

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN COMO TÉCNICA
DE PULVERIZACIÓN DE EXTRACTOS DE POLIFENOLES OBTENIDOS A
PARTIR DE CACOTA DE CACAO.

JOHNATTAN RAFAEL CRISTÓBAL GARCÍA BENÍTEZ Y LISETH MILENA
BUENAHORA TOSCANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2021

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN COMO TÉCNICA
DE PULVERIZACIÓN DE EXTRACTOS DE POLIFENOLES OBTENIDOS A
PARTIR DE CACOTA DE CACAO.

JOHNATTAN RAFAEL CRISTÓBAL GARCÍA BENÍTEZ Y LISETH MILENA
BUENAHORA TOSCANO

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Químico

Director:

Prof. CARLOS JESÚS MUVDI NOVA

Ingeniero químico, M.Sc., Ph.D

Codirector:

SERGIO ALEJANDRO CÁCERES ROA

Ingeniero químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2021

Quiero agradecer, primero a mi mamá por su apoyo, a mi papá por su paciencia, a mi hermana por su ejemplo, mi familia, lo más importante en mi vida por el amor incondicional que me brindaron en esta etapa de mi vida.

A todos mis amigos quienes me ayudaron a superar los obstáculos y llegar hasta este punto, en especial a Johnattan quien me enseñó lo incondicional de una amistad y a Crhis y Viviana, quienes han compartido conmigo momentos inolvidables.

Y a todas las personas con las que compartí tiempo y experiencias, gracias a eso soy la personal de hoy en día.

Liseth Milena Buenahora Toscano

Quiero agradecer a mi madre Jackeline, a mi padre Jimmy y a mi hermano Sebastián por confiar en mí, apoyarme y brindarme todas las herramientas necesarias para cumplir esta meta.

Sin ustedes hubiese sido imposible.

A mis familiares y amigos más cercanos por su apoyo incondicional y estar presentes en los momentos más significativos de mi vida académica.

A mi tía Herly, quien hubiese soñado ver este momento. Tu memoria vive latente en mi corazón, me da fuerza y brío para continuar.

Johnattan Rafael Cristóbal García Benítez

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a:

A Dios por la oportunidad de realizar esta experiencia.

Al profesor Carlos Muvdi por su paciencia, por su enseñanza integral y por darnos la oportunidad de realizar este proyecto bajo su dirección.

Al ingeniero Sergio Cáceres por su ayuda incondicional en todo momento.

A la Universidad Industrial de Santander por ser nuestro segundo hogar y darnos la oportunidad de formarnos profesionalmente bajo sus puertas.

A la empresa Girones S.A por su cooperación durante todo este proceso.

Al laboratorio CICTA por la colaboración prestada durante esta experiencia.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1.OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.METODOLOGÍA	17
3.ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	23
3.1 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN.....	23
3.2 EVALUACIÓN DE AGENTES ENCAPSULANTES PARA EL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN.....	27
3.3 EVALUACIÓN DE LOS PULVERIZADOS OBTENIDOS EN DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE CHOCOLATE.....	37
4.CONCLUSIONES.....	41
5.RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	51

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Concentraciones propuestas para los diferentes agentes encapsulantes.	24
Tabla 2. Resultados de viscosidad para las mezclas de agentes encapsulantes.	25
Tabla 3. Formulación y variables de operación seleccionadas para el secado por aspersión de agentes encapsulantes en solución acuosa.	26
Tabla 4. Formulación y variables de operación seleccionadas para el secado por aspersión de agentes encapsulantes en extracto de polifenoles.	28
Tabla 5. Porcentaje de humedad (%) e índice de solubilidad en agua (%ISA) para los pulverizados obtenidos usando agua y extracto de polifenoles.	31
Tabla 6. Tamaño promedio de partículas en pulverizados enriquecidos con polifenoles. .	33
Tabla 7. Polifenoles totales y capacidad antioxidante para MD y LP al 15% p/p.	36
Tabla 8. Ingredientes reemplazados por el pulverizado enriquecido con polifenoles.	38
Tabla 9. Características evaluadas en las coberturas.	39
Tabla 10. Formulaciones para la cobertura SA (600g). Formulación original, fuente: Velasteguí (2010).	40

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama metodológico del Trabajo de grado.	18
Figura 2. Viscosidad Vs Concentración para disolución de agentes encapsulantes en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.	25
Figura 3. Rendimientos de la operación usando agentes encapsulantes en agua.	27
Figura 4. Comparación entre rendimientos obtenidos del pulverizado con extracto y agua pura. Condiciones de operación 130°C (MD y LP), 120°C (MD/GA) y 150° (MD/Q) y 24.750 rpm.....	29
Figura 5. Pulverizado obtenido en prueba de maltodextrina (30% p/p), leche en polvo (30% p/p), maltodextrina:goma arábica (15% p/p) y maltodextrina:quitosano (5% p/p) en extracto de polifenoles.....	30
Figura 6. Micrografías de partículas (mag 5000x): (A) MD-30, (B) LP-30, (C) MDGA-15, (D) MDQ-5, (E) MDQ-9.	32
Figura 7. A) Polifenoles totales (mgEAG/g) y B) capacidad antioxidante ($\mu\text{molET/g}$) para pulverizados enriquecidos.	34
Figura 8. Cobertura de chocolate: Blanca (BL), semiamarga (SA) y con leche (L) y coberturas comerciales. Fuentes: Durán, L. (2016) Ilustración de receta de cobertura de chocolate blanco para tartas. La cocina de Johanna Prato, ilustración de Glasa de cobertura de chocolate amargo. La Alacena del chef, ilustración de cobertura sabor a chocolate de leche.	38

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Figura A1. Viscosidad Vs Concentración para diferentes mezclas de MD:GA en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.	51
Figura A2. Viscosidad Vs Concentración para diferentes mezclas de MD:Q en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.	51
Figura A3. Porcentaje de humedad para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en agua pura.	52
Figura A4. Porcentaje de humedad para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en extracto de polifenoles.	52
Figura A5. Índice de solubilidad en agua (%ISA) para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en agua pura.	52
Figura A6. Índice de solubilidad en agua (%ISA) para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en extracto de polifenoles.	53
Tabla A1. Formulación cobertura chocolate blanco (600g)	53
Tabla A2. Formulación cobertura chocolate semiamargo (600g)	53
Tabla A3. Formulación cobertura chocolate con leche (500g)	54

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN COMO TÉCNICA DE PULVERIZACIÓN DE EXTRACTOS DE POLIFENOLES OBTENIDOS A PARTIR DE CACOTA DE CACAO*.

AUTORES: Johnattan Rafael Cristóbal García Benítez; Liseth Milena Buenahora Toscano**.

PALABRAS CLAVES: Secado por aspersion, polifenoles, encapsulantes, rendimiento, chocolate.

DESCRIPCIÓN:

En los últimos años el Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos CICTA ha trabajado en la valorización de la cacota de cacao como fuente de polifenoles. Una de las etapas involucradas en la obtención de estos es la etapa de secado por aspersion, la cual ha sido poco explorada y estudiada de forma preliminar por el Grupo CICTA. Por esta razón, el presente trabajo buscó evaluar la técnica de secado por aspersion, considerando el uso de agentes encapsulantes, en extractos de polifenoles previamente concentrados obtenidos a partir de la cacota de cacao, y su potencial en la industria alimentaria.

Se evaluaron distintos agentes encapsulantes: maltodextrina, leche descremada en polvo, goma arábica y quitosano, donde los mejores rendimientos fueron para la maltodextrina (47,19%) y para la mezcla maltodextrina/goma arábica (37,81%). El contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante (ensayo ORAC) para los pulverizados estuvo entre 1,18 – 3,81 mgEAG/g y 73,6 – 171,88 $\mu\text{molET/g}$, respectivamente. Las mejores condiciones encontradas para la obtención de pulverizados fueron: agente encapsulante maltodextrina, contenido de sólidos en solución del 15% p/p y temperatura de entrada de aire 130°C. Se escogió como aplicación de estos pulverizados tres diferentes coberturas de chocolate (blanca, semiamarga y con leche) debido al contexto de este proyecto. Las coberturas registraron contenido de polifenoles. La adición de este pulverizado no pareció afectar las características de olor y textura de las coberturas. Sin embargo, el color de la cobertura blanca se vio afectada al adoptar una tonalidad blanca perlada opaca.

Del presente trabajo se puede concluir que fue posible encontrar condiciones de operación que mejoraran el proceso de secado de los extractos de polifenoles, aumentando rendimientos y protegiendo dichos compuestos; además, por las características fisicoquímicas tienen gran potencial en la industria alimentaria como es el caso de las coberturas de chocolate.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ingeniero Químico, M.Sc, Ph.D Carlos Jesús Muvdi Nova. Codirector: Ingeniero químico Sergio Alejandro Cáceres Roa.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE SPRAY-DRYING PROCESS AS A SPRAYING TECHNIQUE FOR POLYPHENOL EXTRACTS OBTAINED FROM COCOA SHELL*.

AUTHORS: Johnattan Rafael Cristóbal García Benítez; Liseth Milena Buenahora Toscano**.

KEY WORDS: *Spray-Dryer*, polyphenols, encapsulating, yield, chocolate.

DESCRIPTION:

In recent years, the Food Science and Technology Research Group CICTA has been working on the valorization of cocoa shell as a source of polyphenols. One of the stages involved in the process to obtain polyphenols is the spray drying, which has been little explored and was preliminarily studied by the CICTA Group. For this reason, the present work searched to evaluate the spray drying technique, considering the use of encapsulating agents, in previously concentrated polyphenol extracts obtained from cocoa shell, and the potential in the food industry.

Different encapsulating agents were evaluated: maltodextrin, skim milk powder, gum arabic and chitosan, where the best yields were for maltodextrin (47.19%) and for the maltodextrin/gum arabic mixture (37.81%). The total polyphenol content and antioxidant capacity (ORAC) for the pulverized products ranged from 1.18 - 3.81 mgEAG/g and 73.6 - 171.88 $\mu\text{molET/g}$, respectively. The best conditions for obtaining pulverized products were: encapsulating agent: maltodextrin, solids content in solution: 15% w/w, and air inlet temperature: 130°C. Was decided to use the pulverized products obtained in different chocolate topping (white, semi-bitter and milk). The topping chocolates recorded polyphenols content. The addition of this spray did not appear to affect the odor and texture characteristics of the toppings. However, the color of the white chocolate topping was affected adopting a dull pearly white shade.

From the present work it can be concluded that it was possible to find operating conditions that improve the drying process of polyphenol extracts, increasing yields and protecting these compounds; in addition, due to their physicochemical characteristics, they have great potential in the food industry, as in the case of chocolate toppings.

* Bachelor Thesis.

** Physical and Chemical Engineering's Faculty. School of Chemical Engineering. Advisor: Chemical Engineer, M.Sc, Ph.D Carlos Jesús Muvdi Nova. Codirector: Chemical Engineer Sergio Alejandro Cáceres Roa.

INTRODUCCIÓN

Problemática y Justificación.

La cáscara de cacao, también conocida como cacota, es un subproducto obtenido a partir de la separación entre los granos y la vaina del cacao (Villamizar & López, 2017)¹. Los granos son utilizados para la fabricación del chocolate, mientras que la cacota se considera como un residuo vegetal que representa una cantidad significativa de desechos orgánicos (Pérez & Pulido, 2014)². Cada tonelada de grano seco representa cerca de 10 toneladas de cáscara (Mejía & Castellanos, 2000)³. La cacota es rica en carbohidratos, fibra, proteínas, pectina y compuestos bioactivos como polifenoles y carotenoides (Villamizar & López, 2017)¹. Teniendo en cuenta los atributos nutricionales y el gran porcentaje de residuos que representa la cacota, el Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) durante los últimos 10 años ha trabajado en la obtención de compuestos de alto valor (polifenoles), a partir de distintas matrices vegetales, incluyendo la cáscara de cacao (Villamizar & López, 2017). Actualmente, el grupo CICTA ha llevado el proceso de extracción de polifenoles a partir de la cacota a una mayor escala (200 veces mayor). La última etapa de este proceso es el secado por aspersión, la cual busca obtener un producto pulverizado estable en el tiempo y que facilite su almacenamiento. Sin embargo, para esta etapa, el grupo CICTA ha reportado rendimientos de hasta un 5%, bajo condiciones de operación preliminares, y hasta el momento, no se han realizado ajustes de mejora en el proceso que permitan aumentar la productividad de dicha operación.

¹ Villamizar & López (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. Respuestas. pg 22(1), 75-83.

² Perez & Pulido (2014). Determinacion Experimental Y Modelamiento De Las Perfiles De Extraccion Supercritica Para La Obtencion De Compuestos Bioactivos A Partir De Cascara De Cacao (Clon Ccn-51), Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica.

³Mejía & Castellanos (2000). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao (No. 633.743 T255). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga (Colombia). Región Siete.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, surge en primer lugar la necesidad de evaluar la etapa de pulverización de extractos de polifenoles (previamente concentrados) para mejorar los rendimientos de la operación y obtener mayor producto pulverizado, y segundo, generar aplicaciones alimenticias en donde se puedan evaluar dichos pulverizados obtenidos. Para ello, el grupo de investigación CICTA y la empresa Girones S.A trabajan en conjunto en un proyecto de desarrollo e innovación que busca evaluar el uso de compuestos bioactivos como los polifenoles en la generación de nuevos productos alimenticios. Es bajo el marco de este proyecto de innovación que se plantea la aplicación de los pulverizados enriquecidos con polifenoles en la elaboración de productos como coberturas de chocolate.

Marco teórico y Estado del arte.

Las principales variables a tener en cuenta en la técnica de secado por aspersion son el flujo de alimentación, la concentración de la solución, la velocidad de aspersion, la temperatura de entrada del aire y la temperatura de la solución alimentada (Tangarife *et al.*, 2021)⁴. Para que el proceso sea eficiente y rápido, el fluido debe tener una concentración no superior al 50% de sólidos y se debe evitar alcanzar una elevada temperatura en el interior del secador, pues se podría generar una pérdida de nutrientes en el material encapsulado (Tangarife *et al.*, 2021). Aumentar la velocidad de aspersion produce partículas más pequeñas y un secado más rápido (Chegini & Ghobadian, 2005). Por otro lado, el aumento del flujo de alimentación produce un tamaño de partícula mayor debido al aumento de la humedad residual en ellas (Chegini & Ghobadian, 2005). El tipo de boquilla, la capacidad del secador y el tipo de atomizador usado, son parámetros de diseño del equipo que tienen influencia en la calidad del pulverizado final (Wei *et al.*, 2019)⁵.

⁴ Tangarife *et al.* (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1-21

⁵ Wei *et al.* (2019). Numerical simulation of mono-disperse droplet spray dryer under the influence of nozzle motion. *Powder Technology*, 355, 93-105.

Además de las condiciones y parámetros, es importante mencionar el uso de agentes encapsulantes en esta operación. El agente encapsulante forma una pared alrededor de la sustancia de interés, protegiendo al núcleo del deterioro contra el calor, humedad, condiciones de procesamiento y empaquetado, mejorando el sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia (Huertas, 2010)⁶. Además, aleja la solución de la temperatura de transición vítrea (T_g), evitando que el material pase de un estado sólido a un estado gomoso, que se caracteriza por su pegajosidad y mayores velocidades de reacción (Robaina *et al.*, 2019)⁷. Dentro de los agentes encapsulantes más usados están las grasas, goma arábiga, alginato de calcio, almidón de trigo, maíz, arroz, ciclodextrina, maltodextrina, proteína de lactosuero, entre otros (Huertas, 2010).

El trabajo de Antury & Cubillos (2016)⁸ se tomó como referente principal de condiciones y parámetros de operación en el secado por aspersión. En este trabajo se pulverizó maltodextrina (40°Brix) y glucosa (20°Brix) a un caudal de alimentación de 15 - 25 mL/min. La velocidad del disco difusor fue de 33.000 rpm y la temperatura de entrada del aire fue de 130°C. Se obtuvieron rendimientos bajos (39,28% para maltodextrina y 26,86% para glucosa), sin embargo, era un resultado esperado según la literatura.

Muzaffar *et al.* (2015)⁹ afirma que en estos procesos hay pérdidas de calor y de producto pulverizado que se adhiere a las paredes del secador, lo que disminuye los rendimientos del proceso.

⁶Huertas (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 63(2), 5669-5684.

⁷ Robaina *et al.* (2019). La transición vítrea en relación con la pegajosidad en el secado por aspersión: Glass transition in relation to stickiness during spray drying. Ciencia y Tecnología de Alimentos, 29(3), 62-69.

⁸ Antury & Cubillos (2016). Diseño E Implementacion De Un Secador Tipo Spray-Dryer Para La Pulverizacion De Hidrolizados De Maltodextrinas Y Glucosa Producidas A Partir De Almidon De Yuca (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Química).

⁹ Muzaffar *et al.* (2015). Stickiness Problem Associated with Spray Drying od Sugar and Acid Rich Foods: Nutrition and Food Science, 2015. Vol. 12 no. 3, p 11-13.

Los pulverizadores usados en los trabajos de investigación consultados corresponden a equipos de laboratorio de menor escala que el usado por Antury & Cubillos (2016), lo que les permite un mayor control y eficiencia del proceso que se ve reflejado en los rendimientos de la operación. A diferencia de estos pulverizadores, Huaman (2019)¹⁰ emplea un piloto próximo a la escala industrial y cercano al equipo usado por Antury & Cubillos (2016) en donde obtienen rendimientos menores al 50%, a excepción del mayor rendimiento reportado (82%) bajo las condiciones de 150°C y 7% de maltodextrina.

Respecto al proceso de microencapsulación de polifenoles a partir de agentes encapsulantes, Tolun & Artik (2016)¹¹ usaron diferentes proporciones de maltodextrina y goma arábiga (10:0, 8:2 y 6:4 p:p) en la microencapsulación de material fenólico del orujo de uva. Realizaron el secado por aspersion usando diferentes temperaturas (120, 140, 160 y 180°C). Concluyeron que el rendimiento de los pulverizados mostraba un aumento con el incremento de la temperatura de secado. Obtuvieron el mayor rendimiento (64,9%) con una relación maltodextrina:goma 10:0 (p:p) que se secó a 180°C. Del mismo modo, Turchiuli *et al.* (2014)¹² lograron un rendimiento superior a 65% a la misma temperatura que Tolun & Artik (2016) (180°C) usando goma acacia en combinación con maltodextrina e inulina para la pulverización de compuestos lipofílicos.

Tanto el trabajo de Estrada *et al.* (2019)¹³, como el de Aghbashlo *et al.* (2013)¹⁴ resultaron interesantes debido al uso de agentes encapsulantes de matriz poco

¹⁰ Huaman (2019). Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*). P. 125.

¹¹ Tolun & Artik (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of biotechnology*, 239, 23-33.

¹² Turchiuli *et al.* (2014). Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying. *Powder Technology*, 255, 103-108.

¹³ Estrada *et al.* (2019). Microencapsulation of cocoa liquor nanoemulsion with whey protein using spray drying to protection of volatile compounds and antioxidant capacity. *Journal of microencapsulation*, 36(5), p. 447-458.

¹⁴ Aghbashlo *et al.* (2013). Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), p. 1561-1569.

común. Aghbashlo *et al.* (2013) usó compuestos originarios de la leche para micro encapsular aceite de pescado mediante secado por atomización a diferentes temperaturas de aire de entrada (140, 160 y 180 °C). Aunque no se reportaron rendimientos de operación, determinaron una capacidad de encapsulación de 81,94% a 180°C usando leche desnatada en polvo (SMP) mientras que Estrada *et al.* (2019) reportó un rendimiento de compuestos polifenólicos, de 78 – 93% usando proteína de suero en emulsiones de licor de cacao a la misma temperatura (180°C).

Por otro lado, el trabajo de Pulido & Beristain (2010)¹⁵ muestra la encapsulación de ácido ascórbico por medio de quitosano. El ácido ascórbico es utilizado como suplemento vitamínico y como antioxidante, pero se deteriora fácilmente por la oxidación. Debido a esto, se utiliza el quitosano (polisacárido catiónico) para la microencapsulación del ácido. La operación obtuvo un rendimiento de microencapsulación de 78%, un rendimiento mayor comparado con el obtenido por Desai & Park (2004)¹⁶ del 60% utilizando como agente encapsulante quitosano para micro encapsular vitamina C.

Es importante señalar que además de evaluar las características fisicoquímicas y los rendimientos de los pulverizados obtenidos, es de interés el hecho de enriquecer nuevos productos con polifenoles para darles un valor agregado. En el trabajo de Messery *et al.* (2019)¹⁷ micro encapsularon material polifenólicos procedente de la cáscara de la manzana utilizando maltodextrina, proteína de suero y goma arábiga por la técnica de secado por aspersión. El pulverizado obtenido se usó como suplemento en un yogurt y los resultados mostraron muestras de yogurt que mantuvieron compuestos polifenólicos hasta el final del almacenamiento. El pulverizado añadido tuvo un ligero efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del

¹⁵ Pulido & Beristain (2010). Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9(2), 189-195.

¹⁶ Desai & Park (2004). Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Drug Development Research* 63, p. 181-189.

¹⁷ Messery *et al.* (2019). Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(1), 25-34.

yogurt en términos de pH, acidez titulable y viscosidad. Sin embargo, los autores sugieren que el pulverizado tiene potencial como ingrediente para alimentos funcionales como un yogurt saludable.

Así como la piel de la manzana, la cáscara de cacao es fuente potencial de polifenoles para usar como ingrediente funcional en alimentos. En el estudio de Papillo *et al.* (2019)¹⁸ se micro encapsularon extractos fenólicos de cáscaras de cacao usando maltodextrina mediante el secado por aspersion con el fin de obtener ingredientes para productos de panadería (galletas). Como resultado se determinó que la maltodextrina puede considerarse como el agente más prometedor para mejorar la estabilidad de los polifenoles al tratamiento térmico. El mayor contenido fenólico se observó en el pulverizado de goma arábica:maltodextrina 80:20 p:p, el cual no redujo su contenido al hornear la galleta. Los autores finalizan invitando a realizar estudios en donde se usen estos pulverizados en otros alimentos con el fin de generar innovadores productos funcionales y la satisfacción de los consumidores.

¹⁸ Papillo *et al.* (2019). Cocoa hulls polyphenols stabilized by microencapsulation as functional ingredient for bakery applications. *Food research international*, 115, 511-518.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la aspersion como técnica de secado en la obtención de pulverizados encapsulados de antioxidantes obtenidos a partir de la cacota de cacao.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las variables de operación en el proceso de secado por aspersion para la obtención del producto pulverizado usando agentes encapsulantes de diferente naturaleza.
- Evaluar el uso de agentes encapsulantes durante el proceso de secado que aseguren la obtención de pulverizados a partir de extractos concentrados de polifenoles.
- Evaluar la aplicación de los pulverizados obtenidos en diferentes tipos de cobertura de chocolate.

2. METODOLOGÍA

En la Figura 1, se presenta el cuadro metodológico de las fases que se desarrollaron durante el proyecto.

Fase 1: Determinación de variables de operación en el proceso de secado por aspersion.

Para la Fase 1 se determinaron las mejores condiciones de operación en el proceso de secado por aspersion utilizando agentes encapsulantes como elementos que aseguren no solo el pulverizado, sino una mayor concentración de polifenoles.

Para ello, se realizó el análisis y la revisión de trabajos e investigaciones publicados, en donde se especificó la naturaleza de la solución que se buscaba pulverizar, las características fisicoquímicas del agente encapsulante usado y las condiciones de operación a las que fue sometido el proceso para realizar el secado por aspersion. Se analizó con especial interés la relación existente entre la viscosidad y la concentración de cada agente encapsulante. Esta relación marcó el límite máximo de concentración de sólidos (% p/p) para la preparación de las mezclas y posterior pulverización. Se prepararon distintas soluciones para la determinación de la viscosidad en función de la concentración y del tipo de agente encapsulante. Con base en los resultados obtenidos y la revisión de otras investigaciones publicadas, se fijaron los límites para las variables a usar durante las pruebas de secado de la siguiente fase. Las variables analizadas fueron: relación viscosidad/concentración de cada agente encapsulante (maltodextrina, goma arábica, leche en polvo y quitosano), flujo de alimentación de la solución a pulverizar, temperatura de aire de entrada, temperatura de transición vítrea y velocidad de aspersion. Es muy importante resaltar que, debido a la diversidad de los agentes encapsulantes y sus características, las condiciones de operación no serían necesariamente las mismas para cada uno de ellos.

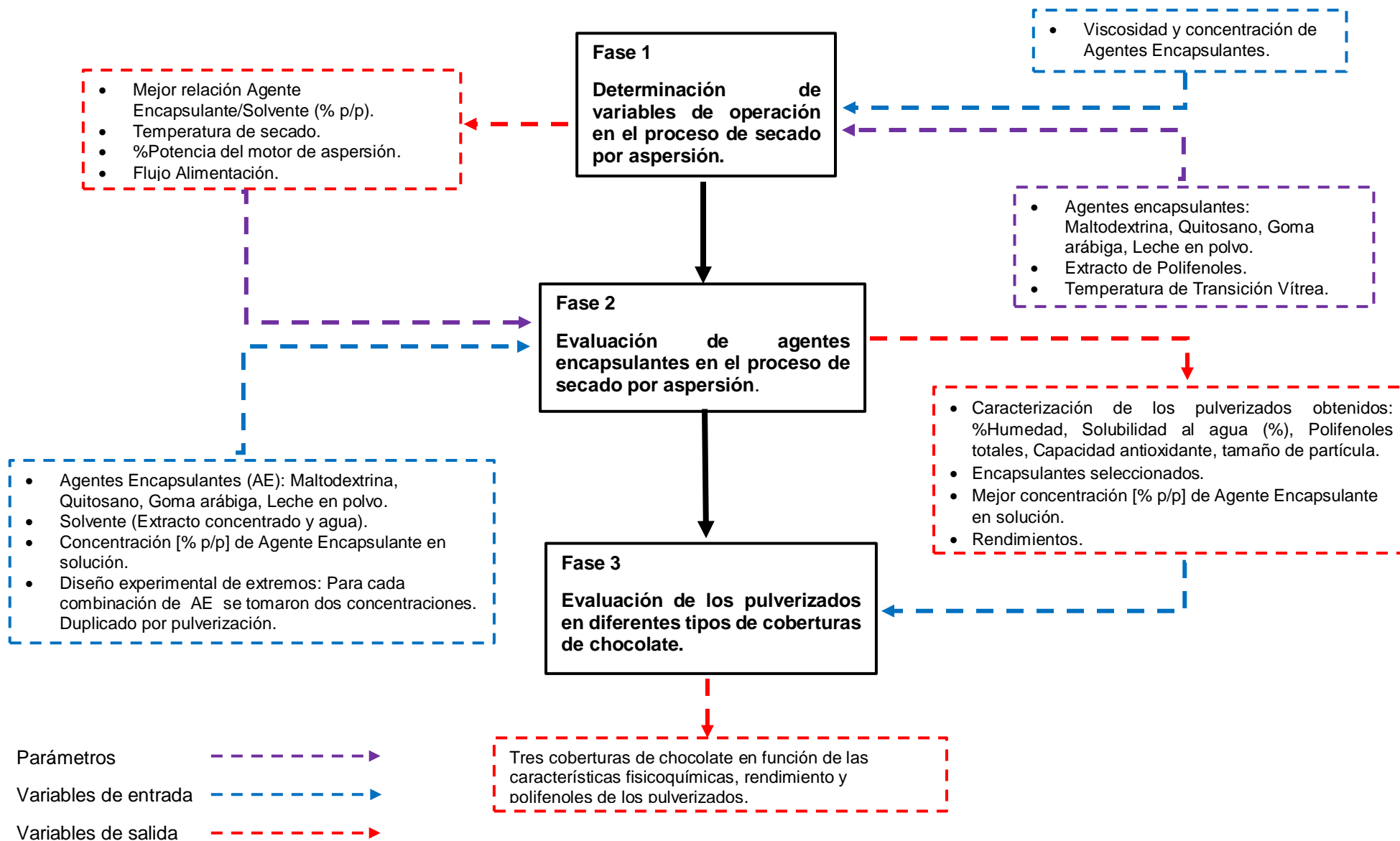


Figura 1. Diagrama metodológico del Trabajo de grado.

Fase 2: Evaluación de agentes encapsulantes para el proceso de secado por aspersion.

Para evaluar los agentes encapsulantes en la Fase 2 se utilizaron las condiciones de operación definidas en la Fase 1. Las pruebas se realizaron en el equipo de pulverización piloto *Spray-dryer* que se encuentra en el laboratorio de procesos 210 del Edificio de investigaciones del Parque Tecnológico UIS Guatimará diseñado por Antury & Cubillos (2016). El objetivo de esta fase fue seleccionar los agentes encapsulantes o la mezcla de agentes encapsulantes que aseguren la mayor cantidad de polifenoles y el mayor rendimiento en el proceso de pulverización. La operación se limitó a 4 combinaciones diferentes: maltodextrina (MD), maltodextrina/goma arábica (MD/GA), maltodextrina/quitosano (MD/Q) y leche descremada en polvo (LP) en diferentes proporciones. Para seleccionar los agentes encapsulantes, se utilizó agua como solvente inicialmente, con el fin de determinar la relación Encapsulante(s)/Solvente antes del uso con el extracto de polifenoles. Para todas las relaciones Encapsulante(s)/Solvente, se partió de la solución más diluida a la más concentrada, incrementando gradualmente la concentración del encapsulante, asegurando obtener pulverizado. A partir de los resultados obtenidos con agua se escogieron las mejores combinaciones para usar con el extracto. Todos los pulverizados obtenidos se caracterizaron en: %Humedad, %solubilidad al agua, tamaño de partícula, polifenoles totales y capacidad antioxidante (ensayo ORAC). Estos análisis de laboratorio se realizaron por duplicado. Igualmente, las pruebas se caracterizaron en términos de rendimiento de la operación y se seleccionó la mejor relación Encapsulante(s)/Extracto posible para utilizar dichos pulverizados en la última fase.

Fase 3: Evaluación de los pulverizados en diferentes tipos de coberturas de chocolate.

Las matrices evaluadas fueron coberturas de chocolate, debido a que actualmente este trabajo se articula con un proyecto de desarrollo e innovación junto con la empresa Gironés S.A. Se definieron 3 coberturas de chocolate a elaborar. A partir

del trabajo de Cavero (2017)¹⁹ se formuló una cobertura de chocolate blanco (BL) de 600g y una cobertura con leche (L) de 500g. Por otra parte, del trabajo de Velasteguí (2010)²⁰ se formuló una cobertura semiamarga (SA) de 600g. Los ingredientes principales de las formulaciones fueron licor de cacao, manteca de cacao, azúcar, leche en polvo y vainilla, proporcionados por la empresa Gironés S.A. A partir de los resultados de la Fase 2, se escogieron las mezclas que mostraron mejor rendimiento y contenido de polifenoles en los pulverizados. Estas mezclas fueron secadas por aspersion extendiendo el tiempo de la prueba a 3 h aproximadamente, nunca realizado con el equipo de pulverización, esto con el fin de aumentar la cantidad del pulverizado obtenido y evaluar el comportamiento de esta operación unitaria. El pulverizado obtenido se usó para reemplazar un ingrediente (azúcar o leche en polvo) de las formulaciones originales. Los ingredientes y los pulverizados se mezclaron en molinos especiales durante 24h seguidas. Finalmente, las coberturas obtenidas fueron evaluadas bajo características visibles (color), olor, textura y contenido de polifenoles totales.

Cálculo de rendimiento de secado: El rendimiento fue definido como la relación entre la cantidad de sólido obtenido en el pulverizado y el material sólido alimentado, definido por la ecuación [1]:

$$\%Rendimiento = \frac{P * S_P}{L * S_L} * 100 [1]$$

P: Pulverizado obtenido (g)

L: Solución alimentada (g)

S_P: %materia seca en el pulverizado obtenido (% p/p)

S_L: %materia seca en la solución alimentada (% p/p)

¹⁹ Cavero (2017). Desarrollo y costeo de cobertura sabor a chocolate para aplicación industrial en galletas. p. 30.

²⁰ Velasteguí (2010). *Desarrollo de la tecnología para la elaboración de chocolate de cobertura* (Bachelor's thesis). p. 30.

Materiales e insumos: Cacota de cacao suministrada por el SENA-El Playón, etanol industrial al 96% v/v, extracto de polifenoles previamente concentrado, maltodextrina de almidón de maíz, goma arábica, leche descremada en polvo (marca Colanta), NaOCl (5,25 % p/v); carbonato de sodio (99,9 % p/p), reactivo de Folin-Ciocalteu (99,9% p/p), ácido gálico (99,9 % p/p), Trolox (99,9 % p/p), fluoresceína de sodio y AAPH (Sigma-Aldrich).

Métodos experimentales y de análisis

Métodos de caracterización: %materia seca (A.O.A.C 990.19); índice de solubilidad al agua según protocolo de Antury & Cubillos (2016); polifenoles totales por método Folin-Ciocalteu (Villamizar & López, 2017); capacidad antioxidante por ensayo ORAC (Huang *et al*, 2002)²¹; tamaño de partícula mediante microscopia electrónica de barrido (MEB) servicio del Laboratorio de microscopia UIS.

Piloto de secado por aspersión Spray-Dryer: Secador centrífugo que posee un sistema de calentamiento a través de resistencias eléctricas, motor con capacidad de 33.000 rpm, aislamiento térmico (chaqueta de corcho) y sistema de control de temperatura de entrada de aire a la cámara de secado. El equipo fue diseñado por Antury & Cubillos (2016) y se realizaron algunas modificaciones de mejora en el trabajo de grado de Ballesteros & Bohórquez (2019).

Preparación del extracto de polifenoles: Inicialmente, se lavó el fruto con el fin de retirar los residuos provenientes de la etapa de cosecha. Posteriormente, se separó la cáscara del fruto (granos de cacao) y se llevó a un proceso de reducción de tamaño a partir de una trituradora picadora TP24 Penagos®. La cáscara picada se llevó a una etapa de extracción sólido-líquido con etanol-agua como solvente en un tanque en acero inoxidable con chaqueta de calentamiento y agitación. El extracto obtenido se filtró y se llevó a una etapa de concentración mediante el evaporador

²¹ Huang *et al*. (2002). High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2002, vol. 50, no 16, p. 4437-4444.

de película descendente al vacío ubicado en el laboratorio de procesos 210 EDI UIS. En esta etapa se concentró el extracto de polifenoles hasta un factor de concentración volumétrica (FCV) de 3, es decir, se redujo el volumen 3 veces. El extracto concentrado fue congelado hasta su uso en la etapa de secado por aspersión. Las condiciones de operación utilizadas están indicadas en procedimientos documentados al interior del grupo, y no se presentan por aspectos de protección.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN EN EL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN.

Las variables de operación fueron seleccionadas a partir de la literatura. El caudal de la solución alimentada fue de 16-18 ml/min y la revolución del motor fue de 24.750 rpm (75% de la capacidad máxima del motor), esto para no exigir el máximo al equipo, debido a que se realizarían pulverizaciones de forma continua. Los valores de caudal y de revoluciones del motor fueron suministrados del trabajo de Antury & Cubillos (2016). Para establecer la temperatura de calentamiento del aire de entrada, fue necesario consultar las diferentes temperaturas de transición vítrea de cada agente encapsulante, maltodextrina ($T_g=137\text{ }^\circ\text{C}$, Antury & Cubillos, 2016); goma arábica ($T_g = 94,7-125,12\text{ }^\circ\text{C}$, Kurozawa *et al.*, 2009)²²; quitosano ($T_g= 140-203^\circ\text{C}$, Yanming *et al.*, 2004)²³ y leche en polvo (temperatura de secado en los procesos industriales de $170-250^\circ\text{C}$, Hui *et al.*, 2008)²⁴.

Para estimar la concentración de cada agente encapsulante a pulverizar fue necesario determinar su viscosidad. Se usó como límite máximo de viscosidad el valor de 634,59 cP procedente del trabajo de López *et al.* (2009)²⁵ en donde se secó por aspersion una mezcla de maltodextrina y goma acacia. Viscosidades superiores al valor propuesto (López *et al.*, 2009) no permitirían el paso de la mezcla de manera fluida por el sistema de atomización. Con el fin de determinar una relación de viscosidad/concentración adecuada para el proceso de pulverización, se presenta la Tabla 1, en donde se propusieron diferentes concentraciones a evaluar.

²² Kurozawa *et al.* (2009). Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 287-296.

²³ Dong *et al.* (2004). Studies on glass transition temperature of chitosan with four techniques. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(4), 1553-1558.

²⁴ Hui *et al.* (2008). Food Drying Science and Technology - Microbiology, Chemistry, Applications - 9.3.3.1 Rotary Wheel Atomizer.

²⁵ López *et al.* (2009). Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersion. *Vitae*, 16(3), 287-296.

Tabla 1. Concentraciones propuestas para los diferentes agentes encapsulantes.

Agente encapsulante	Concentración propuesta (% p/p)**						
Quitosano (Q)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	
Goma arábica (GA)	0	3	6	9	12	15	
Leche en polvo (LP)	0	10	15	20	30	40	
Maltodextrina:goma arábica (MD:GA) (p:p)*	50:50						
	60:40	0	5	10	15	20	30
	70:30						
Maltodextrina:quitosano (MD:Q) (p:p)*	90:10	0	2,5	5	7,5	8,8	10
	95:5	0	2,5	5	7,5	10	12,5

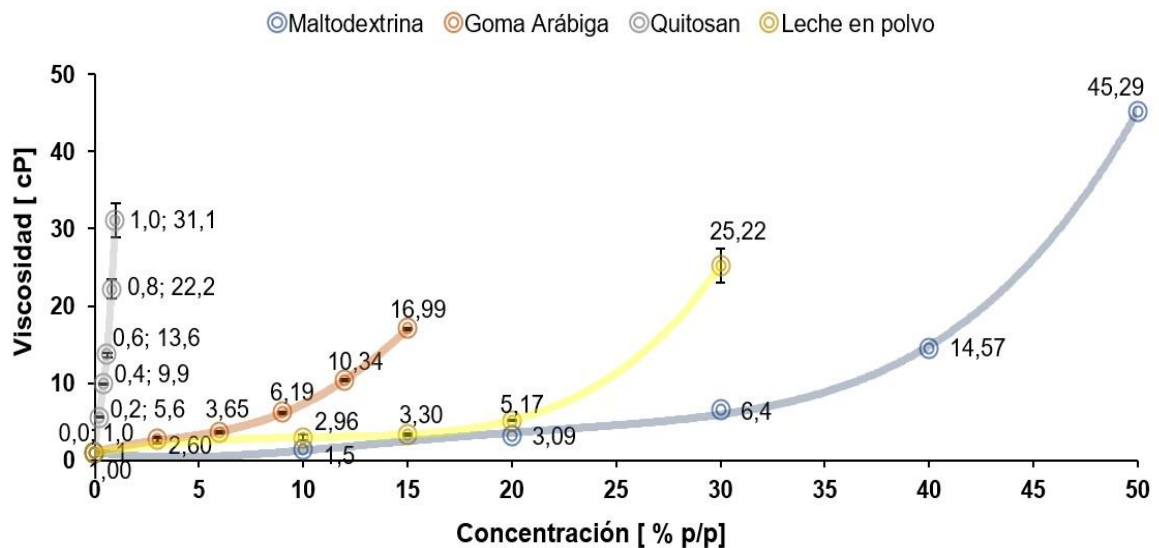
**(p:p): g encapsulante 1 / g encapsulante 2. **(% p/p): g encapsulantes mezclados / g solución.*

Los resultados de la viscosidad para las concentraciones propuestas en la Tabla 1 se presentan en la Figura 2 y en la Tabla 2. La Figura 2 muestra la dependencia de la viscosidad en función de la concentración para los 4 agentes encapsulantes utilizados de manera individual: maltodextrina (MD), goma arábica (GA), quitosano (Q) y leche en polvo (LP). En los anexos se pueden consultar los resultados para MD:GA (60:40 p:p) (Figura 1) y para MD:Q (95:5 p:p) (Figura 2), en caso de querer ampliar la información aquí presentada.

La primera curva (que se presenta de izquierda a derecha), representa el comportamiento del quitosano (Q), siendo el agente encapsulante más viscoso (está por debajo del límite máximo establecido). El quitosano presenta un crecimiento considerable de viscosidad con respecto a pequeños incrementos en su concentración. Por lo anterior, bajas concentraciones presentan altas viscosidades en comparación con los otros agentes encapsulantes. Continuando con el orden, se encuentran las curvas de la goma arábica (GA) y la leche en polvo (LP). Estas curvas presentan un comportamiento de viscosidad similar en concentraciones por debajo del 6% p/p, más allá de este valor se observa una diferencia en el aumento de la viscosidad, siendo más elevada para la curva de GA con respecto a la LP. Una solución concentrada de GA (40-50% p/p) podría dificultar el proceso de secado, puesto que la emulsión podría alcanzar altas

viscosidades (podría superar el límite máximo establecido) y disminuir su fluidez en el sistema de atomización. En la literatura se recomienda el uso de la GA junto a otro agente encapsulante menos viscoso, con el fin de diluir la mezcla y así aumentar el porcentaje de sólidos para la pulverización (Ramírez, 2013)²⁶. Por último, se encuentra la curva de MD como el agente encapsulante menos viscoso, el cual posee la ventaja de obtener soluciones con baja viscosidad y un alto contenido de sólido para el proceso de secado.

Figura 2. Viscosidad Vs Concentración para disolución de agentes encapsulantes en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.



Dada la intención que se tiene en evaluar todos los agentes encapsulantes, pero entendiendo las limitaciones de estos debido a sus características, se recurre a la maltodextrina como material de apoyo en la pulverización, con el fin de generar mezclas menos viscosas que presenten un mayor contenido de sólidos. En la Tabla 2 se presentan los resultados de la viscosidad en función de la concentración obtenidos para las diferentes mezclas de agentes encapsulantes.

Tabla 2. Resultados de viscosidad para las mezclas de agentes encapsulantes.

²⁶ Ramírez (2013). Evaluación de variables de un proceso de micro-encapsulación para la estabilización de polifenoles. *Departamento de Ingeniería Química*. p. 48-49.

Concentración [% p/p]		0	5	10	15	20	30	
		Viscosidad [cP]						
Maltodextrina:goma arábica (MD:GA) (p:p)	50:50	1	3,03	3,97	7,51	14,11	55,43	
	60:40	1	2,38	3,35	6,02	10,91	40,92	
	70:30	1	2,84	3,38	5,02	8,67	27,28	
Concentración [% p/p]		0	2,5	5	7,5	8,8	10	12,5
		Viscosidad [cP]						
Maltodextrina:quitosano (MD:Q) (p:p)	90:10	1	6,78	14,42	27,68	41,23	61,28	-
	95:5	1	4,23	7,11	11,24	14,55	17,6	26,79

Por literatura se conoce que la maltodextrina aporta un total de 4 cal/g (Montesdeoca *et al.*, 2018)²⁷, mientras que la goma arábica 1,5 cal/g (DAYELET ARABIC)²⁸. Al adicionar maltodextrina a la solución de goma arábica, la viscosidad total de la mezcla disminuye, pero se aumenta el aporte calórico de la misma. Por este motivo, la proporción adecuada para el proceso debería constar de una cantidad apropiada de encapsulantes que generen una mezcla final con baja viscosidad, menor aporte calórico y un mayor contenido de sólidos.

En el caso de la combinación de MD y Q se observa que los valores de viscosidad para la proporción 90:10 (p:p) son más elevados con respecto a la proporción 95:5 (p:p). Para un contenido de sólidos cercanos al 10% p/p, la viscosidad de la relación MD:Q (90:10) es en promedio 61,28 cP, es decir, 3,5 veces mayor a la viscosidad de la relación MD:Q (95:5).

A partir de las concentraciones de agentes encapsulantes individuales de la Figura 2 y de las proporciones de mezcla de agentes encapsulantes de la Tabla 2 se presenta la Tabla 3, la cual contiene la formulación y variables de operación seleccionadas para el secado por aspersion de dichos agentes en agua.

Tabla 3. Formulación y variables de operación seleccionadas para el secado por aspersion de agentes encapsulantes en solución acuosa.

²⁷ Montesdeoca *et al.* (2018). Efecto de la adición de lactasa y sacarosa en una bebida isotónica utilizando lactosuero. Revista chilena de nutrición, 45(4), 316-322.

²⁸ DAYELET texturas de cocina. Texturizante en polvo Arabic Goma Arábica Espesante.

Encapsulante	# Prueba	Código*	Encapsulante % p/p	Temperatura aire de entrada	Revolución del motor
MD	1	P1-10	10	130 °C	24.750 rpm
	2	P1-10R	10		
	3	P1-30	30		
	4	P1-30R	30		
LP	5	P2-10	10		
	6	P2-10R	10		
	7	P2-30	30		
	8	P2-30R	30		
MD:GA (60:40)	9	P3-5	5	120 °C	
	10	P3-5R	5		
	11	P3-15	15		
	12	P3-15R	15		
MD:Q (95:5)	13	P4-5	5	150 °C	
	14	P4-5R	5		
	15	P4-10	10		
	16	P4-10R	10		

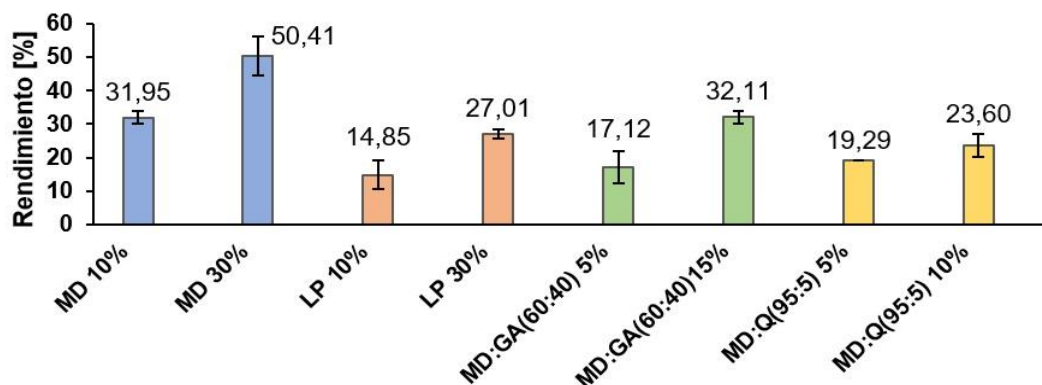
*MD = Maltodextrina; LP = Leche en polvo; MD:GA(60:40) = Maltodextrina:Goma arábica (60:40); MD:Q(95:5) = Maltodextrina:Quitosano (95:5); *R: réplica.*

3.2 EVALUACIÓN DE AGENTES ENCAPSULANTES PARA EL PROCESO DE SECADO POR ASPERSIÓN.

➤ *Proceso de pulverización y rendimientos de la operación para soluciones en base acuosa y en extracto de polifenoles.*

En la Figura 3 se presentan los rendimientos obtenidos para los diferentes agentes encapsulantes. Los rendimientos obtenidos usando MD al 10 y 30 % p/p son cercanos a los reportados por Antury & Cubillos (2016) (alrededor del 40%).

Figura 3. Rendimientos de la operación usando agentes encapsulantes en agua.



La MD al 30 % p/p presentó el mayor rendimiento de todas las 16 pulverizaciones realizadas. Los resultados indican que al aumentar % p/p de sólidos totales también aumenta el rendimiento. Sin embargo, al triplicar el % p/p de sólidos, el rendimiento no aumentó en la misma proporción (este valor aumentó en 1,6 veces para la MD, 1,8 para la LP y 1,9 veces para la mezcla MD:GA 60:40). Se seleccionaron las pruebas con mejor rendimiento (ver Figura 3) para la formulación de la operación de secado por aspersion, esta vez usando extracto de polifenoles. Estas formulaciones se presentan en la Tabla 4.

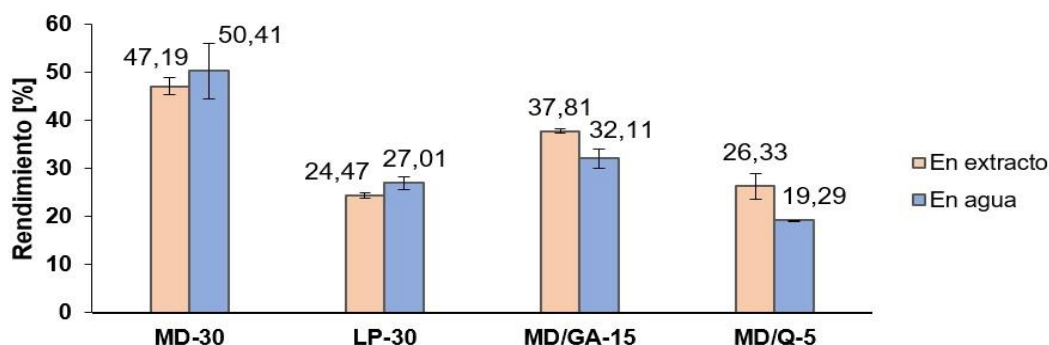
Tabla 4. Formulación y variables de operación seleccionadas para el secado por aspersion de agentes encapsulantes en extracto de polifenoles.

Encapsulante	# Prueba	Código*	Contenido de Sólidos (% p/p)	Temperatura aire de entrada	Revolución del motor
MD	1	MD-30	30	130 °C	24.750 rpm
	2	MD-30R	30		
LP	3	LP-30	30		
	4	LP-30R	30		
MD/GA	5	MDGA-15	15	120 °C	
	6	MDGA-15R	15		
MD/Q	7	MDQ-5	5	150 °C	
	8	MDQ-5R	5		

MD = Maltodextrina, LP = Leche en polvo, MD:GA (60:40) = Maltodextrina:Goma arábica (60:40), MD:Q(95:5) = Maltodextrina:Quitosano (95:5). R: réplica

En la Figura 4 se presentan los rendimientos de las formulaciones propuestas en la Tabla 4 y se comparan con los resultados obtenidos de las mezclas en agua.

Figura 4. Comparación entre rendimientos obtenidos del pulverizado con extracto y agua pura. Condiciones de operación 130°C (MD y LP), 120°C (MD/GA) y 150° (MD/Q) y 24.750 rpm.



Como ocurrió anteriormente, la MD arrojó el mejor rendimiento de entre todos los agentes encapsulantes evaluados. Las condiciones de operación entre las pruebas MD-30 y LP-30 fueron las mismas. Sin embargo, para una concentración de 30% p/p la viscosidad de la LP fue de 25,22 cP, mientras que la viscosidad de la MD fue de 6,4 cP (revisar Figura 2). Por otro lado, Martínez (2015)²⁹ afirma que los productos bajos en azúcares pueden deshidratarse con un sencillo proceso de secado; sin embargo, aquellos productos con elevado contenido en azúcares son difíciles de pulverizar, ya que durante el secado el producto se queda adherido en las paredes del equipo, provocando problemas de rendimiento en la operación. La proteína de leche contiene 5% de azúcar (Buffoni *et al*, 2011)³⁰ y podría representar una dificultad al pulverizar una gran cantidad de solución. Esto podría explicar el rendimiento de la LP-30 (27,01%). En la Figura 5 se muestran los pulverizados obtenidos en la operación. En el trabajo de Hidalgo (2015)³¹ se estudió la influencia

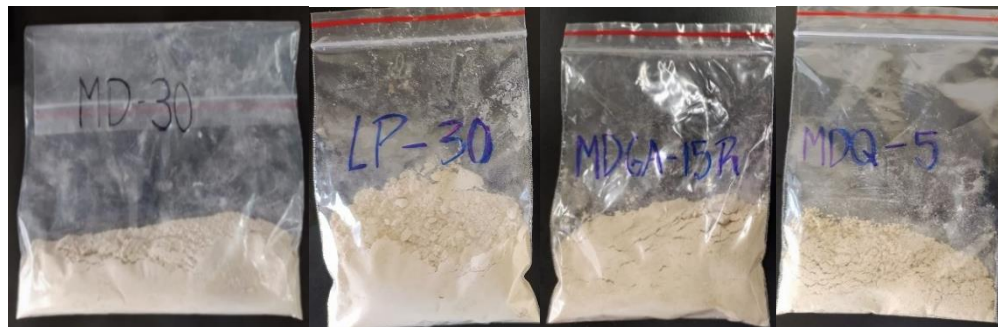
²⁹ Martínez (2015). Efecto de la maltodextrina y la temperatura sobre kiwi deshidratado por atomización. p. 6-9.

³⁰ Buffoni *et al*. (2011). Characterization of the major whey proteins from milk of Mediterranean water buffalo (*Bubalus bubalis*). Food Chemistry, 127(4), 1515-1520.

³¹Hidalgo (2015). Diseño de un secador por atomización para jugo de estevia (Bachelor's thesis, Quito: UCE). p. 41-42.

de la temperatura del aire de calentamiento de entrada y la cantidad de maltodextrina sobre la humedad y el rendimiento del proceso.

Figura 5. Pulverizado obtenido en prueba de maltodextrina (30% p/p), leche en polvo (30% p/p), maltodextrina:goma arábica (15% p/p) y maltodextrina:quitosano (5% p/p) en extracto de polifenoles.



Se concluyó que la concentración de maltodextrina interfiere significativamente en el rendimiento mientras que la temperatura no. La información anterior podría explicar porque la prueba MDGA posee un rendimiento más alto (37,81%) que el de la prueba MDQ (26,33%). La prueba MDGA tenía una cantidad mayor de MD (30,93g de MD) respecto a la prueba MDQ. Esta proporcionalidad directa entre la cantidad de MD y el rendimiento también explicaría porque el mejor rendimiento se alcanzó en la prueba MD-30, donde se usó la mayor cantidad de MD (330g).

La interacción de diferentes cantidades de maltodextrina, goma arábica y quitosano son variables que pueden tener influencia sobre el rendimiento de la operación, así como la interacción de estas variables con el extracto de polifenoles. Sin embargo, estudiar dichas interacciones e influencia sobre el rendimiento de la operación está fuera del alcance de este proyecto, por lo que se recomienda su estudio en futuros trabajos.

➤ *Caracterización fisicoquímica de los pulverizados.*

Los pulverizados obtenidos fueron evaluados en algunas características fisicoquímicas. La Tabla 5 contiene el promedio del porcentaje de humedad (%) y del índice de solubilidad en agua (%ISA) para los diferentes pulverizados.

Tabla 5. Porcentaje de humedad (%) e índice de solubilidad en agua (%ISA) para los pulverizados obtenidos usando agua y extracto de polifenoles.

Pruebas con agua	Humedad [%]	ISA [%]	Pruebas con extracto	Humedad [%]	ISA [%]
P1-30	6,87	98,95	MD-30	4,41	99,32
P2-30	8,25	86,78	LP-30	6,49	91,33
P3-15	8,89	96,04	MDGA-15	6,81	98,07
P4-5	12,30	90,08	MDQ-5	8,6	90,71
P4-10	9,06	82,25	MDQ-9	9,95	80,74

El contenido de humedad fue más alto para los pulverizados obtenidos de la mezcla de agentes encapsulantes (MDGA y MDQ) que para los encapsulantes usados de manera individual (MD y LP). El aumento de la concentración de MD disminuye el contenido de humedad y aumenta el tiempo de reconstitución y el contenido de azúcares reductores (Oberoi & Sogi, 2015)³². Del mismo modo, Rajabi *et al.* (2015)³³ afirma que hay influencia del contenido de sólidos sobre el contenido de humedad.

Con respecto a la diferencia observada en el contenido de humedad entre la muestra MD-30 (4,41%) y MDGA-15 (6,81%) se establece un mayor contenido de humedad con el uso de la goma arábica en diferentes proporciones (Tangarife *et al.*, 2021). La goma arábica en la mezcla aumenta la aglomeración entre partículas evitando una adecuada dispersión del pulverizado (Tangarife *et al.*, 2021). En el caso del quitosano, en el trabajo de Sormoli & Langrish (2012)³⁴ determinaron que la curva de absorción de humedad del quitosano puro muestra una tendencia del quitosano para absorber la humedad a una tasa alta (27,3% de humedad de equilibrio del quitosano puro). Esa tendencia del Q explicaría por qué los contenidos de humedad más altos se evidenciaron en las mezclas con Q.

La solubilidad es la rapidez con la que las partículas del pulverizado alcanzan la disolución en agua, se dispersan y se humectan completamente (Cortés-Rojas *et*

³² Oberoi & Sogi (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178.

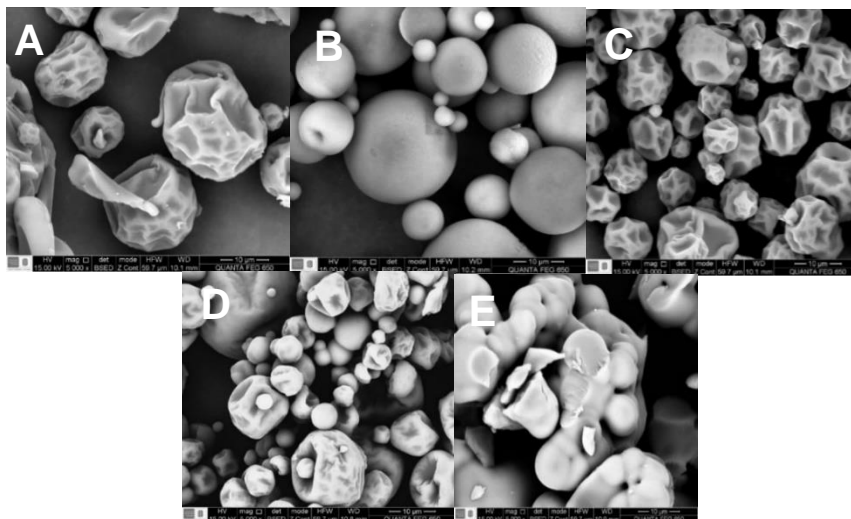
³³ Rajabi (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, 51, 327-337.

³⁴ Sormoli & Langrish (2012). The effect of chitosan hydrogen bonding on lactose crystallinity during spray drying. *Journal of Food Engineering*, 108 (4), 541-548.

al., 2015³⁵; Daza *et al.*, 2016³⁶). Los índices de solubilidad más altos se consiguieron usando MD de manera individual, seguido de la combinación de MD y GA. Lo anterior concuerda con el trabajo de Mosquera (2010)³⁷ en donde se alcanzan mejores índices de solubilidad al usar MD (alrededor del 90%) que al usar GA (superiores al 80%) en pulverizados de borjón y fresa. Las mezclas de Q y MD presentaron los valores de ISA más bajos. Estos valores están asociados a la interacción entre la MD, el Q y las cantidades usadas en la prueba, pues, aunque la MD aporte mayor solubilidad y esté en mayor proporción que el Q (95:5 p:p), el Q no es soluble en agua destilada (Mármol *et al.*, 2011)³⁸ lo que disminuye la solubilidad del pulverizado final.

A continuación, se presenta la Figura 6 en donde se muestra las micrografías de las partículas obtenidas del producto pulverizado enriquecido con polifenoles.

Figura 6. Micrografías de partículas (mag 5000x): (A) MD-30, (B) LP-30, (C) MDGA-15, (D) MDQ-5, (E) MDQ-9.



³⁵ Cortés-Rojas (2015). Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 366-376.

³⁶ Daza (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and bioproducts processing*, 97, 20-29.

³⁷ Mosquera, L. H. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

³⁸ Mármol *et al.* (2011). Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 1, 53-58.

En la Figura 6 se puede apreciar un tipo de esfera arrugada y rugosa (imagen A, C y D), como de un balón desinflado. Dicha forma puede ser atribuible al uso de MD, pues solo se evidencia en las muestras mezcladas con MD. Las imágenes concuerdan con las reportadas por Adame *et al.* (2015) y Tolun & Artik (2016) en el uso de MD en infusiones de canela y MD con GA en extracto de uva respectivamente. La muestra MDQ-9 (imagen E) en comparación con MDQ-5 (imagen D) presentó una superficie más lisa y parece más un conglomerado de partículas que partículas individuales. Estas diferencias pueden deberse a la cantidad de Q empleado en cada muestra. Por otro lado, la LP (imagen B) mostró esferas separadas, de superficie lisa, sin poros ni grietas. Imágenes parecidas a las reportadas por Aghbashlo *et al.* (2013) en su estudio de microencapsulación usando agentes encapsulantes de origen lácteo. El tamaño promedio de partícula para cada uno de los pulverizados obtenidos se presenta en la Tabla 6 junto con algunos valores encontrados en la literatura.

Tabla 6. Tamaño promedio de partículas en pulverizados enriquecidos con polifenoles.

Muestra	Tamaño de partícula (µm)	Agentes encapsulantes en otros estudios	Tamaño de partícula (µm)	Autor
MD-30	14,2	Maltodextrina	6 - 30	Adame <i>et al.</i> (2015) ³⁹
LP-30	9,88	Proteína de suero	0,202	Estrada <i>et al.</i> (2019)
MDGA-15	9,87	Maltodextrina:Goma Arábica	1 - 10	Tolun & Artik (2016)
			0,2 - 4	Lopera <i>et al.</i> (2009) ⁴⁰
MDQ-5	5,2	Quitosano	9	Cabral <i>et al.</i> (2018) ⁴¹

³⁹Adame (2015). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 571-577.

⁴⁰Lopera *et al.* (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. p. 59-60.

⁴¹ Cabral *et al.* (2018). Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jaboticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles. *Journal of Food Engineering*, 238, 195-201.

MDQ-9	10,08	Maltodextrina:Quitosano	10,91 – 17,50	Ding <i>et al.</i> (2019) ⁴²
-------	-------	-------------------------	---------------	---

El tamaño de las partículas de polvo depende del grado de eliminación de la humedad durante el secado y del tamaño de las gotas atomizadas (Goula & Adamopoulos, 2004)⁴³. La MD empleada incremento el % de sólidos en todas las muestras. Aquellas muestras con mayor contenido de sólidos, como la MD-30, LP-30, MDGA-15 y MDQ-9 obtuvieron mayor tamaño de partícula. Por el contrario, la MDQ-5 (menor contenido de sólidos) tuvo el menor tamaño (5,2 μm). Lo anterior indica una relación directamente proporcional entre el contenido de sólidos y el tamaño de partícula. Shishir *et al.* (2014)⁴⁴ explica que el incremento del diámetro medio de partícula aumenta debido al incremento de la viscosidad en la alimentación, lo cual se debe a un aumento en la concentración de sólidos. El tamaño y la forma de partícula varía en cada producto y se ve afectado por las propiedades de la sustancia a secar y las condiciones de operación (Chong *et al.*, 2014)⁴⁵.

A continuación, se presenta la Figura 7: A y B. En la Figura 7 A se muestra el contenido de polifenoles totales y en la Figura 7 B se muestra la capacidad antioxidante para los pulverizados enriquecidos con extracto de polifenoles.

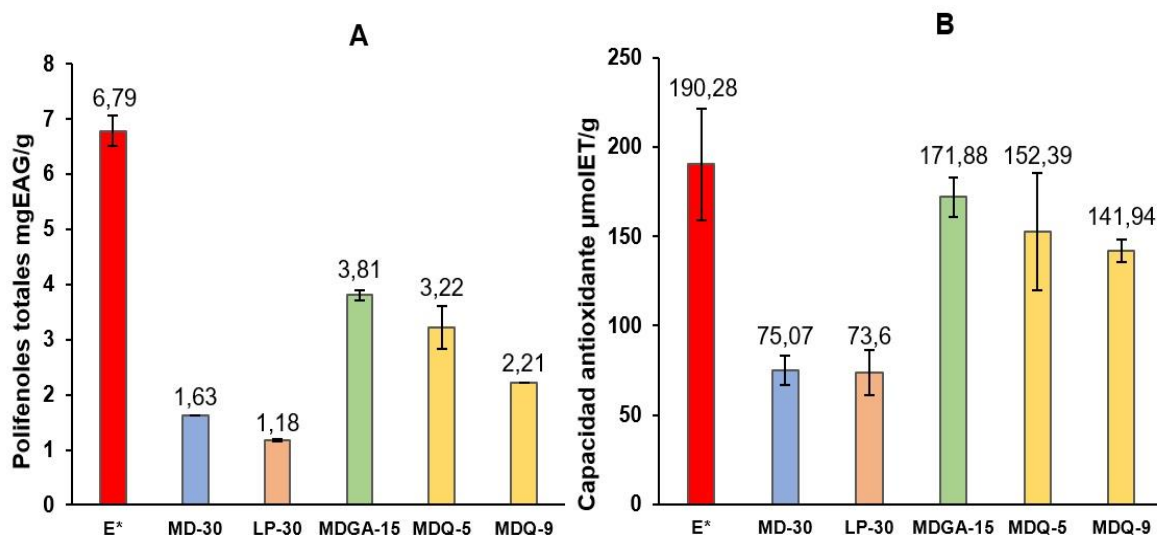
Figura 7. A) Polifenoles totales (mgEAG/g) y B) capacidad antioxidante ($\mu\text{molET/g}$) para pulverizados enriquecidos.

⁴² Ding *et al.* (2019). Fabrication and characterization of soybean oil bodies encapsulated in maltodextrin and chitosan-EGCG conjugates: An in vitro digestibility study. *Food Hydrocolloids*, 94, 519-527.

⁴³ Goula & Adamopoulos (2004). Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Drying technology*, 22(10), 2309-2330.

⁴⁴ Shishir *et al.* (2014). Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2(7), 74-81.

⁴⁵ Chong *et al.* (2014). Effects of spray drying conditions of microencapsulation of *Amaranthus gangeticus* extract on drying behaviour. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 33-42.



E*: Extracto de polifenoles en solución y sin pulverizar. **Desviaciones medias

En el estudio de Villamizar & López (2017) se determinó un contenido de 61 mgEAG/g de polifenoles totales a partir de un extracto de cáscara de cacao, lo que supone un contenido 9 veces superior al determinado en este estudio (6,79 mgEAG/g). En el mismo estudio presentaron valores para la capacidad antioxidante entre $1528,2 \pm 303,9$ moET/g y $2538,06 \pm 532,81$ moET/g. Lo anterior sugiere que el extracto utilizado para realizar las pulverizaciones contenía una baja cantidad de polifenoles totales en comparación con otros reportes. Esta disminución de polifenoles en el extracto está asociada con la degradación en su almacenamiento (Laine *et al.*, 2008)⁴⁶. Es importante decir que, por temas de acceso al laboratorio, el extracto usado para las pruebas estuvo almacenado cerca de 8 meses. Lo anterior podría responder al bajo contenido de polifenoles.

La capacidad antioxidante es una consecuencia de la presencia y estructura química de los polifenoles (Padilla *et al.*, 2008)⁴⁷; a mayor contenido fenólico, mayor

⁴⁶ Laine *et al.* (2008). Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rubus chamaemorus*) phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23), 11251-11261.

⁴⁷ Padilla *et al.* (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 58(3), 303-308.

es la capacidad antioxidante (Aguilar *et al.*, 2020)⁴⁸. Por lo anterior, los resultados de la capacidad antioxidante son proporcionales a los resultados de polifenoles totales.

Es importante mencionar que la determinación de polifenoles totales se efectuó sobre el pulverizado obtenido usando los diferentes agentes encapsulantes y sobre el extracto líquido (puro) de cáscara de cacao. El valor del extracto líquido (6,79 mgEAG/g) funciona como referencia. Los resultados indican la presencia de polifenoles en los pulverizados finales usando agentes encapsulantes.

Se evidenció que las pruebas con menor contenido de sólidos totales (MDGA15% y MDQ5-9% p/p) presentaron un mayor contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante, mientras que la MD y LP a un 30% p/p obtuvieron los valores más bajos. Al aumentar el % de sólidos totales usando mayor cantidad de agentes encapsulantes (los agentes encapsulantes utilizados no presentan actividad antioxidante), se disminuye la proporción de extracto en la mezcla. Por lo anterior, el contenido de polifenoles totales y antioxidantes era menor. Para comprobar lo anterior, se pulverizó una mezcla de extracto con MD y LP cada una al 15% p/p. El contenido de polifenoles y capacidad antioxidante se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Polifenoles totales y capacidad antioxidante para MD y LP al 15% p/p.

Agente encapsulante	Polifenoles totales (mgEAG/g)*	Capacidad antioxidante (μmolET/g)**
Maltodextrina	4,26 \pm 0,72	107,56 \pm 22,19
Leche en polvo	3,74 \pm 0,58	151,53 \pm 34,91

Desviación media*; *Desviación estándar*

En comparación con los pulverizados obtenidos al 30% p/p de sólidos, los pulverizados al 15% de MD y LP aumentaron 2,6 y 3,2 veces más el contenido de

⁴⁸ Aguilar *et al.* (2020). Nanoencapsulación de compuestos bioactivos con actividad antioxidante de Justicia spicigera (muicle) y Theobroma cacao L. (cacao). En E. San Martín-Martínez (Ed.). Avances de investigación en Nanociencias, Micro y Nanotecnologías. Volumen II. Barcelona, España: OmniaScience. p. 29-46.

polifenoles y 1,4 y 2,1 veces la capacidad antioxidante, respectivamente. Dicho aumento corresponde a la disminución del contenido de sólidos totales. Ramírez (2013) determinó que, para generar altos contenidos fenólicos en un extracto de fruta, era necesario tener una baja concentración de agentes encapsulantes en la mezcla.

Dada la discusión con respecto al contenido de sólidos en la mezcla, se propone para futuras investigaciones estudiar los valores de sólidos totales usando diferentes agentes encapsulantes que permitan alcanzar el mayor contenido de polifenoles y capacidad antioxidante. Del mismo modo, se considera importante estudiar la combinación de MD con LP, pues dados los resultados y según Tsali & Goula (2018)⁴⁹ los agentes encapsulantes derivados de la leche funcionan mejor en combinación con otros encapsulantes como la MD.

3.3 EVALUACIÓN DE LOS PULVERIZADOS OBTENIDOS EN DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE CHOCOLATE.

Los pulverizados obtenidos presentaron tamaños de partícula cercanos a los reportados por Quiñones *et al.* (2011)⁵⁰ (7,08 - 9,17 μm) para tamaños de partícula en coberturas de chocolate oscuro. Adicional a ello, se evidenció un contenido de polifenoles y actividad antioxidante en los pulverizados, y dado el contexto del presente del proyecto con la empresa Girones S.A, las matrices escogidas como aplicaciones fueron coberturas de chocolate.

Las muestras que presentaron mayor contenido de polifenoles fueron MD, LP y MDGA (60:40 p:p) al 15% p/p de sólidos. Se realizaron 3 pulverizaciones extendiendo el tiempo de la prueba 4,5 veces más (3 horas de prueba) en comparación con el tiempo de las pulverizaciones de la Fase 2 (40 min de prueba).

⁴⁹ Tsali & Goula (2018). Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. *Powder Technology*, p. 340, 194-207.

⁵⁰ Quiñones *et al.* (2011). Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings Efecto del mezclado y temperado sobre las propiedades reológicas y de tamaño de partícula de coberturas de chocolate oscuro. *Cyta-Journal of Food*, 9(2), p. 109-113.

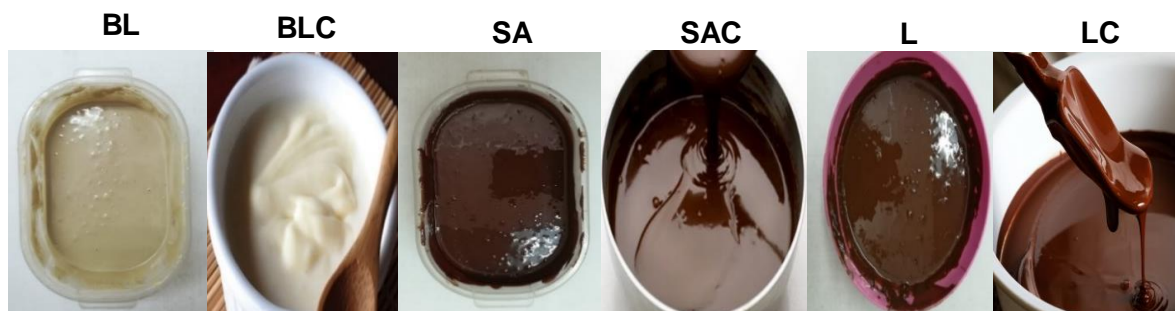
Extender el tiempo de las pruebas tenía como finalidad obtener mayor cantidad de producto pulverizado para usar en las formulaciones de las coberturas. El piloto Spray-dryer mostró un buen desempeño durante la realización de todas las pruebas de la Fase 3. El rendimiento de MD-15 fue de 55,6% (33,8% en pruebas de 40 min), el de LP-15 de 40,4% (27,3% en pruebas de 40 min) y el de MDGA-15 fue de 54,8% (37,8% en pruebas de 40 min). Cada pulverizado enriquecido se usó para reemplazar un ingrediente de las formulaciones consultadas. Los ingredientes y cantidades de estas formulaciones se encuentran en las Tablas 1, 2 y 3 del anexo. En la Tabla 8 se presenta el reemplazo realizado.

Tabla 8. Ingredientes reemplazados por el pulverizado enriquecido con polifenoles.

Cobertura	Ingrediente reemplazado	Pulverizado enriquecido usado
Chocolate blanco (BL)	Leche en polvo	LP-15
Chocolate semiamargo (SA)	Azúcar	MD-15
Chocolate con leche (L)	Azúcar	MDGA-15

A continuación, se presenta la Figura 8, donde se observan las coberturas preparadas y la comparación con coberturas comerciales.

Figura 8. Cobertura de chocolate: Blanca (BL), semiamarga (SA) y con leche (L) y coberturas comerciales (BLC⁵¹, SAC⁵², LC⁵³)



⁵¹ Cobertura blanca comercial (BLC). Durán, L. (2016) Ilustración de receta de cobertura de chocolate blanco para tartas.

⁵² Cobertura semiamarga comercial (SAC). La cocina de Johanna Prato, ilustración de Glasa de cobertura de chocolate amargo.

⁵³ Cobertura de leche comercial (LC). La Alacena del chef, ilustración de cobertura sabor a chocolate de leche.

Dado que no se usó etanol de grado alimenticio para preparar los extractos, las coberturas no se evaluaron en cuanto a los atributos sensoriales de sabor y aroma (ambos requieren de prueba en boca). En ese sentido se evaluaron las características de color, apariencia, textura, olor y contenido de polifenoles. Las observaciones se consignaron en la Tabla 9. La viscosidad se evaluó untando las coberturas sobre una superficie (galletas) y observando la facilidad (alta fluidez) o dificultad (baja fluidez) con que la cobertura se esparcía sobre ésta.

Tabla 9. Características evaluadas en las coberturas.

Cobertura	Color	Olor	Viscosidad	Adherencia	Granulosidad	Grasitud
Chocolate con leche (L)	Café opaco	Intenso a manteca	Baja fluidez	Adhesivo	Arenoso y superficie no uniforme	Grasoso
Chocolate semiamargo (SA)	Café muy brillante	Característico del chocolate	Alta fluidez	Nada adhesivo	Liso superficie uniforme	Grasoso
Chocolate blanco (BL)	Blanco perlado opaco	Leve a manteca	Baja fluidez	Adhesivo	Arenoso y superficie no uniforme	Moderadamente grasoso

La adherencia consistió en depositar una muestra de cobertura sobre la superficie, y dar vuelta a la superficie para observar si la cobertura se derramaba o regaba (nada adhesivo) o si por el contrario la muestra quedaba adherida. La granulosidad y grasitud se evaluaron bajo la percepción de la vista y el tacto. La adición del pulverizado pareció no afectar el color y brillo de SA y L (color y brillo es parecido a las coberturas tradicionales). Sin embargo, afectó la BL dándole una tonalidad blanca perlada opaca diferente a las coberturas tradicionales. No se presentaron inconvenientes a la hora de mezclar los pulverizados con los demás ingredientes de las formulaciones. No hubo aglomeraciones en los molinos ni separación de fases, la mezcla se mantuvo homogénea y uniforme durante todo el proceso.

Se evidenció un contenido de polifenoles de $0,13 \pm 0,07$ mgEAG/g para la cobertura BL, $12,19 \pm 1,40$ mgEAG/g para la SA y de $2,16 \pm 0,82$ mgEAG/g para la L. Sin embargo, por temas de tiempo y acceso al laboratorio por cuestión de la pandemia, no se pudieron elaborar coberturas control (coberturas sin adición de pulverizado

enriquecido de polifenoles). Por lo anterior no fue posible cuantificar el aumento de polifenoles en las coberturas preparadas. Es importante recordar que el pulverizado adicionado contenía una baja cantidad de polifenoles porque el extracto empleado contenía una baja actividad antioxidante. Sin embargo, sin importar si el contenido era bajo o alto, al reemplazar un ingrediente sin actividad antioxidante de la formulación original (azúcar, por ejemplo) por el pulverizado enriquecido, el contenido de polifenoles en la cobertura final debe aumentar por balance de masa. La cobertura BL registro un contenido de polifenoles ($0,13 \pm 0,07$ mgEAG/g) mayor que la cobertura blanca comercial, la cual no detectó actividad antioxidante. En la Tabla 10 se presenta la formulación original y la modificada para la SA (con adición del pulverizado enriquecido).

Tabla 10. Formulaciones para la cobertura SA (600g). Formulación original, fuente: Velasteguí (2010).

Formulación original		Formulación modificada	
Ingredientes	[g]	Ingredientes	[g]
Licor de cacao	240	Licor de cacao	240
Manteca de cacao	138	Manteca de cacao	138
<i>Azúcar</i>	<i>210</i>	<i>Pulverizado con Polifenoles (MD)</i>	<i>209,3</i>
Lecitina	3	Lecitina	3
Vainilla	9	Vainilla	9
		Emulsionante PGPR	1,8
		Estevia	0,7
Total	600	Total	601,8

Para futuros trabajos se propone continuar estudiando el aumento de polifenoles en los pulverizados. Se recomienda usar extractos más concentrados que aseguren un mayor grado de enriquecimiento de polifenoles. Así mismo, se recomienda evaluar coberturas enriquecidas con polifenoles procedente de la cáscara de cacao con pruebas sensoriales que involucren el sabor, la textura en boca, el aroma entre otros. Esto con el fin de obtener un panorama más amplio de atributos sensoriales que los aquí presentado

4. CONCLUSIONES

- Se determinaron las variables de operación en el proceso de secado por aspersión mediante la revisión bibliográfica y pruebas de viscosidad. Las pulverizaciones se realizaron a una velocidad de aspersión de 24.750 rpm y un caudal de alimentación entre 16 – 18 mL/min (Antury & Cubillos, 2016). La temperatura de transición vítrea (T_g) de cada agente y las pruebas de viscosidad permitieron definir las temperaturas de secado y los límites de concentración (% p/p) en las mezclas a pulverizar, respectivamente. Las pulverizaciones se realizaron a 120°C y 5 – 15% p/p (mezclas de maltodextrina y goma arábica), 130°C y 10 – 30% p/p (mezclas de maltodextrina y leche en polvo) y 150°C y 5 – 10% p/p (mezclas de maltodextrina y quitosano).
- Se evaluó la técnica de secado por aspersión en las mezclas de extracto de polifenoles con agentes encapsulantes a partir del rendimiento de la operación y las características fisicoquímicas de los pulverizados obtenidos. Se evidenció que al incrementar el % p/p de sólidos totales también se incrementaba el rendimiento de la operación. La cantidad de maltodextrina usada tuvo influencia tanto en el rendimiento como en las características fisicoquímicas de los pulverizados. A mayor cantidad de maltodextrina, se presentó mayor rendimiento, mayor índice de solubilidad al agua, menor contenido de humedad y mayor tamaño de partícula. Las muestras con menor contenido de sólidos totales (MD-15, LP-15, MDGA-15 y MDQ-9) presentaron mayor actividad antioxidante y contenido de polifenoles pues contenían mayor cantidad de extracto en la mezcla.
- Se evaluaron 3 coberturas de chocolate como aplicación de los pulverizados enriquecidos con polifenoles en productos alimenticios a partir de características visibles, olor, textura y contenido de polifenoles. La adición del pulverizado pareció no afectar la cobertura semiamarga y la de leche en los aspectos de

brillo y color. Por el contrario, la cobertura de chocolate blanco adoptó un color perlado opaco no muy agradable a la vista. Todas las coberturas evidenciaron contenido de polifenoles. El pulverizado enriquecido mezcló bien con los demás ingredientes de las formulaciones generando mezclas homogéneas durante todo el proceso.

5. RECOMENDACIONES

- Entendiendo que el contenido de sólidos en la mezcla tiene influencia sobre el contenido de polifenoles en los pulverizados obtenidos, se propone para futuros trabajos evaluar los rangos de sólidos totales en mezcla (usando diferentes agentes encapsulantes) que permitan alcanzar el mayor contenido de polifenoles y capacidad antioxidante en los pulverizados.
- Se recomienda usar extractos más concentrados de polifenoles en el secado por aspersión para la obtención de material pulverizado con mayor grado de enriquecimiento.
- Evaluar la posibilidad de trabajar con etanol grado alimenticio para poder incluir las características sensoriales de sabor, aroma y textura en boca de productos enriquecidos con polifenoles. Esto con el fin de obtener un panorama más amplio de atributos sensoriales que los presentados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AGHBASHLO, Mortaza, et al. Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, vol. 6, no 6, p. 1561-1569.

AGUILAR MÉNDEZ, Miguel Ángel, et al. Nanoencapsulación de compuestos bioactivos con actividad antioxidante de *Justicia spicigera* (muicle) y *Theobroma cacao* L. (cacao). En E. San Martín-Martínez (Ed.). *Avances de investigación en Nanociencias, Micro y Nanotecnologías. Volumen II*. Barcelona, España: OmniaScience, 2020, p. 29-46.

ANTURY DEVIA, John Fredy, y CUBILLOS AÑATE, Andrea. *Diseño E Implementacion De Un Secador Tipo Spray-Dryer Para La Pulverizacion De Hidrolizados De Maltodextrinas Y Glucosa Producidas A Partir De Almidon De Yuca* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica), 2016.

BUFFONI, Joanna Natalia, et al. Characterization of the major whey proteins from milk of Mediterranean water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Food Chemistry*, 2011, vol. 127, no 4, p. 1515-1520.

CABRAL, Bruna Reis Pimenta, et al. Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jabuticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles. *Journal of Food Engineering*, 2018, vol. 238, p. 195-201.

CALVA ESTRADA, Sergio; LUGO CERVANTES, Eugenia, and JIMÉNEZ FERNÁNDEZ, Maribel. Microencapsulation of cocoa liquor nanoemulsion with whey protein using spray drying to protection of volatile compounds and antioxidant capacity. *Journal of microencapsulation*, 2019, vol. 36, no 5, p. 447-458.

CARDONA TANGARIFE, Diana Paola, PATIÑO ARIAS, Lina Paola, y ORMAZA ZAPATA, Angela Maria. Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de

compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 2021, vol. 22, no. 1, p. 1-21.

CAVERO PAREDES, Blanca Milagros. Desarrollo y costeo de cobertura sabor a chocolate para aplicación industrial en galletas. 2017.

CHÁFUEL, Hidalgo, y ALEJANDRO, Daniel. Diseño de un secador por atomización para jugo de estevia. Bachelor's thesis, Quito: UCE, 2015.

CHEGINI, G. R., and GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. 2005. *Drying technology*, vol. 23, no. 3, p. 657-668.

CHONG, P. H., et al. Effects of spray drying conditions of microencapsulation of *Amaranthus gangeticus* extract on drying behaviour. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2014. Vol. 2, p. 33-42.

CORTÉS ROJAS, Diego Francisco; FERNANDEZ SOUZA, Claudia Regina, and OLIVEIRA, Wanderley Pereira. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chemical Engineering Research and Design*, 2015. Vol. 93, p. 366-376.

DAYELET TEXTURAS DE COCINA. Texturizante en polvo Arabic Goma Arábica Espesante. Disponible en <https://www.dayelet.com/pdfs/esp/DAYELET%20ARABIC.pdf>.

DAZA, Luis Daniel, et al. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and bioproducts processing*, 2016. Vol. 97, p. 20-29.

DESAI, K.G.H. and PARK, Hyun Jin. Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Drug Development Research*. 2005. Vol. 22, no. 2, p. 179-192.

DING, Jian, et al. Fabrication and characterization of soybean oil bodies encapsulated in maltodextrin and chitosan-EGCG conjugates: An in vitro digestibility study. *Food Hydrocolloids*, 2019. Vol. 94, p. 519-527.

DONG, Yanming, et al. Studies on glass transition temperature of chitosan with four techniques. *Journal of Applied Polymer Science*, 2004. Vol. 93, no. 4, p. 1553-1558.

EL MESSERY, Tamer Mohammed, et al. Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2019. Vol. 18, no. 1, p. 25-34.

GOULA, Athanasia M, and ADAMOPOULOS, Konstantinos G. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Drying technology*, 2004. Vol. 22, no. 10, p. 2309-2330.

HUANG, Dejian, et al. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2002, vol. 50, no 16, p. 4437-4444.

HUERTAS, Ricardo Adolfo Parra. Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*. 2010. Vol. 63, no. 2, p. 5669-5684.

HUI, Yiu H, et al. *Food Drying Science and Technology - Microbiology, Chemistry, Applications*. DEStech Publications, Inc, 2008.

KUROZAWA, Louise Emy; PARK, Kil Jin, and HUBINGER, Miriam Dupas. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. *Journal of Food Engineering*, 2009. Vol. 91, no. 2, p. 287-296.

LA ALACENA DEL CHEF, ilustración de cobertura sabor a chocolate de leche. Disponible en <https://laalacenadelchef.co/productos/cobertura-sabor-a-chocolate-de-leche/>

LA COCINA DE JOHANA PRATO, ilustración de glasa de cobertura de chocolate amargo. Disponible en <https://www.johaprato.com/receta/glasa-cobertura-de-chocolate-amargo>

LAINE, Pia, et al. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rubus chamaemorus*) phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008. Vol. 56, no. 23, p. 11251-11261.

LÓPEZ, Beatriz., y MILLAN, Leonidas D. J. Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión. *Vitae*, 2009. Vol. 16, no. 3, p. 287-296.

MÁRMOL, Zulay, et al. Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 2011. Vol. 1, p. 53-58.

MARTÍNEZ ITURRALDE, Andrea. Efecto de la maltodextrina y la temperatura sobre kiwi deshidratado por atomización, 2015.

MEJÍA FLOREZ, Luis Antonio, y ARGUELLO CASTELLANOS, Orlando. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao (No. 633.743 T255). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bucaramanga (Colombia). Región Siete. 2000.

MONTESDEOCA, Ricardo, et al. Efecto de la adición de lactasa y sacarosa en una bebida isotónica utilizando lactosuero. *Revista chilena de nutrición*, 2018. Vol. 45, no. 4, p. 316-322.

MOSQUERA, Luz Hicela. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borojó y fresa en polvo. 2010. (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

MUZAFFAR, Khalid; NAYIK, Gulzar Ahmad and KUMAR, P. Stickiness Problem Associated with Spray Drying of Sugar and Acid Rich Foods: *Nutrition and Food Science*, 2015. Vol. 12 no. 3, p 11-13.

OBEROI, Davinder Pal Singh and SOGI, Dalbir Singh. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 2015. Vol. 165, p. 172-178.

OCHOA HUAMAN, Elder. Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*). 2019.

PADILLA, F. C., RINCÓN, A. M., y BOU RACHED, L. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 2008. Vol. 58, no. 3, p. 303-308.

PAPILLO, Valentina A., et al. Cocoa hulls polyphenols stabilized by microencapsulation as functional ingredient for bakery applications. *Food research international*. 2019. Vol. 115, p. 511-518.

PEREZ LAYTON, L. F., y PULIDO MOLANO, N. S. Determinacion Experimental Y Modelamiento De Las Perfiles De Extraccion Supercritica Para La Obtencion De Compuestos Bioactivos A Partir De Cascara De Cacao (Clon Ccn-51) (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica). 2014.

POR, MICROPARTÍCULAS DE ÁCIDO FÓLICO FORMADAS. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersion, utilizando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared. 2009.

PULIDO, A., y BERISTAIN, C. I. Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersion, utilizando quitosano como material de pared. *Revista mexicana de ingeniería química*. 2010. Vol. 9, no. 2, p. 189-195.

QUIÑONES MUÑOZ, T., et al. Mixing and tempering effect on the rheological and particle size properties of dark chocolate coatings Efecto del mezclado y temperado sobre las propiedades reológicas y de tamaño de partícula de coberturas de chocolate oscuro. *Cyta-Journal of Food*, 2011. Vol. 9, no. 2, p. 109-113.

RAJABI, Hamid, et al. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, 2015. Vol. 51, p. 327-337.

RAMÍREZ LONDOÑO, Mónica Julieth. Evaluación de variables de un proceso de micro-encapsulación para la estabilización de polifenoles. Departamento de Ingeniería Química, 2013.

RECETAS GRATIS. Ilustración de receta de cobertura de chocolate blanco para tartas, (2016). Disponible en <https://www.recetasgratis.net/receta-de-cobertura-de-chocolate-blanco-para-tartas-58066.html>

ROBAINA, Laura M; ARAGUEZ FORTE, Yojhansel y PINO, Jorge A. La transición vítrea en relación con la pegajosidad en el secado por aspersion: Glass transition in relation to stickiness during spray drying. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2019. Vol. 29, no. 3, p. 62-69.

SANTIAGO ADAME, R., et al. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT-Food Science and Technology*, 2015. Vol. 64, no. 2, p. 571-577.

SHISHIR, M. R. I., et al. Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2014. Vol. 2, no. 7, p. 74-81.

SORMOLI, Mona Edrisi; ISLAM, Md Imtiaz UI and LANGRISH, T. A. G. The effect of chitosan hydrogen bonding on lactose crystallinity during spray drying. *Journal of Food Engineering*, 2012. Vol. 108, no. 4, p. 541-548.

TOLUN, Aysu; ALTINTAS, Zeynep and ARTIK, Nevzat. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of biotechnology*. 2016. Vol. 239, p. 23-33.

TURCHIULI, Christelle, et al. Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying. *Powder Technology*. 2014. Vol. 255, p. 103-108.

TSALI, Alexandra and GOULA, Athanasia M. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. *Powder Technology*, 2018. Vol. 340, p. 194-207.

VELASTEGUÍ ARCOS, Viviana Alejandra. Desarrollo de la tecnología para la elaboración de chocolate de cobertura (Bachelor's thesis), 2010.

VILLAMIZAR JAIMES, Arley René y LÓPEZ GIRALDO, Luis Javier. Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas* (2017). 22(1), 75-83.

WEI, Yucong, et al. Numerical simulation of mono-disperse droplet spray dryer under the influence of nozzle motion. *Powder Technology*. 2019. Vol. 355, p. 93-105.

ANEXOS

Figura A1. Viscosidad Vs Concentración para diferentes mezclas de MD:GA en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.

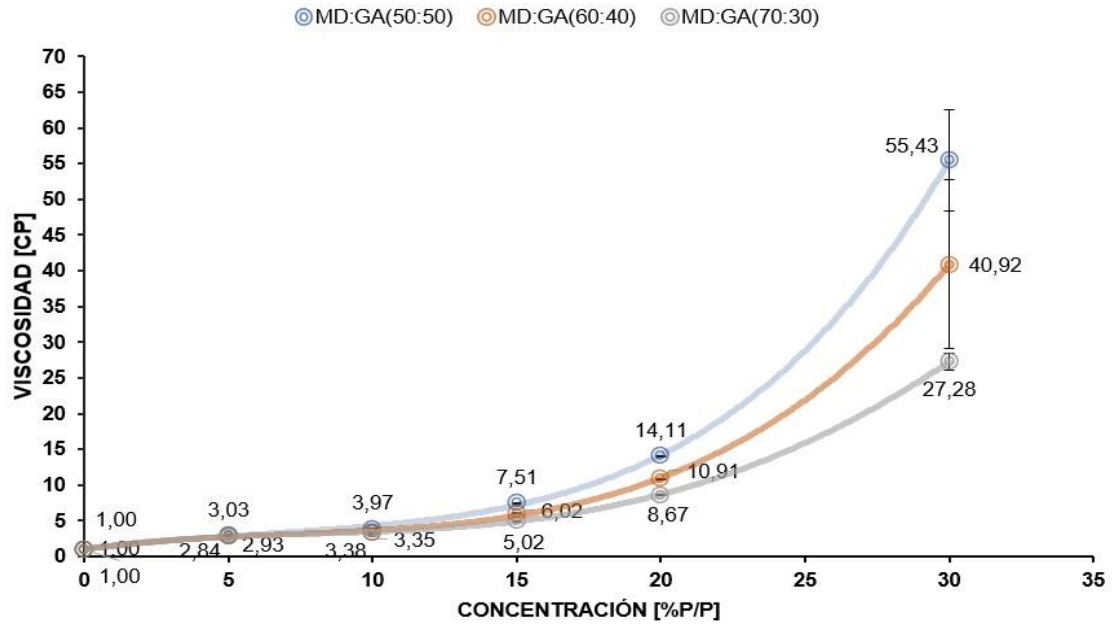


Figura A2. Viscosidad Vs Concentración para diferentes mezclas de MD:Q en agua. Fuente: Análisis grupo de investigación CICTA.

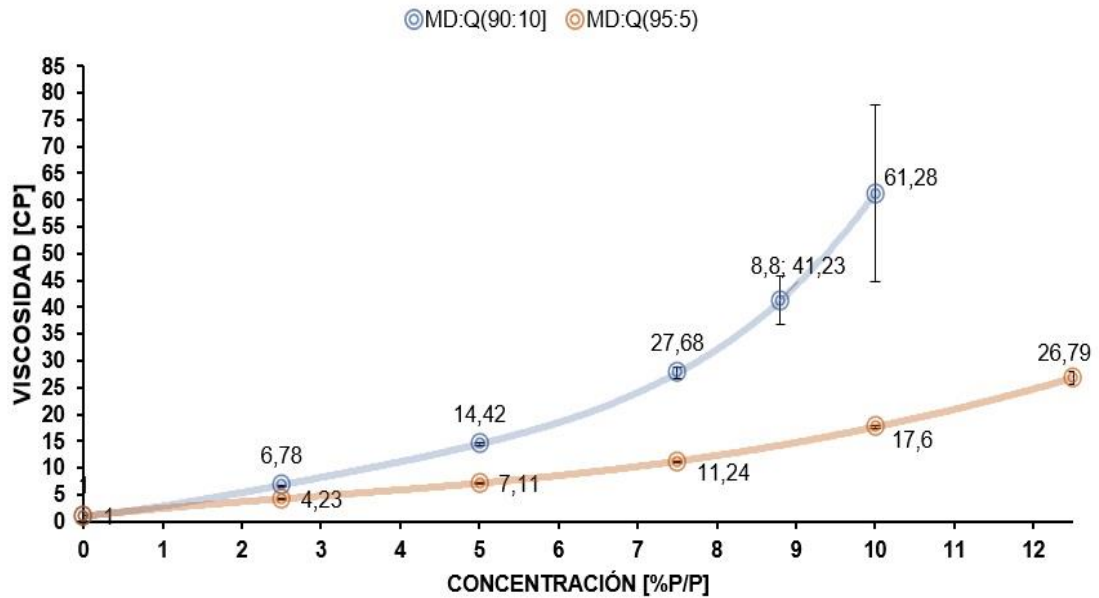


Figura A3. Porcentaje de humedad para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en agua pura.

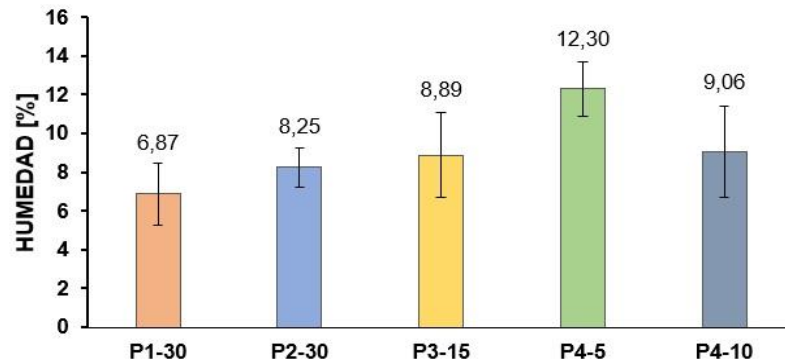


Figura A4. Porcentaje de humedad para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en extracto de polifenoles.

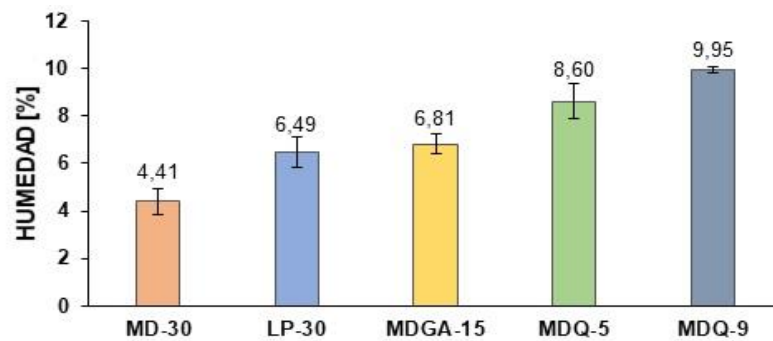


Figura A5. índice de solubilidad en agua (%ISA) para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en agua pura.

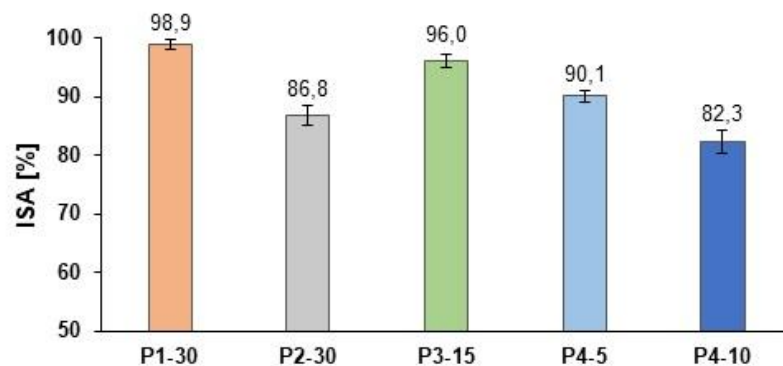


Figura A6. índice de solubilidad en agua (%ISA) para pulverizados provenientes de las pruebas realizadas en extracto de polifenoles.

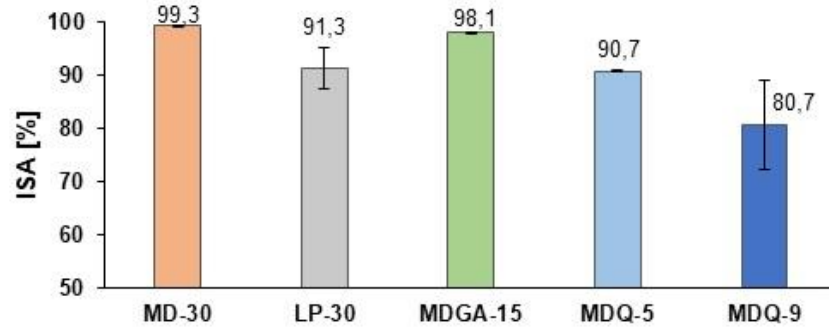


Tabla A1. Formulación cobertura chocolate blanco (600g)

Ingredientes	[g]
Azúcar blanca	249,6
Manteca vegetal	231,78
Leche en polvo entera	14,637
Lecitina de soya	3
Emulsionante PGPR	1,8
Esencias (Vainilla)	0,84
Pulverizado con Polifenoles (LP)	98,263
Total	599,92

Tabla A2. Formulación cobertura chocolate semiamargo (600g)

Ingredientes	[g]
Licor de cacao	240
Manteca de cacao	138
Azúcar (Estevia)	0,7
Lecitina	3
Vainilla	9
Emulsionante PGPR	1,8
Pulverizado de Polifenoles (MD)	209,3
Total	601,8

Tabla A3. Formulación cobertura chocolate con leche (500g)

Ingredientes	[g]
Licor de cacao	85,65
Manteca de cacao	107,04
Leche en polvo entera	12,34
Azúcar	209,79
Lecitina	1,75
Vainilla	0,40
Pulverizado con Polifenoles (MD+GA)	83,04
Total	500,00