la temperatura de transición vítrea. Razones por las cuales es importante realizar estudios térmicos y termodinámicos con el fin de evaluar la estabilidad del alimento en el tiempo. (LeBail *et al.*, 2003; Hernandez *et al.*, 2011; Carter *et al.*, 2012)

Teniendo presente lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las condiciones del proceso de secado por aspersión en las propiedades de calidad del producto final obtenido (colorante en polvo) usando extractos líquidos de cúrcuma formulado con sistemas de alto peso molecular (maltodextrina), definiendo condiciones y escenarios necesarios para el secado por aspersión, garantizando condiciones óptimas de operación para llevar a cabo el proceso, que permitan una alta estabilidad del producto final conservando las propiedades funcionales, sensoriales y físicas del producto.

1. Capítulo 1: Objetivos

1.1 Objetivo General

Obtener curcumina en polvo mediante la técnica de secado por aspersión.

1.2 Objetivos Específicos

- Obtener y caracterizar un extracto concentrado de curcumina para emplearse en la suspensión de curcumina para el secado por aspersión.
- Optimizar las condiciones de operación del secado por aspersión en función de las propiedades de calidad del producto y variables de desempeño del secador.
- Realizar una caracterización térmica y termogravimétrica del colorante en polvo obtenido.

2. Capítulo 2: Estado del Arte

2.1 Curcumina

La curcumina es un polifenol natural de color amarillo naranja (Figura 2-1) encontrado en el rizoma de la planta *Curcuma longa L.* conocida también como turmérico, pertenece a la familia *Zingiberaceae* que se emplea como colorante tanto alimenticio como en la industria textil y es además un potencial agente protector contra varias enfermedades crónicas tales como son el cáncer, infección por VIH, enfermedades neurológicas, cardiovasculares y de la piel; ha obtenido atención debido a sus propiedades como antioxidante, anticancerígeno y anti inflamatorio. Este arbusto, puede llegar hasta un metro de altura, posee flores de color blanco amarillento y sus raíces pueden alcanzar un grosor de cinco a ocho centímetros, son pardas y muy arrugadas, presentando en su interior un color amarillo anaranjado muy pronunciado, como se observa en la Figura 2-2. Algunas aplicaciones de la curcumina se han limitado debido a su sensibilidad a condiciones alcalinas, tratamiento térmico, luz, iones metálicos, enzimas, oxígeno y ácido ascórbico, demostrando su baja bioactividad (Li *et al.*, 2013 y Paramera *et al.*, 2011).



Figura 2-1. Estructuras químicas de Curcumina en equilibrio tautomérico ceto-enol

(Fuente Li *et al.*, 2013)



Figura 2-2. Planta, raíz y polvo de *Curcuma longa*

Fuente: <https://www.ntbg.org/plants/imageonly.php?rid=905&plantid=3652;>
<http://elblogdelola.com/sabias-que-la-maravillosa-curcuma/>

La cúrcuma, se cultiva principalmente en países como China, India, Indonesia, Jamaica y Perú, encontrándose que este producto es muy importante para la industria de alimentos, debido a que cuando se emplea en preparaciones alimentarias conserva su frescura y además se encarga de proporcionar un sabor característico altamente diferenciado (Ríos *et al.*, 2009).

A la cúrcuma se le han atribuido una cantidad amplia de propiedades nutraceuticas entre las que se puede mencionar las siguientes:

- Buen poder antiinflamatorio, calma el dolor y favorece la eliminación de toxinas.
- Favorece el buen funcionamiento del hígado ya que lo protege de toxinas y disminuye el colesterol.
- Puede reducir los niveles de glucosa en los diabéticos.
- La cúrcuma puede ser un buen aliado en la lucha contra el cáncer ya que favorece la eliminación de sustancias cancerosas.
- Gran poder antioxidante
- Diurético
- El principio activo de la cúrcuma, la curcumina, presenta una actividad antiulcerógena sobre el estómago.
- Propiedades estimulantes, estomáquicas, carminativas y colagogas.
- Colorante de productos alimenticios como pastas, lácteos, galletas, caramelos, bebidas, entre otros.
- Condimento para encurtidos, mostazas, adobos y para los polvos del curry.

-
- En la industria textil, como colorante que tiñe de amarillo para tejidos de lana, algodón, sedas, papel y cueros finos.
 - Para la industria farmacéutica y cosmética para colorear cremas o ungüentos.
 - Para obtener aceite esencial (Bagchi, 2012; Cazabonne, 2008).

La curcumina por su parte es estable en el estómago e intestino delgado, tiene actividad antibacteriana, antifúngica, antiparasitaria y tiene capacidad inhibitoria de la integrasa del HIV-1. La curcumina se emplea como colorante alimentario natural para helados, salsas, sopas, confitería, postres, quesos, alimentos precocidos, bebidas, condimentos, entre otros y con diferentes presentaciones: líquidos hidrosolubles (soluciones hidro-alcohólicas, emulsiones o suspensiones), líquidos liposolubles o polvos hidrosolubles (Díaz y Ávila, 2002).

El interés en la curcumina dentro del sector agrícola radica en ciertos factores, como son la demanda interna y externa. En Colombia existen varios departamentos potenciales como Huila, Tolima, Cesar, Magdalena y Valle del Cauca. Según datos del Plan Nacional Hortícola existe una producción actual de 1200 toneladas incluyendo cúrcuma y jengibre con un volumen de exportación actual de 10 toneladas y se planea que para el año 2015 este volumen de exportación se incremente a 600 toneladas en un área cultivada de 100 Hectáreas. Por otro lado, los países principales que son productores de la planta corresponden a Estados Unidos (Hawái), India, Jamaica y Brasil (PHN, 2006).

En la Figura 2.2 y la Tabla 2-1, se presenta la dinámica de las importaciones y exportaciones de la cúrcuma, que la hacen un cultivo potencial para los agricultores colombianos fortaleciendo de esta forma las oportunidades para el desarrollo de productos agroindustriales que provienen de esta planta. El origen de las importaciones para los años 2000 a 2005 fue principalmente Perú, seguido de India, Ecuador y Estados Unidos (PHN, 2006).

| Año | Toneladas | US\$ Cif | Us \$ / Ton |
|------|-----------|----------|-------------|
| 2000 | 45,37 | 65,394 | 1,441 |
| 2001 | 63,90 | 82,526 | 1,292 |
| 2002 | 73,85 | 92,658 | 1,255 |
| 2003 | 104,11 | 130,122 | 1,250 |
| 2004 | 94,65 | 89,722 | 948 |
| 2005 | 88,61 | 111,291 | 1,256 |

Fuente: DANE, Cálculos Corporación Colombia Internacional

Tabla 2-1. Importaciones de cúrcuma entre 2000-2005.

(Fuente: PHN, 2006).



Figura 2-3. Comportamiento de las importaciones de Cúrcuma

En la Tabla 2-2 se presenta el volumen de las importaciones y exportaciones de cúrcuma para los años 2007-2010, indicando la necesidad que tiene la industria de esta planta debido al alto volumen de importación, además, es posible observar la fluctuación del volumen exportado mostrando un incremento notorio para el año 2010, razón por la cual se toma a la cúrcuma como un cultivo potencial para los productores del país (Velásquez y Arias, 2010).

Tabla 2-2. Volumen de importaciones de Cúrcuma

| Año | Volumen de importación (Ton) | Volumen de exportación (Ton) |
|-------------|------------------------------|------------------------------|
| 2007 | 83,47 | 13,11 |
| 2008 | 92,57 | 9,98 |
| 2009 | 70,45 | 13,12 |
| 2010 | 96,6 | 19,8 |

(Fuente: Velásquez y Arias, 2010)

Las exportaciones, para los años de 2000-2005, se presenta en la Figura 2-4 y la Tabla 2-3.

| Año | Toneladas | US\$ FOB | US\$ / Ton |
|------|-----------|----------|------------|
| 2000 | 0,20 | 444 | 2,220 |
| 2001 | 0,00 | 0 | 0 |
| 2002 | 0,02 | 44 | 2,200 |
| 2003 | 0,00 | 0 | 0 |
| 2004 | 0,00 | 0 | 0 |
| 2005 | 0,50 | 1,500 | 3,000 |

Fuente: DANE, Cálculos Corporación Colombia Internacional

Tabla 2-3. Exportaciones de cúrcuma para los años 2000-2005

(Fuente: Velásquez y Arias, 2010)

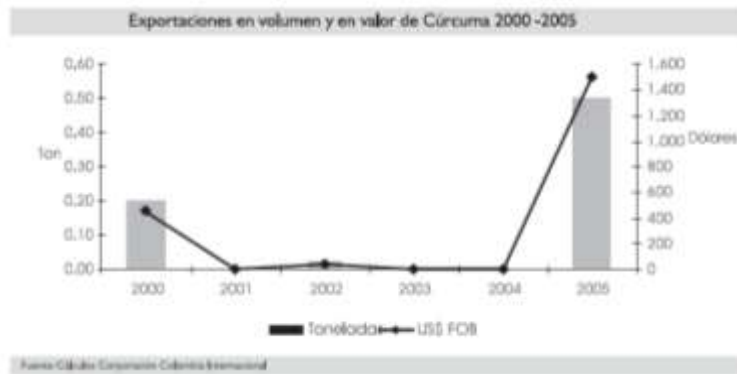


Figura 2-4. Comportamiento de las exportaciones de Cúrcuma

Por otro lado, el mercado de cúrcuma se concentra principalmente en India, debido a que para el año 2005 representó aproximadamente un 94% del valor de las importaciones; mientras que su seguidor, Vietnam, participa apenas con un 4%. La producción de cúrcuma en fresco para los años 2001-2006 se puede observar en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Volumen de producción de cúrcuma en fresco.

| Año | Volumen (kg) |
|----------------------------|--------------|
| 2001 | 2,436,896 |
| 2002 | 2,383,313 |
| 2003 | 2,449,913 |
| 2004 | 2,631,133 |
| 2005 | 2,895,043 |
| 2006 | 2,403,122 |
| Tasa de Crecimiento | 2% |

| | |
|-----------------------|------------------|
| Anual Promedio | 2,533,237 |
|-----------------------|------------------|

(Fuente: Velásquez y Arias, 2010)

2.1.1 Métodos de extracción de curcumina

La curcumina ha sido extraída por diferentes métodos tales como extracción por Soxhlet, maceración, agitación, extracción asistida por microondas (MWHD), cromatografía de capa delgada y columna, extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida con ultrasonido y cromatografía líquida de alta resolución (Paulucci *et al.*, 2013; Wakte *et al.*, 2011).

- Extracción por Soxhlet. Se basa en la separación de compuestos que no se pueden volatilizar en la fase gaseosa, sin embargo, en presencia de solventes orgánicos y altas temperaturas se logra obtener una separación óptima de los analitos que se encuentran presentes en el compuesto; posee un rendimiento elevado y un porcentaje alto de recuperación de solventes y además no requiere equipos sofisticados. El solvente empleado para la extracción de curcumina corresponde a etanol absoluto, generalmente por 9 horas. Una desventaja corresponde a la idea que los solventes orgánicos suelen ser tóxicos y en muchas ocasiones no se logra una remoción total, lo cual conlleva a problemas de seguridad alimentaria debido al uso en la industria de alimentos (Rios *et al.*, 2009).
- Extracción asistida por microondas (EAM). La EAM opera a través del rompimiento de la célula por sobrecalentamiento localizado interno seguido por la filtración de los componentes activos. El fenómeno de ruptura de la célula probablemente facilita la entrada de la extracción de disolvente para solubilizar el compuesto objetivo, y por lo tanto conduce a una extracción más rápida y eficiente. En comparación con otras técnicas convencionales como Soxhlet y maceración, la EAM proporciona una reducción considerable en el tiempo de extracción, el consumo de disolvente

con una mejor tasa de extracción y en cierta medida la extracción selectiva. En este método se ubica la curcumina en un plato de vidrio delgado y se irradia por un periodo de tiempo definido a una potencia de aproximadamente 140 W. Después de la irradiación se somete el polvo en una suspensión de etanol o acetona y se vierte en un conjunto de extracción que consiste en un rotor mono-bloque y tanques cilíndricos, después de la extracción las muestras se recogen y se debe realizar filtrado (Vivekananda *et al.*, 2008; Wakte *et al.*, 2011).

- Extracción asistida por ultrasonido. Esta técnica es bastante similar a EAM, se ubica la curcumina en un vaso de vidrio delgado y se expone a ondas ultrasónicas por un periodo de tiempo definido. El polvo irradiado se suspende en etanol o acetona y se sonicar por un tiempo a temperatura ambiente, las muestras se recogen y se filtran (Wakte *et al.*, 2011).
- Extracción por columna cromatográfica. En esta técnica, las sustancias son disueltas y eluidas en columnas con un mínimo volumen de solvente. Se realiza en columnas cromatográficas de vidrio, cantidades de solvente se cargan dentro de la columna y se agrega gradualmente la cúrcuma para permitir que se adhiera libremente en el solvente. Después de un tiempo la columna se eluye y el eluyente se recoge, con un volumen de solvente igual a dos veces el peso de la muestra (Zhan *et al.*, 2011).
- Extracción por fluidos supercríticos. Este método surge como una alternativa a los métodos de extracción sólido-líquido Soxhlet, que consiste en emplear un solvente, el cual a condiciones ambientales se calienta y comprime hasta llevarlo por encima de su punto crítico, que se denomina fluido supercrítico Este método se basa en cuatro operaciones básicas: extracción, expansión, separación y compresión del fluido. Uno de los disolventes más empleados en este método es el dióxido de carbono debido a que está fácilmente disponible en la naturaleza, gracias a su punto crítico (que

corresponde a 304 K y 7,4 MPa), permite condiciones de una temperatura de extracción baja, por tanto, evita la degradación térmica de un producto, adicionalmente el dióxido de carbono es barato, no es tóxico y es además fácil de transportar (Gil *et al.*, 2010; Sovilj *et al.*, 2011).

2.2 Secado por aspersion

Es el método de secado de ingredientes alimenticios más empleado, ya que es uno de los más económicos, flexible y produce partículas secas de alta calidad siempre y cuando las condiciones de operación sean las adecuadas. Los beneficios del secado por aspersion radican en que los polvos que produce el proceso tienen un tamaño de partícula y un contenido de humedad específico. El secado por aspersion ha sido usado como un método que atrapa el material activo con una matriz protectora (material de pared) el cual es esencialmente inerte al material activo (material de núcleo), gracias a esto es aplicable a productos sensibles y también resistentes al calor (Keshani *et al.*, 2015).

El objetivo principal de este proceso es obtener un producto en polvo a partir de una sustancia líquida que entra en contacto con un gas caliente (generalmente el gas que se emplea es aire), cuya función es servir como medio calefactor y como fluido de transporte, para finalmente obtener un producto pulverizado. El material líquido que se emplea inicialmente es una solución, emulsión o suspensión. Este proceso involucra tres etapas: dispersión o emulsión, homogenización y atomización. Se atomiza el material que está en estado líquido, bien sea como una solución o como dispersión, y al final se forman gotas sobre una corriente de gas precalentado; en el momento que dichas gotas de la sustancia líquida entran en contacto con el gas a una temperatura mayor se genera una evaporación muy rápida del solvente de manera que se forme una película delgada del material de recubrimiento que se encuentra (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Parize *et al.*, 2008). Con esta técnica de secado los tiempos de residencia que se emplean son bajos, y el efecto refrigerador que se genera debido a la evaporación da la posibilidad de trabajar de una forma más eficaz con los productos que son sensibles a la temperatura (Lozano, 2009).

En el secado por aspersión el compuesto es protegido de la oxidación y la volatilización. El secado por aspersión ha sido aplicado a distintos materiales, entre ellos aceites de pescado como núcleo activo con una pared sólida de carbohidratos, pigmentos naturales con recubrimiento de almidón, células probióticas y también para la leche en polvo. Para el caso de la leche en polvo, inicialmente se calienta, se evapora y finalmente se homogeniza; de forma que se disminuya el tamaño del glóbulo graso disminuyendo interacciones entre proteínas y glóbulos grasos (Parra, 2010; Shaikh *et al.*, 2006).

Las siguientes son las ventajas y desventajas del uso de secado por aspersión:

- Control de los parámetros de calidad del producto así como especificaciones concretas.
- Los alimentos sensibles al calor, los productos biológicos, y los productos farmacéuticos se pueden secar a presión atmosférica y a bajas temperaturas. En ocasiones, se emplea la atmósfera inerte.
- El secado por atomización permite la producción de grandes cantidades en la operación continua y con un equipo relativamente simple.
- El producto entra en contacto con las superficies del equipo en condiciones anhidras, simplificando así los problemas de la corrosión y de selección de materiales costosos en la construcción del equipo.
- Produce partículas relativamente uniformes, esféricas y con casi la misma proporción de compuestos que en la alimentación líquida.
- Puesto que la temperatura de funcionamiento del gas puede extenderse de 150 a 600°C, la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos.

Desventajas:

- Falla si se requiere un producto a granel de alta densidad.
- En general una unidad diseñada para la atomización fina puede no poder producir un producto grueso, y viceversa.
- Para una capacidad dada, se necesita generalmente una evaporación mayor que con otros tipos de secadores.

Para realizar el proceso de secado por aspersión es necesario emplear aditivos como agentes coadyuvantes que se aplican al producto a secar y que tienen funciones de protección y recubrimiento del material de interés (Mujumdar, 1995 y Keshani *et al.*, 2015).

2.3 Materiales empleados para las matrices de protección

Los materiales de protección se definen como materiales que se aplican sobre una superficie y aparece ya sea como una película continua o discontinua, después del secado. Las propiedades de las películas de recubrimiento están determinadas según el tipo de aglomerantes, pigmentos y aditivos que se emplean en la formulación. Algunos factores que se espera que mejoren los materiales de protección corresponden a durabilidad, reproducibilidad, fácil aplicación y que tenga una relación costo efectividad aceptable y que sea amigable con el medio ambiente. Un material de cobertura eficiente debe tener buenas propiedades reológicas, fácil manipulación durante el proceso y debe ser seleccionado tal que produzca una dispersión con el ingrediente activo y que además no reaccione o degrade el material activo durante el proceso y el almacenamiento. Las sustancias de recubrimiento son básicamente materiales de película que se diseñan con el fin de proteger el producto de ciertos factores específicos como oxidación, temperaturas sensibles, para prevenir sus interacciones con otros ingredientes, para disminuir pérdidas de volátiles y para permitir la liberación controlada de las sustancias (Barbosa *et al.*, 2005; Ghosh, 2006). Algunos de los materiales de protección para aditivos alimentarios funcionales se describen en la Tabla 2-5, de acuerdo con Desai *et al.*, (2005):

Tabla 2-5. Materiales de protección empleados.

| Categoría | Materiales de cobertura | Métodos |
|----------------------|---|---|
| Carbohidratos | Almidón, maltodextrinas, chitosan, sólidos de jarabe de maíz, dextrano, almidón modificado, ciclodextrinas. | Secado por atomización, aspersión por enfriamiento, extrusión, coacervación, inclusión molecular. |

| | | |
|-----------------|---|--|
| Celulosa | Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, celulosa acetato-ftalato, celulosa acetato-butirato-ftalato. | Coacervación, secado por aspersión, y películas comestibles. |
| Goma | Goma arábica, agar, alginato de sodio, carragenina. | Secado por aspersión, método de la jeringa. |
| Lípidos | Cera, parafina, cera de abejas, diacilglicérol, aceites, grasas. | Emulsión, liposomas, formación de película. |
| Proteína | Gluten, caseína, gelatina, albúmina, péptidos. | Emulsión, secado por aspersión. |

Fuente: Desai *et al.*, (2005)

Las gomas o hidrocoloides, usualmente son usadas como ingredientes de texturización, estabilización de emulsiones, control de cristalización y además inhiben la sinéresis (liberación de agua de los alimentos fabricados) mejorando de esta forma las propiedades de revestimiento; los lípidos son generalmente usados para protección de ingredientes solubles en agua; las proteínas son también eficientes en la protección de ingredientes alimenticios, en particular la gelatina que se emplea en coacervación (Barbosa *et al.*, 2005).

Por lo general son materiales que forman una película y que pueden ser seleccionados de una amplia variedad de polímeros naturales o sintéticos dependiendo del material que va a ser cubierto y las características deseadas en los productos finales (Barbosa *et al.*, 2005).

De acuerdo con Desai y Park (2005), un material de protección ideal debe exhibir las siguientes características:

- Buenas propiedades reológicas a altas concentraciones y fácil manejabilidad durante el secado.
- La capacidad de dispersar o emulsificar el material activo y estabilizar la emulsión o dispersión producida.
- No debe reaccionar con el material activo durante el procesamiento y el almacenamiento prolongado.
- La capacidad para sellar y retener el material activo dentro de su estructura durante el procesamiento o almacenamiento.

- La capacidad de liberar completamente el solvente u otros materiales usados durante el proceso de secado u otras condiciones de eliminación del solvente.
- La capacidad de proporcionar protección máxima al material activo contra condiciones ambientales (oxígeno, calor, luz, humedad, por ejemplo).
- Solubilidad en solventes aceptados en la industria de alimentos (por ejemplo, agua, etanol)
- No reactivo químicamente con los materiales del núcleo activo.
- De bajo costo, estado de grado alimenticio.

2.2.2 Materiales de protección para secado de curcumina.

Actualmente varios autores han trabajado en el secado por aspersion de curcumina y en otros procesos para la protección del colorante de curcumina. Yadav *et al.*, (2012) encapsularon curcumina empleando quitosan como material de protección; Sowasod *et al.*, (2012) estudiaron una técnica de encapsulación para curcumina usando un sistema coloidal de quitosan y una relación de CMC/ κ -carragenina. Gomez *et al.*, (2012) estudiaron la encapsulación de curcumina en una solución que contenía partículas de zeína de maíz; López *et al.*, (2012) estudiaron la encapsulación de curcumina empleando γ -ciclodextrina y β -ciclodextrina como materiales de protección; Kumar *et al.*, (2010), emplearon una mezcla de alginato, quitosan y plurónico como materiales de cobertura para encapsulación de curcumina. Wang *et al.*, (2012) emplearon gelatina y almidón poroso como materiales de pared en microcápsulas para secar por aspersion. Laczkowski y Soudaleff (2013) evaluaron maltodextrina como material de pared para microencapsular curcumina para su posterior secado.

2.4 Transiciones de fases en alimentos

Los sistemas alimentarios experimentan transiciones de fase debido a cambios físicos, químicos y biológicos, bajo efectos de presión o temperatura. El agua es un factor relevante, ya que afecta las propiedades físicas de los productos, de este modo, se puede establecer una relación entre el agua disponible en el alimento y su

conservación mediante la actividad de agua, la cual se puede definir como la humedad relativa en equilibrio con el producto a la misma temperatura. Por tanto, el agua se convierte en un parámetro comercial ya que afecta el peso del alimento y por tanto, su valor y es importante ya que es responsable de los estados físicos del alimento. Otro tipo de líquidos y sólidos también experimentan cambios de fase (LeBail *et al.*, 2003; Figueira *et al.*, 2004).

Las transiciones de fases pueden ser de primer, segundo y tercer orden. Las de primer orden hacen referencia a transiciones sólido-líquido-gas. Las de segundo orden corresponden a transiciones vítreas, en la cual el alimento pasa de un estado gomoso a un estado vítreo amorfo, las de primer y segundo orden son las de más probabilidad de ocurrencia en alimentos (LeBail *et al.*, 2003; Hernandez *et al.*, 2011).

Una de las transiciones más importantes para el caso de polvos obtenidos por secado por aspersión corresponde a la temperatura de transición vítrea.

2.4.1 Temperatura de transición vítrea (T_g).

La temperatura de transición vítrea (T_g) desde un punto de vista fenomenológico corresponde a un cambio en la flexibilidad de la muestra en un rango estrecho de temperaturas, el material se comporta más frágil y vítreo por debajo de la temperatura de transición vítrea y más flexible a temperaturas mayores a ésta. La importancia de la temperatura de transición vítrea radica en que está relacionada con la estabilidad y vida útil del producto en polvo. En cuanto a la temperatura de almacenamiento es de importancia conocer la T_g para asegurar que el sistema se encuentre por debajo de dicha temperatura para evitar influir negativamente en la estabilidad física del producto y que este se mantenga en condiciones adecuadas para disminuir su deterioro e incrementar su periodo de vida útil. Es importante aclarar que la presencia de agua disminuye la T_g a una temperatura cercana o por debajo de la temperatura de almacenamiento, razón por la cual se debe conocer la absorción de agua del material para el almacenamiento. Además, por debajo de la T_g el sistema aún posee movilidad molecular lo que implica la no estabilidad (LeBail *et al.*, 2003; Craig y Reading, 2007; Hernandez *et al.*, 2011; Carter *et al.*, 2012).

3. Capítulo 3: Secado por aspersión de extractos de cúrcuma: Evaluación del proceso y propiedades de calidad del producto.

Resumen – El objetivo del trabajo fue evaluar las condiciones del proceso de secado por aspersión para obtener curcumina en polvo a partir de extracto de cúrcuma mezclado con maltodextrina. Se empleó un diseño central compuesto que consideró la influencia de dos factores: temperatura del aire de entrada (140 - 160°C) y temperatura del aire de salida del secador por aspersión (75-95°C) con velocidad de atomización constante en 28000 RPM. El proceso de secado se optimizó mediante la metodología de superficies de respuesta minimizando la higroscopicidad y maximizando la concentración de curcumina en el polvo, ya que las demás propiedades de calidad no fueron estadísticamente significativas (rendimiento, material adherido, humedad, actividad de agua, solubilidad, parámetros de color para el polvo, y en solución diluida al 0,1 y 0,01%). Los resultados mostraron que las condiciones óptimas para el proceso de secado por aspersión de curcumina fueron: temperatura del aire a la entrada de 149°C y 75°C a la salida, para las cuales se obtuvo en el producto final: rendimiento (80,45%), material adherido (2,48%), humedad (2,63±0,02 %b.h), actividad de agua (0,175±0,00), solubilidad (98,15±0,02%), parámetros de color para el polvo: L (53,93±0,31) y h⁰ (62,87±0,26), para el polvo en solución diluida al 0,1%: L (45,96±1,67) y h⁰ (98,23±0,04) y para el polvo en solución diluida al 0,01%: L (50,98±0,46) y h⁰ (117,88±0,36), higroscopicidad (11,71%±0,03) y concentración de curcumina (9,03 ±0,44mg/g), que fueron significativas. El polvo de curcumina es un producto termosensible, el cual resultó dependiente de las temperaturas de entrada y salida del secador.

Palabras clave: suspensión, polvo, cromatografía, optimización, *Curcuma longa*, (Fuentes: *Agrovoc, IEEE*).

Spray drying to liquid extracts of Curcumin: process performance and product quality properties

Abstract – The aim of this work was to evaluate the operating conditions of spray drying to obtain powder curcumin from turmeric extract blended with maltodextrin. An experimental design (central composite design) with two statistical factors was used: inlet air temperature (140-160) and outlet air temperature (75-95°C) keeping constant the rotation speed (28000 RPM). The statistical optimization was established by surface response methodology, taking the statistically significant variables where the hygroscopicity was minimized and the curcumin concentration was maximized, other quality properties were not statistically significant (recovery, adhering material, moisture content, water activity, solubility, color parameters for powder and powder in 0.1% diluted and powder in 0.01% diluted. The optimum conditions for the spray drying process were an inlet and outlet air temperature of 149°C and 75°C, respectively with an atomization speed of 28000 RPM given the following results: solids recovery (80.45%), adhered material (2.48%), moisture content ($2.63 \pm 0.02\%$ w.b), water activity (0.175 ± 0.00), solubility ($98.15 \pm 0.02\%$), color parameters of powder: L (53.93 ± 0.31) and h^0 (62.87 ± 0.26), powder in 0.1% dilute solution: L (45.96 ± 1.67) and h^0 (98.23 ± 0.04) and powder in 0.01% dilute solution: L (50.98 ± 0.46) and h^0 (117.88 ± 0.36), hygroscopicity ($11.71\% \pm 0.03$) and final concentration of curcumin ($9.03 \pm 0.44\text{mg/g}$), were statistically significant. Curcumin powder is a thermosensitive product which depends on the inlet drying temperatures.

Keywords: suspension, powder, chromatography, optimization, *Curcuma longa* (Source: *Agrovoc, IEEEE*)

Introducción

La curcumina o ácido turmérico es un polifenol que proviene de los rizomas de la planta *Curcuma longa*, usándose ampliamente como un colorante alimenticio natural proporcionando un color amarillo naranja, es antioxidante, anti-inflamatorio, antimicrobiano, anticancerígena, presenta una degradación rápida en pH neutro o alcalino bajo exposición a la luz y temperatura. De la cúrcuma se obtienen entre 3-5% de material colorante de la curcumina en forma de cristales (curcuminoides) (Gómez *et al.*, 2012). Se ha encontrado que la cúrcuma es muy importante para la industria de alimentos debido a que cuando se emplea en preparaciones y procesos alimentarios conserva su frescura y además se encarga de proporcionar un sabor característico. La curcumina se emplea como colorante

alimentario natural para helados, salsas, sopas, confitería, postres, quesos, alimentos precocidos, bebidas, condimentos, entre otros (Ríos *et al.*, 2009).

Una técnica comúnmente encontrada a nivel industrial para el desarrollo de productos en polvo a partir de extractos de origen vegetal es la tecnología del secado por aspersion, donde el producto a secar (emulsión, suspensión o solución) es convertido en un producto seco sólido de bajo contenido de humedad (Shaikh, *et al.*, 2006; Gharsallaoui *et al.*, 2007). Este proceso de secado, ofrece protección al compuesto a procesos de oxidación y volatilización siendo altamente recomendado para productos que presenten una alta termolabilidad (Shaikh *et al.*, 2006).

Teniendo en consideración la importancia a nivel industrial del desarrollo y aplicación de los colorantes naturales en el área de alimentaria, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las condiciones del proceso de secado por aspersion en las propiedades de calidad del producto final obtenido (colorante en polvo) y variables de desempeño del proceso usando extractos líquidos de cúrcuma formulado con sistemas de altos peso molecular (maltodextrina).

Materiales y Métodos

La formulación de la suspensión, el proceso de secado y caracterización del colorante en polvo se llevó a cabo en las instalaciones de la Empresa TECNAS S.A y en la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Las materias primas que se emplearon para la suspensión fueron extracto de cúrcuma (en solvente orgánico), glicerina, maltodextrina y agua. La suspensión que se sometió a secado por aspersion consistió de una mezcla de maltodextrina (DE 10), agua y un extracto concentrado de cúrcuma. El concentrado se obtuvo mediante una mezcla de glicerina y extracto en solvente orgánico, para lo cual dicha mezcla se sometió al proceso de rotoevaporación (rotoevaporador Heidolph 2) a una temperatura de 50°C en baño de glicerina y 90 RPM. Este concentrado se almacenó en refrigeración a 4°C y protegido de la luz. Una vez obtenido el concentrado de curcumina se procedió a preparar la suspensión para someterla al proceso de secado. La suspensión de secado se formuló con una mezcla de concentrado de curcumina (13,86%), maltodextrina (28,14%) y agua (58%) componentes que se mezclaron usando un homogenizador (Ultra-Turrax IKA-T25) a 7400 RPM durante 2 minutos a temperatura ambiente (Chen *et al.*, 2013). Las siguientes variables fueron determinadas para la suspensión de alimentación al secador:

Viscosidad: Se midió usando un reómetro BrookField DV-III ultra a temperatura de 25 °C, considerando una máxima velocidad de corte de 200 RPM que fue determinada mediante un análisis de los reogramas o curvas del flujo del producto (Frascareli *et al.*, 2012; Tonon *et al.*, 2011).

Medición de pH: Se determinó de acuerdo con la norma NTC 4092 dada por el ICONTEC (2009) empleando un potenciómetro por inmersión de electrodo en la muestra (titulador automático Hanna pH 211) con calibración anterior con soluciones buffer de pH 4 y 7 a 25°C.

Color: Se empleó la metodología sistema de espacio de color uniforme CIE L*a*b* y h° (ángulo de tono). La medición se realizó con un espectrofotómetro de esfera X- Rite con iluminante D65 con 10° de ángulo de observación. Se realizó calibración con color negro y blanco antes de su lectura (CIE, 2004; HunterLab, 2008).

Cuantificación de curcumina: La concentración de curcumina en el producto concentrado y el producto en polvo (colorante) se realizó mediante la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). La fase móvil consistió de agua/ácido fosfórico (1%) a un flujo de 0,8 mL/min y el volumen de inyección de 10 microlitros. Se tomaron 33 mg de curcumina y se diluyeron en 0,5 mL de agua destilada y se aforó a 10 mL con metanol, se agitó en vortex y se ultrasonicó, finalmente se centrifugó a 2800 RPM por 5 min. La cuantificación se logró por calibración estándar con solución de curcumina de 100 ppm en 10 mL de metanol en cromatógrafo AGILENT (Paramera *et al.*, 2011).

El proceso de secado se realizó en un secador por aspersión Marca VIBRASEC con capacidad de evaporación de agua de 1,5 L/h. Las variables a controlar fueron temperatura del aire de secado a la entrada, temperatura del aire de secado a la salida y la velocidad de atomización permaneció constante. Estas condiciones de operación fueron controladas de forma independiente de acuerdo a la programación automatizada del equipo. Los parámetros de operación del secador correspondieron a una temperatura de aire de secado a la entrada de 140-160°C, salida entre 75-95°C y velocidad del disco atomizador de 28000 RPM. Se realizó un diseño central compuesto con 11 tratamientos y tres repeticiones en el punto central. Las siguientes variables fueron medidas tanto para el desempeño global del proceso de secado y condiciones de calidad del producto seco obtenido (colorante en polvo):

Rendimiento del proceso. Se pesó la cantidad de producto obtenido en el secado y se dividió por el total de sólidos en la suspensión (Tonon *et al.*, 2008):

$$\text{Rendimiento del proceso} = \frac{\text{Total de sólidos finales}}{\text{Total de sólidos iniciales}} * 100$$

Porcentaje de material adherido a la superficie del secador. Se calculó con base en la diferencia del material de entrada y el material a la salida con la cantidad de producto que quedó adherido en el secador, en este caso no se consideró la pérdida de finos (despreciable) a través del ciclón (Tonon *et al.*, 2008).

Actividad de agua del producto seco (A_w). Se tomaron 3g de muestra y mediante un higrómetro de punto de rocío a 25°C (AquaLab -3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA) se midió su actividad de agua (Cortés *et al.*, 2007).

Contenido de humedad. De acuerdo a la metodología AOAC 925.45/97 (Ríos *et al.*, 2009).

Solubilidad. Se calculó según el método Eastman y Moore (2005) con algunas modificaciones. Se tomó 1 g en base seca de muestra de polvo, se realizó homogenización en 50 mL de agua destilada y se agitó en vórtex durante 30 segundos. La solución se colocó en un tubo y se centrifugó la suspensión a 3000 RPM por 5 minutos a temperatura ambiente (25°C). Se tomó una alícuota de 25 mL del sobrenadante, se transfirió a cajas Petri pesadas anteriormente y se secó en horno a 105°C por 5 horas. El porcentaje de solubilidad se calculó como la diferencia del peso inicial menos el peso final sobre el peso inicial (Cano, 2005; Li *et al.*, 2013).

Higroscopicidad. Se determinó mediante el método gravimétrico, colocando las muestras (5 g) en el interior de un frasco hermético con una atmósfera de humedad relativa constante, controlada con la presencia de una solución sobresaturada de KI (65 % a 20°C). Para verificar la condición de equilibrio muestra-ambiente, se determinó el peso de las muestras hasta alcanzar peso constante ($\Delta\text{peso} \cong \pm 0.001\text{g/g}$ muestra). La higroscopicidad se expresó en términos de % de humedad (base húmeda) (Arrazola *et al.*, 2014)

Medición de color. Se realizó según la metodología descrita anteriormente (CIE $L^*a^*b^*$ y h^0), realizando mediciones al producto en polvo y al producto en soluciones al 0,1% y 0,01%.

Cuantificación de curcumina en el producto en polvo. Se realizó mediante HPLC de acuerdo a la metodología citada previamente para el concentrado de curcumina.

Caracterización morfológica. La microestructura del producto seco fue evaluado por microscopía electrónica de barrido (SEM). El polvo se colocó en el portaobjetos del SEM utilizando cinta adhesiva de dos caras (Nisshin EM, Tokio, Japón) bajo un voltaje de aceleración de 20 kV después de haber recubierto la muestra con Pt-Pd atomizado por medio de un recubridor de pulverización catódica magnetrón MSP-1S (Dispositivo de vacío, Tokio, Japón) (Soottitantawat *et al.*, 2005).

El diseño central compuesto se optimizó mediante superficie de respuesta, a las condiciones de operación del secador por aspersión con dos factores: temperatura del aire a la entrada (140-160°C) y salida (75-95°C) manteniendo constante la velocidad del disco atomizador en 28000 RPM. El proceso se optimizó minimizando la higroscopicidad y maximizando la concentración de curcumina, debido a la no significancia estadística ($p > 0,05$) de las otras variables tales como contenido de humedad, actividad de agua del producto final, el porcentaje de material adherido a la superficie del secador, el color de curcumina, solubilidad y rendimiento del proceso de secado. El siguiente modelo polinómico generalizado de segundo orden fue usado para el análisis de superficie de respuesta (Bezerra *et al.*, 2008):

$$Y = \beta_0 + \beta_A A + \beta_B B + \beta_{A^2} A^2 + \beta_{B^2} B^2 + \beta_{AB} AB \quad (1)$$

Donde β_0 es una constante, β_A , β_B , β_C y β_D es el coeficiente de cada factor; β_{A^2} , β_{B^2} , β_{C^2} y β_{D^2} es el coeficiente de la interacción doble de cada factor; β_{AB} , β_{AC} , β_{AD} , β_{BC} , β_{BD} , β_{CD} es el coeficiente de producto de las interacciones de los factores).

Los resultados del diseño experimental fueron analizados mediante análisis de varianza ($p=0,05$), prueba de falta de ajuste, determinación de coeficientes de regresión y superficies de respuesta empleando el software Design Expert 8.0.

Resultados y Discusión

En la Tabla 3-1 se encuentran los parámetros fisicoquímicos evaluados para el extracto concentrado de curcumina formulado con maltodextrina, matriz considerada como vehículo

de secado. Los resultados de los reogramas muestran un valor para la viscosidad de $109,4 \pm 1,68$ mPa-s con un comportamiento típico de naturaleza Newtoniano y ajuste de $R^2 > 0,98$. Para la viscosidad, Cretu *et al.*, (2011) reportan valores más bajos (13,65 mPa-s), debido a que se analizó microemulsiones de aceite de linaza, tween 80, alcohol y curcumina, formulación para la cual la baja viscosidad se debe a la estructuración de la fase continua de las microemulsiones por las interacciones entre las moléculas.

El pH obtenido de 7,6 para la suspensión de secado es un pH alcalino, que corresponde a un color naranja con tendencia al amarillo, ya que según Vargas (2011) presenta un color café a pH ácido, de color amarillo a pH neutro y de color naranja a rojizo a pH alcalino y además es estable a pH neutro y básico.

Con relación al color, los parámetros para el extracto concentrado de curcumina formulado con maltodextrina fueron L: $26,83 \pm 0,37$ indicando la tendencia hacia tonalidades oscuras, h° : $51,81 \pm 0,91$, a^* de $26,34 \pm 0,54$ y b^* $33,51 \pm 1,80$, el ángulo h° y las coordenadas a y b muestran que el color está entre amarillo-naranja, característicos de curcumina y que coincide con los parámetros de color que se relacionan con el pH del extracto encontrados por Vargas (2011). Cretu *et al.*, (2011) reportaron valores para L de la solución y microemulsión con curcumina cercanos al blanco (90,54) y un ángulo h° de 91,58, valores más elevados que los mostrados en este estudio, debido a la presencia de aceite de linaza en la emulsión que incrementa los valores de luminosidad y además por el contenido de curcumina, que tiende más al amarillo pálido mientras que en este estudio son hacia amarillo naranja.

Los sólidos totales en la suspensión de secado fueron de 40,7%, valor que representa la contribución de sólidos por parte de la maltodextrina en la suspensión que alimenta al secador, y la relación de sólidos de curcumina con respecto a maltodextrina fue de 1:2; encontrándose en el rango recomendado por Vargas (2011), quien afirma que deben estar entre 30-50% para no tener bajos rendimientos de secado. La concentración de curcumina en el extracto concentrado fue de $17,53 \text{ mg/g} \pm 1,43$, el cual es menor que el obtenido por Vargas (2011), que encontró valores de 165,16 mg/g para oleorresina de cúrcuma. Por lo tanto, esto se explica porque en este estudio se inició con un contenido bajo de curcumina proveniente del extracto, ya que el extracto obtenido solo en el solvente orgánico el contenido de curcumina es muy bajo y este se desea elevado, entonces se debió concentrar el extracto mediante la técnica de rotoevaporación, obteniéndose así la concentración mencionada. En el estudio de la autora el valor de curcumina es mayor ya que el estudio se

realizó con una oleorresina y las oleorresinas tienen mayor concentración del componente colorante.

Tabla 3-1. Caracterización del extracto concentrado.

| Parámetro | Concentrado de curcumina |
|-------------------|---|
| Viscosidad a 25°C | 109,4 ± 1,68 mPa-s |
| pH | 7,6 ± 0,1 |
| Color | L: 26,83 ± 0,37, h°: 51,81 ± 0,91, a*: 26,34 ± 0,54 y b* 33,51 ± 1,80 |
| Sólidos totales | 40,72 ± 2,30 |

Según el análisis estadístico para el rendimiento del proceso, el material adherido al secador, solubilidad, contenido de humedad final, actividad de agua, parámetros de color (para producto en polvo, para la solución diluida al 0,1% y para la solución diluida al 0,01%), no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$). Por lo tanto, las temperaturas de secado no tuvieron influencia sobre estas variables. Sin embargo, los análisis estadísticos (Tabla 3-2) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la concentración de curcumina y la higroscopicidad indicando un alto valor del coeficiente de regresión ($R^2 > 0,97$) y faltas de ajuste no significativas ($p > 0,05$), mostrando los efectos que tienen significancia en el modelo correspondiente a la temperatura de entrada para higroscopicidad y concentración (β_A) y la interacción entre las dos temperaturas para concentración (β_{AB}), además se muestra en la tabla aquellos efectos significativos al 5%. Los resultados para cada una de las variables de respuesta se encuentran definidos (Tabla 3-3).

Tabla 3-2. Efectos principales del modelo de regresión polinómico para las variables higroscopicidad y concentración.

| Coefficientes de la regresión | Higroscopicidad (%) | Concentración mg/g |
|-------------------------------|---------------------|--------------------|
| β_0 | 6,05 | 1,71 |
| β_A | 0,022* | 0,013* |
| β_B | 5,14 | 0,87 |
| β_{AB} | 0,84 | 0,021* |
| β_A^2 | 0,019* | 0,77 |
| β_B^2 | 0,012* | 0,17 |
| R^2 | 0,8552 | 0,9393 |
| Modelo (p-valor) | 0,0368* | 0,048* |
| Falta de ajuste (valor de p) | 0,1471 | 0,0610 |

*Significativo al 5%

Tabla 3-3. Variables de desempeño del proceso y propiedades de calidad de extractos de curcumina secos obtenidos por secado por aspersión.

| Ensayo | Tin (°C) | Tout (°C) | Rendimiento (%) | Material adherido (%) | Humedad (%) | Aw | Solubilidad (%) | Higroscopicidad (%) | Concentración (mg/g) |
|--------|----------|-----------|-----------------|-----------------------|-------------|-----------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 140 | 95 | 89 | 0,74 | 3,38 ±0,00 | 0,24±0,02 | 98,10±0,00 | 12,74±0,00 | 4,92±0,27 |
| 2 | 140 | 85 | 95,88 | 0 | 3,21±0,00 | 0,27±0,02 | 98,11±0,00 | 10,99±0,00 | 4,76±0,49 |
| 3 | 150 | 95 | 86,16 | 0 | 2,79±0,00 | 0,19±0,03 | 97,86±0,00 | 11,22±0,00 | 5,32±0,40 |
| 4 | 150 | 85 | 96,89 | 0 | 3,12±0,00 | 0,18±0,00 | 97,98±0,00 | 11,03±0,00 | 5,40±0,22 |
| 5 | 160 | 85 | 78,63 | 0 | 2,16±0,00 | 0,23±0,00 | 98,24±0,00 | 10,63±0,00 | 5,17±0,50 |
| 6 | 150 | 75 | 75,8 | 2,75 | 2,41±0,00 | 0,23±0,00 | 98,16±0,00 | 10,36±0,00 | 6,23±0,14 |
| 7 | 150 | 85 | 81,94 | 7,14 | 2,17±0,00 | 0,24±0,01 | 98,13±0,00 | 10,72±0,00 | 5,49±0,31 |
| 8 | 140 | 75 | 61,96 | 9,86 | 3,16±0,00 | 0,27±0,00 | 98,15±0,00 | 9,47±0,00 | 5,44±0,26 |
| 9 | 160 | 75 | 83,49 | 0 | 2,94±0,00 | 0,18±0,00 | 98,15±0,00 | 10,39±0,00 | 5,54±0,05 |
| 10 | 150 | 85 | 85,03 | 0 | 2,09±0,00 | 0,20±0,00 | 98,09±0,00 | 11,17±0,00 | 5,43±0,34 |
| 11 | 160 | 95 | 88,97 | 0 | 1,87±0,00 | 0,17±0,00 | 98,06±0,00 | 11,82±0,00 | 4,70±0,36 |

El rendimiento para el proceso de secado varió entre 61,96 a 96,89% (Tabla 3-3) Arrazola *et al.*, (2014) reportaron valores de rendimiento hasta 90,74% para secado por aspersión de antocianinas los cuales son menores a los hallados en esta investigación, lo que puede explicarse a que la maltodextrina y el extracto concentrado de curcumina son hidrosolubles y tuvieron buena afinidad entre ellos, generando menos adherencia de sólidos a la superficie del secador, ya que a mayor cantidad de sólidos adheridos menor es el rendimiento y viceversa. Bhusari *et al.*, (2014) reportaron rendimientos de 46,5 a 76,23% para el secado de polvo de tamarindo con maltodextrina, mientras que Obón *et al.*, (2009) reportaron rendimientos del 58% para un colorante en polvo obtenido a partir de frutas de *Opuntia stricta* debido a las dificultades en la recolección de compuestos finos ya que no se depositan de manera eficiente en el ciclón.

El contenido de humedad del producto varió entre 1,38 y 3,38% (b.h), valores que están dentro de lo encontrado en varios estudios (Arrazola *et al.*, 2014; Obón *et al.*, 2009; Jittanit *et al.*, 2011). Bagchi (2012), reportó un valor de contenido de humedad del 5% para un polvo seco de cúrcuma, mayor que los valores encontrados en la presente investigación. Según Frascareli *et al.*, (2012) con el incremento en la temperatura de entrada existe un mayor gradiente de temperatura entre el aire y el producto a secar lo que permite una mayor transferencia de calor y masa, lo que favorece el incremento de la tasa de evaporación de agua y la disminución del contenido de humedad del producto final obtenido. Para la actividad de agua se observó que los valores de aw variaron entre 0,24-0,27, mostrando un comportamiento similar al contenido de humedad. Además, los valores obtenidos son similares a los reportados por Jittanit *et al.*, (2011) y Fang y Bhandari (2011), aspecto que le brinda estabilidad al producto frente a los microorganismos.

La solubilidad no mostró influencia significativa del factor temperatura y varió entre 97,86-98,24 mostrando una buena solubilidad, característica definida por la maltodextrina que

posee una solubilidad alta en soluciones acuosas, que para esta investigación se realizó la evaluación del polvo de curcumina en agua directamente. Valores similares de solubilidad han sido encontrados por Rivas (2010).

Los parámetros de color para el colorante en forma de polvo seco y diluido en medio acuoso (se realizaron en balones aforados de 100 mL a temperatura ambiente (25°C)) se encuentran reportados en la Tabla 3-4. El parámetro L corresponde a luminosidad (blanco o negro); para el polvo se encontró que el valor menor de luminosidad fue de 39,51, un color que tiende al negro, y el valor mayor de 57,77 hacia el blanco. El ángulo h^0 (tono o matiz) para el polvo (color amarillo/naranja) varió entre 58,38 y 68,54, los parámetros a^* y b^* , oscilaron entre 18,48-24,83 y 40,35-53,15, respectivamente. Para la luminosidad (L), los valores son menores que los reportados por Gómez et al., (2012) (62,1 para curcumina comercial), y similares los encontrados por Arrazola et al., (2014), que evaluaron antocianinas (41 y 56,2). Así mismo el valor del ángulo h^0 para el polvo es similar al valor de $h^0=62,6$ reportado por Gómez et al., (2012).

Para la solución diluida al 0,1%, el valor de L fue de 42,95-46,60 y el ángulo h^0 para la solución varió entre 93,28 y 96,61, los parámetros a^* y b^* estuvieron entre -2,41-4,51 y 40,14-42,89, respectivamente. Para la solución diluida a esta concentración, Gómez *et al.*, (2012) reportan valores de L para curcumina comercial de 87,6. La diferencia en el valor de L con respecto a este estudio radica en que estos autores hicieron la dilución en leche, por eso, la luminosidad tiende más hacia el blanco. Adicionalmente, estos mismos autores reportaron un valor del ángulo h^0 de 108,5 presentando una tonalidad hacia el amarillo mientras que en esta investigación tiene una tonalidad hacia el amarillo naranja. Para la solución diluida al 0,01%, los valores de L variaron entre 47,80-50,86 presentando valores mayores que la solución de 0,1% mientras que el ángulo h^0 mostró un aumento con respecto a la concentración de 0,1% (110,85-116,67), los parámetros a^* y b^* respectivamente fueron -3,63 -4,43 y 7,58-11,16. Este incremento en el parámetro L radica en que la luminosidad es mayor para soluciones diluidas, ya que hay más facilidad para el paso de luz a través de la muestra y además debido a la menor concentración de curcumina se tiende más hacia colores claros que colores oscuros; por otro lado con respecto a los parámetros a^* , b^* y el ángulo h^0 , estos son un indicador del tono, así por haber menos curcumina en la solución el color será un amarillo más pálido con menor intensidad de color.

Tabla 3-4. Parámetros de color para el colorante de curcumina en forma de polvo y diluido obtenido por el proceso de secado por aspersión.

| Ensayo | Tin (°C) | Tout (°C) | MEDIDA DE COLOR | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|-----------|-----------------|----------------|------------|------------|---------------------|----------------|------------|------------|---------------------|----------------|------------|------------|
| | | | En polvo | | | | En solución (0,1 %) | | | | En solución (0,01%) | | | |
| | | | L | h ⁰ | a* | b* | L | h ⁰ | a* | b* | L | h ⁰ | a* | b* |
| 1 | 140 | 95 | 39,51±1,35 | 58,38± 0,31 | 24,83±0,76 | 40,35±1,73 | 43,72±0,51 | 93,28±1,17 | -2,41±0,68 | 42,71±2,91 | 50,19±0,65 | 116,67±0,14 | -3,81±0,05 | 7,58±0,12 |
| 2 | 140 | 85 | 53,82±0,76 | 67,44±0,07 | 21,07±0,36 | 50,71±0,75 | 46,28±0,04 | 95,27±0,26 | -3,82±0,26 | 41,31±0,70 | 50,86±0,58 | 114,40±0,99 | -4,43±0,26 | 9,80±1,06 |
| 3 | 150 | 95 | 52,52±0,36 | 65,58±0,27 | 21,81±0,53 | 48,04±1,79 | 45,22±1,07 | 95,00±0,17 | -3,58±0,10 | 40,93±0,35 | 47,80±4,06 | 113,86±1,15 | -3,88±0,24 | 8,77±0,06 |
| 4 | 150 | 85 | 53,13±0,18 | 67,17±0,45 | 22,36±0,18 | 53,15±0,76 | 46,60±0,15 | 96,61±0,13 | -4,51±0,15 | 38,93±0,85 | 49,47±0,12 | 116,14±0,13 | -3,81±0,12 | 7,76±0,29 |
| 5 | 160 | 85 | 52,45±0,17 | 65,20±0,39 | 21,82±0,75 | 47,22±1,28 | 45,45±0,09 | 93,82±0,04 | -2,86±0,04 | 42,89±0,38 | 50,19±0,36 | 113,56±0,87 | -4,11±0,18 | 9,45±0,76 |
| 6 | 150 | 75 | 55,04±0,27 | 66,53±0,87 | 19,39±1,16 | 44,75±4,28 | 42,95±0,17 | 94,89±0,19 | -3,51±0,03 | 41,03±1,50 | 49,88±1,15 | 114,42±1,65 | -4,12±0,28 | ±9,13±1,28 |
| 7 | 150 | 85 | 56,73±2,39 | 67,46±0,33 | 19,02±0,65 | 45,80±0,86 | 45,53±0,18 | 94,25±0,18 | -3,05±0,11 | 41,12±1,65 | 50,40±0,94 | 113,87±0,61 | -3,95±0,05 | 8,92±0,37 |
| 8 | 140 | 75 | 57,77±0,14 | 68,54±0,40 | 19,06±0,40 | 48,50±1,39 | 45,18±0,21 | 94,78±0,21 | -3,41±0,21 | 40,76±0,44 | 48,89±1,64 | 113,27±0,35 | -3,80±0,10 | 8,83±0,30 |
| 9 | 160 | 75 | 56,79±0,30 | 68,05±0,23 | 18,48±0,36 | 45,87±0,47 | 43,67±0,15 | 94,02±0,15 | -2,88±0,16 | 41,04±2,94 | 49,26±1,03 | 112,16±0,30 | -4,02±0,11 | 9,88±0,43 |
| 10 | 150 | 85 | 55,39±2,40 | 67,52±0,46 | 18,97±1,16 | 45,91±3,81 | 43,62±0,29 | 94,24±0,29 | -3,05±0,27 | 41,21±1,25 | 49,62±0,74 | 112,61±1,46 | -3,63±0,46 | 8,81±1,66 |
| 11 | 160 | 95 | 56,46±0,15 | 67,82±0,35 | 19,28±0,37 | 47,28±0,19 | 45,75±0,14 | 94,31±0,15 | -3,02±0,06 | 40,14±0,69 | 49,29±2,58 | 110,85±0,51 | -4,25±0,18 | 11,16±0,77 |

La superficie de respuesta para aquellas variables que fueron significativas en este estudio: higroscopicidad y concentración de curcumina son dadas en la Figura 3-1. Se observa que los mayores valores de concentración de curcumina en el polvo se presentan para temperaturas de entrada de aire intermedias (150°C) y bajas temperaturas de salida de aire (75°C), indicando la mayor retención de curcuminoides a temperaturas de secado bajas (Figura 3-1a). Hay un efecto significativo de las temperaturas de secado en la concentración de curcumina en el polvo seco obtenido variando entre 4,92-6,23 mg/g (Tabla 3-3), por lo tanto, existe una degradación de la curcumina presente debido a los efectos térmicos del proceso. En el presente estudio, el análisis de curcumina se cuantificó mediante curcuminoides presentes en la muestra y se observó mayor porcentaje de retención para bajas temperaturas de secado a la entrada. Con estos resultados se evidencia que las condiciones térmicas del proceso de secado afectan y degradan la curcumina, presentando una disminución entre 35,53% y 28,06%, con respecto al contenido de curcumina inicial.

Para Ko *et al.*, (2015) la retención de curcumina en el material de pared se determina por la relación entre las moléculas de este con la curcumina; además la fuerza motriz que se da entre el material (maltodextrina) y la curcumina involucra fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas, así como también la contribución de los puentes de hidrógeno derivados de los grupos OH de la curcumina contribuye a que se dé menos degradación de la curcumina. Por otro lado, cuando las fuerzas intermoleculares del agente coadyuvante (maltodextrina) son mayores que las de la curcumina, el equilibrio de la suspensión se destruye y la capacidad de enlace de los compuestos de curcumina disminuye, incrementando así la degradación de curcumina ya que la relación entre curcumina y maltodextrina se hace menor y esta no actúa como agente protector. Chen *et al.*, (2014) estudiaron la degradación térmica de curcumina y sugieren que la degradación se da en dos etapas, la primera se da por la descomposición de grupos sustituyentes de curcumina y la segunda debido a la descomposición de los dos anillos bencénicos de curcumina. Para la concentración de curcumina en polvo, Molina *et al.*, (2013) estudiaron el contenido de curcuminoides en micropartículas secadas por aspersión que contenían extracto turmérico y encontraron que el contenido de ellas varió de 17,15 a 19,57 mg/g, más altos que los encontrados en esta investigación. Esta diferencia puede ser originada debido a que en este estudio se inició de una concentración de curcumina menor (17,53 mg/g).

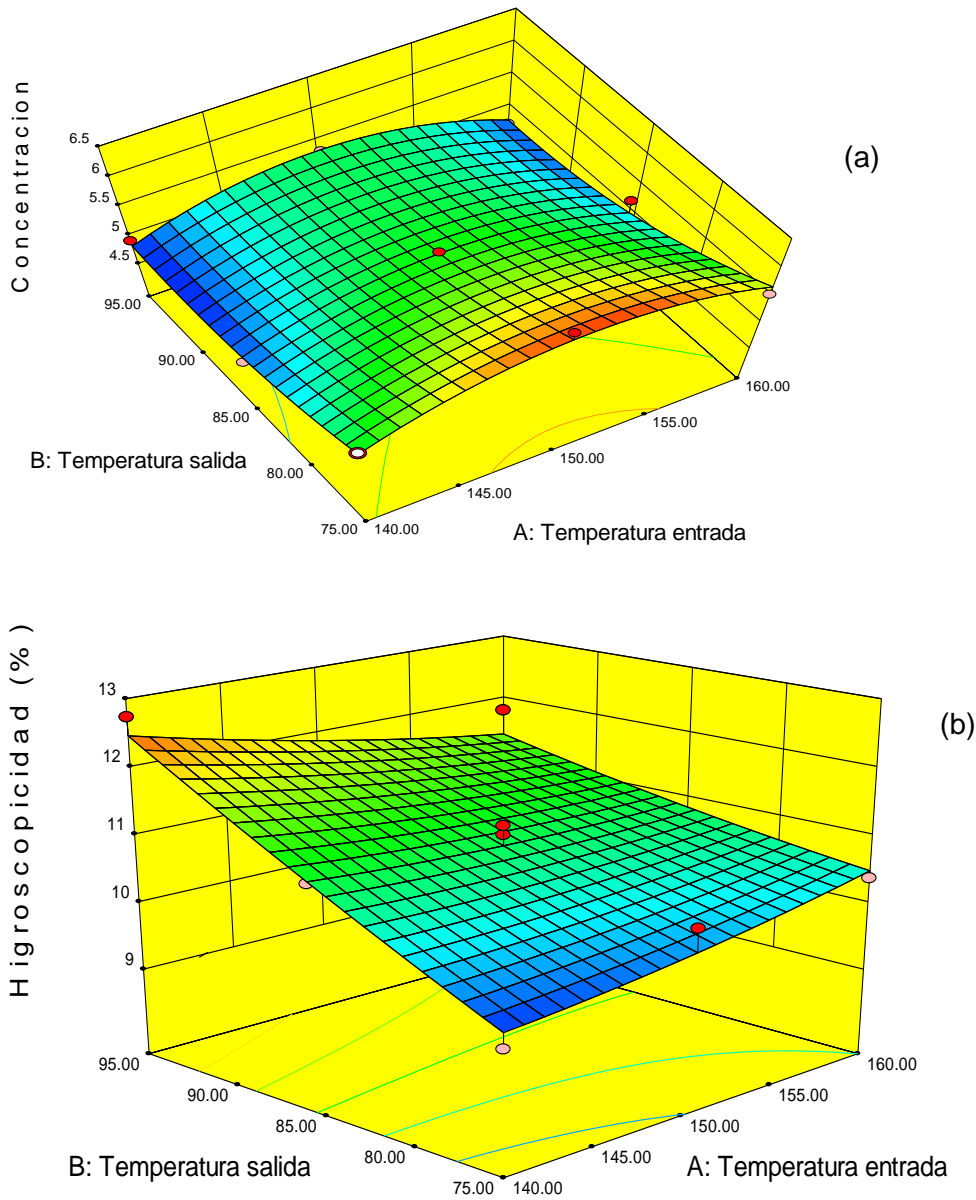


Figura 3-1. Superficie de respuesta para concentración de curcuminoides en el producto en polvo (a) e higroscopicidad (b).

Para la higroscopicidad, los valores más bajos se presentaron para temperaturas de entrada de aire entre 140-150°C y de salida de aire inferiores a 75°C (Figura 3-1b), ya que si se emplean altas temperaturas de secado se generan productos más secos que favorecen en condiciones de almacenamiento una absorción mayor de agua, para este caso se lograron bajos valores de higroscopicidad debido al uso de temperaturas de secado bajas (140-150°C).

De igual manera se observó que para bajas temperaturas de secado a la entrada, la higroscopicidad aumentó de forma considerable con el aumento de la temperatura de salida. La higroscopicidad del producto varió entre 9,47 y 12,74% (Tabla 3-3). Las altas temperaturas de secado hacen que el producto tenga menor contenido de humedad y sea más higroscópico porque absorbe mayor cantidad de agua, favoreciendo el gradiente de concentración del agua entre el producto y el aire (Arrazola *et al.*, 2014 y Tonon *et al.*, 2008). Los valores obtenidos son menores que los reportados por otros autores debido posiblemente a que se utilizó la maltodextrina como agente coadyuvante y esta posee baja higroscopicidad, y se le puede atribuir la disminución de esta en el producto en polvo (Valenzuela y Aguilera, 2015; Caparino *et al.*, 2012). Bhusari *et al.*, (2014), obtuvo valores en un rango de 16,61-28,96%, por tanto, la maltodextrina tiene un efecto positivo disminuyendo la higroscopicidad debido a que contribuye a que esta sea menos en el producto en polvo.

Para aplicación a nivel industrial y con el fin de encontrar las mejores condiciones de operación del proceso de secado por aspersión, fue realizado un proceso de optimización de secado (temperaturas del aire de entrada y salida) en función de las variables que mostraron efecto estadísticamente significativo: higroscopicidad y concentración. Se maximizó la concentración, ya que se desea que haya la mayor cantidad de curcumina en el polvo, y se minimizó la higroscopicidad que se requiere baja para tener un polvo en óptimas condiciones de almacenamiento. Las condiciones óptimas de secado obtenidas fueron: temperatura de entrada (149°C) y temperatura de salida (75°C), con una velocidad de atomización de 28000 RPM. Los valores encontrados validando el proceso a nivel experimental y comparados con el modelo obtenido gracias al Software Design Expert 8.0 se muestran en la Tabla 3-5, el modelo se empleó con el fin de validar la parte experimental del proceso y realizar una comparación con respecto a lo obtenido experimentalmente.

Se observa que para las variables rendimiento, solubilidad, higroscopicidad, concentración final de curcumina, para los parámetros L, h^0 , a^* y b^* del color en solución al 0,1% y los mismos parámetros para el color en solución al 0,01% el modelo teórico subpredice los valores a nivel experimental y sobrepredice los valores encontrados para las variables de material adherido, contenido de humedad final, actividad de agua, parámetros de color para el polvo: L, a^* , b^* y h^0 (Tabla 3-5). El polvo obtenido y sus respectivas diluciones obtenidas al 0,1 y 0,01% se muestran (Figura 3-2).

Tabla 3-5. Validación del modelo de secado.

| Variable | Experimental | Valor del modelo |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Rendimiento (%) | 80,45 | 73,30 |
| Material adherido (%) | 2,48 | 4,96 |
| Humedad (%) (b.h) | 2,63±0,02 | 2,89 |
| Aw | 0,175±0,00 | 0,218 |
| Solubilidad (%) | 98,15±0,02 | 98,07 |
| Higroscopicidad (%) | 11,71±0,03 | 9,97 |
| Concentración mg/g | 9,03 ±0,44 | 6,10 |
| Color polvo | L 53,93±0,31 | L 57,76 |
| | a* 18,63±0,10 | a* 18,60 |
| | b* 46,49±0,22 | b* 46,63 |
| | h ⁰ 62,87±0,26 | h ⁰ 68,31 |
| Color sln 0,1% | L 45,96±1,67 | L 43,68 |
| | h ⁰ 98,23±0,04 | h ⁰ 95,08 |
| | a* -3,54±0,34 | a* -3,57 |
| | b* 40,35±0,28 | b* 40,31 |
| Color sln 0,01% | L 50,98±0,46 | L 48,92 |
| | h ⁰ 117,88±0,36 | h ⁰ 113,56 |
| | a* *-3,84±0,57 | a* -3,98 |
| | b* 8,78±0,41 | b* 8,78 |

**Figura 3-2. (a) Polvo de curcumina en solución diluída al 0,1 y 0,01 %. (b). Polvo de curcumina óptimo**

En la Figura 3-3 se muestra el análisis por microscopía electrónica de barrido a diferentes aumentos. De acuerdo a los resultados, el polvo de curcumina posee una estructura microestructural compacta con una forma cercana a una esfera, con un tamaño de partícula estimado de 17,38 μ m (partículas que tienen mayor tamaño probablemente fue porque formaron agregados) en algunos casos las esferas son corrugadas, sin evidencia de esferas fragmentadas, indicando una estructura adecuada para el producto final. Además que son de diferentes tamaños, característicos de polvos obtenidos por secado por aspersión. Cabe resaltar, que en la microestructura no se observó algún tipo de superficies con poros, ya que estos son indeseables debido a que permite la permeabilidad de gases como el oxígeno.

Gómez *et al.*, (2012) muestran estructuras ligeramente similares para curcumina encapsulada con zeína de maíz.

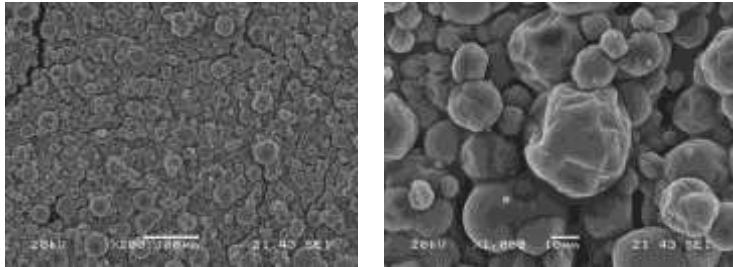


Figura 3-3. Microscopías electrónicas de barrido para el polvo de curcumina

Conclusiones

El polvo de curcumina es un colorante significativamente termosensible dependiente de las condiciones de operación del proceso de secado por aspersión (temperaturas) por lo cual se requiere de un agente que establezca condiciones de protección que minimicen los procesos de degradación de los compuestos químicos activos del producto.

La higroscopicidad y concentración son altamente dependientes de la temperatura de secado, la primera debido a la presencia de maltodextrina que al ser poco higroscópica contribuyó a la disminución en el valor de esta variable y la segunda se ve afectada debido a que las condiciones propias del proceso que provocaron su degradación.

Agradecimientos

A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, a la empresa TECNAS S.A y COLCIENCIAS por su aporte al desarrollo de este trabajo y por la financiación de esta investigación

Referencias

Arrazola, G.; Herazo, I.; Alvis, A. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. *Información Tecnológica*, 25, pp.31-42, 2014.

Bagchi, A. (2012). Extraction of Curcumin. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 1, pp.01-16, 2012.

Bezerra, M.A.; Santelli, R.E.; Oliveira, E.P.; Villar, L.S.; Escaleira, L.A. (2008). Response surface Methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76, pp.965-977, 2008.

Bhusari, S.; Muzaffar, M.; Kumar, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, pp.354–364, 2014.

Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.C.; Ramos, A.M.; Cal-Vidal J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, pp.420–428, 2005.

Caparino, O.; Tang, J.; Nindo, C.; Sablani, S.; Powers, J.; Fellman, J. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder *Journal of Food Engineering*, 111, pp.135–148, 2012.

Chen Q, McGillivray D, Wen J, Zhong F, Quek S. Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. *J Food Eng*, 117, pp.505–512, 2013.

Chen, Z., Xia, Y., Huang, Y., Li, Y., He, Y., Tong, Z., Li, B. Thermal degradation kinetics study of curcumin with nonlinear methods. *Food Chemistry*, 155, pp.81–86, 2014.

CIE. Technical Report Colorimetry. Third Edition. Viena, Austria, pp. 68, 2004.

Cortés, M.; Guardiola, L.F.; Pacheco, R. Aplicación de la ingeniería de matrices en la fortificación de mango (var. Tommy Atkins) con calcio. *Dyna*, 74, pp.19-26, 2007.

Cretu, R.; Dima, C.; Bahrim, G.; Dima, S. Improved solubilization of curcumin with a microemulsification formulation. *Food Technology*, 35, pp.46-55, 2011.

Fang, Z.; Bhandari, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129, pp.1139–1147, 2011.

Frascareli, E.; Silva, V., Tonon, R.; Hubinger, M. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and bioproducts processing*, 90, pp.413–424, 2012.

Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A.; Saure, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40, pp.1107–1121, 2007.

Gomez, J.; Balaguer, M.; Gavara, R.; Hernández, P. Formation of zein nanoparticles by electrohydrodynamic atomization: Effect of the main processing variables and suitability for encapsulating the food coloring and active ingredient curcumin. *Food Hydrocolloids*, 28, pp.82-91, 2012.

HunterLab. CIE L* a* b* Color scale: Insight on Color. Applications Note, 8, pp.1-4, 2007.

ICONTEC. Instituto Colombiano de Norma técnicas y certificación. Microbiología de alimentos y productos para alimentación animal. Requisitos generales y directrices para análisis microbiológicos. Norma Técnica Colombiana NTC 4092, pp.1-58, 2009

Jittanit, W.; Chantara, M.; Deying, T.; Ratanavong, W. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrina and Arabic gum as adjuncts. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, 33 pp.33-41, 2011.

Ko, W.; Chang, C.; Wang, H.; Wang, S.; Hsieh, C. Process optimization of microencapsulation of curcumin in γ -polyglutamic acid using response surface methodology. *Food Chemistry*, 172 pp.497–503, 2015.

Li, B.; Konecke, S.; Wegiel, L.; Taylor, L.; Edgar, K. Both Solubility and chemical stability of curcumin are enhanced by solid dispersion in cellulose derivative matrices. *Carbohydrate Polymers*, 98 pp.1108– 1116, 2013.

Molina, R.; Vieira, S.; Siqueira, S.; Fioaravante, W.; Pedro, L. Curcuminoid content and antioxidant activity in spray dried microparticles containing turmeric extract. *Food Research International*, 50, pp.657–663, 2013.

Obón, J.; Castellar, M.; Alacid, M.; Fernández, J. 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, pp.471–479, 2009.

Paramera, E.; Konteles, S.; Karathanos, V. Stability and release properties of curcumin encapsulated in *Saccharomyces cerevisiae*, β -cyclodextrin and modified starch. *Food Chemistry*, 125, pp.913–922, 2011.

Ríos, E.; Duque, A.; León, D. Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de *Cúrcuma* (*cúrcuma longa* L.) cultivada en el departamento del Quindío. *Revista Investigación Universidad del Quindío*, 19, pp.18-22, 2009.

Rivas, C. Microencapsulación y estabilización enzimática del jugo de Chirimoya (*Annona cherimola* Mill) [Tesis de Maestría]. México, D.F: Instituto Politécnico Nacional, 2010.

Shaikh, J.; Bhosale, E.; Singhal, R. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chemistry*, 94, pp.105–110, 2006.

Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., Linko, P. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated d-limonene by spray drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, pp.107– 114, 2005.

Tonon, R.; Brabet, C.; Hubinger, M. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88, pp.411–418, 2008.

Tonon, R.; Grosso, C.; Hubinger, M. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44, pp.282-289, 2011.

Valenzuela, C.; Aguilera, J. Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 144, pp.1–9., 2015.

Vargas, S. Caracterización De La Oleorresina De *Cúrcuma* Encapsulada Con Fructanos De *Agave angustifolia* Haw: Capacidad Antioxidante Y Absorción [Tesis de Maestría]. México, D.F: Instituto Politécnico Nacional: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, 2011.

INSTRUCCIONES PARA NUESTROS COLABORADORES - REVISTA DYNA

La **Revista DYNA** es una revista fundada en 1933, editada en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; como una publicación científica del área de las ciencias tecnológicas, reconocida como el medio de expresión de trabajos originales en el área de ingeniería, ciencias y tecnología; contribuyendo a la divulgación y el desarrollo del conocimiento. Con una circulación bimensual, DYNA publica principalmente artículos originales de investigación científica y desarrollo tecnológico, artículos de reflexión sobre un problema o tópico particular y artículos de revisión que brindan una perspectiva general del estado de un dominio específico de la ciencia y la tecnología. También tienen cabida notas y comunicaciones, así como discusiones sobre asuntos particulares de la temática cubierta por la revista: Tecnología, Ciencias e Ingeniería. Todos los artículos publicados se someten a revisión de pares o árbitros, de reconocida idoneidad en el tema.

La presentación de un artículo debe ir acompañada de una **Carta de Presentación**, solicitando su publicación en la revista, declarando que el artículo es aprobado por todos los autores, que no ha sido publicado o sometido a consideración en otra publicación o revista similar. Si el artículo ha sido publicado en otro medio de diferente alcance divulgativo como memorias de seminarios, periódicos, separatas, etc., deben especificarlo y justificar su posible publicación en DYNA. Finalmente en la carta se les solicita: recomendar posibles evaluadores (2 nacionales y 2 internacionales) para el artículo presentado y dar su consentimiento de que en caso de que se publique su artículo los autores podrán servir de evaluadores en el caso de ser requeridos; de ser necesario adjuntar copias de los permisos para reproducir material ya publicado.

El envío de los artículos y de la Carta de Presentación se hace a través del Sistema Open Journal System (OJS) de la Biblioteca Virtual UN (Ingresar a través de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/user>).

DYNA publica en sus ediciones: Editorial, Artículos de Investigación, Ensayos, Comunicaciones Breves e Imágenes Diagnósticas. La revista publica artículos sobre las siguientes áreas:

- Ingeniería de la Organización**
- Ingeniería Mecánica**

- **Ingeniería Civil**
- **Ingeniería de Materiales y Minerales**
- **Geociencias y Medio Ambiente**
- **Ciencias de la Computación y de la Decisión**
- **Procesos y Energía**
- **Energía Eléctrica y Automática**
- **Ingeniería y Biotecnología**
- **Otros relacionados con Ingeniería**

Todo lo publicado se considerará propiedad de DYNA y solo podrá ser reproducido total o parcialmente con el permiso expreso del director. Para los artículos publicados en DYNA, la Revista asume los derechos exclusivos para editar, publicar, reproducir, distribuir copias, preparar trabajos derivados en papel, en la versión electrónica (CD-ROM), en Internet, así como otros formatos electrónicos que surjan en el futuro e incluir el artículo en índices nacionales e internacionales o bases de datos; aceptando los autores de los artículos éstas y otras formas de divulgación virtual o digital.

DYNA asume para la publicación de los artículos normas internacionales como ISI, Vancouver y Harvard con las especificaciones que se detallan más adelante.

TIPOS DE SECCIONES

Los autores que deseen colaborar en alguna sección de la revista pueden enviar sus aportes a través del sistema OJS, que será notificado vía e-mail al autor; entendiéndose que ello no implica la aceptación del trabajo. El Comité Editorial podrá rechazar, sugerir cambios o llegado el caso, realizar modificaciones en los textos recibidos; en este último caso, no se alterará el contenido científico, limitándose únicamente al estilo literario. Los criterios que se aplicarán para valorar la aceptación de los artículos serán el rigor científico metodológico, novedad, trascendencia del trabajo, concisión expositiva y calidad literaria del texto. La revista publicará en cada número una o varias de las siguientes secciones:

1. Editorial

Trabajos escritos por encargo del Comité Editorial, o bien, redactados por alguno de sus miembros. Su extensión no debe ser superior a 6 páginas, escritos a doble espacio; la bibliografía si la hay, no debe contener más de 10 citas. Esta editorial debe ser puesta a consideración del Comité Editorial para su aprobación final.

2. Cartas al Editor

Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité Editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema, por parte de la comunidad científica de referencia.

3. Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

Tendrán tal consideración aquellos trabajos, que versen sobre resultados de investigaciones en ingeniería, dentro de las áreas definidas con anterioridad. Deben tener la siguiente estructura generalmente utilizada: Introducción, Metodología, Resultados y Conclusiones. No debe superar 30 citas bibliográficas.

4. Artículos de Reflexión

Presentan resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre temas específicos en un área de ingeniería y dentro de las áreas definidas anteriormente, recurriendo a las fuentes originales. No debe superar 10 citas bibliográficas.

5. Artículos de Revisión

Documentos resultados de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre el campo de ingenierías, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo de los temas citados anteriormente. Presentan una cuidadosa revisión bibliográfica, alrededor de 50 referencias.

6. Comunicación Breve y Reseñas

Esta sección permite publicar artículos breves, con mayor rapidez. Facilita que los autores presenten observaciones, resultados iniciales de investigaciones en curso, revisiones de libros e incluso realizar comentarios a trabajos ya publicados en la revista. El texto no debe superar 10 citas bibliográficas.

7. Imagen diagnóstica. (Reporte de Casos)

En esta sección se presentan casos singulares en los que la imagen sea resolutoria. Para ello, se aportarán una, o como máximo dos imágenes, o casos diagnósticos, de cualquier rama de la ingeniería y acompañada de un breve comentario en relación con el caso. La extensión del comentario no será menor a 15 líneas escritas a espacio sencillo. Esta página se remitirá junto a otra, con la

información del autor o autores que se detalla más adelante en presentación de trabajos.

8. Traducciones

Se presentan traducciones de textos clásicos, o de actualidad, o transcripciones de documentos históricos o de interés particular en el dominio de publicación de la revista.

9. Noticias de Eventos

Incluirá breve información que anunciará eventos relacionados con la ingeniería. No tiene ningún costo.

PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS

Acompañado de la Carta de Compromiso, el artículo se presentará a través del Sistema Open Journal System – OJS, de la Biblioteca Virtual de la UN (en la página Web, ir a Envío de Artículos).

1. Los autores remitirán sus artículos a través del Sistema **Open Journal System (OJS)**, ingresando según las instrucciones que encuentran en **Envío de Artículos** y adicionalmente acompañar con la Carta de Presentación, que pueden redactar de acuerdo con el modelo presentado en:
2. El artículo debe ser inédito y no puede someterse simultáneamente al examen de otras revistas o publicaciones periódicas.
3. La extensión máxima de los artículos será de 10 páginas a espacio sencillo, en castellano o en inglés, en papel tamaño carta. Incluye en ellas el Resumen en castellano (RESUMEN) y en inglés (ABSTRACT), ambos de máximo 150 palabras y las "Palabras Clave" también en castellano e inglés (Keywords). Los artículos NO pueden ser notas de clase y cuando se trate de una traducción o del uso de material protegido por "Derechos de propiedad intelectual" deberá contar con las debidas autorizaciones de los autores.
4. Todo artículo se someterá a la evaluación de dos jurados, designados por el Comité Editorial. Las excepciones a este requisito serán decididas por tal Comité.
5. Respecto a **gráficas, tablas y figuras**, éstas deberán procesarse como "**objetos**" (para facilitar la edición); puede utilizarse el programa que se

deseo. Debe enviarlas en formato de imagen (JPG, GIF, BMP, etc.), en blanco y negro o tonos de gris, evitando las policromías.

6. Las **figuras** que no estén en medio electrónico, se presentan en fotografía o **papel albanene y tinta china**.

7. Si el texto incluye **fotografías**, se recomienda su presentación en blanco y negro, mate, con buen contraste. Las fotografías se deben montar en hojas del mismo tamaño del texto. En los demás aspectos el tratamiento es similar al de las figuras.

8. La presentación del artículo estará de acuerdo con los artículos de este número. No se admiten "**pie de página**" por razones de diagramación de la revista.

9. Al pie del título del artículo debe incluirse el nombre del autor (o autores), su identificación profesional o filiación institucional, su dirección postal y electrónica (e-mail).

10. Las referencias deberán ir al final con el siguiente formato:

Artículos de revistas:

Alien, J. S., Samuelson, R. and Newberger, A. Chaos in a model of forced quasi-geostrophic flow over topography: An application of Melnikov's method, *J. Fluid Mech.*, No. 226, pp. 511-547, 1991.

Libros:

Baker, G. L. and Golub, J., *Chaotic Dynamics: An introduction*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Capítulo de libro:

Lewis, P., Ray, B. and Stevens, J.G. Modeling time series by using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), En: *Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past* (Eds. A.S.Weigend y N. A. Gershenfeld), SFI Studies in the Science of Complexity, Proc. Vol. XV, Addison-Wesley, pp. 297-318, 1994.

Memorias de congresos:

Álzate, N., Botero, T. y Correa, D. Título de la Ponencia. Memorias XIX Congreso Latinoamericano de Ponencias Científicas. Córdoba, Argentina, Tomo II, pp. 219-228, Octubre 2000.

Reporte de un organismo o Gobierno:

U.S. EPA. Status of Pesticides in Registration and Special Review. EPA 738-R-94-008. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1994

Tesis:

Jacobs J. Regulación of Life History Strategies within Individuáis in Predictable and Unpredictable Environments [PhD Thesis]. Seattle, WA: University of Washington, 1996.

Referencias de Internet:

NOAA-CIRES. Climate Diagnostics Center. Advancing Understanding and Predictions of Climate Variability. Available: <http://www.cdc.noaa.gov> [citado 8 de Agosto de 1998].

Datos no publicados:

Apellido, N. Datos no publicados

Comunicación Personal:

Apellido, N. Comunicación personal

OTRAS CONSIDERACIONES

DYNA no cobra por publicar los artículos aprobados, ni paga a los pares evaluadores, por tanto con el fin de agilizar y garantizar procesos de evaluación rápidos y competentes, adopta como estrategia solicitar a los autores que han publicado en la revista, su disponibilidad a evaluar un artículo en caso de ser requerido. De igual forma se adopta como practica que, en el caso de autores que someten varios artículos y no colaboren como evaluadores, se les informará sobre el aplazamientos de su proceso de evaluación hasta recibir una respuesta sobre su disponibilidad en el proceso

El autor siempre conservará una copia del trabajo. A cada manuscrito luego de sometido al proceso de evaluación por pares seleccionados, el Comité Editorial decidirá o no su publicación y sugerirá posibles modificaciones cuando lo crea oportuno. Todo este trámite será lo más breve posible.

El Comité Editorial de la Revista acusará recibo de los originales e informará al autor sobre su aceptación, mediante comunicaciones vía correo electrónico, a través del Sistema Open Journal System.

La redacción de la revista pondrá el máximo cuidado en evitar errores en la transcripción definitiva de los artículos a publicar, no obstante no se responsabiliza de los errores que puedan aparecer. Si los autores detectaran errores importantes deberán dirigirse cuanto antes a la redacción para realizar una fe de erratas en el siguiente número de la revista.

La redacción se reserva el derecho de realizar pequeñas adecuaciones en los títulos de los artículos, así como rectificaciones menores en la redacción, en las traducciones, Resúmenes y Abstracts; aunque la política general que se seguirá será la de consultar a los autores sobre estas cuestiones.

Lista preliminar para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envíos, los autores están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El Artículo no ha sido previamente publicado en otro medio. Y no ha sido remitido simultáneamente a otra publicación.
2. El Archivo enviado está en formato Microsoft Word.
3. Todas las URLs en el texto (p.e., <http://pkp.sfu.ca>) están activas y se pueden pinchar.
4. El texto tiene interlineado sencillo; el tamaño de fuente es 10 puntos; todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final del texto.

5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Una vez aceptado el artículo para publicar, los autores consentimos servir como evaluadores de otros artículos en nuestra área de conocimiento, en caso de ser requeridos.

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

4. Capítulo: Thermal and thermodynamic characterization of a dye powder obtained from liquid turmeric extracts by spray drying

Abstract

This study aimed to evaluate the thermodynamic properties: sorption isotherms and glass transition temperature (T_g), and the thermal properties of a dye powder obtained from turmeric extracts using spray drying. The sorption isotherms were evaluated at 15, 25 and 35°C using the dynamic gravimetric method wherein the isotherm data of the experiment were adjusted to GAB and BET models. Likewise, the glass transition temperature was measured with differential scanning calorimetry (DSC). A thermal gravimetric analysis (TGA) was used to determine the mass loss, and the thermal properties (specific heat, diffusivity and thermal conductivity) by transient method. The results demonstrated that the GAB model had the best fit with a type III sigmoid curve. The DSC analysis presented a glass transition temperature of 65.35°C and a loss of volatiles at 178.07°C. The TGA analysis indicated a considerable mass loss starting at 193°C, resulting in degradation of the product. The thermal properties demonstrated a specific heat value of 2.45 J/g°C, a thermal conductivity of 0.164 ± 0.001 W/mK and a thermal diffusivity of $8.7 \cdot 10^{-8} \pm 0.000$ m²/s. It's possible to conclude that the curcumin powder is stable for storage.

Keywords: sorption isotherms, turmeric powder, glass transition temperature, heat capacity, TGA analysis.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar las propiedades termodinámicas por isoterms de sorción, temperatura de transición vítrea (DSC), y propiedades térmicas del colorante en polvo obtenido a partir de extracto de cúrcuma usando secado por aspersión. Se evaluaron las isoterms de sorción a 15, 25 y 35°C mediante el método gravimétrico dinámico donde los datos experimentales de las isoterms se ajustaron a un modelo de GAB y BET. Así mismo, la temperatura de transición vítrea mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis TGA para determinar pérdida de masa y propiedades térmicas (calor específico, difusividad y conductividad térmica) fueron evaluadas por el método transitorio. Los resultados mostraron que el modelo que mejor se ajustó fue el modelo de GAB con una curva sigmoidea del tipo III. El análisis DSC mostró una temperatura de transición vítrea de 65,35°C y una pérdida de volátiles a 178,07°C. El análisis TGA indicó una pérdida de masa considerable a partir de 193°C, observando degradación del producto. Las propiedades térmicas mostraron un valor para el calor específico de 2,45 J/g°C, conductividad térmica de 0,164 ±0,001 W/mK y difusividad térmica de 8,7*10⁻⁸ ±0,000 m²/s. Es posible concluir que el polvo de curcumina es estable frente al almacenamiento

Palabras clave: Isoterms de sorción, polvo de curcumina, temperatura de transición vítrea, capacidad calorífica, análisis TGA.

INTRODUCTION

Turmeric is a natural polyphenol with an orange-yellow color and is found in the rhizome of the *Curcuma longa* plant and is used as a dye in the food and textile industries and as a potential protective agent against illnesses such as cancer, HIV infection, neurological disorders, and cardiovascular and skin diseases. It possesses antioxidant, anti-carcinogenic, and anti-inflammatory properties. This bush can reach one meter in height; its roots present a very pronounced orange-yellow interior color. Some turmeric applications have been limited by its sensitivity to alkaline conditions, thermal treatments, light, metal ions, enzymes, oxygen and ascorbic acid, demonstrating its low bioactivity. Turmeric is yellow in an acidic medium (pH 2.5-7) and red in a basic medium (pH>7) (Li *et al.*, 2013; Paramera *et al.*, 2011).

Food systems contain transitory phases due to physical, chemical and biological changes resulting from temperature and pressure effects. Water is a relevant factor because it affects the physical properties of products; in this way, a relationship can be established between the available water in the food and its preservation through water activity, which can be defined as the relative humidity that is in equilibrium with the product at the same temperature. The study of water activity is related to sorption isotherms. The sorption isotherms relate the balanced moisture content and the balanced relative humidity to a fixed temperature. In accordance with the fixed relative humidity, the product can absorb or lose moisture in accordance with the vapor pressure of the medium. In this case, the products can experience two phenomena: absorption or release, according to the moisture content (Chen and Chen, 2014).

Water is the principal component of agrofood and is a commercial and quality parameter (LeBail *et al.*, 2003; Figueira *et al.*, 2004). One of the more important transitions in the case of powders obtained with spray drying corresponds to first and second order phase changes, where the glass transition temperature is an important factor. A product obtained with spray drying can be considered as a non-crystalline material; it can exist in the glass state or in the super-cooled liquid state.

The glass transition temperature corresponds to a change in the flexibility of the sample (glassy state to rubbery state) in a range of temperatures; the material is more fragile and glass-like when under the glass transition temperature and more flexible when above this temperature. The importance of the glass transition temperature can be seen in this relationship with stability and the shelf-life of the powdered product. It is essential to know the T_g in order to ensure that the system is maintained under said temperature, thereby avoiding a negative influence on the physical stability of the product and maintaining the product in suitable conditions in order to decrease deterioration of the product and to increase its shelf-life. The presence of water decreases the T_g to a temperature that is close to and below the storage temperature, making it necessary to know the moisture absorption of the material during storage (LeBail *et al.*, 2003; Hernandez *et al.*, 2011; Carter *et al.*, 2012).

Little reported information exists for the thermodynamic characterization of turmeric although there are studies that have evaluated the glass transition temperature and that have carried out TGA analyses on spray drying processes (Laczkowski and, Sousdaleff, 2013; Cano *et al.*, 2015; Goula *et al.*, 2008)). Knowledge of these properties, characteristics, and behaviors is important because it provides information

on the mechanics of absorption and the interaction between the food components and the food moisture, which are of vital importance to the storage, stability, and/or shelf-life of the product (Ayala, 2011).

Due to the above, this study aimed to evaluate the thermal and thermodynamics properties of the dye powder obtained from liquid turmeric extracts using spray-drying technology.

MATERIALS AND METHODS

Production of the drying suspension. The drying suspension was prepared using a concentrated extract of turmeric (TECNAS, S.A.), maltodextrina (DE 10) (TECNAS, S.A.) and water. The concentrated turmeric extract was obtained with a glycerin mixture and rotoevaporation at 50°C and 90 RPM, stored under refrigeration at 4°C in darkness. The curcumoid concentration was measured in the extract using high performance liquid chromatography (HPLC). In addition, the physicochemical characterization of the suspension was carried by determining the pH, viscosity, total solids and CIELAB scale color with D65 and a 10° observation angle with spherical spectrophotometry (X-RITE SP – 60). The experiments were carried out in TECNAS S.A and control quality laboratory from National University of Colombia.

Spray drying process. The suspension was mixed with maltodextrin (DE 10) and water and homogenized at 7400 RPM for 2 minutes (Chen *et al.*, 2013). A VIBRASEC completely automatic spray dryer was used with an evaporative capacity of 1.5 Lh⁻¹. The regulated systems included atomization speed, drying air temperature (inlet and outlet), air flow rate, feed flow into the dryer and feed temperature. The drying conditions were established according to a previous statistical optimization: inlet air temperature (149°C), outlet air temperature (75°C), and atomization speed of 28000 RPM.

Sorption isotherms. In order to define the sorption isotherms, the gravimetric method was used. 2 g of the powder were placed in an Aqualab VSA1020 Decagon, with a relative humidity of 10 to 90% at temperatures of 15, 25 and 35°C, which were carried out in triplicate. The experiment data were fitted to BET (Brunauer, Emmett and Teller)

and GAB models (Guggenheim, Anderson and de Boer). The following equations were used to represent the two models (Figueira *et al.*, 2004; Furmaniak *et al.*, 2007; Sinija and Mishra, 2008; Ceballos *et al.*, 2009; Perdomo *et al.*, 2009; Ayala, 2011; Djendoubi *et al.*, 2012):

$$\text{BET Model } W_e = \frac{X_m C a_w}{(1-a_w)(1+(C-1)a_w)} \quad \text{Equation (1)}$$

$$\text{GAB Model } W_e = \frac{X_m C K a_w}{(1-K a_w)(1+(C-1)K a_w)} \quad \text{Equation (2)}$$

Where W_e corresponds to the moisture content, X_m is the monolayer moisture content, C corresponds to the constants of the BET and GAB models, K is a constant for the GAB model and a_w is the water activity. The best fit was defined by the highest value of R^2 and the lowest values of X^2 and E_{RMS} (Demir *et al.*, 2004; Goyal *et al.*, 2006; Ayala, 2011).

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R,exp,i} - M_{R,pre,i})^2}{N-z} \quad \text{Equation (3)}$$

$$E_{RMS} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{R,exp,i} - M_{R,pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Equation (4)}$$

Where $M_{R,exp,i}$ and $M_{R,pre,i}$ are the calculated and experiment values for each moisture models, N corresponds to the number of experiment data and z is the number of constants of each model.

Equation (5) was used to find the thermodynamic properties (Equation of Clausius-Clapeyron) for the liquid vapor balance at the temperature and pressure of the experiment data (Yana *et al.*, 2008; Bell and Labuza, 2000). With this equation, it was possible to calculate the change in enthalpy for the different moisture levels associated with the processes of sorption.

$$\ln P = -\frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + Cte \quad \text{Equation (5)}$$

$$P = P_w^0 a_w \quad \text{Equation (6)}$$

Where P corresponds to the water vapor pressure in balance with the material at a determined temperature, P_w^0 corresponds to the water vapor pressure at a defined temperature, and a_w corresponds to the water activity.

Gibbs free energy (ΔG) and the differential change entropy (Δs) were also calculated:

$$\Delta H = \Delta H_V + Q_s \quad \text{Equation (7)}$$

$$\Delta G = RT \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) = RT \ln(a_w) \quad \text{Equation (8)}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad \text{Equation (9)}$$

Where ΔH corresponds to the differential adsorption heat (kJ/mol), ΔH_V is the latent heat (kJ/mol), Q_s corresponds to the net sorption heat (kJ/mol), R corresponds to the universal constants of the gasses 0.008314 kJ/mol K, ΔG is Gibbs free energy (kJ/mol), a_w is the water activity, ΔS is the change in entropy (kJ/mol) and T the temperature.

Differential scanning calorimetry (DSC) analysis. The glass transition temperature (T_g) was determined using differential scanning calorimetry (DSC), Q2000-TA Instruments, calibrated with indium, in a nitrogen atmosphere (50mL/min flow speed) with a temperature range of 20 to 300°C at a rate of 10°C/min. The samples were hermetically sealed in an aluminum pan with approximately 8mg of sample. The reference was an empty aluminum pan. The thermogram was obtained for the sample and the T_g was taken as the starting point of the change in the heat flow curve (Cheng *et al.*, 2013; Enrione *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2013; Sablani *et al.*, 2007).

Thermogravimetric analysis (TGA). The possible mass lost was quantified using a thermobalance Linseis STA PT1600. For this, the powder was placed in ceramic capsules with approximately 10mg of sample in a nitrogen atmosphere (50mL/min), from the environment temperature up to a temperature of 300 °C with a heating rate of 10°C/min (Laczkowski and Sousdaleff, 2013).

Thermal properties. The thermal properties were obtained with a KD2-Pro (Decagon Devices, Inc., USA) with a SH-1 sensor in order to measure the thermal conductivity (k) and the thermal diffusivity (α), which were provided directly to the measuring system. The heat capacity value was determined as a function of the classic definition (Onita and Ivan, 2005; Bergeron *et al.*, 2012; Perusello *et al.*, 2013), where the density (ρ) of the powdered product was quantified with pycnometry:

$$Cp = \frac{k}{\rho\alpha} \quad \text{Equation (10)}$$

RESULTS AND DISCUSSION

Sorption isotherms. Figure 4-1 presents the experiment sorption isotherms and how they were fit to the BET and GAB mathematical models, with relate the water activity to the moisture content of the turmeric powder. The experiment data described a sigmoid type III curve for the water activity range of the present study, which was characteristic of systems that contain water-soluble compounds such as sugars (maltodextrin). This type of behavior has also been observed by Ceballos (2009), who studied sorption isotherms in dehydrated soursop powder, by Cano *et al.*, (2013) in mango powders obtained with spray drying, and by Gabas *et al.*,(2007) in pineapple pulp powder.

Figure 4-1 shows that the moisture content of the product increased with the water activity, a behavior that, according to Ayala (2011), is common in many food types. The results demonstrated that, for a specific water activity value, the temperature increase contributed to the decrease of the moisture content of the product, which was related to the hygroscopicity of the powder, which decreased at higher temperatures (Sinija and Mishra, 2008; Ayala, 2011; Cano *et al.*, 2013).

Vega *et al.*, (2006), Goula *et al.*, (2008), Ayala (2011) and Martínez *et al.*, (2014) stated that physical and chemical changes that are provoked by temperatures in the product compounds could decrease the active sites where there are interactions between water and the solid surface of the food. Furthermore, it is important to emphasize that the high excitation state of the water molecules at high temperatures could result in a decrease of the forces of attraction between the water and the food, which would explain the results.

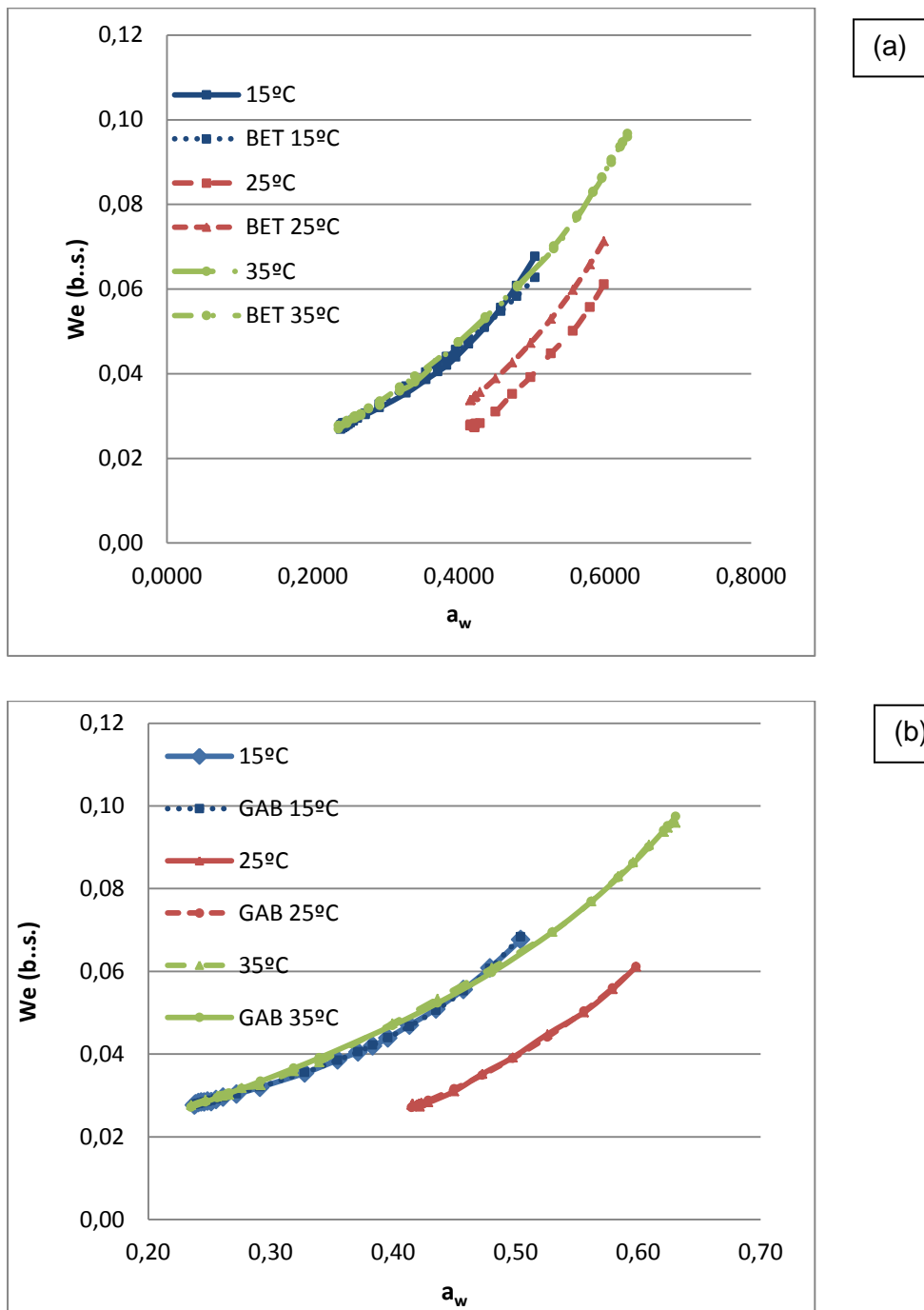


Figure 4-1. Sorption isotherms for the turmeric powder in the BET (a) and GAB (b) models.

Table 4-1 contains the parameters of the BET and GAB models. The GAB model best fit the experiment data with higher R^2 values and lower X^2 and E_{RMS} values. In the case of the BET model, lower R^2 values and higher X^2 and E_{RMS} values were seen, as compared to the GAB model.

The GAB model provided information on the moisture content of the single layer (X_m), which revealed the water quantity that was strongly absorbed at the active sites on the surface of the food and that was related to the storage conditions that were suitable for low-moisture products (Cano *et al.*, 2013). For the turmeric powder, the X_m value, according to the GAB model, varied between 3.7% and 4.25%, similar to the findings of Cano *et al.*, (2013) for spray-dried mango powder and Al-Muhtaseb *et al.*, (2004a) for starch powder. The value of the constant C (Guggenheim constant) indicated the relationship between the sorption heat of the single layer molecules (this value varied indiscriminately with the temperature) and the value of the constant K, which related the sorption heat in the multilayer molecules to the temperature increase from 15 to 25°C, which was very similar between 25 and 35°C; a similar behavior was reported by Sharma *et al.*, (2009).

Table 4-1. Constants and statistics for the BET and GAB models at different temperatures.

| Model | Constants | Turmeric powder | | |
|-------|-------------|-----------------|-----------|--------|
| | | 15 °C | 25 °C | 35 °C |
| BET | X_m | 0.04 | 0.048 | 0.042 |
| | C | 3.30 | 0.9516 | 3.05 |
| | R^2 | 0.9089 | 0.7369 | 0.986 |
| | X^2 | 0.00 | 6.23 E-06 | 0.0000 |
| | $E_{(RMS)}$ | 0.0016 | 0.007 | 0.0005 |
| GAB | X_m | 0.0425 | 0.0403 | 0.037 |
| | C | 14.25 | 0.812 | 3.628 |
| | K | 1.64 | 1.042 | 1.04 |
| | R^2 | 0.9899 | 0.9881 | 0.9814 |
| | X^2 | 0.0024 | 0.000 | 0.000 |
| | $E_{(RMS)}$ | 0.0400 | 0.0004 | 0.0005 |

For BET and GAB models a statistical analysis ($\alpha = 0.05$) was carried out to find the relationship between the water activity and equilibrium moisture content at temperatures of 15, 25 and 35°C. In the both models the results indicated effect of water activity on the equilibrium moisture content ($p < 0.05$). Additionally, a second statistical analysis was performed to find the effect of temperature on parameters of the BET and GAB models, as shown in the Table 4 2. It can be seen that for the BET and GAB model there is a significant difference ($p < 0.05$) associated with the effect of

temperature. The results of this study show that the parameter (C,K) decreases with increasing of temperature, similar situation has been found by Cano et al., (2013) and Ceballos et al., (2009). Analyzing the GAB model, Gabas et al., (2007) found that the monolayer moisture content (X_m) decreased with the increases of temperature, this result was evidenced in this research work.

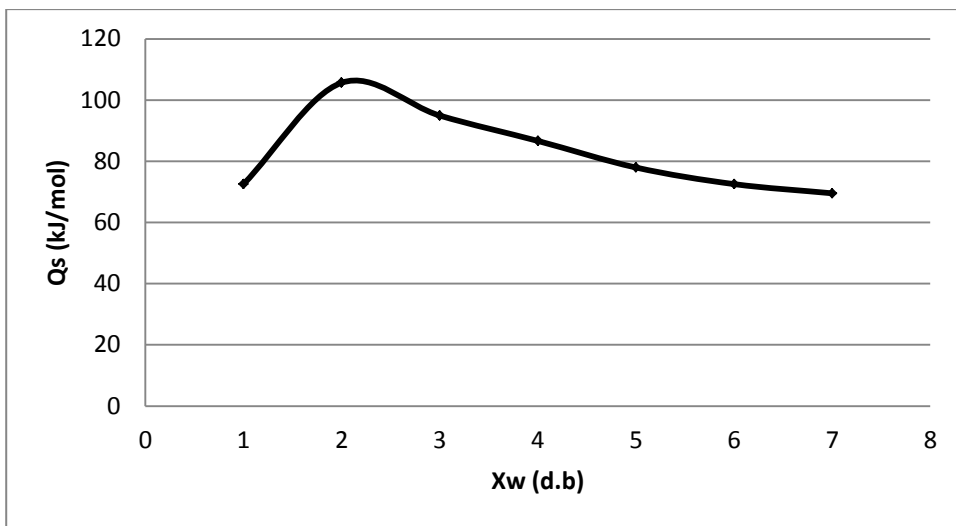
Table 4-2. P-value for the BET and GAB models for different parameters.

| | GAB Model | BET Model |
|----------------------|------------------|------------------|
| | P-value | P-value |
| K | 0.014 | - |
| C | 0.049 | 0.017 |
| X_m | 0.012 | 0.012 |

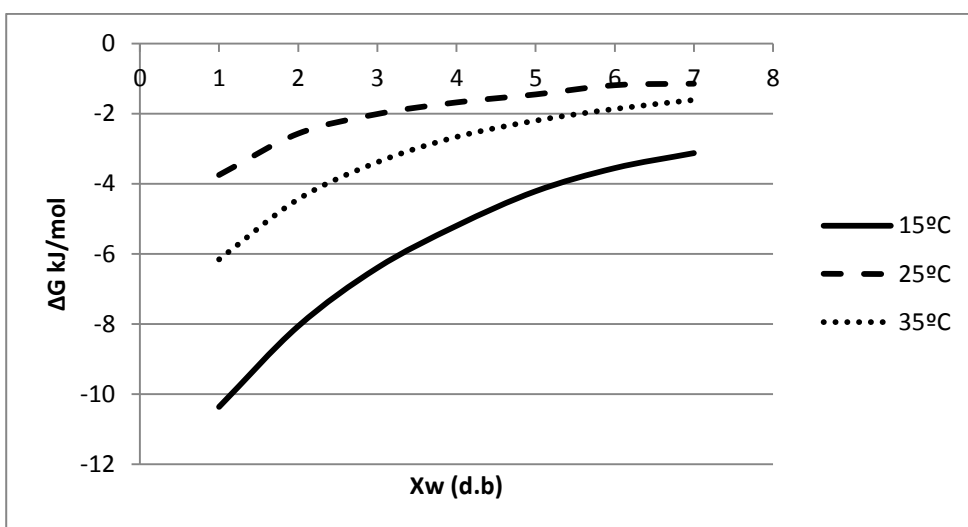
Figure 4-2 presents the sorption thermodynamics of the dried product. Figure 4-2(a) contains the Q_s value that corresponded to the sorption isosteric heat and referenced the interaction between the water and product components; the obtained value demonstrated an increase from 72.48 kJ/mol to 105.63 kJ/mol for a moisture content of between 1-2% (db) and a decrease from 94.93 kJ/mol to 69.52 kJ/mol for a moisture content between 3 and 7% (db); the maximum obtained value was achieved with a moisture value close to 2% (db). The increase of the sorption isosteric heat with low-moisture contents was explained by the existence of an elevated solid-vapor interaction in the active sites of the product surface when the sorption heat decreased with an increase in the moisture; the water occupied fewer active sites, decreasing the interaction of the existing energy between the water molecules and the powder product. A similar behavior was observed by Ayala (2011) and Martínez *et al.*, (2014).

Figure 4-2 (b) shows the Gibbs free energy (ΔG) of the turmeric powder. The change in the ΔG indicated that the water absorption process in the powder product corresponded to a spontaneous process because the obtained values were negative in the evaluated water activity range, demonstrating that the reactions that occurred in the microstructure of the product were stable in the evaluated temperature range. Furthermore, it is an indication that the powder product possesses a high hygroscopicity because the ΔG value was more negative for the low-moisture contents. For moistures values over 7%, the ΔG value was approximately zero, indicating that this process had a tendency to reach equilibrium. A similar behavior was observed by Cano *et al.*, (2013) and Martínez *et al.*, (2014).

Figure 4-2 (c) contains the changes in entropy, demonstrating the existence of a strong dependency on the moisture content and is related to the number of available absorption sites at a specific energy level that is proportional to the change in entropy, which is related to the degree of disorder and random movement of water molecules, indicating that lower entropy is an indicator of better stability (Goneli *et al.*, 2013). This type of behavior was observed by Goula *et al.*, (2008) and Al-Muhtaseb *et al.*, (2004b). The negative ΔS values indicated the water absorption by the compound molecules. The highest change in entropy was obtained with a temperature of 35°C because, at a higher temperature, the kinetic energy of the molecules is higher; for the temperatures between 15 and 25°C, smaller changes were observed due to the lower kinetic energy resulting from the difference between the initial and final entropy. A similar behavior was observed by Jamali *et al.*, (2006).



(a)



(b)

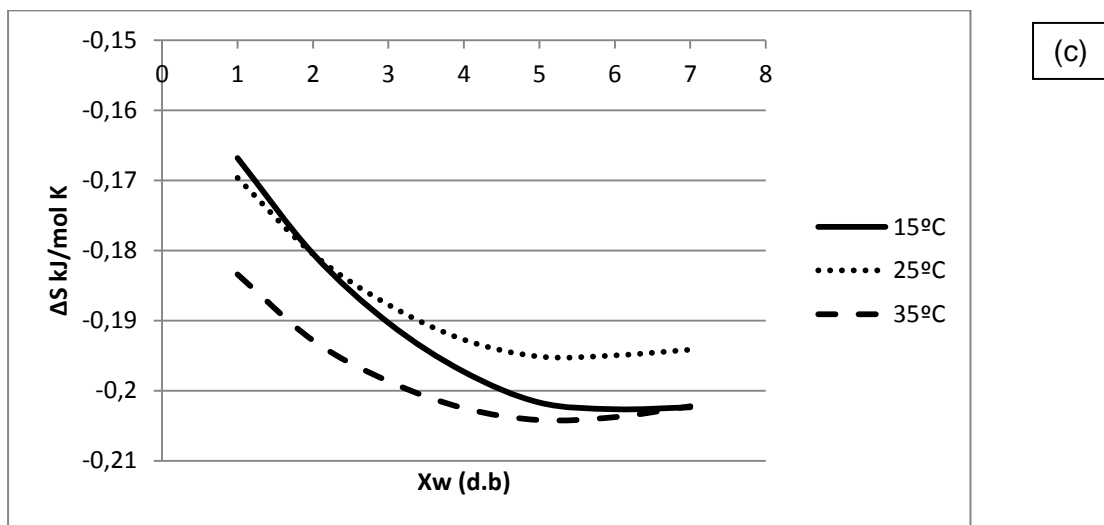
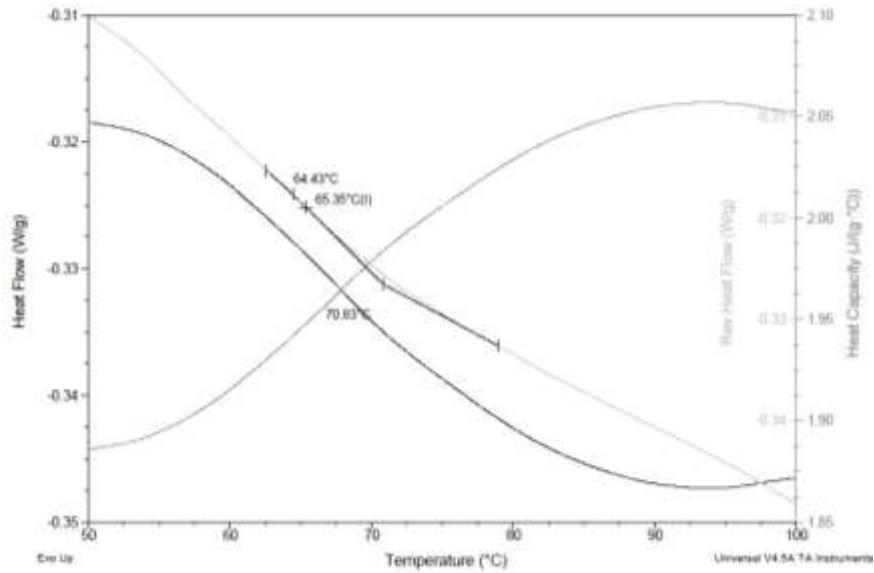


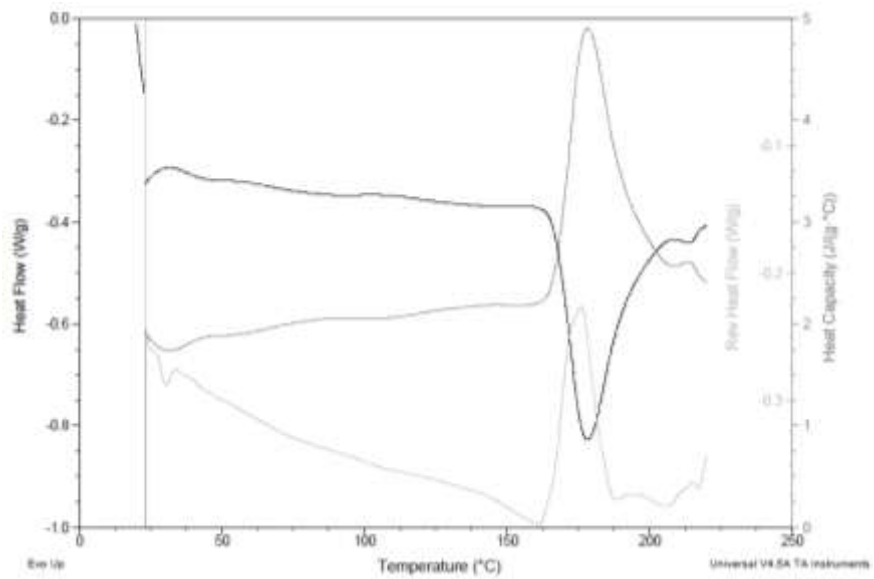
Figure 4-2. Thermodynamic sorption study: (a) sorption heat (b) Gibbs free energy and (c) differential change entropy.

Calorimetric differential scanning analysis. Figure 4-3 shows the thermogram obtained from the differential scanning calorimetry (DSC). An endothermic peak was observed at 178.07°C, which corresponded to a desolvation or loss of volatiles, assumedly due to the fact that the total heat flow peak and the reversible heat flow peak did not coincide and were opposites. Likewise, fusion points were not observed, indicating the role played by maltodextrin as a protective agent, similar to the observations of Laczkowski and Soudaleff (2013), who obtained an endothermic peak at these temperatures for turmeric encapsulated with maltodextrin. Parize *et al.*, (2012) demonstrated endothermic peaks at similar temperatures for chitosan with turmeric obtained from spray drying. Paramera *et al.*, (2011) found slightly higher values in endothermic peaks for turmeric encapsulated in yeast cells due to the fact that, with turmeric molecules that have been integrated within yeast cells, the transitional phases are affected and these points are increased. Pawar *et al.*, (2012) found values of 182 °C for amorphous turmeric; however, this was related to fusion points because only turmeric was used. The glass transition temperature (T_g) was 65.35°C. Pawar *et al.*, (2012) observed T_g values of 69.4°C for amorphous turmeric. On the other hand, Parize *et al.*, (2012) found T_g values of 91.30°C due to the presence of chitosan, demonstrating that the turmeric colorant is located between the polymeric chains of this compound, increasing the value of the glass transition temperature of turmeric. Wang *et al.*, (2010) observed glass transition temperatures of 105.95-110.10 °C, higher values than those of the present study due to the fact that

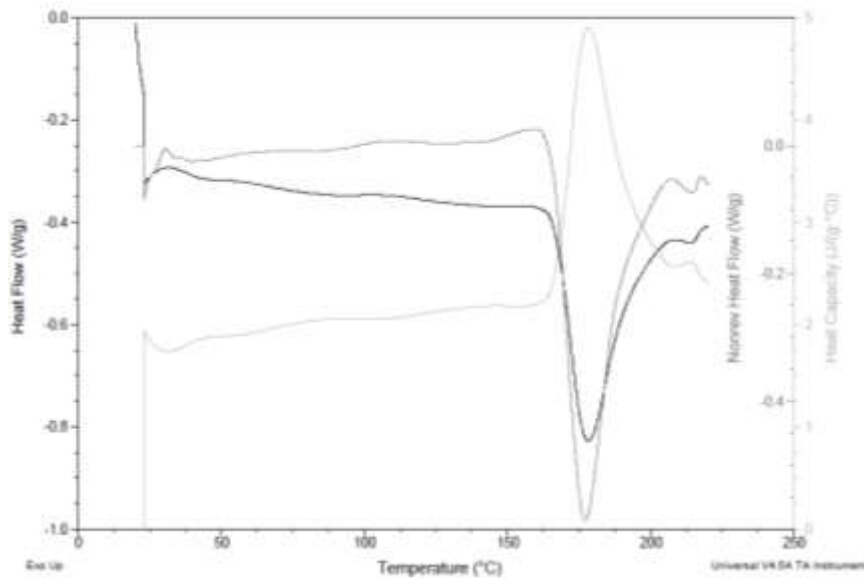
the turmeric was contained in hyperbranched polymers that increased the T_g. The T_g value of 65.35 °C shows there was a phase change in the product beyond this value and this value must be considered when defining the storage temperature, which must be lower than this value.



(a)



(b)



(c)

Figure 4-3. Thermogram of the turmeric powder obtained with DSC. (a) Glass transition temperature. (b). Total Heat Flow, heat capacity and Reversible heat flow. (c). Total Heat Flow, heat capacity and Non reversible heat flow

Thermogravimetric analysis (TGA). Figure 4-4 shows the curve for the mass loss with respect to the temperature. It can be observed that the initial temperature of the mass loss was approximately 193°C (resulting in degradation of the turmeric); with this temperature, the decrease in the thermogram corresponded to the moisture loss. Laczkowski and Sousdaleff (2013) demonstrated that the loss of mass in turmeric encapsulated with maltodextrin at 228°C was due to the interaction of the colorant with the maltodextrin, which, in the encapsulation, protected the compound much better than if it were loose, because to the fact that loose turmeric has a mass loss value that starts at 201°C and also because the drying process was carried out with lyophilization, which is why encapsulated turmeric is more stable, although it is necessary to emphasize the fact that the profile demonstrated by the authors is very similar to those of the present study. Parize *et al.*, (2012) reported degradation temperatures of 321°C for turmeric due to the fact that the presence of chitosan and interactions between this polymer and turmeric contribute to the thermal stability; although the degradation temperature was higher, the mass loss profile is very similar.

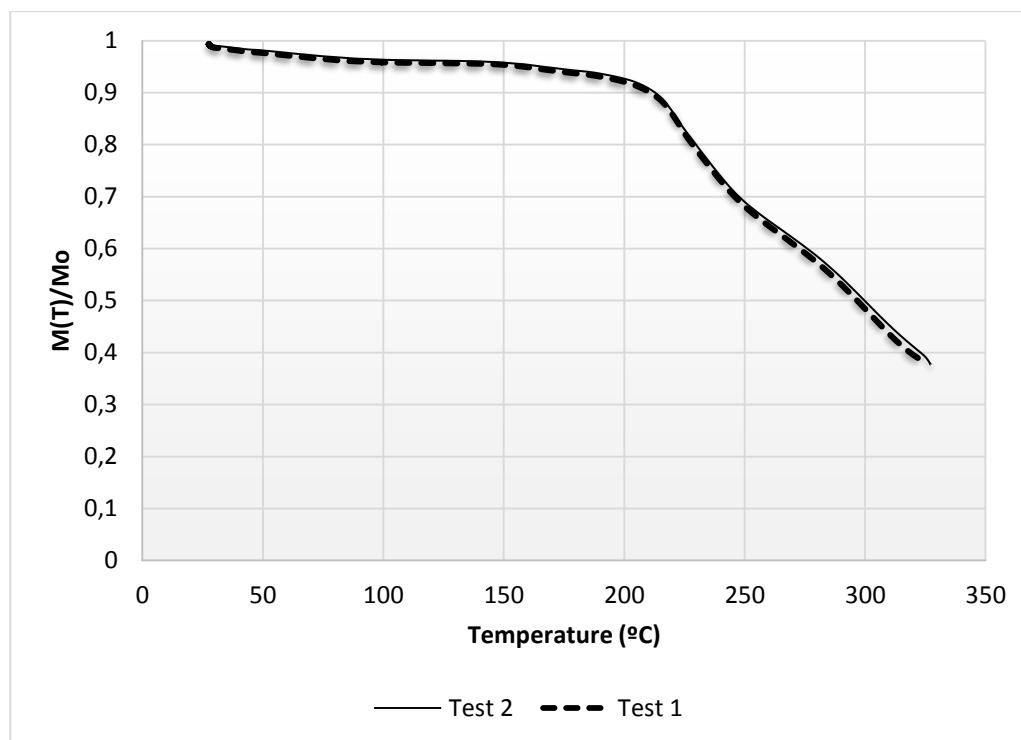


Figure 4-4. Thermogravimetric analysis of the turmeric powder obtained under the optimal conditions of the spray drying.

Thermal properties. Table 4-3. Thermal properties of the turmeric powder. Table 4-3 show the values obtained for the thermal properties for the turmeric powder. The thermal conductivity was 0.164 ± 0.001 W/m °C, a low value related to the moisture content of the product (Perusello *et al.*, 2013). The thermal diffusivity value of the product was $8.7 \cdot 10^{-8} \pm 0.000$ m²/s; similar values were obtained by Perusello *et al.*, (2013) and Tiwari *et al.*, (2011). The heat capacity value (Cp) corresponded to 2.455 J/g °C, while the value obtained in the thermogram through the DSC analysis was 1.948 J/g °C, a slightly low value due to the fact that, during the measurements with the thermal property equipment, deviations existed due to the environment temperature and the location of the sample sensor, among other factors that affected the results. The Cp value is a thermodynamic measurement of the temperature that induces structural changes and is an important parameter for the characterization of the amorphous state (Pawar *et al.*, 2012). In a study conducted by these authors on amorphous turmeric, Cp values of 530 J/mol K (1,438 J/g °C) were found; the difference with the present study could be due to the fact that, in their study, these authors did not use coadjuvant agents such as maltodextrin, whose heat capacity is

1.5 J/g °C, which is probably why there was an increase in the Cp value of the powder turmeric (Frias *et al.*, 2001).

Table 4-3. Thermal properties of the turmeric powder.

| Thermal parameters | |
|----------------------|---|
| Specific heat | 2.455 J/g °C |
| Thermal conductivity | 0.164 ±0.001 W/m K |
| Thermal Diffusivity | 8.7*10 ⁻⁸ ±0.000 m ² /s |

CONCLUSIONS

The GAB model for the turmeric powder obtained by spray drying is suitable for describe the sorption isotherms and the adsorption process. The final product is stable under storage conditions below of 65.35°C, indicating that the turmeric powder obtained by spray drying technique provide a stable product. However, for higher temperatures (above 200°) the degradation of curcumin is high due to loss of volatiles. The values obtained for thermal properties (specific heat, conductivity and thermal diffusivity) show low values related with a low moisture content present in the turmeric powder.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Investigation Department of the National University of Colombia – Medellín (DIME), the company TECNAS S.A and COLCIENCIAS for his contribution to the development of this work and for funding this research.

REFERENCES

- Al-Muhtaseb, A., W. McMinn, T. Magee. 2004a. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering* 61: 297–307
- Al-Muhtaseb, A., W. McMinn, T. Magee. 2004b. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamic characteristics. *Journal of Food Engineering* 62: 135-142
- Ayala, A. 2011. Estimación de las isothermas de adsorción y del calor isostérico en Harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9: 88-96.
- Cano, D., H. Villa, J. Telis, H. Váquiro, V. Nicoletti. 2015. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. *Food and Bioproducts Processing* 93: 19–28.
- Ceballos, A., G. Giraldo, C. Orrego. 2009. Evaluación de varios modelos de isothermas de adsorción de agua de un polvo de fruta deshidratada. *Vector* 4: 107-116.
- Chen, H., C. Chen. 2014. Equilibrium relative humidity method used to determine the sorption isotherm of autoclaved aerated concrete. *Building and Environment* 81: 427-435.
- Cheng, Q., D. McGillivray, J. Wen, F. Zhong, S. Young. 2013. Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. *Journal of Food Engineering* 117(4):505–512.
- Craig, D., M. Reading. 2007. *Thermal Analysis of Pharmaceuticals*. Boca Ratón, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group (pp.15-17).
- Figueira, G., K. Park, F. Reis, S. Honório. 2004. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering* 6: 273–280
- Frias, J., J. Oliveira, K. Schittkowski. 2001. Modeling of Maltodextrin DE12 Drying Process in a convection oven. *Applied Mathematical Modelling* 25: 449–462

Gabas, A., V. Telis, P. Sobral, J. Telis. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering* 82: 246–252

Goneli, A., P. Corrêa, G. Oliveira, P. Afonso. 2013. Water sorption properties of coffee fruits, pulped and green coffee. *Food Sci. Technol.* 50: 386–391.

Goula, A., T. Karapantsios, D. Achilias. K. Adamopoulos. 2008. Water sorption isotherms and glass transition temperatur of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering* 85: 73–83.

Goyal, R., A. Kingsly, M. Manikantan, S. Ilyas. 2006. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering* 95: 43–49.

Jamali, A., M. Kouhila, A. Mohamed, A. Idlimam, A. Lamharrar. 2006. Moisture adsorption–desorption isotherms of Citrus reticulate leaves at three temperatures. *Journal of Food Engineering* 77: 71–78.

Laczkowski, I., M. Sousdaleff. 2013. Microencapsulação de curcumina com maltodextrina, avaliação da estabilidade e aplicação em alimentos. In: *Memories: VIII Encontro de Produção Científica e Tecnológica, Campo Mourão – PR.*

Li, B., S. Konecke, L. Wegiel, L. Taylor, K. Edgar. 2013. Both Solubility and chemical stability of curcumin are enhanced by solid dispersion in cellulose derivative matrices. *Carbohydrate Polymers* 98: 1108– 1116.

Martinez, R., A. Heredia, M. Castelló, A. Andrés. 2014. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of dry persimmon leaves. *Food Bioscience* 7: 88–94.

Paramera, E., S. Konteles, V. Karathanos. 2011. Stability and release properties of curcumin encapsulated in *Saccharomyces cerevisiae*, β -cyclodextrin and modified starch. *Food Chemistry* 125: 913–922.

Parize, A., H. Stulzer, M. Marghetti, I. Da Costa, T. Rzone. 2012. Evaluation of chitosan microparticles containing curcumin and crosslinked with sodium tripolyphosphate produced by spray drying. *Quim. Nova* 35: 1127-1132.

Pawar, Y., G.Shete, D. Popar, A. Bansal. 2012. Phase behavior and oral bioavailability of amorphous Curcumin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 47: 56–64.

Perdomo, J., A. Cova, A. Sandoval, L. García, E. Laredo, A. Müller. 2009. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydrate Polymers* 76: 305–313.

Perusello, C., V. Cocco, M. Masson, F. De Castilhos. 2013. Determination of thermophysical properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) to be used in a finite element simulation *International Journal of Heat and Mass Transfer* 67: 1163–1169.

Sharma, P., A. Singh, A. Patel, G. Patil. 2009. Sorption isotherms and thermodynamics of water sorption of ready-to-use Basundi mix. *Food Science and Technology* 42: 441–445.

Tiwari, G., S. Wang, J. Tang, S. Birla. 2011. Computer simulation model development and validation for radio frequency (RF) heating of dry food materials. *Journal of Food Engineering* 105: 48–55.

Sablani, S., S. Kasapis, M. Rahman. 2007. Evaluating water activity and glass transitions concepts for food stability. *Journal of Food Engineering* 78: 266-271.

Sinija, V., H. Mishra. 2008. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules. *Journal of Food Engineering* 86: 494–500.

Vega, A., E. Aravena, R. Mondaca. 2006. Isothermas de adsorción en harina de maíz (*zea mays* L.). *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas* 26: 821-827.

Wang, H., Y. Wang, P. Lee, Y. Chen, C. Hang, J. Xin, K. Cheuk. 2010. Syntheses, characterization, and photophysical properties of new type of curcumin-containing hyperbranched polymer. *Polymer Preprints* 51: 499-500.

Yana, Z., M. Sousa, F. Oliveira. 2008. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *Journal of Food Engineering* 86: 342-348.

DIRECTRICES PARA AUTORES

Los artículos pueden ser enviados al correo electrónico: rfnagron_med@unal.edu.co, o a través del Open Journal System en el Portal de Revistas de la Universidad Nacional de Colombia <http://www.revistas.unal.edu.co/>. Sólo serán considerados artículos escritos en Inglés.

Adjunto se debe remitir el formato “Autorización para Publicación de Obras y Cesión de Derechos Patrimoniales”, en el cual se acepta la no postulación simultánea del artículo a otras revistas u órganos editoriales y se ceden los derechos a la Revista para su difusión.

Las formas de publicación son: artículos de investigación científica y tecnológica, artículos de revisión, artículos de reflexión y artículos cortos.

Los artículos pueden ser elaborados por profesores y/o investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, o cualquier otra institución afín, nacional o internacional, en los temas Agropecuarios, Forestales y de Ingeniería Agrícola y de Alimentos.

La extensión no debe exceder de 5.200 palabras, las hojas deben ser tamaño carta, escritas a interlineado sencillo, letra o fuente Times New Roman o Verdana, tamaño 12 puntos, márgenes de 3 cm en la parte superior, 2 cm en la inferior y 2,5 cm en las márgenes laterales derecha e izquierda.

Las tablas y figuras (es decir, los gráficos, dibujos, esquemas, diagramas de flujo, fotografías y mapas) se deben mostrar incorporadas en el texto y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n; Figura 1... Figura n, etc.).

Los textos y tablas se deben presentar en el procesador de palabras MS-Word®; las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y tortas) originales se deben suministrar en el archivo del documento y también en su original de MS-Excel®; otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en original o escaneadas y ser remitidas en el formato digital de compresión JPG (o JPEG) preferiblemente

con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi); es deseable que las fotografías originales sean enviadas como diapositivas.

Como norma general, las tablas y figuras sólo se aceptan en blanco y negro; excepcionalmente se incluirán en color cuando sea estrictamente necesario y a juicio del Comité Editorial.

Literatura citada

Sólo se listan las referencias bibliográficas mencionadas en el texto. No se aceptan notas de clase, artículos en preparación o en prensa, o cualquier otra publicación de circulación limitada. Se debe evitar el exceso de autocitas. La bibliografía se deberá incluir al final del texto, sólo con las referencias citadas en el mismo. Las citas en el texto deben incluir apellido del autor y año, con coma entre autor y año. Ejemplo: Pérez, 1995; además conservar el siguiente orden de citación:

- Si hay más de una fecha se separarán con comas: Ejemplo: Pérez, 1995, 1998, 2001.
- Si hay dos autores se citarán separados por la conjunción y. Ejemplo: Gil y Ortega, 1993.
- Si hay varios trabajos de un autor publicados en un mismo año, se citarán con una letra en secuencia alfabética de los títulos, adosada al año. Ejemplo: Gómez, 2000a, 2000b, 2000c.

En el caso de citas con tres o más autores, es necesario mencionar en el texto el apellido del primero y reemplazar los demás por la expresión latina abreviada et al. que significa y otros; en la bibliografía se deben citar todos los autores. Las comunicaciones personales, se deben citar al pie de la página y no se incluyen en la bibliografía.

Las referencias bibliográficas se deben ordenar alfabéticamente por el apellido del primer autor, sin numeración y sin sangría. Para citar varias publicaciones del mismo autor, se debe seguir el orden cronológico

creciente, si son del mismo año, se debe seguir el orden alfabético de los títulos.

Las referencias deberán contener todos los datos que permitan su fácil localización. Las referencias se citan en el lenguaje de la publicación original.

En cada referencia para el primer autor cite apellido e inicial del nombre y para co-autores primero inicial del nombre y luego el apellido, separando autores con coma. Preste atención al uso de comas y puntos.

Lista preliminar para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envíos, los autores están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al / a la Editor).
2. El archivo enviado está en formato Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
4. El texto tiene interlineado simple; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final del todo.
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas Para autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Si esta enviando a una sección de la revista que se revisa por pares, tiene que asegurarse que las instrucciones en (Asegurando de una revisión a ciegas) han sido seguidas.

Aviso de derechos de autor

Se autoriza la reproducción sin ánimo de lucro de los materiales, citando la fuente.

Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las variables de respuesta que se ven afectadas por las condiciones del proceso de secado por aspersión de extractos líquidos de cúrcuma (temperatura entrada y salida de aire de secado) correspondieron a higroscopicidad y concentración de curcumina en el polvo. El proceso de optimización dio como resultado los siguientes valores para los factores: temperatura entrada del aire de secado de 148,98°C y salida de aire de secado de 75°C, con una velocidad de atomización constante 28000 RPM. El polvo de curcumina formulado con maltodextrina es un colorante termosensible el cual depende de las condiciones de secado (temperaturas de aire de secado) y necesita un agente coadyuvante que garantice condiciones de protección que minimicen los procesos de degradación de los compuestos químicos del producto. Los parámetros de calidad y variables de desempeño evaluados en esta investigación permiten proporcionar un aditivo colorante a la industria de alimentos, ya que posee las características adecuadas de calidad para emplearse en este medio.

Los resultados obtenidos en el análisis DSC muestran una temperatura de transición vítrea 65,35°C, indicando que es posible almacenar el producto sin que haya una transición de fases a temperaturas menores que esta, parámetro importante a la hora de evaluar el tiempo de la vida útil; además el comportamiento térmico por DSC muestra un punto de desolvatación a partir de 178,07°C, mostrando así la protección que ejerce la maltodextrina sobre la curcumina al no existir punto de fusión. Adicionalmente, análisis termogravimétrico (TGA) muestra una pérdida de masas considerable a partir de los 193 °C, evidenciando que a partir de dicha temperatura el

polvo de curcumina formulado con maltodextrina empieza a experimentar procesos de degradación de sus compuestos químicos.

Por otro lado, el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales correspondió al modelo de GAB, en el rango de actividad de agua establecido a 15, 25 y 35 °C, con un ajuste de los datos a una curva del tipo III. Además las isotermas de sorción muestran que el colorante de curcumina en polvo gana humedad de equilibrio según la actividad de agua dada, con el incremento la temperatura. El contenido de humedad en la monocapa varió entre 3,7% y 4,25%. El calor isostérico de sorción mostró un incremento para humedades de 1-2% (b.s) y disminución para un contenido humedades de 3-7% (b.s), el valor máximo obtenido se alcanza con un valor de humedad cercano al 2% (b.s), obteniendo un valor máximo de 105,64 kJ/mol y un valor mínimo de 69,52 kJ/mol. Los valores obtenidos de la energía libre de Gibbs (ΔG) mostraron que este proceso corresponde a un proceso espontáneo de adsorción de agua en el producto en polvo, y para el cambio entrópico se encontró que es altamente dependiente del contenido de humedad y la temperatura., siendo mayor para temperaturas mayores.

5.2 Recomendaciones

Con el fin de obtener todas las características y el comportamiento del producto en el tiempo se recomienda realizar un estudio de estabilidad al producto, en donde se evalúen factores como actividad de agua del colorante en polvo, color según la escala CIE L a*b*, concentración del colorante en polvo y estabilidad a temperatura, luz y pH. Además esto es importante debido a que este producto se quiere escalar industrialmente, razón por la cual se debe conocer su vida útil de acuerdo a su comportamiento frente a tiempo y temperatura.

Se podría evaluar la eficacia de otros agentes coadyuvantes (tales como almidón modificado, proteína de soya aislada, chitosan o goma arábica) en lugar de la maltodextrina en la formulación de la suspensión de secado, con el fin de evaluar su eficacia frente a la protección de los compuestos del colorante de curcumina en polvo que sufren procesos degradativos por efecto de la temperatura de secado.

Bibliografía Capítulo 2.

1. Alzate, J., López, A., Caicedo, J., Cano, J. (2012). Obtención del complejo ciclodextrina-curcumina y su uso como reemplazante de tartrazina. *Revista Lasallista de Investigación*, 9, 75-86.
2. Bagchi, A. (2012). Extraction of curcumin. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 1, 01-16.
3. Barbosa, G., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H. (2005) *Food Powders. Physical properties, processing and functionality*. Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York.
4. Boletín ATI. (2007). Gobernación de Antioquia.
5. Cazabonne, C. (2008). La Cúrcuma (*Curcuma longa*). Datos sin reportar.
6. Carter, B., Schmidt, S. (2012). Developments in glass transition determination in foods using moisture sorption isotherms. *Food Chemistry*, 132, 1693–1698
7. Chen, H., Chen, C. (2014). Equilibrium relative humidity method used to determine the sorption isotherm of autoclaved aerated concrete. *Building and Environment*, 81, 427-435.
8. Craig, D., Reading, M. (2007). *Thermal Analysis of Pharmaceuticals*. Boca Ratón, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group
9. Desai, K., Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23, 1361–1394.
10. Descamps, N., Palzer, S., Roos, Y., Fitzpatrick, J. (2013). Glass transition and flowability/caking behaviour of maltodextrin DE 21. *Journal of Food Engineering*, 119, 809–813.

11. Diaz, J., Ávila, L. (2002). Sondeo del mercado mundial de Cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.). Instituto de investigación de recursos biológicos "Alexander von Humboldt" (IAVH). P 1-29.
12. Figueira, G., Park, K., Reis, F., Honório, S. (2004). Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering*, 63, 273–280
13. Ghosh, S. (2006). Functional coatings and microencapsulation a general perspective. In: *Functional coatings. Polymer Microencapsulation*. Wiley-vch Verlag gmbh & Co. Kga, Weinheim. P 1-25.
14. Gil, M., Restrepo, C., Millán, L., Rojano, B. (2010). Obtención de la oleorresina de paprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia: un ejemplo de la innovación de producto. *Perspectivas y Avances de Investigación de la serie Lasallista Investigación y Ciencia*, 1-8.
15. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., Saure, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40, 1107–1121.
16. Gómez, J., Balaguer, M., Gavara, R., Hernández, P. (2009). Nanoencapsulation of the functional food ingredient curcumin by electrohydrodynamic atomization. *Food Innova: International conferences on food innovation*. Universidad Politecnica de Valencia. P 1-5.
17. Gomez, J., Balaguer, M.; Gavara, R., Hernández, P. (2012). Formation of zein nanoparticles by electrohydrodynamic atomization: Effect of the main processing variables and suitability for encapsulating the food coloring and active ingredient curcumin. *Food Hydrocolloids*, 28, 82-91.

-
18. Hernandez, G., Livings, S., Aguilera, J., Chiralt, A. (2011). Phase transitions of dairy proteins, dextrans and their mixtures as a function of water interactions. *Food Hydrocolloids*, 25, 1311-1318.
 19. Keshani, S., Wan, W., Nourouzi, M., Namvar, F., Ghasemi, M. (2015). Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. *Journal of Food Engineering*, 146, 152-162.
 20. Kumar, R., Kasoju, N., Bora, U. (2010). Encapsulation of curcumin in alginate-chitosan-pluronic composite nanoparticles for delivery to cancer cells. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 6, 153–160
 21. Laczkowski, I., Sousdaleff, M. (2013). Microencapsulação de curcumina com maltodextrina, avaliação da estabilidade e aplicação em alimentos. VIII Encontro de Produção Científica e Tecnológica, 1-13.
 22. LeBail, A., Boillereaux, L., Davenel, A., Hayert, M., Lucas, T., Monteau, J. (2003). Phase transition in foods: effect of pressure and methods to assess or control phase transition. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 15–24
 23. Leonor, S., Gómez, J., Kinoshita, A., Calandrelli, I., Tfouni, E., Baffa, O. (2013). ESR spectroscopic properties of irradiated gum Arabic. *Food Chemistry* 141, 1860–1864
 24. Li, B., Konecke, S., Wegiel, L., Taylor, L., Edgar, K. (2013). Both Solubility and chemical stability of curcumin are enhanced by solid dispersion in cellulose derivative matrices. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1108– 1116
 25. López, E., Blanch, G., Ruiz, M., Sanchez, S. (2012). Encapsulation and isomerization of curcumin with cyclodextrins characterized by electronic and vibrational spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 62, 292– 298

26. Lozano, M. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *opuntia stricta* mediante secado por atomización. Trabajo de final de carrera. Universidad Politécnica de Cartagena, p 13-15.
27. Montaña, C., Montes, L. (2004). Evaluación sistémica de las potencialidades empresariales a partir de la cúrcuma longa en el departamento de Caldas. Trabajo de grado de especialización. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. P 1-70.
28. Mujumdar, A.S. (1995). Handbook of Industrial Drying. Ed. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 263-309.
29. Paramera, E., Konteles, S., Karathanos, V. (2011). Stability and release properties of curcumin encapsulated in *Saccharomyces cerevisiae*, β -cyclodextrin and modified starch. Food Chemistry, 125, 913–922
30. Plan Hortícola Nacional (PHN). 2006. Corporación Colombia Internacional. 539 p.
31. Parize, A., T. Rozone, I. Costa, V. Fávere, M. Laranjeira, A. Spinelli and E. Longo. (2008). Microencapsulation of the natural urucum pigment with chitosan by spray drying in different solvents. African Journal of Biotechnology, 7, 3107-3114.
32. Parize, A., Stulzer, H., Marghetti, M., Da Costa, I., Rozone, T. (2012). Evaluation of chitosan microparticles containing curcumin and crosslinked with sodium tripolyphosphate produced by spray drying. *Quim. Nova*, 35, 1127-1132.
33. Parra H, Ricardo A.(2010) Revisión: Microencapsulación de Alimentos. Food Microencapsulation: A Review: 1-16.
34. Paulucci, V., Couto, R., Teixeira, C., Freitas, L. (2013). Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. Brazilian Journal of Pharmacognosy, 23, 94-100.

-
35. Ríos, E., Duque, A., León, D. (2009). caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (cúrcuma longa L.) Cultivada en el departamento del Quindío. Revista Investigación Universidad del Quindío, 19,18-22.
36. Rosenberg, M.; Kopelman, I.J.; Talmon, Y. (1990). Factors Affecting Retention in Spray-Drying Microencapsulation of Volatile Materials. J. Agric. Food Chem, 38, 1288-1294
37. Shaikh, J., Bhosale, E., Singhal, R. (2006). Microencapsulation of black pepper oleoresin. Food Chemistry, 94, 105–110.
38. Sovilj, M., Nikolovski, B., Spasojevic, M. (2011). Critical review of supercritical fluid extraction of selected spice plant materials. Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 30, 197–220.
39. Sowasod, N., Nakagawa, K., Tanthapanichakoon, W., Charinpanitkul, T. (2012). Development of encapsulation technique for curcumin loaded O/W emulsion using chitosan based cryotropic gelation. Materials Science and Engineering C, 32, 790–798.
40. Udomrati, S., Gohtani, S. (2014). Enzymatic esterification of tapioca maltodextrin fatty acid ester. Carbohydrate Polymers, 99, 379– 384
41. Udomrati, S., Ikeda, S., Gohtani, S. (2013). Rheological properties and stability of oil-in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. Journal of Food Engineering, 116, 170–175
42. Velásquez, E., Arias, C. (2010). Anuario Estadístico del sector agropecuario y pesquero 2010. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Grupo de sistemas de información. Bogotá. 252 p.
43. Vivekananda, M., Mohan, Y., Hemalatha, S. (2008). Microwave assisted extraction of curcumin by sample–solvent dual heating mechanism using

- Taguchi L9 orthogonal design. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 46, 322–327
44. Wakte, P., Sachin, B., Patil, A., Mohato, D., Band, T., Shinde, D. (2011). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Separation and Purification Technology*, 79, 50–55
45. Wang, Y., Shao, J., Zhou, C., Zhang, D., Bie, X., Lv, F., Zhang, C., Lu, Z. (2012). Food preservation effects of curcumin microcapsules, *Food Control*, 27, 113–117
46. Yadav, A. Lomash, V., Samim, M., Flora, S. (2012). Curcumin encapsulated in chitosan nanoparticles: A novel strategy for the treatment of arsenic toxicity. *Chemico-Biological Interactions*, 199, 49–61
47. Zhan, P., Zeng, X., Zhang, H., Li, H. (2011). High-efficient column chromatographic extraction of curcumin from *Curcuma longa*. *Food Chemistry*, 129, 700–703.