



Scientia Agropecuaria

Website: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

El uso de encapsulantes mejora la retención de ácido ascórbico en zumo de *Physalis peruviana* L. atomizado: Estudio de retención y modelación del comportamiento higroscópico

The use of encapsulating improves the retention of ascorbic acid in atomized *Physalis peruviana* L. juice: Study of retention and modeling of hygroscopic behavior

Frank Velásquez-Barreto^{*}; Angela Riveros; Alfonso Ruíz

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Huancavelica, Comun Era, Acobamba, Huancavelica, Perú.

Received September 29, 2017. Accepted October 11, 2018.

Resumen

El propósito de este trabajo fue evaluar el efecto de agentes encapsulantes: maltodextrina (M) y goma arábica (GA) sobre la retención de ácido ascórbico (AA) de zumo de aguaymanto atomizado y estudiar el comportamiento de las isotermas de adsorción. El zumo de aguaymanto fue homogenizado M-50%, M-100%, GA-50% y GA-100% y posteriormente fueron atomizados a 150 °C a una velocidad de alimentación de 1,25 mL/s. El fruto de aguaymanto tuvo un Brix de 14,5; pH de 3,45; acidez de 1,97% y concentración de AA de 45,23 mg/100 g. La concentración de AA en los atomizados fue de 1838,98 a 2198,94 mg/100 g a cero días de almacenamiento y concentración de AA de 1816,20 a 2178,14 mg/100 g a 30 días de almacenamiento. Las isotermas mostraron una humedad de equilibrio 0,12 g agua/g b.s a 20 °C. Los modelos que mejor ajustaron a los datos experimentales fueron: GAB, Smith y Peleg. Los tratamientos con MA-50% y GA-50% retuvieron mayor el AA, y humedades menores de 0,21 g agua/g b.s. ($a_w < 0,6$) garantizaron la estabilidad del polvo atomizado.

Palabras clave: *Physalis peruviana*; isotermas; atomizado; ácido ascórbico; aguaymanto.

Abstract

The purpose of this work was to evaluate the effect of encapsulating agents: maltodextrin (M) and gum arabic (GA) on the retention of ascorbic acid (AA) of atomized aguaymanto juice and to study the behavior of the adsorption isotherms. The aguaymanto juice was homogenized M-50%, M-100%, GA-50%, and GA-100% and subsequently they were atomized at 150 °C at a feed rate of 1.25 mL/s. The aguaymanto fruit had a Brix of 14.5; pH of 3.45; acidity of 1.97% and AA concentration of 45.23 mg/100 g. The concentration of AA in the atomized was from 1838.98 a 2198.94 mg/100 g at zero days of storage and AA concentration from 1816.20 a 2178.14 mg/100g at 30 days of storage. The isotherms showed an equilibrium moisture 0.12 g water / g d.b at 20 °C. The models that best fit the experimental data were: GAB, Smith and Peleg. The treatments with MA-50% and GA-50% retained higher concentration of AA, and humidity less than 0.21 g water/g d.b. ($a_w < 0.6$) guaranteed the stability of the atomized powder.

Keywords: *Physalis peruviana*; isotherms; atomized; ascorbic acid; aguaymanto.

1. Introducción

Physalis peruviana, también conocida como uchuva en Colombia, uvilla en Ecuador y aguaymanto en Perú son algunos de los nombres con los que se conoce a este fruto. *Physalis peruviana* Linnaeus es una planta herbácea, semiarbusto y perenne en zonas sub-

tropicales, que puede crecer hasta llegar a 0,6 a 0,9 m. El fruto es una baya jugosa con forma ovoide y un diámetro de entre 1,25 a 2,50 cm, 4 y 10 g de peso, y contiene en el interior alrededor de 100 a 200 semillas pequeñas, el fruto está protegido por el cáliz, que cubre completamente la fruta a lo largo de su desarrollo y maduración, esta lo

^{*} Corresponding author
E-mail: frankervba@hotmail.com (F. Velásquez-Barreto).

protege contra los insectos, aves, enfermedades y situaciones climáticas adversas (Puente *et al.*, 2011).

El fruto de aguaymanto tiene un Brix de 13,73 a 14,30 %; un pH de 3,39 a 3,67 y una acidez de 1,9 a 2,1% (Puente *et al.*, 2011). Tiene un contenido en agua de 81,33%; proteínas 1,66%; grasas 0,18%; carbohidratos 13,86%; y cenizas 2,98% (Yildiz *et al.*, 2015). Tiene un contenido de vitamina C de 46 mg/100 g de pulpa (Ramadan *et al.*; 2013). Se han determinado algunos compuestos de interés como los fitoesteroles, fisalinas y winalónidos (Puente *et al.*, 2011). Según Pinzón *et al.* (2015), los frutos de aguaymanto son climatéricos, tienen una alta tasa de respiración, una alta actividad metabólica y esta puede traer consigo pérdida de características sensoriales, fisicoquímicas y de metabolitos secundarios de interés, por ello se deben aplicar tecnologías que permitan la conservación y el incremento del tiempo de vida útil del fruto sin alterar los compuestos bioactivos presentes.

El secado por pulverización es por definición la transformación de un sistema líquido (soluciones, dispersiones, emulsiones) en un polvo de partículas secas. El sistema líquido se atomiza en gotitas, que se secan por contacto con un medio de secado, normalmente aire, a una temperatura alta. El secado por pulverización se utiliza comúnmente en la industria alimentaria para asegurar la estabilidad microbiológica de los productos, reduciendo la humedad del producto y con ello evita la degradación biológica, reduciendo los costos de almacenamiento y transporte; obteniendo un producto estable y con algunas propiedades como contenido de humedad, pH, solubilidad, higroscopicidad, composición nutricional, color y fluidez, etc. (Verma y Singh, 2015).

Diferentes tipos de materiales de pared han sido utilizados para microencapsular incluyendo polisacáridos (almidones, maltodextrinas y goma arábiga), lípidos (ácido esteárico, mono y diglicéridos), y proteínas (gelatina, caseína, suero de leche, soya y trigo) (Da Silva *et al.*, 2014). Los agentes de microencapsulación pueden conferir diferentes propiedades fisicoquímicas al polvo, dependiendo de las características y estructura de cada agente. Maltodextrinas con diferentes contenidos en dextrosa equivalente (DE) son frecuentemente usados como material de pared por su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, bajo contenido en azúcar, y porque sus soluciones no tienen color y por su bajo costo y eficacia (Iguar *et al.*,

2014). Estas propiedades hacen que este agente sea mayormente utilizado como agente de pared para la microencapsulación. Goma arábica, es un polisacárido natural exudado de acacia y es bien conocida su efectividad como material de pared, es utilizada por muchos años y es una buena elección porque estabiliza la formación de la emulsión y tiene una buena retención de volátiles (Hoseini *et al.*, 2015). Nuevos agentes encapsulantes han sido utilizados en combinación procesos secado con el objetivo de mejorar la retención de ácido ascórbico. Farias *et al.* (2018) investigaron el efecto de xiloglucanos como agente de encapsulante en la retención de ácido ascórbico durante el proceso de atomización, observando que la retención de ácido ascórbico fue alta (96.34%) y esta retención fue atribuida unión covalente entre el grupo carbonil del ácido ascórbico y el grupo OH de los xiloglucanos. Al-Ismael *et al.* (2016) estudiaron el efecto de la concentración de goma arábiga y del aislado proteico de suero en la retención de vitamina C, observándose que la goma arábiga tuvo una mayor retención de vitamina C (99,6%) en comparación al aislado proteico de suero (72%) y atribuyo este efecto alta resistencia de la goma arábiga a tratamientos a altas temperaturas de atomización. Así mismo, Demarchi (2018) investigaron el efecto de la temperatura de secado a condiciones de vacío en formulaciones con sucrosa y polidextrosa, mostrándose que a altas temperaturas de tratamiento (70 °C), se observó una mayor retención de ácido ascórbico; sin embargo, los tiempos para la alcanzar la estabilidad durante el secado fue influenciada por el tipo de azúcar utilizado en la formulación y el grado de interacción con el agua.

Teniendo pocos trabajos de investigación relacionado a la obtención de atomizados de zumo y aguaymanto y siendo este un alimento con un corto tiempo de útil y teniendo compuestos nutricionales con potenciales beneficios para salud, esta investigación pretende evaluar el efecto de los agentes encapsulantes sobre la retención de vitamina C (ácido ascórbico) de zumo de aguaymanto atomizado y evaluar el comportamiento higroscópico del mejor encapsulante, para poder obtener un polvo estable que permita futuras aplicaciones del polvo obtenido.

2. Materiales y métodos

Muestra. Los frutos de aguaymanto fueron provenientes del centro poblado de Pomacocha, Provincia de Acobamba,

Región Huancavelica (Perú), los cuales fueron cosechados con la presencia de su cáliz. Se utilizaron frutos que no presentaron magulladuras, golpes, con un peso promedio de $5,6 \pm 0,15$ g y un diámetro de $1,62 \pm 0,12$ cm.

Reactivos. 2,6 diclorofenolindofenol, ácido oxálico, ácido L-ascórbico, hidróxido de sodio, maltodextrina 10 DE, goma arábica.

Métodos de análisis. El Brix de los frutos se determinó extrayendo directamente el zumo y luego se realizó la lectura utilizando un refractómetro (Pad-1, Atago, China). El pH se determinó mediante el uso de un pH metro (JW 350, Jenway, UK). La acidez se determinó por titulación con hidróxido de sodio 0,1 N y se expresó en ácido cítrico. Para la determinación de ácido ascórbico en los frutos y atomizado de aguaymanto se siguió el procedimiento descrito por el método AOAC (1997); que es el método de tritración con 2,6-diclorofenolindofenol y con ciertas modificaciones descritas por Benassi y Antunes (1988), donde se utilizó ácido oxálico como agente de extracción de ácido ascórbico. Se utilizó como estándar una solución de ácido L-ascórbico. La determinación de actividad de agua se realizó colocando la muestra directamente en el equipo Aqualab 4TE (USA). La humedad final del atomizado se realizó por el método de la estufa, colocando la muestra en una estufa (modelo 800, Memmert, Alemania) a 105°C hasta peso constante.

Extracción del jugo. El zumo de aguaymanto fue extraído de los frutos enteros envueltos en una tela fina de celulosa y fueron colocados en extractor manual de zumo de naranja. Obtenido el zumo este filtrado en a vacío utilizando olganza fina como material de filtrado.

Proceso de atomizado. El jugo obtenido fue mezclado con goma arábica al 50% (GA-50%), goma arábica (GA-100%), maltodextrina 50% (M-50%) y maltodextrina 100% (M-100%), los porcentajes de 50% y 100% fueron relacionados al Brix del zumo utilizado, para mejor homogenización se utilizó un agitador magnético (RSLAB 3C, Francia) a 2000 rpm y una temperatura de 25°C . Posteriormente las muestras homogenizadas con los agentes encapsulantes se colocaron en un atomizador (IC40D, Didacta, Italia), provisto de una bomba peristáltica y compresor, fueron secados a una temperatura de entrada de aire de 150°C , temperatura de salida del aire de 80°C y una velocidad de flujo de $0,125$ mL/s. Los atomizados fueron colocados en recipientes de vidrio oscuros y almacenados a temperatura ambiente, las cuales se

colocaron en un lugar oscuro, hasta su posterior análisis.

Isotermas de adsorción. Para la obtención de las isotermas de adsorción, primero se determinó el polvo atomizado que tuvo la mayor retención de vitamina C y se siguió la metodología propuesta por Souza et al. (2013), para ello se pesó 1 g de las muestras atomizadas y fueron sometidas a deshidratación complementaria en un desecador conteniendo sílica gel a temperatura ambiente por un periodo de 24 h, seguidamente las muestras fueron colocadas en un desecador conteniendo agua en la base y se llevó a la temperatura de trabajo ($20, 30$ y 40°C). Las muestras fueron retiradas en tiempos crecientes (pseudo-equilibrio) para determinar la humedad por diferencia de masa y se determinó la actividad de agua utilizando un hidrómetro Aqualab 4TE.

Tabla 1
Modelos utilizados para la predicción de las isotermas de adsorción

Ecuación	Modelo
BET	$\frac{a_w}{(1-a_w)X_e} = \frac{1}{X_m C} + \frac{(C-1)}{X_m C} a_w$
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)^B}$
Oswin	$X_e = A \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^B$
Smith	$X_e = M_b - M_a \ln(1 - a_w)$
Henderson	$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A} \right]^{1/B}$
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2}$

Dónde: a_w = actividad de agua, X_m = valor de la monocapa, X_e = humedad de equilibrio, C = es la constante característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa (BET), C = constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa (GAB), K = constante relacionada al calor de adsorción de la multicapa, A y B = constantes propias del modelo de adsorción (Oswin y Henderson), M_a y M_b = parámetros del modelo que dependen del producto (Smith), K_1 y K_2 = parámetros del modelo que dependen del producto y n_1 y n_2 = constantes del modelo de adsorción características del producto (Peleg).

Determinación del calor isostérico de adsorción. Se siguió la metodología propuesta por Pena y Mendonça (2009), para ello el calor integral de adsorción (Q_{st}) fue determinado por la ecuación 1. La entalpía de vaporización de agua fue obtenida de las tablas de presión de vapor de agua, tomando como temperatura media de trabajo 30°C y el calor isostérico líquido de adsorción de agua (q_{st}) fue determinada por la forma integrada de la ecuación de Clausius-Clayperon (ecuación 2).

$$Q_{st} = q_{st} + \Delta H_v \dots (1)$$

$$\ln \left(\frac{a_{w1}}{a_{w2}} \right) = \frac{-q_{st}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \dots (2)$$

$$P = \frac{m_{exp} - m_{pre}}{m_{exp}} \times 100 \dots (3)$$

Predicción de las isothermas de adsorción. Para el análisis de regresión de los modelos de predicción (Tabla 1), se utilizó la herramienta solver de Microsoft Excel 2014 y los parámetros para determinar el ajuste fueron el coeficiente de determinación (R^2) y el desvío medio relativo (P) (ecuación 3). Los menores valores de P fueron considerados como indicadores de buenos ajustes (Tavakolipour y Mokhtarian, 2016).

Análisis estadístico. Los experimentos se realizaron con un diseño completamente al azar (DCA) con 5 repeticiones y se realizó el análisis de varianza ($\alpha = 0,05$). Para la obtención de las isothermas se realizó por duplicado, para el análisis estadístico se utilizó el Software Statistica 5.0 y Microsoft Excel 2014.

3. Resultados y discusión

Características fisicoquímicas

En la Tabla 2 se muestran los parámetros fisicoquímicos de frutos de aguaymanto (AY), donde se muestra que el Brix, pH y Acidez son parecidos a los obtenidos por Puente *et al.*, (2011); sin embargo, ciertas diferencias son debido al estado de madurez del fruto, procedencia, variedad, condiciones del cultivo, clima, etc. El índice de madurez del fruto de aguaymanto se obtuvo relacionando el Brix y la acidez el cual fue de 7,36; este índice corresponde a un nivel de madurez 4 del fruto de aguaymanto de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC 4580 (ICONTEC, 1999).

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos en frutos de aguaymanto

Parámetro fisicoquímico	Contenido
Brix	14,5±0,20
pH	3,45±0,13
Acidez (%) ^a	1,97±0,17
Vitamina C (mg/100 g) ^b	45,23±0,22

^a Expresado en porcentaje de ácido cítrico. ^b Expresado en ácido ascórbico.

El contenido de ácido ascórbico (AA) del fruto de AY fue de 45,23 mg/100 g de pulpa, este resultado concuerda con el obtenido por Ramadan *et al.* (2013); Sin embargo, Málaga *et al.* (2013), obtuvieron un contenido de AA de 24,21 mg/100 g del fruto fresco, así mismo, Duque *et al.* (2014), encontraron una concentración de AA 25,5 mg/100 g. Las diferencias se deben a diferentes factores como el estado de madurez y procedencia del AY.

Caracterización de los atomizados

Las muestras de maltodextrina (M) y goma arábica (GA) formaron polvo en los

porcentajes de trabajo de 50 y 100% (Tabla 3), la concentración de AA del jugo atomizado fue mayor para el tratamiento con M-50% y GA-50% (Tabla 3) y menores para los tratamientos de M-100% y GA-100%, estas diferencias se deben a que se trabajó con un mayor porcentaje de encapsulantes y este porcentaje adicional disminuyó la concentración de AA. Al comparar los tratamientos de M y GA a los mismos porcentajes de encapsulante se muestra que no existe diferencia significativa en la retención de AA (Tabla 3). Esto tiene relación a los resultados obtenidos por Tonon *et al.* (2009), que observaron que al microencapsular extracto de açaí utilizando M y GA no se mostraron diferencias en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante durante el proceso de atomización. Sin embargo, se mostró una ligera mejor encapsulación de M en comparación con GA, ya que según Ersus y Yurdagel (2007), Maltodextrinas con bajos DE (alto peso molecular) contienen cadenas más largas y previenen que ocurran reacciones de oxidación de aldehídos y retienen más AA, esto es confirmado por Rodríguez-Hernández *et al.* (2005), que mencionan que M con equivalente de 10 DE encapsuló mejor el AA en zumo de pera.

Tabla 3

Concentración de ácido ascórbico a los 0 y 30 días de almacenamiento del zumo de aguaymanto atomizado

Tratamiento	Concentración Ácido Ascórbico (mg/100 g) 0 días	Concentración Ácido Ascórbico (mg/100 g) 30 días
GA-50%	2 175,83±15,34 ^a	2 168,45±26,11 ^a
GA-100%	1 845,03±21,34 ^b	1 827,42±34,50 ^b
M-50%	2 198,94±9,35 ^a	2 178,14±10,92 ^a
M-100%	1 838,98±18,72 ^b	1 816,20±8,77 ^b

^{a,b} Datos con la misma letra no mostraron diferencia significativa.

Al almacenar los atomizados a temperatura ambiente por 30 días, todos los tratamientos sufrieron pérdidas en la concentración de AA, sin embargo estas diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$) y esto concuerda con Tonon *et al.* (2009), donde los autores encontraron que la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante a los 15 días de almacenamiento no mostró diferencia entre las M y GA, observándose que son muy buenos agentes encapsulantes, debido a sus propiedades funcionales de captar sustancias hidrofílicas y de protegerlas; esto concuerda con resultados obtenidos, ya que el AA es hidrofílico y pudieron haber sido protegidos por los grupos hidroxilos (OH) y las cadenas de M y GA. La mayor retención de AA a los 15 días de almacenamiento de las microcápsulas lo

presentó el tratamiento de M-100% (99,30%), seguido por GA-50% (98,67%), GA-100% (98,21%) y M-50% (97,76%); esto muestra la alta retención de AA utilizando estos encapsulantes y esta retención es mayor a mayor porcentaje de encapsulante utilizado. Teniendo en cuenta retención de AA después de la atomización y a los 15 días de almacenamiento (Tabla 1) sería recomendable utilizar maltodextrina como agente encapsulante por su menor costo.

Las actividades de agua de los tratamientos estuvieron entre 0,14 a 0,16 (datos no mostrados), esto nos indica que las actividades de agua estuvieron cercanas y nos indica que estos atomizados tienen una buena estabilidad microbiológica (Caliskan y Dirim, 2013), el análisis estadístico para la actividad de agua no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$), lo cual muestra que no hubo efecto significativo en el tipo y concentración de encapsulante sobre la actividad de agua del atomizado. Del mismo modo la humedad final de los tratamientos fue inferior a 8,87% (datos no mostrados), y no se mostraron diferencias significativas en el contenido de humedad. La presencia de moléculas de agua en el polvo atomizado se puede atribuirse a la estructura de la GA y la M, que tienen un alto número de ramificaciones con grupos hidrofílicos, por tanto, pueden unirse fácilmente a moléculas de agua del aire durante el manejo del polvo secado por aspersión (Tonon *et al.*, 2009; Farias *et al.*, 2018). También, Quek *et al.* (2007) mencionan que los polvos producidos a temperaturas bajas presentan una tendencia a la aglomeración, debido a su humedad más alta, esta aglomeración disminuye la exposición de los encapsulados al oxígeno, protegiendo el AA contra la degradación, lo cual tiene relación con la retención de AA a los 30 días de almacenamiento. Por otro lado, Al-Ismael *et al.* (2016) mencionan que alta retención de vitamina C utilizando goma arábica como encapsulante es lograda debido al efecto alta resistencia de la goma arábica a tratamientos a altas temperaturas de atomización

Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción de la muestra MA-50% se observa en la Figura 1, donde se aprecia que el contenido de humedad de los atomizados se incrementa conforme aumenta la actividad de agua, ya que el producto seco debe alcanzar equilibrio termodinámico. La isoterma a 40 °C indica que se alcanzó la estabilidad microbiológica a contenidos de humedad menores de 0,21 g agua/g b.s. ($a_w < 0,6$).

Las isotermas de adsorción obtenidas (Figura 1) son de tipo III de acuerdo con IUPAC (1985), este comportamiento es característico de productos ricos en carbohidratos, lo cual concuerda con los atomizados; ya que, contienen tanto maltodextrinas como azúcares proporcionados por el zumo de aguaymanto y según el comportamiento de estas isotermas la sorción física del agua ocurre en los sitios activos de la superficie; así mismo, Pires y Pena (2017) mencionan que la adsorción del agua del atomizado puede aumentar debido a la presencia de azúcares, ácidos orgánicos y altos contenidos de maltodextrinas.

Se aprecia también un ligero efecto de la temperatura sobre el comportamiento de las isotermas de adsorción, mostrándose que conforme aumenta la temperatura los encapsulados mostraron una tendencia al cruce de las isotermas a altas actividades de agua. Este resultado es de acuerdo al obtenido por Pedro *et al.* (2010) y Gabas *et al.* (2007), los cuales pueden ser explicados por un incremento de la solubilidad del azúcar en agua provocado por el incremento de la temperatura (Pedro *et al.*, 2010).

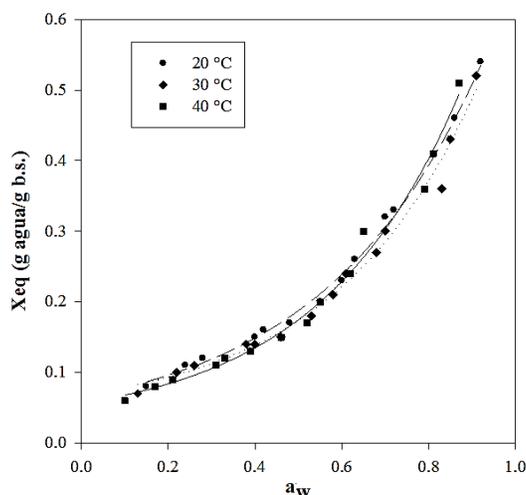


Figura 1. Isotermas de adsorción de atomizado del zumo de aguaymanto con M-50% a diferentes temperaturas.

La humedad de la monocapa (X_m) es de particular interés, ya que indica la cantidad de agua que fuertemente absorbida en sitios específicos de la superficie del alimento y es considerada un valor óptimo que asegura la estabilidad del alimento (Pedro *et al.*, 2010). La X_m a 20 °C fue de 0,12 g agua/g b.s. (Tabla 4), lo que indica que el producto no debe ser sometido a humedades inferiores, ya que está garantizada su estabilidad microbiológica.

El efecto de la humedad del producto sobre el calor de adsorción del zumo de AY atomizado con M-50% se aprecia en la **Figura 2**, observándose que conforme el atomizado contiene menor humedad su calor de adsorción es mayor, ya que en el estado inicial de sorción (bajo contenido de humedad) una alta cantidad de sitios polares de los carbohidratos y proteínas están disponibles en la superficie del alimento y son cubiertas por moléculas de agua y forman la monocapa (Muzaffar y Kumar (2016); Pedro *et al.*, 2010). Diferentes grupos polares de los polímeros proporcionan energéticamente diferentes sitios para la adsorción. Al incrementarse el contenido de agua en los atomizados menos sitios de adsorción activos están disponibles y la formación de la multicapa es manifestada por la disminución del calor de sorción (Pérez-Alonso *et al.*, 2006).

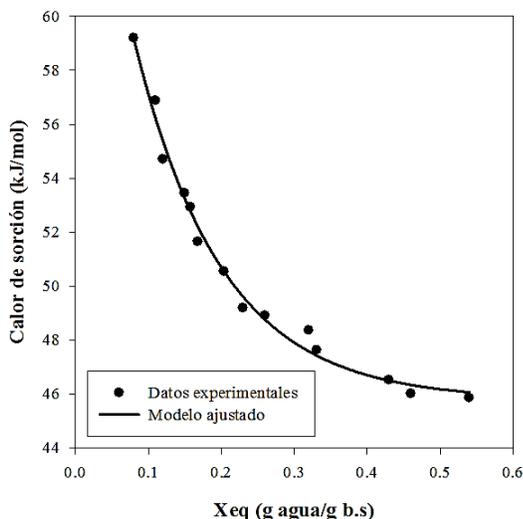


Figura 2. Calores de adsorción del zumo de aguaymanto atomizado con M- 50%.

Modelamiento de las isothermas de adsorción

Los modelos que mejor se ajustaron a los datos de adsorción de agua fueron los modelos de GAB, Smith y Peleg (**Tabla 4**), ya que mostraron mayores coeficientes de determinación y menores desvíos relativos medios ($P < 10\%$).

En la **Figura 3** se muestran las correlaciones de los datos de humedad experimentales con los predichos para los modelos utilizados. Así mismo se puede apreciar la relación entre los modelos, mostrándose que el modelo de GAB, Smith y Peleg se ajustan mejor con los datos experimentales.

Estas diferencias en los ajustes de los modelos utilizados son debido a que el modelo GAB es un modelo basado en

principios termodinámicos de la formación de la monocapa y multicapa y es ampliamente utilizado que permite predecir las isothermas un amplio rango de actividad de agua 0,0 a 0,9.

Tabla 4
Parámetros de los modelos de adsorción de agua del atomizado de zumo de aguaymanto con M-50%

Modelo		20 °C	30 °C	40 °C
BET	C	16,8079	8,8993	8,6458
	Xm	0,0969	0,0914	0,0985
	R ²	0,8193	0,8373	0,8922
	P	17,7450	19,8764	10,9022
GAB	K	0,8571	0,8694	0,9390
	Xm	0,1264	0,1143	0,1022
	C	7,9116	9,2072	9,6829
	R ²	0,9857	0,9756	0,9823
Oswin	P	3,9300	4,1687	5,0190
	A	0,2020	0,1820	0,1804
	B	0,3292	0,4648	0,5520
	R ²	0,9138	0,8802	0,9039
Smith	P	17,2692	5,4402	5,8199
	Ma	0,2014	0,1958	0,2292
	Mb	0,0522	0,0443	0,0256
	R ²	0,9038	0,9095	0,9344
Henderson	P	4,1116	4,5600	7,6726
	A	9,0243	5,5918	4,4948
	B	1,6849	1,2315	1,1097
	R ²	0,9693	0,9428	0,9498
Peleg	P	13,4444	8,4575	11,9099
	K1	0,1721	0,2439	0,1750
	K2	0,4758	0,4255	0,5395
	n1	0,3807	0,6166	0,4584
	n2	3,1278	4,5525	3,5298
	R ²	0,9232	0,9078	0,9076
P	3,1184	3,9111	3,7241	

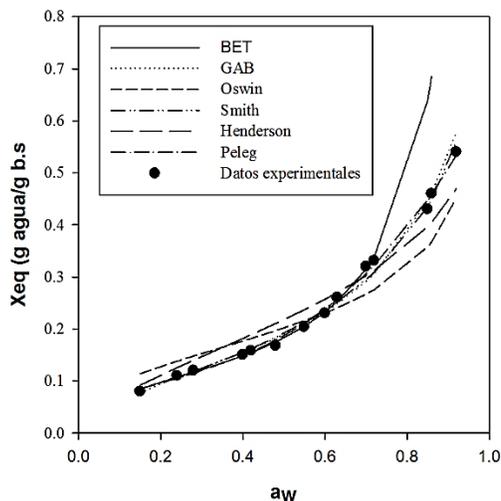


Figura 3. Correlación de los modelos para los datos de adsorción del atomizado zumo de aguaymanto con M-50%.

Así mismo el modelo de Smith es empírico y permite una predicción de isothermas basándose en la formación de la monocapa y multicapa. El modelo de Peleg es un modelo empírico que da buenos ajustes de las isothermas y estos ajustes son similares o mejores que el modelo de GAB (Andrade *et al.*, 2011).

4. Conclusiones

Durante la atomización aumentó el contenido de AA por la pérdida de agua del producto atomizado. Los tratamientos con MA-50% y GA-50% retuvieron mayor contenido de AA debido a la menor utilización de agente encapsulante. No se mostraron diferencias en el contenido de AA de los polvos a los 0 y 30 días de almacenamiento, no se mostraron diferencias en el contenido de AA de los polvos a los 0 y 30 días de almacenamiento, mostrándose buena retención de vitamina para los tipo y concentración de agente encapsulante. Las isotermas mostraron una humedad de equilibrio 0,12 g agua/g b.s a 20 °C, lo que indica que a esta humedad se obtiene un producto estable; asimismo humedades menores de 0,21 g agua/g b.s. ($a_w < 0,6$) se garantiza la estabilidad del polvo atomizado. Los modelos que mejor ajustaron a los datos experimentales fueron: GAB, Smith y Peleg. El polvo atomizado obtenido podría utilizarse como un ingrediente en la preparación de alimentos y bebidas. Se recomienda optimizar el proceso de atomización de zumo de aguaymanto en función al contenido de ácido ascórbico y otros compuestos de interés que contiene el aguaymanto.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Huancavelica por financiar este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Al-Ismael, K.; El-Dijani, L.; Al-Khatib, H.; Saleh, M. 2016. Effect of Microencapsulation of Vitamin C with Gum Arabic, Whey Protein Isolate and some Blends on its Stability Journal of Scientific & Industrial Research 75: 176-180.
- Andrade, R.D.; Lemus, R.; Pérez, C.E. 2011. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 18(3): 325-334.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1997. Official methods of analysis of the AOAC. 16a edition. Washington.
- Benassi, M.; Antunes, A. 1988. A Comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. Arquivos de Biología e Tecnologia 31(4): 507-513.
- Caliskan, G.; Dirim, S.N. 2013. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. Food Bioproducts and Processing 91(4): 539- 548.
- Da Silva, P.; Fries, L.L.; De Menezes, C.; Holkem, A.T.; Schwan, C.L.; Wigmann, E.F.; Bastos, J.; Da Silva, C. 2014. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. Ciência Rural 44(7): 1304-1311.
- Demarchi, S.M.; R. Martín Torrez, M.T.; Giner, S.A. Vacuum drying of rosehip leathers: Modelling of coupled moisture content and temperature curves as a function of time with simultaneous time-varying ascorbic acid retention. Journal of Food Engineering 233:9-16.
- Duque, A.; Giraldo, G.; Cortés, M. 2014. Fortificación de pulpa de uchuva con calcio, oligofruktosa y Vitamina C, estabilizada con hidrocoloide. Biotecnología del Sector Agropecuario y Agroindustrial 12(1): 124-133.
- Ersus, S.; Yurdagel U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray dryer. Journal Food Engineering 80(3): 805-812.
- Farias, M.D.P.; Albuquerque, P.B.S.; Soares, P.A.G.; De Sáb, D.M.A.T.; Vicente, A.A.; Carneiro-da-Cunha, M.G. 2017. Xyloglucan from *Hymenaea courbaril* var. courbaril seeds asencapsulating agent of L-ascorbic acid. International Journal of Biological Macromolecules 107: 1559-1566.
- Gabas, A.; Telis, V.; Sobral, P.; Telis-Romero, J. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. Journal Food Engineering 82(2): 246-252.
- Hoseini, S.; Jafari, S.; Mirzaei, H.; Asghari, A.; Akhavan, S. 2015. Application of image processing to assess emulsion stability and emulsification properties of Arabic gum, Carbohydrate Polymer 126: 1-8.
- Igual, M.; Ramires, S.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. Powder Technology 256: 233-238.
- Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación (ICONTEC). 1999. Norma Técnica Colombiana. Uchuva. NTC 4580 1999. Bogotá. Colombia.
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 1985. Reporting physisorption data for gas/solid systems. Pure and Applied Chemistry 57. Pp. 603-619.
- Málaga, R.; Guevara, A.; Vargas, M. 2013. Efecto del procesamiento de puré de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante. Revista de la Sociedad Química del Perú 79(2): 162-174.
- Muzaffar, K.; Kumar, P. 2016. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. Powder Technology 291: 322-327.
- Pedro, M.; Telis-Romero, J.; Telis, V. 2010. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. Ciência e Tecnologia de Alimentos 30(4): 993-1000.
- Pena, R.; Mendonça, N. 2009. Secagem em camada delgada da fibra residual do maracujá. Boletim do Centro Pesquisa y Processamento de Alimentos 27(2): 259-270.
- Pérez-Alonso, C.; Beristain, C.; Lobato-Calleros, C.; Rodríguez-Huezo, M.; Vernon-Carter, E. 2006. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. Journal Food Engineering 77(4): 753-760.
- Pinzón, E.H.; Reyes, A.J.; Javier Álvarez-Herrera, G.; Leguizamo, M. F.; Joya, J.G. 2015. Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. Revista de Ciencias Agrícolas 32(2):26-35.
- Pires, F.C.; Pena, R. 2017. Optimization of spray drying process parameters for tucupi powder using the response surface methodology. Journal Food Science and Technology 54(11): 1-14.
- Puente, L.; Pinto-Muñoz, C.; Castro, E.; Cortés, M. 2011. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. Food Resource International 44: 1733-1740.
- Quek, S.; Chok, N.; Swedlund, P. 2007. The physico-chemical properties of spray-dried watermelon powder. Chemical Engineering and Processing 46(5): 386-392.
- Ramadan, M.F.; Hassan, N.A.; Elsanhoty, R.M.; Sitohy, M.Z. 2013. Goldenberry (*Physalis peruviana*) juice rich in health-beneficial compounds suppresses

- high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in rats. *Journal of Food Biochemistry* 37: 708–722.
- Rodríguez-Hernández, G.; González-García, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M. 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology* 23(4): 955-973.
- Souza, T.C.; Souza, H.A.; Pena, R. 2013. A rapid method to obtaining moisture sorption isotherms of a starchy product. *Starch/Starke* 65: 433–436.
- Tavakolipour, H.; Mokhtarian, M. 2016. New approach to the calculation of pistachio powder hysteresis. *International Agrophysics* 30: 245-251.
- Tonon, R.; Brabet, C.; Pallet, D.; Brat, P.; Hubinger, M. 2009. Physical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents *International Journal Food Science Technology* 44: 1950–1958.
- Verma, A.; Singh, S.V. 2015. Spray Drying of Fruit and Vegetable Juices- A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55(5):701-19.
- Yıldız, G.; İzli, N.; Ünal, H.; Uylaşer, V. 2015. Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.). *Journal food of Science and Technology* 52(4): 2320–2327.