UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

"INFLUENCIA DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE"

Presentada por:

ISABEL CAROLINA PEÑARANDA HUERTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima - Perú

2019

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNALM)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

"INFLUENCIA DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE"

Presentado por:

ISABEL CAROLINA PEÑARANDA HUERTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. Francisco Salas Valerio PRESIDENTE	
Mg. Sc. Carlos Elías Peñafiel MIEMBRO	Dr. Milber Ureña Peralta MIEMBRO
Dr. Américo Guevara Pérez ASESOR	Mg. Sc. Beatriz Hatta Sakoda CO-ASESOR(A)

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
DECANATO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°012-2019/FIAL

Los Miembros de Jurado que suscriben, reunidos para calificar la Tesis, presentada por la Bachiller: **ISABEL CAROLINA PEÑARANDA HUERTA,** titulada:

"INFLUENCIA DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN DE MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran .....APROBADO..... con el calificativo de .....sobresaliente.....

En consecuencia, la sustentante queda en condición de recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, de conformidad con las disposiciones reglamentarias.

La Molina, 14 de octubre del 2019.

M.Sc. Walter F. Salas Valerio
PRESIDENTE

Dr. Milber Ureña Peralta
MIEMBRO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Mg.Sc. Carlos Elías Peñafiel
MIEMBRO

Dr. Américo Guevara Pérez
ASESOR

Mg.Sc. Beatriz Hatta Sakoda
CO-ASESORA

AGRADECIMIENTO

A mis asesores, el Dr. Américo Guevara y la Mg.Sc. Beatriz Hatta, por brindarme la oportunidad de ser parte de este proyecto, por su asesoría, constancia y dedicación para mejorar mi trabajo de investigación y permitirme seguir desarrollándome profesionalmente en la carrera.

Al Centro de Innovación del Cacao (CIC), conformado por la Mg.Sc. Andrea Mejía, el Mg.Sc. David Luján y la Mg.Sc. Mariana Solis, por brindarme la oportunidad de trabajar con ustedes en este proyecto innovador, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y consejos, su amistad y su confianza en que podría lograrlo, no habría podido sin ustedes, estaré siempre inmensamente agradecida.

Al Dr. Luis Alberto Condezo Hoyos por su participación en el desarrollo de la investigación.

A mi jurado de tesis, el Mg.Sc. Francisco Salas, el Mg.Sc. Carlos Elías y el Dr. Milber Ureña, por su apoyo y valiosos aportes a mi trabajo de investigación que han significado un gran aprendizaje profesional.

A mis padres, hermanos y madrina por su apoyo, amor y confianza que me motivaron a perseverar para cumplir este objetivo, en especial a mi madre y a mi hermano Ricardo, gracias por sus palabras y por motivarme a crecer como persona.

A mi equipo VEA por recordarme de lo que soy capaz y guiarme para trazar de nuevo mis metas, gracias por darle un nuevo sentido al camino que quiero recorrer.

A mis amigos por su apoyo y consejos que me impulsaron a continuar esforzándome por mis objetivos, en especial a mi compañera de proyecto, Evelyn Cerrón, por acompañarme en todo este reto como profesional y amiga, gracias por hacer de este camino más provechoso y llevadero.

Al personal docente, técnico y administrativo de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL) y del Instituto de Desarrollo Agroindustrial (INDDA) por su apoyo y enseñanzas a lo largo del arduo trabajo experimental y a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron con el desarrollo y culminación de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA.....3

2.1. CACAO.....3

2.1.1. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....3

2.1.2. VARIEDADES.....4

2.1.3. DISTRIBUCIÓN.....7

2.2. MUCÍLAGO DE CACAO.....9

2.2.1. GENERALIDADES.....9

2.2.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA.....11

2.3. ENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS.....12

2.3.1. GENERALIDADES.....12

2.3.2. TÉCNICAS.....13

2.3.3. FUNCIONES.....15

2.3.4. APLICACIONES.....16

2.4. SECADO POR ATOMIZACIÓN.....17

2.4.1. GENERALIDADES.....17

2.4.2. VENTAJAS.....18

2.4.3. APLICACIONES.....19

2.4.4. ETAPAS.....20

2.4.5. FACTORES QUE INFLUYEN.....23

2.5.ENCAPSULANTES.....25

2.5.1. GENERALIDADES.....25

2.5.2. TIPOS.....26

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....29

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....29

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS.....29

3.2.1. MATERIA PRIMA.....29

3.2.2. INSUMOS.....29

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....30
3.3.1. MATERIALES.....30
3.3.2. EQUIPOS.....31
3.3.3. REACTIVOS.....32
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....33
3.4.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO PARA MUCÍLAGO DE CACAO.....33
3.4.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO PARA MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO....35
3.4.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....38
3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....38
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....39
3.5.1. FLUJO DE OPERACIONES.....39
3.5.2. PARTE EXPERIMENTAL.....41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....44
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....44
4.2. ESTANDARIZADO Y HOMOGENIZADO.....47
4.3. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO.....51
4.4. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LA HUMEDAD.....54
4.5. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL COLOR.....56
4.6. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES.....61
4.7. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE VITAMINA C.....62
4.8. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....64
4.9. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....66
V. CONCLUSIONES.....73
VI. RECOMENDACIONES.....74
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....75
VIII. ANEXOS.....81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Grupos de cacao y su distribución geográfica.....8

Cuadro 2: Distribución de cultivares de cacao en el Perú al 2011 (cuatro grupos genéticos).....9

Cuadro 3: Ventajas y desventajas del secado por atomización.....18

Cuadro 4: Características de agentes encapsulantes usados.....27

Cuadro 5: Humedad relativa de diversas soluciones saturadas a 25 °C.....37

Cuadro 6: Tratamientos del diseño experimental…….....39

Cuadro 7: Composición fisicoquímica del mucílago de cacao.....45

Cuadro 8: Composición fisicoquímica del mucílago de cacao en polvo.....67

Cuadro 9: Características físicas del mucílago de cacao en polvo.....68

Cuadro 10: Ensayos microbiológicos del mucílago de cacao en polvo.....72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas de Producción de Cacao en el Mundo.....4

Figura 2: Cacao criollo.....5

Figura 3: Cacao Forastero.....6

Figura 4: Cacao trinitario.....7

Figura 5: Mucílago y semillas de cacao.....10

Figura 6: Esquema de los diferentes procesos de encapsulación.....13

Figura 7: Algunas técnicas de encapsulación, características y limitantes.....14

Figura 8: Secador por atomización.....17

Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización.....40

Figura 10: Esquema experimental para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización.....42

Figura 11: Variación de los sólidos solubles (°Brix) del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....47

Figura 12: Variación de los sólidos totales (%)del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....48

Figura 13: Variación de la viscosidad aparente (cP) a 170 RPM del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....48

Figura 14: Variación de la coordenada L del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....49

Figura 15: Variación de la coordenada a* del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....50

Figura 16: Variación de la coordenada b* del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina.....50

Figura 17: Variación del rendimiento en polvo (%) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....52

Figura 18: Variación de la humedad (%) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....54

Figura 19: Variación de la coordenada L de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....56

Figura 20: Variación de la coordenada a* de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....57

Figura 21: Variación de la coordenada b* de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....58

Figura 22: Variación de la diferencia de color (ΔE) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....60

Figura 23: Variación del contenido de polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g m.s.) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....61

Figura 24: Variación del contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g m.s.) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....63

Figura 25: Variación del contenido de capacidad antioxidante (µmol trolox eq/g m.s.) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....64

Figura 26: Variación del porcentaje de inhibición del radical DPPH (%) de los productos atomizadosa diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire.....65

Figura 27: Curva de capacidad de rehidratación (%) del mucílago de cacao en polvo.....70

Figura 28: Isoterma de adsorción corregida con la ecuación de BET para el mucílago de cacao en polvo.....70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL ENCAPSULANTE MALTODEXTRINA 10 DE.....81

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE LAS PLACAS FILTRANTES K1.....82

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DEL ENVASE TRILAMINADO.....86

ANEXO 4: CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL MUCÍLAGO DE CACAO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA…….....88

ANEXO 5: COORDENADAS DE COLOR DEL MUCÍLAGO DE CACAO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA.....89

ANEXO 6: RENDIMIENTO EN POLVO (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....90

ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO EN POLVO (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....91

ANEXO 8: HUMEDAD (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....92

ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....93

ANEXO 10: COORDENADA L DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....94

ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA L DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....95

ANEXO 12: COORDENADA a* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....96

ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA a* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....97

ANEXO 14: COORDENADA b* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....98

ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA b* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....99

ANEXO 16: DIFERENCIA DE COLOR (ΔE) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....100

ANEXO 17: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA DE COLOR (ΔE) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....101

ANEXO 18: CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg ÁCIDO GÁLICO/100 g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....102

ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg ÁCIDO GÁLICO/100 g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....103

ANEXO 20: CONTENIDO DE VITAMINA C (mg ÁCIDO ASCÓRBICO/100 g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....104

ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg ÁCIDO ASCÓRBICO/100 g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....105

ANEXO 22: CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (µmol TROLOX EQ/g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....106

ANEXO 23: PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL RADICAL DPPH (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....107

ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (µmol TROLOX EQ/g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....108

ANEXO 25: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL RADICAL DPPH (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE.....109

ANEXO 26: CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO RESPECTO AL TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....110

ANEXO 27: HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO RESPECTO A LA ACTIVIDAD DE AGUA.....111

ANEXO 28: HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO AJUSTADA CON LA ECUACIÓN DE BET RESPECTO A LA ACTIVIDAD DE AGUA.....112

RESUMEN

Se determinó la influencia del secado por atomización en la capacidad antioxidante y polifenoles totales del mucílago de cacao,para lo cual se determinaron los parámetros de proceso: concentración de maltodextrina como encapsulante y temperatura de entrada del aire en el atomizador, y se evaluó el efecto del secado sobre la variación de sus características fisicoquímicas. El mucílago de cacao fue filtrado con telas tocuyo, refinado en un filtro prensa, mezclado con maltodextrina, homogenizado,pulverizado y envasado en bolsas trilaminadas.Los resultados mostraron que el tratamiento óptimo se llevó a cabo con 11 por ciento de maltodextrina y a 140 °C, obteniendo un producto en polvo con 45.9 por ciento de rendimiento, 6.22 por ciento de humedad, 4.89 de ΔE (diferencia total de color), 47.2 por ciento de retención de compuestos fenólicos, 51.0 por ciento de retención de vitamina C y 66.2 por ciento de retención de capacidad antioxidante y como características físicas, alta densidad aparente (0.60 g/cm^3), alta solubilidad (93.09 por ciento), baja higroscopicidad (25.13 por ciento), baja capacidad de rehidratación (23.86 por ciento) y baja actividad de agua (0.25).

Palabras clave: mucílago de cacao, secado por atomización, maltodextrina, polifenoles, capacidad antioxidante

ABSTRACT

The main goal of this research was to measure the influence of spray drying on the antioxidant capacity and polyphenols content of cocoa pulp, setting the drying parameters: concentration of maltodextrin as carrier agent and inlet air temperature in the spray dryer, andassessing the effect on its physicochemical properties. The cocoa pulp was filtered using tocuyo mesh, refined in a filter press, mixed with maltodextrin, homogenized, spray dried and packaged in trilaminate pounchs. The results showed that 11 percent of maltodextrin and 140 ºC was the optimal treatment because the powder achieved 45.9 percent of yield, 6.22 percent of moisture, 4.89 of ΔE (total change of color), 47.2 percent of polyphenols retention, 51.0 percent of vitamin C retention, 66.2 of antioxidant capacity retention and physical properties such as high bulk density (0.60 g/cm^3), high solubility (93.09 percent), low hygroscopicity (25.13 percent), low rehydration capacity (23.86 percent) and low water activity (0.25) were obtained.

Keywords: cocoa pulp, spray drying, maltodextrin, polyphenols, antioxidant capacity

I. INTRODUCCIÓN

El mucílago de cacao se presenta como una capa dulce, blanca y mucilaginosa alrededor de las semillas del fruto *Theobroma cacao*, abarcando entre el 40 y el 52 por ciento del peso fresco de la semilla madura (Schwan y Wheals, citados por Ali *et al*., 2008; Lopez y Dimick, citados por Endraiyani *et al*., 2016). El mucílago demuestra una composición favorable de macro y micro nutrientes y potenciales beneficios para la salud como la presencia de capacidad antioxidante y compuestos bioactivos (Endraiyani *et al.*, 2016), características muy valoradas en el mercado en los últimos años, debido a la difusión de investigaciones que recomiendan el consumo de estos alimentos para reducir el riesgo de enfermedades inmunológicas y cardiovasculares.

Sin embargo, hasta ahora el mucílago no se ha aprovechado a nivel industrial y comercial en el Perú, donde se producen más de 30 mil toneladas de cacao al año, de las cuales normalmente se llegan a desperdiciar más de 70 litros de mucílago por tonelada de cacao (Gonzalez y Jaimes, 2005), por tanto, se le considera como un recurso con amplio potencial económico, ya que su aprovechamiento aumentaría la rentabilidad del cultivo del cacao y representaría un importante beneficio económico y social para las poblaciones cacaoteras de nuestro país.

En este sentido, la investigación propuso como alternativa de aprovechamiento, el secado por atomización, dado que esta tecnología trabaja a altas temperaturas por cortos tiempos, lo que reduce la humedad del producto a niveles que aseguran su estabilidad, alargando su tiempo de vida útil y conservando su composición. Para ello, se planteó como objetivo general, determinar la influencia del secado por atomización en la capacidad antioxidante y polifenoles totales, y como objetivos específicos, (1) caracterizar al mucílago de cacao en: capacidad antioxidante, polifenoles totales, vitamina C, color, análisis proximal, fibra

cruda, sólidos totales, sólidos solubles, azúcares totales, azúcares reductores, densidad, viscosidad aparente, pH, acidez titulable total y minerales (calcio, fósforo, magnesio potasio), (2) determinar los parámetros de proceso en el secado por atomización: concentración de maltodextrina (10, 11 y 12 por ciento) como encapsulante y temperatura de entrada del aire en el atomizador (140, 150 y 160 °C) para obtener mucílago de cacao en polvo y (3) caracterizar al producto obtenido en: capacidad antioxidante, polifenoles totales, vitamina C, color, rendimiento, análisis químico proximal, azúcares totales, pH, acidez titulable total, densidad aparente, solubilidad, higroscopicidad, capacidad de rehidratación, isoterma de adsorción y análisis microbiológico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CACAO

2.1.1. ORIGEN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie originaria de los bosques tropicales de América del Sur cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo: tributarios del río Amazonas (Canessa, citado por Morales *et al*., 2015; Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), 2016). Pertenece a la familia de las esterculiáceas. Su nombre científico *Theobroma Cacao* L. le fue impuesto en 1758 por el botánico sueco Carlos Linneo, que significa en griego "alimento de los dioses" (MINAGRI, 2016).

El árbol de cacao se cultiva en las regiones tropicales, entre 15° al norte y 15° al sur de la línea ecuatorial. Sin embargo, se puede encontrar hasta las latitudes subtropicales entre 23°26' (límite del Trópico de Cáncer) al norte y 23°26' (límite del Trópico de Capricornio) al sur de la línea ecuatorial, como se observa en la Figura 1. El rango de temperatura promedio anual va de 23 a 30 °C, siendo el óptimo de 25 °C (Gomez, citado por MINAGRI, 2016). Se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1 200 msnm, siendo el óptimo de 500 a 800 msnm. Asimismo, necesita humedad relativa anual promedio de entre el 70 y 80 por ciento (MINAGRI, 2016).

El árbol del cacao puede crecer hasta alcanzar 10 metros de altura cuando está a la sombra de altos árboles forestales. El fruto (mazorca) mide de 15 cm a 25 cm de largo y brota del tronco principal y de las ramas de la copa. El cacaotal comienza a producir en cuatro o cinco años de haberse plantado y puede seguir produciendo durante varios decenios (MINAGRI, 2016).

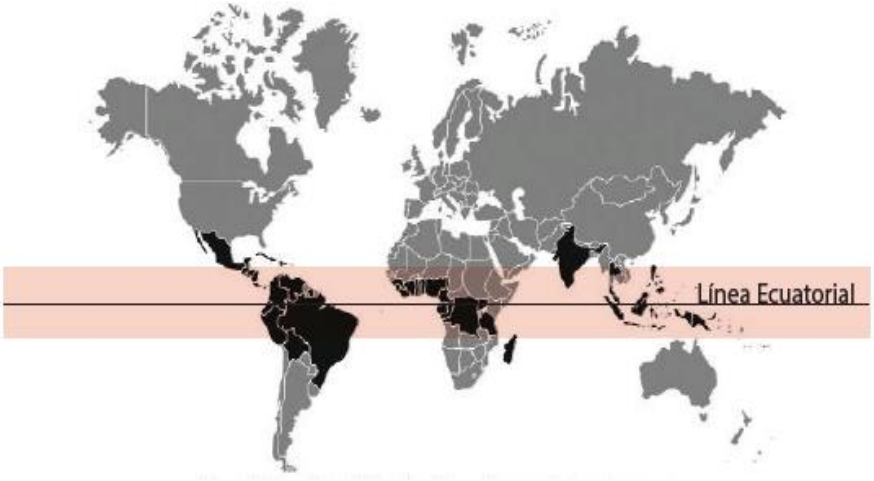


Figura 1: Zonas de Producción de Cacao en el Mundo

FUENTE: MINAGRI (2016)

La mazorca contiene de 30 a 40 semillas que se convierten en el grano del cacao después de ser fermentadas y secadas. Estos granos constituyen el insumo básico para las industrias chocolatera, farmacéutica y cosmética (García, citado por Morales *et al*., 2015; MINAGRI, 2016). Son de tamaño variable (de uno a tres centímetros) y están cubiertas con un mucílago de color blanco cremoso, de distintos grados de acidez, dulzura y astringencia, así como de diferentes matices de sabores y aromas (floral, frutal). Al interior de la almendra se encuentran los cotiledones recubiertos por la cáscara, que los separa del mucílago y según el genotipo pueden ser de color morado, violeta, rosado o blanco (M&O Consulting S.A.C., 2008).

2.1.2. VARIEDADES

Lachenaud (1997) realizó estudios genéticos del *Theobroma Cacao* L. e identificó tres variedades principales, aunque a la fecha, el género *Theobroma Cacao* L. agrupa un total de 24 especies botánicas (MINAGRI, 2016).

a. CRIOLLO

Tiene su origen en América Central precolombina. Primera variedad conocida en Europa introducida por los primeros colonizadores. Actualmente se cultiva en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades; así como en Venezuela, Colombia, Perú, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada (MINAGRI, 2016).

Son árboles débiles, de lento crecimiento, bajo rendimiento y más susceptibles a enfermedades y plagas que otras variedades. Sin embargo, su fruto,que se muestra en la Figura 2, se caracteriza por ser dulce y producir un chocolate de menor amargor y de mejor calidad (Morales *et al*., 2015). Su sabor es delicado, suave y complejo, y su aroma es intenso, lo hacen un tipo de cacao exclusivo y demandado en los mercados más exigentes del mundo. Solo representa entre el 5 al 8 por ciento de la producción mundial, en la medida que su cultivo es muy difícil, propenso a plagas, esta situación ha influido en la limitada propagación e incluso disminución de sus áreas de cultivo (Durán, 2010).

Figura 2: Cacao Criollo
FUENTE: MINAGRI (2016)

b. FORASTERO

Originario de la Alta Amazonía, es el de mayor producción en los países de África y Asia (Morales *et al*., 2015). Considerada como el cacao ordinario nativo de Brasil, Perú, Bolivia y Colombia. Se cultiva principalmente en Perú, Ecuador, Colombia, Brasil Guayanas y Venezuela. Se ha expandido hacia el África Occidental (Costa de Marfil, Ghana, Camerún

y Santo Tomé) y, posteriormente, hacia el sudeste asiático. Estas dos últimas regiones actualmente representan entre el 80 al 85 por ciento de toda la producción mundial (MINAGRI, 2016).

En base a la cata, este tipo de cacao, que se muestra en la Figura 3, es fuerte y amargo, ligeramente ácido; con mucho tanino y astringencia. Tiene una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores. Sin embargo, tienen un excelente rendimiento, cosecha precoz, árbol vigoroso y resistente a las enfermedades (MINAGRI, 2016).

Figura 3: Cacao Forastero
FUENTE: MINAGRI (2016)

c. TRINITARIO

Híbrido entre el Criollo y el Forastero, originario de la isla Trinidad nunca se ha encontrado en estado silvestre. Se diseminó en América Latina y El Caribe. Su fruto, que se muestra en la Figura 4, es más aromático que el Forastero y más resistente que el Criollo. Representa entre el 10 al 15 por ciento de la producción mundial (Estela, citado por Morales *et al*., 2015). Entre las variedades hibridas se puede clasificar un promedio de 50 tipos entre las que sobresalen las variedades Guayaquil, Ceilán, Patastillo, Lagarto, Blanco Marfil, Uranga, Porcelana, Matina, Pajarito, Sánchez, entre otras (Morales *et al*., 2015).

Una variedad importante es el cacao CCN-51, un cacao convencional obtenido en Naranjal, provincia de Guayas en Ecuador, en el año 1965, por el agrónomo Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a Colección Castro Naranjal y su numeración como 51 al

número de cruces realizados para obtener la variedad deseada. Este cacao ha adquirido gran popularidad entre los agricultores por tener características de alta productividad por hectárea. Es auto compatible al no necesitar de polinización cruzada para su fructificación; de cultivo precoz al iniciar su producción a los dos años de edad; resistente a plagas y enfermedades; fácilmente adaptable a diversas zonas tropicales; y poseer un alto porcentaje de grasa (54 por ciento) haciéndolo muy cotizado por la industria (ICCO, citado por Morales *et al*., 2015).

Figura 4: Cacao Trinitario
FUENTE: MINAGRI (2016)

Se cultiva en países donde se encuentra la variedad criollo, Trinidad, Islas Antillas, Java, Sri Lanka, Papua Nueva Guinea y Camerún. Incorpora aspectos de las variedades criollo y forastero: es afrutado y perfumado; tiene un amplio rango de sabores; aromático y persistente en boca; pueden apreciarse sabores a heno, roble miel y notas verdes (manzana, melón) (MINAGRI, 2016).

2.1.3. DISTRIBUCIÓN

En el Perú existen distintas variedades de cacao que fueron introducidas desde El Caribe, América Central y Ecuador, además de los cruces con las variedades nativas. Por ello, se estima que posee el 60 por ciento de las variedades de cacao del mundo (Morales *et al*., 2015).

En el Cuadro 1 se presenta la distribución geográfica delos cultivaresde cacao agrupados en grupos genéticos o germoplásmicos naturales y/o artificiales, de acuerdo a la clasificación propuesta por Lachenaud (1997).

Cuadro 1: Grupos de cacao y su distribución geográfica

Grupo de cacao	Distribución geográfica
1. Criollo	América Central, Colombia y Venezuela
2. Amazonas o Forastero del Alto Amazonas	Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Brasil
3. Guyanas o Forastero del Bajo Amazonas	Guyanas, Venezuela, Surinam, Guyana Francesa y Brasil
4. Nacional	Ecuador (zona costera)
5. Trinitario	Cruce de Forastero Bajo Amazonas y Criollo de Venezuela (Diseminados África Occidental)

FUENTE: Morales *et al*. (2015)

En el Cuadro 2 se muestra la distribución porcentual a nivel nacional de estos grupos genéticos en el 2011, de manera que un 44 por ciento de las áreas corresponden al cacao fino (variedades criollo y nativos), es decir 37 119 hectáreas; mientras que el cacao común o corriente, que está conformado por los grupos genéticos CCN-51 (híbrido), corresponde al 53.6 por ciento de los cultivos; y el grupo Trinitario y Forastero, con el 2.2 por ciento (1 855 hectáreas), ambas grupos (corrientes) suman un total de 47 300 hectáreas (56 por ciento del total) (MINAGRI, 2016).

Las principales zonas productoras son los valles de La Convención (Cusco), del río Apurímac-Ene, o VRAE (Ayacucho, Cusco y Junín), del Huallaga (Huánuco y San Martín), de Tambo (Junín) y del Marañón (Cajamarca y Amazonas) (Morales *et al*., 2015).

Cabe señalar que, la región San Martín es la que presenta mayor área de cultivos de cacao: 28 984 hectáreas (34 por ciento del total). De esta, el 90 por ciento son plantaciones de cacao de la variedad CCN-51 (26,086 hectáreas) y un ocho por ciento de la variedad Criollo y

Nativo (2 139 hectáreas). Le sigue en importancia la región Cusco con 21 740 hectáreas (25.6 por ciento del total), con 60 por ciento de plantaciones de cacao Criollo y Nativo (13 044 hectáreas) y 8 261 hectáreas de cacao CCN-51 (38 por ciento). Asimismo, la región Junín con 9 356 hectáreas de cacao (11 por ciento del total), posee el 65 por ciento de plantaciones de la variedad Criollo y Nativo (6 081 hectáreas) y el 33 por ciento de la variedad CCN-51 (3 087 hectáreas) (García, 2012; MINAGRI, 2016).

Cuadro 2: Distribución porcentual de cultivares de cacao en el Perú al 2011 (cuatro grupos genéticos)

Tipo de Cacao	Producción (hectáreas)	Porcentaje (%)
Total Nacional	84 737	100
Cacao Fino		
Criollo+Nativos	37 119	44
Cacao Común o Corriente		
CCN-51	45 445	53.6
Trinitario+Forastero	1 855	2.2

FUENTE: García (2012)

2.2. MUCÍLAGO DE CACAO

2.2.1. GENERALIDADES

El mucílago de cacao es una capa dulce, blanca y mucilaginosa alrededor de las semillas individuales del fruto *Theobroma cacao*,como se observa en la Figura 5 (Lopez y Dimick, citados por Endraiyani *et al*., 2016). Se constituye como un tejido parenquimático formado por células alargadas derivadas del endocarpio que se fusiona con el tegumento de la semilla tomando consistencia mucilaginosa cuando alcanza la madurez. Dicho tejido representa del 40 al 52 por ciento del peso fresco de la semilla madura,dependiendo de la variedad de cacao, la temporada y la zona, así como la madurez de la mazorca (Biehl *et al*., 1989; Freire *et al.*, 1999; Schwan y Wheals, citados por Ali *et al*., 2008; Saposhikova, citado por Romero y Zambrano, 2012).

Figura 5: Mucílago y semillas de cacao

FUENTE: Torres (2012)

El mucílago de cacao cumple un rol importante en la fermentación de las semillas de cacao, ya que constituye el sustrato para el crecimiento microbiano, propiciando cambios fisicoquímicos externos que inician y dominan las reacciones bioquímicas, con el fin de generar las sustancias precursoras de los sabores y aromas característicos a chocolate, por lo que se le considera un proceso de post cosecha crítico (Cros, citado por Romero y Zambrano, 2012; Nielsen *et al*., citados por Escalante *et al*., 2013; Lopez y Dimick, citados por Endraiyani *et al*., 2016).

En el procesamiento tradicional del cacao, la pulpa no tiene otra utilidad que durante la fermentación del cacao (Ali *et al*., 2008). A pesar de su favorable composición de macro y micronutrientes, la pulpa de cacao es un residuo de la post cosecha del procesamiento de las semillas de cacao, ya que al término de la fermentación, el exceso de pulpa a menudo drena fuera de la masa fermentada como exudado y se desecha (Endraiyani *et al*., 2016).

Sin embargo, actualmente se está considerando que también puede ser usado para agregar valor a la industria del cacao, ya que normalmente se encuentra en exceso respecto a lo que se requiere para la fermentación apropiada del cacao (Escalante *et al*., 2013).

De esta manera, existe una tendencia creciente hacia la extracción y utilización de la pulpa de cacao antes de la fermentación para elaborar productos con valor agregado como jugos,

mermeladas, gelatinas y bebidas alcohólicas (Dias *et al*., 2007; Duarte *et al*., citados por Puerari *et al*., 2012).

Al respecto, Biehl *et al*. (1989) y Lopez,citado por Endraiyani *et al*. (2016) demostraron que la remoción parcial de la pulpa antes de la fermentación mejoró el rendimiento y la calidad sin perjudicar una fermentación exitosa y no afectó el desarrollo de sabores de las semillas de cacao. No obstante, existe escasa investigación sobre el contenido fitoquímico y beneficios potenciales de la pulpa de cacao para adaptarla a diversas aplicaciones, a diferencia de las semillas de cacao (Adamson *et al*., Noe *et al*. y Keen *et al*., citados por Endraiyani *et al*., 2016).

2.2.2. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

La pulpa de cacao contiene de 82 a 87 por cierto de humedad, de 10 a 15 por cierto de azúcares (60 por ciento es sucrosa y 39% es una mixtura de glucosa y fructosa), de dos a tres por ciento de pentosas, de uno a tres por ciento de ácido cítrico y de 1 a 1.5 por cierto de pectina, dependiendo de la variedad de cacao, la temporada y la zona así como la madurez de la mazorca (Dias *et al*., Schwan y Schwan y Wheals, citados por Puerari *et al*., 2012; Lopez *et al*., citados por Ali *et al*., 2008; Roelofsen,citado por Endraiyani *et al*., 2016).

Contiene además menos de uno por ciento de proteínas, menos de 0.5 por ciento de grasas, menos de 0.2 por ciento de aminoácidos, vitaminas (principalmente vitamina C) y minerales como medio enriquecido para el crecimiento microbiano (Schwan, Dias *et al*.y Schwan y Wheals, citados por Puerari *et al*., 2012; Schawn *et al*. y Lima *et al*., citados por Romero y Zambrano, 2012).

La pulpa de cacao presenta 12.5 °Brix y pH entre 3.3 y 4.0 debido a la presencia de ácido cítrico. La pulpa es viscosa porque contiene pectina y otros polisacáridos, que además dificultan la difusión del aire (Wacher, citado por Romero y Zambrano, 2012; Anvoh *et al*., 2009).

2.3. ENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS

2.3.1. GENERALIDADES

La encapsulación se define como una tecnología de empaque de materiales sólidos, líquidos o gaseosos en miniatura, cápsulas selladas que pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas (Desay y Park, 2005). Este proceso involucra el revestimiento o atrapamiento de un material puro o una mezcla dentro de otro material, formando una cápsula cuyo tamaño aproximado varía de 5 a 300 micrones de diámetro. El material a proteger es generalmente un líquido pero también puede ser un sólido o un gas, el cual es conocido como material núcleo, activo, fase interna o carga útil. El material de revestimiento es llamado cápsula, material pared, membrana, acarreador o caparazón (Gibbs *et al*., citados por Esquivel *et al*., 2015).

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela, citados por Parra, 2010), esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs *et al*., 2006).

El propósito de la encapsulación es proteger su contenido contra el medio ambiente circundante, particularmente, humedad, pH y oxidación. La liberación del contenido de la micropartícula a velocidades controladas puede ser desencadenada por cizallamiento, solubilización, calor, pH o acción enzimática (Madene *et al*., 2006; Young *et al*., citados por Parra, 2010; Nesterenko *et al*., 2013).

Esta tecnología se ha utilizado en la industria de alimentos por más de sesenta años a la fecha. En un sentido amplio, la tecnología de encapsulación en el procesamiento de alimentos incluye el recubrimiento de partículas diminutas de ingredientes (por ejemplo, acidulantes, grasas y sabores), así como ingredientes enteros (pasas, nueces y productos de

confitería), que pueden llevarse a cabo mediante técnicas de microencapsulación y macrorevestimiento, respectivamente (Desay y Park, 2005).

2.3.2. TÉCNICAS

Los procesos de encapsulación se pueden dividir en dos: procesos químicos y procesos mecánicos. Los procesos químicos se dividen en las técnicas de coacervación, co-cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular; dentro de los procesos mecánicos están las técnicas de secado por aspersión o atomización, secado por congelamiento/enfriamiento, lecho fluidizado, separación por suspensión centrífuga, liofilización, evaporación de solvente, expansión de fluido supercrítico y extrusión (Yañez *et al*., 2002; Madene *et al*., 2006; Lakkis, 2007; Fang y Bhandari, 2010; Nesterenko *et al*., 2013). En la Figura 6 se observan los principales métodos que se utilizan para encapsular sustancias.

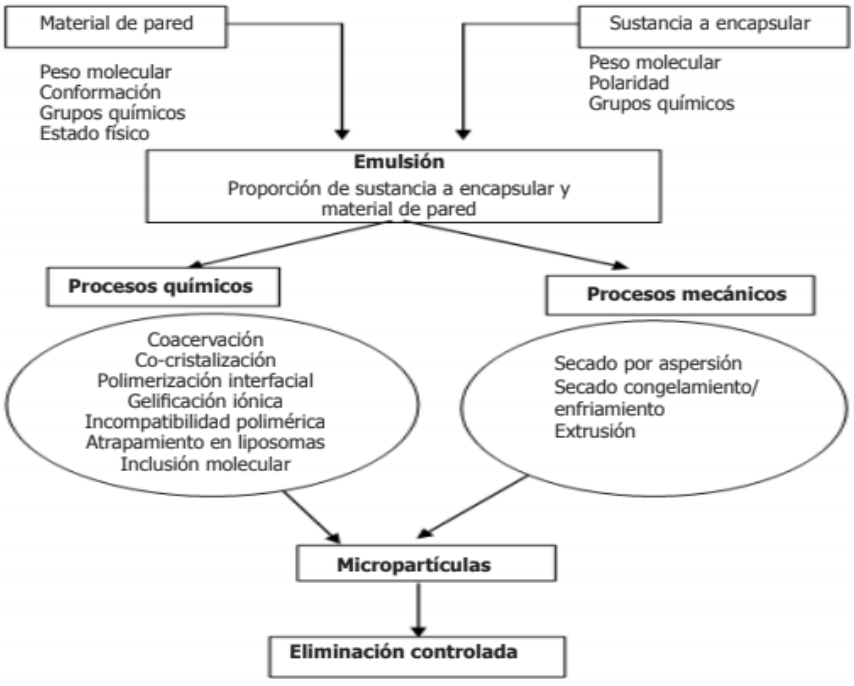


Figura 6: Esquema de los diferentes procesos de encapsulación

FUENTE: Madene *et al*. (2006)

Elegir una técnica de microencapsulación para un proceso particular dependerá del tamaño, biocompatibilidad y biodegradabilidad de las micropartículas, las propiedades fisicoquímicas del material núcleo y pared, la aplicación de las micropartícula y el mecanismo propuesto para liberar el núcleo activo (Esquivel *et al.*, 2015). Otros factores importantes en la elección de la técnica de encapsulación son su costo y su adaptación a gran escala o nivel industrial,como se observa en la Figura 7 (Guevara y Jiménez, 2008a).

De esta forma se utilizará la técnica más adecuada para el producto o ingrediente que se requiera encapsular, ya que de acuerdo al proceso de encapsulación seleccionado variarán diversos factores como la forma (películas, esferas, partículas irregulares), la estructura (porosa o compacta) y el estado físico (amorfo o sólido cristalino deshidratado, elástico o vítreo), los cuales afectan las propiedades de difusión o estabilidad durante el almacenamiento. De aquí la importancia de elegir un método adecuado de encapsulación (Madene *et al.*, 2006).

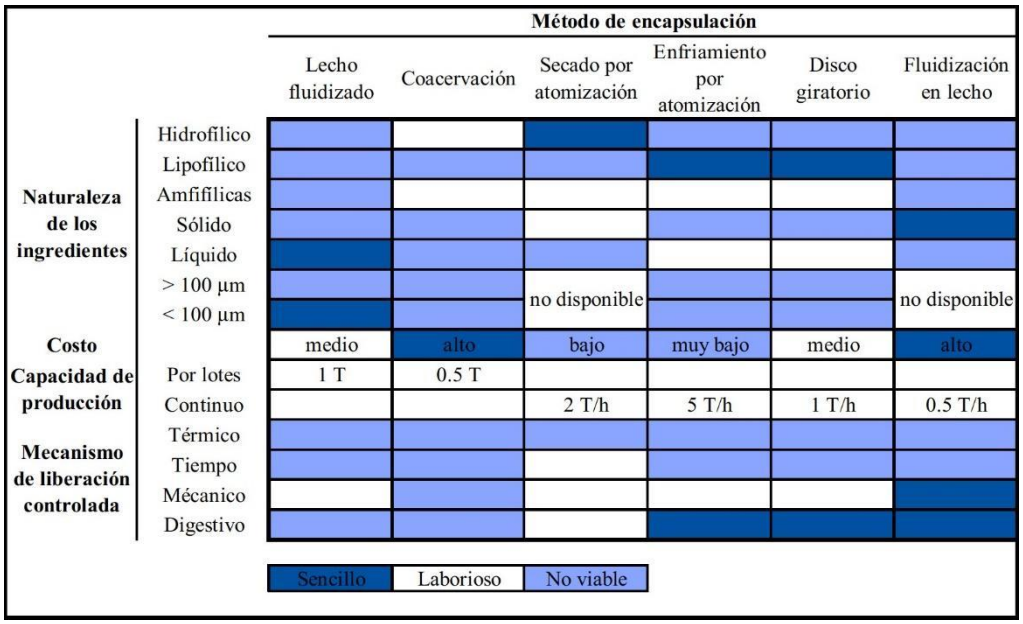


Figura 7: Algunas técnicas de encapsulación, características y limitantes

FUENTE: Adaptado de Gouin (2004) por Guevara y Jiménez (2008a)

La calidad de los encapsulados, es decir, su eficiencia en la protección y liberación controlada, depende de diversos factores, entre ellos: las condiciones de operación durante

la producción (temperatura, pH, presión, humedad) y el manejo de estas partículas, así como de la composición y estructura de los materiales utilizados (Fuchs *et al*., 2006).

Aunque se han desarrollado muchas técnicas para microencapsular ingredientes de alimentos, el secado por aspersion o atomización es la tecnología más comúnmente usada en la industria de alimentos debido a su bajo costo y equipo disponible (Gouin, 2004; Gharsallaoui *et al*., 2007; Lakkis, 2007).

2.3.3. FUNCIONES

Particularmente en la industria de alimentos, la encapsulación se emplea por las siguientes razones:

- Proteger el material activo de la degradación producida por el ambiente (calor, aire, luz, humedad), etc.
- Reducir la reactividad del ingrediente activo con los factores ambientales
- Disminuir la tasa de transferencia del material núcleo al entorno exterior
- Promover un manejo más fácil del producto al modificar las características físicas del material original como en un material líquido convertido a polvo, la higroscopía puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra
- Enmascarar algún aroma o sabor indeseable del ingrediente activo
- Estabilizar los principios activos inestables
- Diluir el material núcleo cuando debe ser usado en pequeñas cantidades
- Separar componentes, con el fin de que éstos no reaccionen
- Controlar la liberación del ingrediente activo a través del tiempo o en un momento en particular (Gharsallaoui *et al*., 2007; Fang y Bhandari, 2010; Astray *et al*., citados por Parra, 2010).

De esta manera, la técnica de encapsulación ha permitido solucionar algunos problemas limitando las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que puede

controlar la eliminación de saborizantes, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas (Favaro *et al*., 2010).

2.3.4. APLICACIONES

En el área de alimentos, en un principio la encapsulación se utilizó para enmascarar algunos sabores indeseables de ciertos ingredientes y convertir alimentos líquidos en sólidos para facilitar su manejo. Hoy en día, su aplicación en los alimentos es hacia la protección y liberación controlada de algunos ingredientes para mejorar su efectividad, así como para ampliar su intervalo de aplicación (Guevara y Jiménez, 2008a).

Recientemente ha surgido un gran interés en pigmentos naturales debido principalmente, a la demanda por productos alimenticios saludables y oportunidades para la innovación en el sector. La industria requiere de tecnologías que protejan los pigmentos naturales del ambiente, debido a su inestabilidad en la presencia de luz, aire, humedad y altas temperaturas (Parize *et al*., 2008).

Asimismo, la efectividad de los productos nutraceúticos o funcionales, la cual está relacionada con la prevención de enfermedades, depende del mantenimiento de la viabilidad de los ingredientes activos. Este es uno de los principales retos actualmente, debido a que sólo una pequeña proporción de moléculas benéficas permanece disponible después de la ingesta por diversas causas, entre ellas, la sensibilidad de estas moléculas (Guevara y Jiménez, 2008b). Por lo expuesto,Parize *et al*. (2008) indicó que actualmente, una alternativa es la tecnología de la encapsulación.

De esta manera, las aplicaciones se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las cápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empacado mejorando sabor, aroma, estabilidad,

valor nutritivo y apariencia de sus productos (Yañez *et al*., 2002; Montes *et al*., citados por Parra, 2010).

2.4. SECADO POR ATOMIZACIÓN

2.4.1. GENERALIDADES

El secado por atomización es una operación unitaria mediante la cual un producto líquido es atomizado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente. El gas generalmente usado es aire y más raramente un gas inerte como nitrógeno. El líquido inicial alimentado al aspersor puede ser una solución, una emulsión o una suspensión. Dependiendo del material inicial alimentado y de las condiciones de operación, el secado por atomización produce un polvo muy fino (10-50μm) o partículas de tamaño grande (2-3mm) (Gharsallaoui *et al*, 2007); razón por la cual es una técnica común para producir encapsulados de alimentos (Ahmed *et al*., 2010; Ferrari *et al*., 2012; Medina *et al*., 2013). En la Figura 8, se muestra un esquema del equipo utilizado para el secado por atomización.

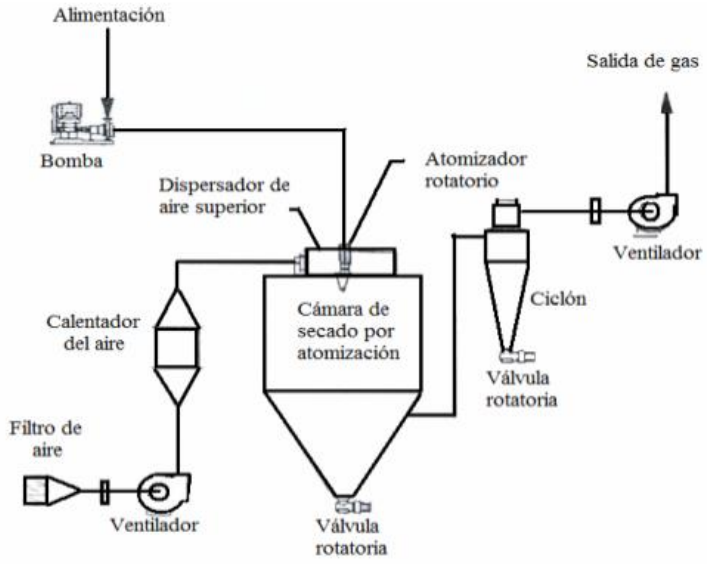


Figura 8: Secador por atomización

FUENTE: Adaptado de Dziezak (1988) por Guevara y Jiménez (2008a)

Se considera una encapsulación eficiente mediante secado por atomización cuando se alcanza una máxima cantidad de material núcleo dentro de las partículas de polvo, una buena estabilidad de las microcápsulas, prevención de pérdida de compuestos volátiles, y una extensión de la vida útil del producto. Por lo cual resulta importante conocer las características del material a secar así como las especificaciones deseadas del polvo (Medina *et al*., 2013).

2.4.2. VENTAJAS

Es el método comúnmente utilizado para encapsular ingredientes alimenticios (Shu *et al*., 2006) y además el más económico. En comparación con otros métodos, el secado por atomización proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta. La mayor eficiencia de encapsulación que se alcanza con el secado por atomización, se encuentra entre 96 y 100 por ciento, valores superiores en comparación con otros métodos (López y Gómez, citados por Parra, 2010). En el Cuadro 3, se presentan algunas ventajas y desventajas de esta técnica de encapsulación.

Cuadro 3: Ventajas y desventajas del secado por atomización

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de operación	No siempre óptimo para materiales sensibles al calor
Alta calidad y estabilidad de las cápsulas	Limitación en la elección del encapsulante
Rápida solubilidad de las cápsulas	Falta de uniformidad de las cápsulas
Tamaño pequeño	Producción de polvos muy finos, que necesitan un procesamiento posterior

FUENTE: Adaptado de Madene *et al*. (2006) por Guevara y Jiménez (2008a)

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

del producto final y el uso de tiempos cortos de exposición a las altas temperaturas, lo cual es un parámetro crucial para aquellos productos sensibles al calor, debido a que promueve una alta retención de sabor, color y nutrientes (Ahmed *et al*., 2010; Favaro *et al*., 2010;Parra, 2010; Ferrari *et al*., 2012).

2.4.3. APLICACIONES

Al disminuir el contenido y la actividad de agua, el secado por atomización generalmente se usa en la industria de alimentos para asegurar la estabilidad de productos, evitar el riesgo de degradaciones químicas y biológicas, reducir los costos de transporte y almacenamiento y finalmente para obtener un producto con propiedades específicas como solubilidad instantánea (Esquivel *et al*., 2015).

Es el método más común de encapsulación de ingredientes alimenticios, como ejemplos se tienen: materiales hidrosolubles (Favaro *et al*., 2010), vitaminas (C, E), pigmentos naturales, ácido fólico, aromas, orégano, citronela, aceite de cardamomo, bacterias probióticas, lípidos, ácido linoléico, aceites vegetales; minerales como hierro; pigmentos de antocianina y leche entre otros alimentos (Fuchs *et al*., 2006; Wandrey *et al*., citados por Parra, 2010).

De la misma manera, las frutas y vegetales poseen una amplia y variada gama de compuestos bioactivos cuyos beneficios a la salud se ha documentado ampliamente, principalmente debido a la actividad antioxidante que poseen. Sin embargo su perecibilidad hace necesaria la aplicación de procesos de conservación que permitan mantener los compuestos de interés y alargar su vida de anaquel, por lo que el secado por atomización se aplica ampliamente para este tipo de productos (Esquivel *et al*., 2015).

2.4.4. ETAPAS

La atomización como método de secado, se basa en la transformación de un material líquido en un sólido; sin embargo, también puede producir partículas que protegen el material activo en matrices formadas generalmente por polímeros (Guevara y Jiménez, 2008a). De esta manera, el secado por atomización como técnica de encapsulación involucra tres etapas: preparación de la dispersión o emulsión, homogenización y atomización (Parize *et al*., 2008).

a. EMULSIÓN

El primer paso consiste en dispersar el material activo en una solución del agente encapsulante con el cual es inmiscible; el material encapsulante debe tener buenas propiedades de emulsificación, baja viscosidad y alto contenido de sólidos (> 45 por ciento), esto con la finalidad de disminuir el tiempo de secado, formar una película con alto contenido de sólidos alrededor de las gotas del material activo y aumentar la retención del mismo (Guevara y Jiménez, 2008a).

b. HOMOGENIZACIÓN

La homogenización consiste en crear gotas pequeñas del ingrediente en la solución encapsulante, formando una emulsión fina; algunas veces es necesaria la adición de algún emulgente para lograr esta homogenización (Guevara y Jiménez, 2008a).

c. ATOMIZACIÓN

Este proceso consiste en que la mezcla de agente activo y agente encapsulante, convertida ya en una emulsión, es alimentada a través de un spray a la cámara de secado, formándose al final finas gotas sobre una corriente de gas calentado. Cuando las pequeñas gotas del líquido toman contacto con el gas, y a una mayor temperatura, se produce una rápida evaporación del solvente formándose una fina película del material de recubrimiento (encapsulados), que luego pasarán a un ciclón, en el cual se obtendrán los diferentes polvos

(Gharsallaoui *et al*., 2007; Guevara y Jiménez, 2008a). De este modo, dentro de esta etapa se pueden distinguir las siguientes fases:

- **Aspersión**

La aspersión de líquido en pequeñas gotas se puede llevar a cabo por presión o energía centrífuga. El objetivo de esta fase es crear la máxima superficie de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido para optimizar la transferencia de masa y calor. Cuanto mayor sea la energía suministrada, más finas serán las gotas formadas. Para la misma cantidad de energía, el tamaño de las partículas formadas aumenta cuando se incrementa la velocidad de alimentación. Sin embargo, el tamaño de las partículas aumenta cuando la viscosidad y la tensión superficial del líquido inicial son grandes (Esquivel *et al*., 2015).

- **Contacto de gota-aire caliente**

Este contacto toma lugar durante la aspersión y se inicia la etapa de secado. De acuerdo al sitio o lugar donde se encuentra localizado el atomizador comparado con el aspersor de aire caliente, se puede distinguir en sentido de la corriente (paralela) y en contracorriente (Esquivel *et al*., 2015).

- **Evaporación de agua**

Al momento en que ocurre el contacto de las gotas de líquido con el aire caliente, se establece el balance de temperatura y presión parcial de vapor entre las fases líquido y gas. Por lo tanto, la transferencia de calor se lleva a cabo del aire hacia el producto como resultado de la diferencia de temperatura mientras que la transferencia de agua se lleva a cabo en sentido opuesto debido a la diferencia de la presión de vapor (Esquivel *et al*., 2015).

Con base en el fundamento teórico de secado, se pueden distinguir tres pasos sucesivos. Justo después del contacto del líquido con el aire caliente, la transferencia de calor causa el incremento de temperatura de las gotas hasta un valor constante. Este valor se define como la temperatura de bulbo húmedo de aire de secado, después de eso, se lleva a cabo la evaporación de las gotas a temperatura constante y a la presión parcial de vapor de agua. La velocidad de difusión de agua desde el núcleo de la gota hasta su superficie se considera constante e igual a la velocidad de evaporación (Esquivel *et al*., 2015).

Finalmente, cuando el contenido de agua de la gota alcanza un valor crítico, se forma una corteza seca en la superficie de la gota y la velocidad de secado disminuye rápidamente y se vuelve dependiente de la velocidad de difusión de agua a través de la corteza. El secado se termina teóricamente cuando la temperatura de la partícula es igual que la del aire. Estos tres pasos tienen diferente duración dependiendo de la naturaleza del producto y de la temperatura de entrada. De hecho, si la temperatura de entrada es alta, la corteza seca se forma rápidamente debido a la alta velocidad de evaporación de agua (Esquivel *et al*., 2015).

- **Separación del producto seco y aire húmedo**

Esta separación se hace a través de un ciclón colocado fuera de la cámara de secado, lo cual reduce las pérdidas del producto a la atmósfera: las partículas de mayor densidad son recuperadas en la base de la cámara de secado, mientras que las finas pasan a través del ciclón para ser separadas del aire húmedo (Esquivel *et al*., 2015).

Los polvos obtenidos están hechos de partículas que se originan a partir de gotas esféricas tras contraerse (Esquivel *et al*., 2015). Dependiendo de la composición, el contenido de gas de la gota, estas partículas pueden ser compactas o huecas (Gharsallaoui *et al*., 2007).

2.4.5. FACTORES QUE INFLUYEN

Muchos factores influyen en el secado por atomización y tienen un efecto significativo sobre la calidad de los polvos resultantes; entre éstos se encuentran: las características o acondicionamiento de la solución alimentada (viscosidad, velocidad de flujo, contenido de sólidos, etc.), el aire de secado (temperaturas de entrada y salida, presión, flujo, tiempo de residencia), contacto entre el aire caliente y las gotas en la cámara de secado (flujo en corrientes paralelas o contra corriente), así como el tipo de atomizador utilizado (García *et al*., 2004; Pegg y Shahidi, citados por Guevara y Jiménez, 2008a; Ferrari *et al*., 2012).

a. ACONDICIONAMIENTO DE ALIMENTACIÓN

La viscosidad y ºBrix tienen importancia en la preparación de la mezcla a secar en el equipo, pues afectarán la eficiencia del proceso de secado y las características del producto final. Una adecuada viscosidad de la solución y el alto contenido de sólidos totales son factores críticos para el rendimiento en el proceso de secado. Una baja viscosidad permite una mejor fluidez de la mezcla en el sistema de atomización (disco o difusor), y una alta concentración de sólidos totales incrementa el rendimiento del producto final (López *et al*., 2009).

b. TEMPERATURA DE ALIMENTACIÓN

La temperatura de alimentación modifica la viscosidad de la emulsión y por lo tanto su capacidad de ser homogéneamente asperjada. Cuando la temperatura de alimentación se incrementa, la viscosidad y tamaño de gota pueden disminuir, pero a altas temperaturas puede ocurrir una volatilización o degradación de algunos ingredientes sensibles al calor. La velocidad de alimentación suministrada al atomizador se ajusta para asegurar que cada gota asperjada alcance los niveles de secado deseados antes de que se ponga en contacto con la superficie de la cámara de secado (Esquivel *et al*., 2015).

c. TEMPERATURA DE AIRE DE ENTRADA

La temperatura del aire de entrada se determina por la temperatura que puede ser usada sin producir un daño al producto o crear riesgos en la operación. Es directamente proporcional a la velocidad de secado de las cápsulas y al contenido de agua final. Una temperatura baja de aire de entrada provoca una baja velocidad de evaporación, una deformación de las cápsulas con alta densidad, alto contenido de agua, poca fluidez y serán susceptibles a aglomerarse. Sin embargo una temperatura alta de aire de entrada provoca una evaporación excesiva y resulta en el rompimiento de la membrana, induciendo una subsecuente liberación prematura así como una degradación del ingrediente encapsulado y una pérdida de volátiles (Esquivel *et al*., 2015).

d. TEMPERATURA DE AIRE DE SALIDA

La temperatura en la zona final de secado o temperatura de salida de aire se considera como un parámetro de control del secadorque depende de la temperatura de entrada y se recomienda valores de 50 a 80 °C para encapsulación de ingredientes de alimentos con compuestos fenólicos (Medina *et al*., 2013).Por otro lado, Aguado *et al*. (2002) afirman que al disminuir la temperatura de salida, se reduce el calor requerido en el proceso y por tanto, se puede mejorar el rendimiento del secado.

e. TIPO DE ATOMIZADOR

La elección de la configuración del atomizador depende de la naturaleza y la viscosidad de la alimentación y las características deseadas del producto seco. Los atomizadores, según su mecanismo, se clasifican en atomizador neumático, boquilla de presión, configuraciones de discos giratorios y recientemente dos boquillas y boquilla sónica (Esquivel *et al*., 2015).

Por otro lado, de acuerdo al sitio o lugar donde se encuentra localizado el atomizador comparado con el aspersor de aire caliente, se pueden distinguir dos tipos: en sentido de la

corriente (paralela) y en contracorriente. En el primero, el líquido es asperjado en la misma dirección de flujo de aire caliente, cuya temperatura de entrada es típicamente 150-220 °C, la evaporación ocurre instantáneamente y cada polvo seco será expuesto a una temperatura de salida moderada de (50-80 °C), la cual es el límite de degradación térmica (Esquivel *et al*., 2015).

Mientras que en el proceso a contracorriente, el líquido es asperjado en dirección contraria al flujo de aire caliente, para lo cual el producto seco es expuesto a altas temperaturas, lo cual limita su aplicación a productos termosensibles. Sin embargo la principal ventaja del proceso a contracorriente es que se considera más económico en términos de consumo de energía (Esquivel *et al*., 2015).

2.5. ENCAPSULANTES

2.5.1. GENERALIDADES

Existe una amplia variedad de compuestos de encapsulación con la finalidad de mejorar la funcionalidad del componente activo, entre ellos: sabores, antimicrobianos, compuestos nutraceúticos, terapéuticos, vitaminas, minerales, antioxidantes, colores, ácidos, bases, amortiguadores, edulcorantes, nutrientes, enmmas, agentes de entrecruzamiento, levaduras, agentes químicos para fermentación, grasas, aceites, oleoresinas, entre otros (Madene *et al*., 2006; Lakkis, 2007; Chiou *et al*., citados por Guevara y Jiménez, 2008b).

El material pared o encapsulante particularmente afecta la estabilidad de las partículas, la eficiencia del proceso y el grado de protección del núcleo activo. Los materiales comúnmente usados en la composición de ingredientes encapsulados son polímeros sintéticos y co-polímeros, biomateriales tales como carbohidratos, grasas, ceras y proteínas de origen animal y vegetal. En la industria alimentaria, numerosos materiales pared o agentes encapsulantes están disponibles para su aplicación en la encapsulación dentro los cuales se encuentran: algunas gomas, azúcares, polisacáridos naturales y modificados así como

polímeros sintéticos (Fang y Bhandari, 2010; Bakowska-Barczak y Kolodziejczyk, citados por Esquivel *et al*., 2015).

2.5.2. TIPOS

De acuerdo a Lakkis (2007), los componentes o agentes encapsulantes, se clasifican en diversas categorías como se enlista a continuación:

a. CERAS Y LÍPIDOS

Dentro de los principales agentes encapsulantes de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Yañez *et al*., 2002).

b. PROTEÍNAS

Las proteínas tienen excelentes propiedades funcionales como solubilidad, viscosidad, y emulsificación. Tienen la propiedad de formar películas, debido a sus diversos grupos químicos, sus propiedades anfóteras, su capacidad de asociación e interacción con diferentes tipos de sustancias, su alto peso molecular y la flexibilidad de sus cadenas moleculares (Madene *et al*., 2006). Dentro de este grupo, se encuentran: caseinato de sodio, proteínas de suero de leche, proteínas de soya (Madene *et al*., 2006; Murúa *et al*., 2009), gluten, grenetina (Yañez *et al*., 2002), caseína, soya, trigo (Sáenz *et al*., 2009) y gelatina (Kwak *et al*., citados por Parra, 2010).

c. CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son utilizados ampliamente en la encapsulación como soportes encapsulantes, son excelentes candidatos en aplicaciones de encapsulación debido a que poseen muchos atributos tales como: presentar baja viscosidad a altas concentraciones, formar parte integral de muchos sistemas alimenticios, tener un bajo costo, estar disponibles en un amplio intervalo de tamaños, además de tener buena solubilidad (Madene *et al*., 2006; Lakkis, 2007; Charalampopoulos *et al.*, citados por Guevara y Jiménez, 2008b). En el Cuadro 4 se presentan algunas características de materiales encapsulantes, donde se observa la gran variedad de materiales utilizados, carbohidratos, proteínas, grasas, entre otros.

Cuadro 4: Características de agentes encapsulantes usados

Agente encapsulante	Propósito
Maltodextrina (ED < 20)	Formación de película
Sólidos de jarabe de maíz (ED > 20)	Formación de película
Almidón modificado	Buen emulgente
Goma arábiga	Emulgente, formación de película
Celulosa modificada	Formación de película
Gelatina	Emulgente, formación de película
Ciclodextrina	Encapsulante, emulgente
Lecitina	Emulgente
Proteína de suero	Buen emulgente
Grasa hidrogenada	Barrera para el oxígeno y agua

FUENTE: Adaptado de Madene *et al*. (2006) por Guevara y Jiménez (2008b)

Las maltodextrinas son un subgrupo importante de los carbohidratos, éstas se forman por la hidrólisis parcial de los almidones por medio de enzimas o ácidos y se clasifican de acuerdo al grado de equivalentes de dextrosa (ED). En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (García *et al*., 2004), está

disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Madene *et al*., 2006; Sáenz *et al*., 2009).

Actualmente las maltodextrinas son usadas solas o en combinación con otros materiales en alimentos, extractos de plantas, aditivos aromáticos, carotenoides y vitaminas, ya que presentan distintas funciones como son: espesante, propiedades de formación de película, retención de sabores, además de jugar un papel importante en la reducción de la permeabilidad del oxígeno del material pared (Sansone *et al*., citados por Esquivel *et al*., 2015).

Otros carbohidratos importantes son las gomas, las cuales generalmente son insípidas, pero pueden llegar a tener un efecto en el sabor de los alimentos. Además, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y son muy versátiles para la mayoría de los métodos de encapsulación (Madene *et al*., 2006; Murúa *et al*., 2009). Como ejemplos se tienen la goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma gelana y xantana (Morkhade y Joshi, citados por Parra, 2010).

Debido a la amplia gama de propiedades de los distintos agentes acarreadores, en muchas ocasiones se ha utilizado una combinación de éstos para obtener un efecto sinérgico. Por ejemplo, a menudo los carbohidratos se mezclan con proteínas para mejorar las propiedades de emulsificación y filmógenas durante la encapsulación (Nesterenko *et al*., 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta Piloto de Alimentos, Laboratorios de Fisicoquímica e Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias (FIAL), así como la Planta de Secado y Molienda del Instituto Nacional de Desarrollo Agroindustrial (INDDA), instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

Mucílago de cacao de la variedad CCN 51, procedente de la Cooperativa Agroindustrial y de Servicios del Centro Poblado de Bella Bajo Monzón, ubicada en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Las semillas de cacao extraídas junto con el mucílago fueron colocadas en redes para facilitar el drenaje del mucílago, el que fue colectado, filtrado, envasado en bolsas de polietileno y congelado para su posterior envío a Lima. Estas operaciones se realizaron aplicando las Buenas Prácticas de Manufactura.

3.2.2. INSUMOS

Maltodextrina 10 DE (equivalente dextrosa) producido por la empresa Qinhuangdao Lihua Starch CO., LTD (Anexo 1).

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Asa recta
- Balones Kjeldahl
- Bombilla de succión
- Bureta de 25 mL
- Campanas desecadoras
- Crisoles de porcelana
- Dispensador de agua destilada
- Embudo Büchner
- Espátula de metal
- Espátula Drigalsky
- Fiolas de 25, 50, 100 mL con tapa
- Matraces esféricos
- Matraces Erlenmeyer de 50, 250 mL
- Matraces Kitassato de 500 mL
- Mechero Bunsen
- Micropipeta de 100-1000 µL
- Papel aluminio
- Papel filtro Whatman
- Perlas de ebullición
- Picnómetro de 25 mL
- Pinzas de metal
- Pipetas de 1, 5, 10, 25 mL
- Placas de metal con tapa
- Placas filtrantes K1 "BECO®"
- Placas Petri con tapa
- Probetas de 25, 50 mL
- Telas tocuyo
- Tubos de ensayo de 5 mL con tapa
- Tubos de extracción Mojonnier

- Tubos falcon de 50 mL con tapa
- Vasos precipitados 50, 100, 250, 600 mL

3.3.2. EQUIPOS

- Atomizador “NIRO ATOMIZER” MINOR
- Agitador orbital “JEIO TECH” SK-300
- Autoclave “FRAVILL” VERT
- Balanza analítica “A&D” GR200
- Balanza de plataforma “SORES®” AFM
- Balanza de precisión “OHAUS®” ARC120
- Baño termostático “MEMMERT” W760r
- Baño termostático con recirculación “VWR” 1150S
- Bomba de vacío “VACUUBRAND” GMBH+CO
- Cámara de congelación “AIR COND TECH” ACT-2009
- Cámara de refrigeración “CIMMSA” CF-2T
- Campana extractora “C4” CFX120
- Centrífuga “HETTICH ZENTRIFUGEN” ROTOFIX 32
- Equipo de Soxhlet “BEHR LABOR-TECHNIK” EZ100H
- Espectrocolorímetro “KONICA MINOLTA” CM-5
- Espectrofotómetro de absorción atómica “AGILENT VARIAN” AA240FS
- Espectrofotómetro UV Visible “THERMO SCIENTIFIC” GENESYS 10S UV-VIS
- Estufa de convección forzada “MMM” VENTICELL 111
- Estufa de cultivo “MEMMERT” INE 800
- Filtro prensa “ZAMBELLI” 1011
- Horno mufla
- Licuadora industrial
- Medidor de actividad de agua “AQUALAB” 4TEV DUO
- Plancha de calentamiento
- Potenciómetro digital “HANNA®” HI9026
- Refractómetro de baja escala “ATAGO®” POCKET
- Selladora eléctrica
- Sistema de destilación “BEHR LABOR-TECHNIK” RFK100

- Sistema de digestión “RELES”
- Termómetro digital “HANNA®” HI 98509-1
- Viscosímetro rotacional “BROOKFIELD” DV-II+ RVT
- Vortex “VELP SCIENTIFICA®”

3.3.3. REACTIVOS

- 2,6 diclorofenol-indofenol
- 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)
- Acetato de potasio
- Ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS)
- Ácido ascórbico
- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico
- Ácido gálico
- Ácido oxálico
- Ácido sulfúrico
- Agar Baird Parker
- Agar Oxitetraciclina – Glucosa (OGA)
- Bicromato de sodio
- Carbonato de calcio
- Caldo CASO
- Caldo lactosado verde brillante bilis al dos por ciento (CLVBB) de doble y simple concentración
- Caldo peptonado
- Catalizador $CuSO_4.5H_2O$: K_2SO_4 (1:300)
- Cloruro de litio
- Cloruro de magnesio
- Cloruro de sodio
- Cromato de potasio
- Éter de petróleo
- Éter etílico

- Fehling A
- Fehling B
- Glucosa
- Hidróxido de sodio
- Metanol
- Nitrato de potasio
- Nitrito de sodio
- Permanganato de potasio
- Solución de Folin-Ciocalteu 2N
- Solución indicadora de Fenolftaleína
- Solución indicadora de Rojo de metilo/Verde de bromocresol
- Sulfato férrico
- Tartrato de sodio y potasio tetrahidratado
- Trolox equivalente

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO PARA MUCÍLAGO DE CACAO

- **Acidez titulable total:** Método colorimétrico Nº950.15 (AOAC, 2016).

- **Análisis químico proximal:** Humedad Nº 931.04, grasa bruta Nº 963.15, proteína bruta Nº970.22, cenizas Nº972.15, fibra bruta Nº 930.20, carbohidratos y energía total (por diferencia) (AOAC, 2016).

- **Azúcares reductores:** Método espectrofotométrico de Miller (Ávila *et al.*, 2012).

- **Azúcares totales:** Método de titulación volumétrica de Bertrand (Matissek *et al.*, 1998).

- **Capacidad antioxidante:** Método espectrofotométrico del 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) empleado por Muzaffar y Kumar (2017).

- **Color:** Se determinaron las coordenadas del espacio de color CIE LAB (L, a*, b*) empleando un espectrocolorímetro CM-5 (Konica Minolta) por transmitancia, donde L de 0-50 denota oscuridad y de 51-100, luminosidad, para a* los valores positivos-negativos denotan rojo-verde y para b*, amarillo-azul.

- **Densidad:**Método del picnómetro Nº 945.06 (AOAC, 2016).

- **Minerales:** Calcio Nº 985.35, Fósforo Nº 986.24, Magnesio Nº 975.03, Potasio Nº 975.03 (AOAC, 2016).

- **pH:** Método potenciométrico Nº 970.21 (AOAC, 2016).

- **Polifenoles totales:** Método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu empleado por Muzaffar y Kumar (2017).

- **Sólidos solubles:** Método refractométrico Nº 920.151 (AOAC, 2016).

- **Sólidos totales:** Se obtuvo por diferencia con respecto al porcentaje de humedad (Guevara, 1990).

- **Viscosidad aparente:** Se empleó el viscosímetro rotacional Brookfield DV-II+ con una velocidad de rotación de 0 - 190 RPM a 20 °C, usando el accesorio ULA (Sharoba y Ramadan, 2011).

- **Vitamina C (ácido ascórbico):** Método de titulación volumétrica con el reactivo 2,6 diclorofenol-indofenol Nº 967.21 (AOAC, 2016).

3.4.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO PARA MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO

- **Acidez titulable total:** Método colorimétrico Nº 950.15 (AOAC, 2016).

- **Análisis químico proximal:** Humedad Nº 930.04, grasa bruta Nº 930.09, proteína bruta Nº 920.152, cenizas Nº 940.26, carbohidratos y energía total (por diferencia) (AOAC, 2016).

- **Azúcares totales:** Método de titulación volumétrica de Bertrand (Matissek *et al.*, 1998).

- **Capacidad antioxidante:** Método espectrofotométrico del 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) empleado por Muzaffar y Kumar (2017). Se reportó tanto el porcentaje de inhibición del radical como el contenido de capacidad antioxidante expresado en función al trolox equivalente (estándar).

- **Capacidad de rehidratación:** Se obtuvo depositando dos gramos de producto en polvo en placas petri, las cuales se colocaron dentro de una campana hermética de vidrio con agua destilada y a temperatura constante de 25 °C, para obtener una humedad relativa del 100 por ciento. La ganancia de peso se registró con respecto al tiempo (Hurtado, citado por Guevara, 1990). Los resultados se reportaron como porcentaje de rehidratación que se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Rehidratación} = \frac{\text{Peso ganado de agua (g)}}{\text{Peso inicial del polvo (g)}} \times 100$$

- **Color:** Se determinaron las coordenadas del espacio de color CIE LAB (L, a*, b*) empleando un espectrocolorímetro CM-5 (Konica Minolta) por transmitancia, donde L de 0-50 denota oscuridad y de 51-100, luminosidad, para a* los valores positivos-negativos denotan rojo-verde y para b*, amarillo-azul. Se calcularon los valores de ΔE (diferencia total de color) comparando los valores L, a*, b* de los productos en polvo reconstituidos con los valores L0, a*0 y b*0 del mucílago inicial como

referencia, mediante la siguiente ecuación (Caliskan y Dirim, 2017; Muzaffar y Kumar, 2017):

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a^*-a^*_0)^2 + (b^*-b^*_0)^2}$$

- **Densidad aparente:** Se determinó agregando cinco gramos de producto en polvo en una probeta de 25 mL, la cual se golpeó repetidamente de forma manual sobre una superficie rígida, levantando y dejando caer la probeta sobre su propio peso, hasta dejar de observar una diferencia en el volumen ocupado. La densidad aparente se calculó dividiendo el peso del polvo entre su volumen final ocupado en la probeta (g/cm^3) (Fernandes *et al.*, 2014).

- **Higroscopicidad:** Se obtuvo agregando aproximadamente un gramo de producto en polvo en una placa petri, la cual se mantuvo en una campana hermética de vidrio con una humedad del 75 por ciento, dentro de una estufa a 25 °C, durante una semana. Al término, la muestra se pesó y la higroscopicidad se calculó como el peso de agua absorbida por cada 100 gramos de sólidos (g/100g) (Fernandes *et al.*, 2014).

- **Isoterma de adsorción:** Consistió en colocar aproximadamente dos gramos de muestra en placas petri, las cuales se colocaron dentro de campanas herméticas de vidrio con diferentes soluciones acuosas de sales saturadas a temperatura constante de 25 °C, condicionando la exposición del producto a diferentes humedades relativas, como se muestra en el Cuadro 5. Después de 10 días, se determinó la humedad de equilibrio mediante la ecuación de B.E.T por balance de materia con el contenido de agua inicial, la pérdida o ganancia de peso y la actividad de agua medida con el equipo AQUALAB y se obtuvo la curva de isoterma de adsorción para el producto en polvo (Bell y Labuza, 2000).

Cuadro 5: Humedad relativa de diversas soluciones saturadas a 25 °C

Solución saturada	Humedad relativa (%) a 25 °C
Ácido sulfúrico	0.0
Cloruro de litio	11.0
Acetato de potasio	23.0
Cloruro de magnesio	33.0
Bicromato de sodio	50.0
Nitrito de sodio	64.0
Cloruro de sodio	75.0
Cromato de potasio	87.0
Nitrato de potasio	93.0
Agua	100.0

FUENTE:Bell y Labuza (2000)

- **pH:** Método potenciométrico Nº 970.21 (AOAC, 2016).

- **Polifenoles totales:** Método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu empleado por Muzaffar y Kumar (2017).

- **Rendimiento en polvo:** Se determinó relacionando el peso del producto en polvo obtenido en base seca sobre el peso de la mezcla de alimentación en base seca (Guevara, 1990):

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Polvo obtenido b.s. (g)}}{\text{Sólidos que ingresaron (g)}} \times 100$$

- **Sólidos totales:** Se obtuvo por diferencia con respecto al porcentaje de humedad (Guevara, 1990).

- **Solubilidad:** Se determinó disolviendo un gramo de producto en polvo en 100 mL de agua destilada, luego se centrifugó a 3000 r.p.m. durante 10 minutos. Se tomó una muestra representativa de 25 mL del sobrenadante y se procedió a secar en placas petri a 105 ºC por cinco horas. La solubilidad se calculó relacionando el peso del sobrenadante seco sobre el peso inicial del producto en polvo en base seca y expresada en porcentaje (Ochoa *et al*., 2011).

- **Vitamina C (ácido ascórbico):** Método de titulación volumétrica con el reactivo 2,6 diclorofenol-indofenol Nº 967.21 (AOAC, 2016).

3.4.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

- Detección de *Salmonella* sp. Método de la ICMSF (2000).
- Numeración de coliformes. Método de la ICMSF (2000).
- Numeración de *Escherichia coli*. Método de la ICMSF (2000).
- Numeración de levaduras. Método de la ICMSF (2000).
- Numeración de mohos. Método de la ICMSF (2000).
- Numeración de *Staphylococcus aureus*. Método de la ICMSF (2000).

3.4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se evaluaron utilizando un Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 3x3; el factor A estuvo compuesto por tres niveles de concentración de encapsulante (porcentaje de maltodextrina) y el factor B, por tres niveles de temperatura de entrada del aire (TEA); como se describe en el Cuadro 6. Luego, se efectuó la prueba de comparación de medias de LSD de Fisher ($\alpha = 0.05$), para lo cual se utilizó el programa estadístico *Statgraphics Centurion 18*.

Cuadro 6: Tratamientos del diseño experimental

TRATAMIENTO	FACTOR A % Maltodextrina	FACTOR B TEA (°C)
1	10	140
2	10	150
3	10	160
4	11	140
5	11	150
6	11	160
7	12	140
8	12	150
9	12	160

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. FLUJO DE OPERACIONES

En la Figura 9, se muestra el flujo de operaciones para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización, detallando los parámetros de cada operación, como se describe a continuación:

a. MATERIA PRIMA

Se utilizó mucílago filtrado y previamente descongelado de cacao de la variedad CCN 51, proveniente de Leoncio Prado, Huánuco, proporcionado por el Centro de Innovación del Cacao (CIC).

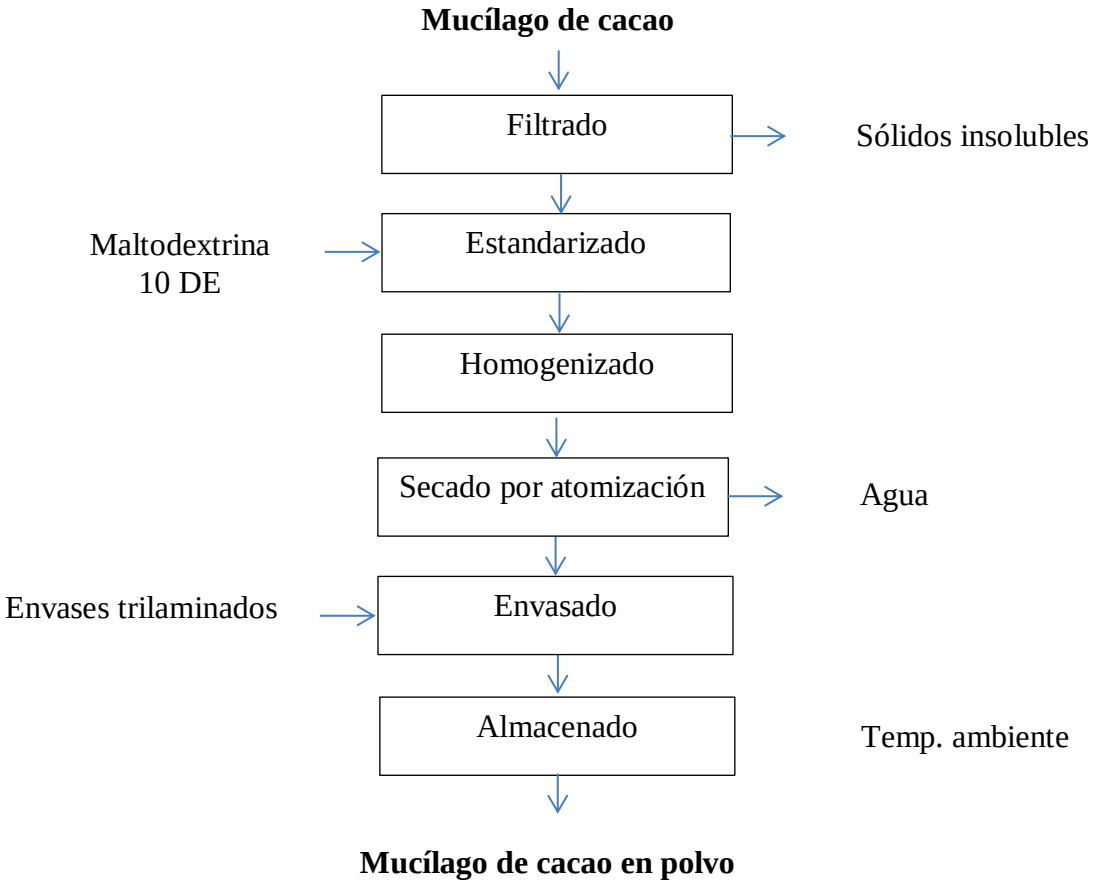


Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización

b. FILTRADO

Se realizó en un filtro prensa con placa filtrante K1 (< 4 µm) (Anexo 2) a fin de retener las partículas más finas de sólidos insolubles remanentes que acompañen al mucílago y puedan obstruir el jet de la boquilla de atomización.

c. ESTANDARIZADO Y HOMOGENIZADO

Se adicionaron diferentes concentraciones de encapsulante (maltodextrina 10 DE) con el fin de proporcionar un recubrimiento que proteja las características del producto. Luego, se homogenizó utilizando una licuadora industrial con el fin de distribuir uniformemente el encapsulante para evitar que quede alguna suspensión de éste o del producto mismo que

pudiera obstruir o dificultar el secado posterior y además, para conseguir el mismo efecto protector en todo el producto final.

d. SECADO POR ATOMIZACIÓN

Se utilizó un secador por atomización de flujo paralelo marca "NIRO ATOMIZER" modelo MINOR con el objetivo de dispersar y evaporar el jugo hasta los niveles de estabilidad, minimizando la destrucción térmica de sus componentes y obteniendo un producto en polvo de alta calidad.

e. ENVASADO Y ALMACENADO

El producto atomizado se envasó en bolsas trilaminadas de 150 gramos constituidas por láminas de polietileno, polipropileno y aluminio (Anexo 3), luego se sellaron inmediatamente utilizando una selladora eléctrica, con el fin de asegurar el aislamiento completo del medio que lo rodea y la conservación de sus características.El producto envasado se almacenó en un lugar fresco, seco y a temperatura ambiente.

3.5.2. PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 10, se presenta el esquema experimental para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización, cuyas etapas se detallan a continuación:

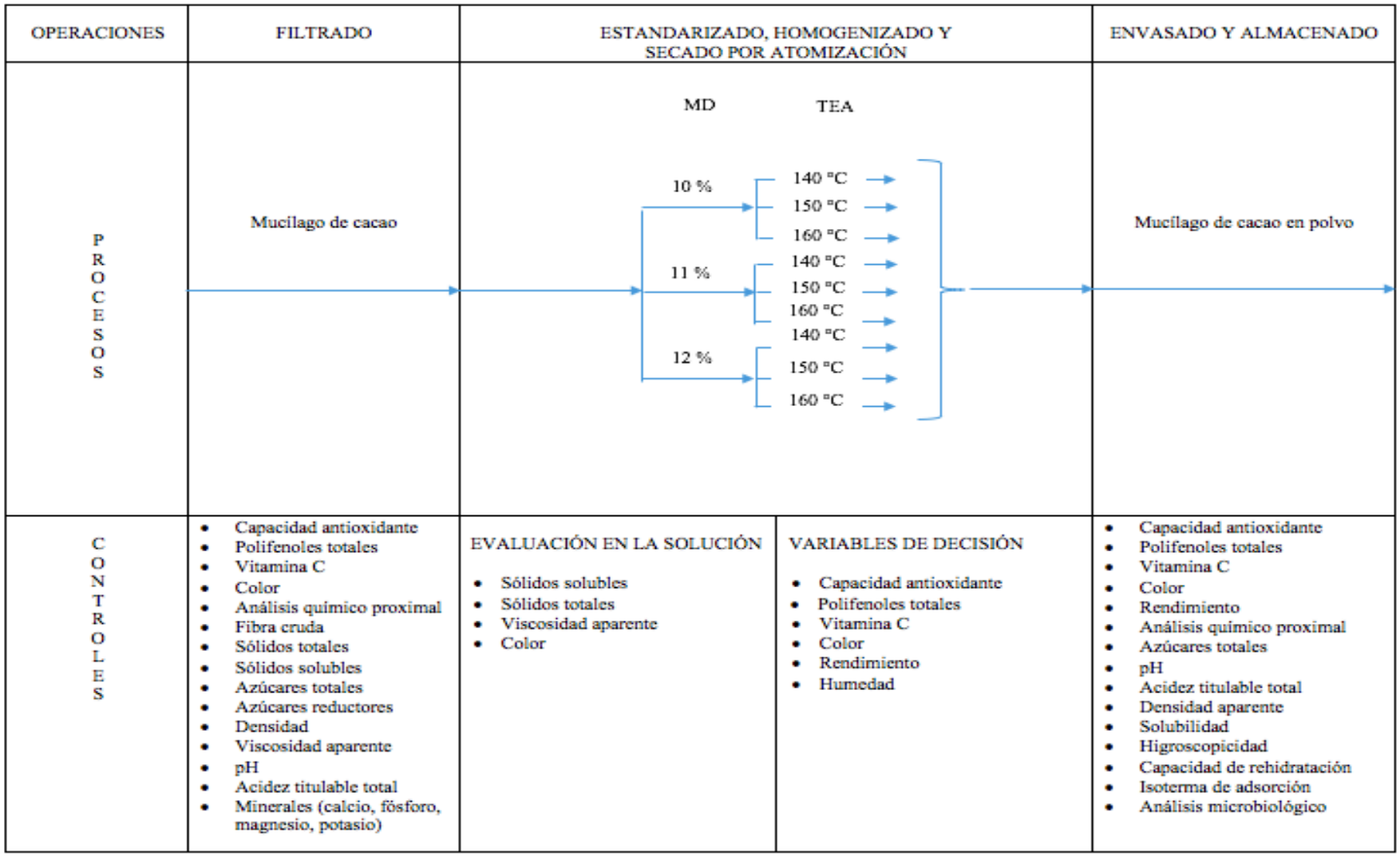


Figura 10: Esquema experimental para la obtención de mucílago de cacao en polvo por atomización

a. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Al mucílago de cacao se le realizaron los siguientes ensayos: capacidad antioxidante, polifenoles totales, vitamina C, color,análisis químico proximal, fibra cruda, sólidos totales, sólidos solubles, azúcares totales, azúcares reductores, densidad, viscosidad aparente,pH, acidez titulable total y minerales (calcio, fósforo, magnesio y potasio), con el fin de determinar las características iniciales del producto, de acuerdo a lo indicado en el ítem 3.4.1.

b. ESTANDARIZADO, HOMOGENIZADO Y SECADO POR ATOMIZACIÓN

Se prepararon mezclas con diferente concentración de encapsulante (maltodextrina 10 DE): 10, 11 y 12 por ciento en función del peso total del jugo (p/p); y se homogenizaron. En esta etapa, se controló los sólidos solubles, sólidos totales, viscosidad aparente y color de cada mezcla, con el objetivo de evaluar su efecto sobre las características del producto final. Las muestras fueron secadas en un equipo que trabajó en flujo paralelo. Se experimentó con tres diferentes temperaturas de entrada del aire: 140, 150 y 160 °C, que correspondieron a 74 °C, 78 °C y 82 °C, como temperaturas de salida del aire, respectivamente. La mejor decisión fue tomada en función a la capacidad antioxidante, polifenoles totales, vitamina C, color, rendimiento y humedad, características que se evaluaron estadísticamente acorde a lo indicado en el ítem 3.4.4.

c. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Con el objetivo de determinar las características del mucílago de cacao en polvo se realizaron los siguientes ensayos: capacidad antioxidante, polifenoles totales, vitamina C, color, rendimiento, análisis químico proximal, azúcares totales, pH, acidez titulable total, densidad aparente, solubilidad, higroscopicidad, capacidad de rehidratación, isoterma de adsorción y análisis microbiológico, de acuerdo a lo indicado en los ítems 3.4.2 y 3.4.3.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el Cuadro 7, se presentan las características fisicoquímicas correspondientes al mucílago de cacao después de ser extraído y filtrado. Mostró en promedio 83.8, 1.2, 2.5 y 2.5 por ciento de humedad, grasa, proteína y cenizas en base seca, respectivamente, valores que se encuentran dentro de los rangos reportados por Escalante *et al*. (2013) y Endraiyani *et al*. (2016), entre 82 y 87 por ciento de humedad, menos de 3.8 por ciento de grasa y menos de 7.7 por ciento de proteína. Sin embargo, se obtuvieron valores menores a los reportados por Anvoh *et al*. (2009), 3.12 por ciento de grasa y de tres a cinco por ciento de proteína,esposible se deba a factores culturales como el tipo de cultivo, el grado de madurez así como la región de cultivo (Endraiyani *et al.,* 2016).

Presentó 14, 13.1, 11, 3.1 y 7.9 por ciento de sólidos totales, carbohidratos, azúcares totales, azúcares reductores y azúcares no reductores, respectivamente. Al respecto,Endraiyani *et al.* (2016) reportaron valores de 10 a 15 por ciento de azúcares y Schawn *et al.*citados por Romero y Zambrano (2012)indicaron que entre los principales azúcares se encontraron fructosa (0.35 y 1.19 porciento) y glucosa (0.11 y 0.84 por ciento) como azúcares reductores, y sacarosa (0.11 y 1.32 por ciento) como azúcar no reductor, representando entre el dos y el nueve por ciento de los sólidos totales, ya que puede ser hasta 4.5 veces mayor que el contenido de glucosa y hasta 3 veces mayor que la fructuosa.

Mostró 763.6, 128.4, 69.1 y 3.7 ppm de potasio, magnesio, calcio y fósforo, respectivamente, valores menores a lo reportado por Escalante *et al*. (2013) y Anvoh *et al*. (2009), quienes encontraron 842.7 a 950 ppm de potasio, 82.5 a 151.8 ppm de magnesio, 171.5 a 160 ppm

de calcio y 62.47 ppm de fósforo, esto se pudo deber a las diferentes características del cultivo, principalmente a los nutrientes absorbidos durante el desarrollo del cacao y a la variedad y madurez del fruto.

Cuadro 7: Composición fisicoquímica del mucílago de cacao

Característica fisicoquímica		Resultado (b.h.)	Resultado (b.s.)
Humedad (g/100 g)		86.0	-
Grasa cruda (g/100 g)		0.2	1.2
Proteína (g/100 g)		0.4	2.5
Cenizas (g/100 g)		0.4	2.5
Carbohidratos (g/100 g)		13.1	93.8
Fibra cruda (g/100 g)		0.0	0.0
Energía total (kcal/100 g)		55.5	396.3
Sólidos totales (g/100 g)		14.0	-
Sólidos solubles (ºBrix)		13.8	-
Azúcares totales (g/100 g)		11.0	78.4
Azúcares reductores (g/100 g)		3.1	22.2
Potasio (mg/100 g)		106.9	763.6
Magnesio (mg/100 g)		18.0	128.4
Calcio(mg/100 g)		9.7	69.1
Fósforo (mg/100 g)		0.5	3.7
Densidad (g/ml)		1.03	1.03
Viscosidad aparente a 170 RPM (cP)		2.7	2.7
pH		3.4	3.4
Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g)		0.7	4.9
Color	L	92.6	92.6
	a*	0.1	0.1
	b*	8.6	8.6
Polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g)		33.4	238.8
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g)		7.6	54.3
Capacidad antioxidante (µmoles trolox eq/g)		4.3	30.8

Presentó una densidad de 1.03 g/ml, valor que se encuentra dentro de1 rango reportado por Romero y Zambrano (2012),entre 1.0280 y 1.0686 g/ml, atribuible a los sólidos solubles presentes en el mucílago que varían entre 13 y 17 °Brix. Además, está relacionada con su baja viscosidad aparente, 2.7 cP a 170 RPM, característico de los jugos de fruta debido a su baja concentración de sólidos.

Mostró 3.4 de pH y 4.9 por ciento de acidez titulable expresada en ácido cítrico (predominante), valores similares a lo reportado (3.75 y 3.72) por Anvoh *et al.* (2009) y Escalante *et al.* (2013). Los valores indican que el mucílago tiene una alta acidez, debido a la presencia de diversos ácidos orgánicos, fundamentalmente el ácido cítrico, presente entre uno y tres por ciento(Endraiyani *et al.*, 2016). Según Romero y Zambrano (2012), existe una relación lineal inversa entre el pH y la concentración de ácido cítrico por tratarse de la especie predominante (mayor a 95 por ciento) sobre los demás ácidos presentes (aspártico, glutámico, oxálico, málico y tartárico).

Presentó una alta luminosidad, baja tendencia al color rojo y bajos valores de amarillo, esto se debió a que fue sometido a diferentes operaciones desde su extracción, por lo que se produjeron cambios en su color blanquecino, característico cuando se encontraba dentro de la mazorca de cacao.

Reportó 238.8 mg ácido gálico/100 g de polifenoles totales y 30.8 µmoles trolox eq/g de capacidad antioxidante,valores menores alencontrado por Endraiyani *et al.* (2016), 103.76 mg ácido gálico/100 g de polifenoles totales y 18.71 µmoles trolox eq/g de capacidad antioxidante, esto se pudo deber a numerosos factores, entre ellos, la variedad de cacao, las condiciones de cultivo y poscosecha. También presentó 54.3 mg ácido ascórbico/100 g, menor al jugo de espinaca (350 mg) y camu camu (13220 a 25320 mg) encontrados por Caliskan y Dirim (2017) y Fujita *et al.* (2017).

4.2. ESTANDARIZADO Y HOMOGENIZADO

En las Figuras 11, 12 y 13 y el Anexo 4se presentan los resultados de sólidos solubles, sólidos totales y viscosidad aparente del mucílago con diferentes porcentajes de maltodextrina antes del secado por atomización.

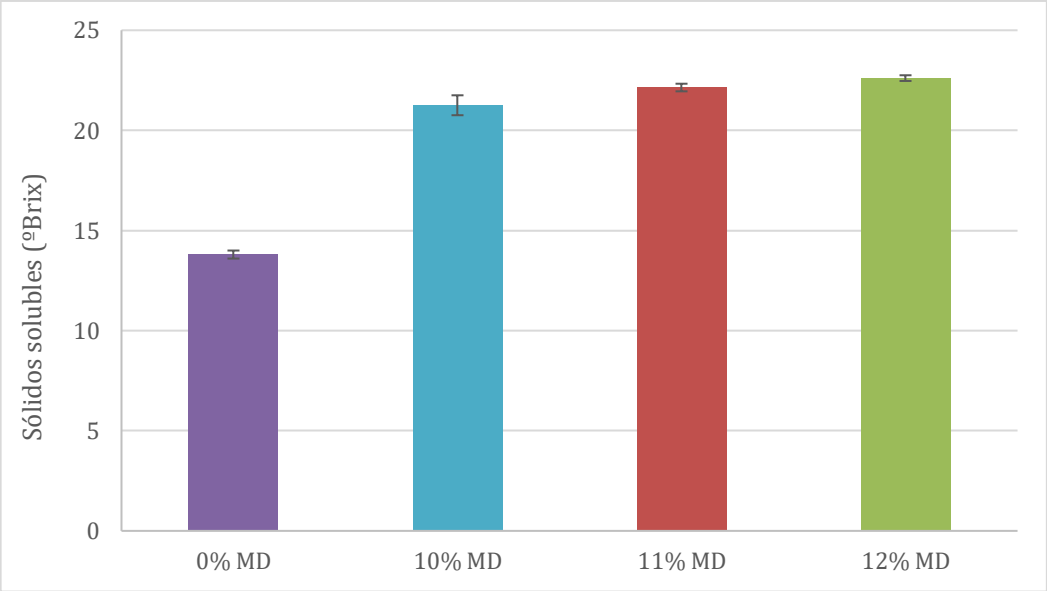


Figura 11: Variación de los sólidos solubles (°Brix) del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

Se evidencia que el incremento de la concentración de maltodextrina en uno por ciento no aumentó significativamente los sólidos solubles de la mezcla, sin embargo sí podría ocasionar cambios significativos en las características fisicoquímicas del producto atomizado. A estos valores de concentración se les consideró con el objeto de utilizar la menor cantidad posible de encapsulante, a fin de obtener los mayores valores de capacidad antioxidante, polifenoles totales y vitamina C, al reducir el factor de dilución en las mezclas, pero buscando que el producto deshidrate apropiadamente.

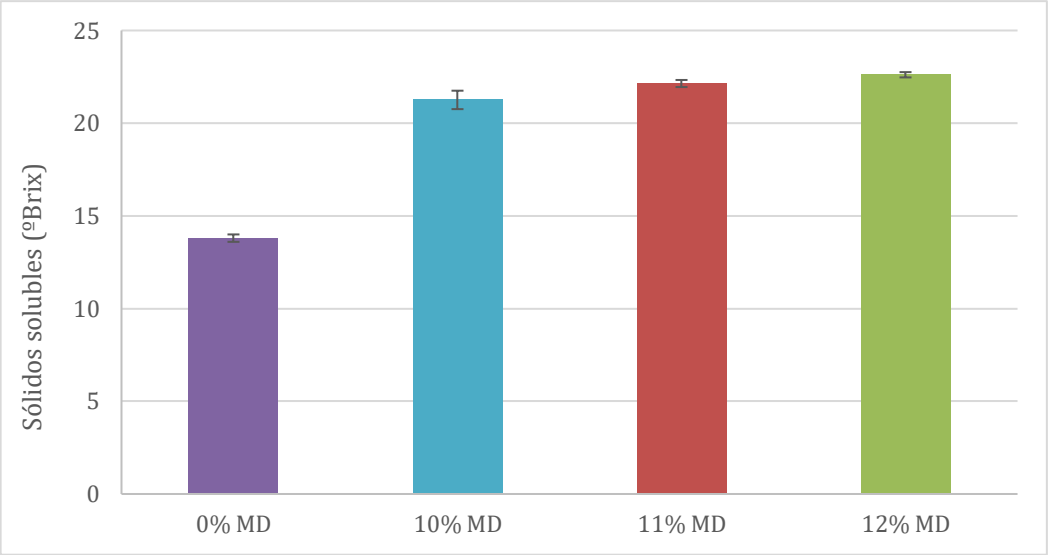


Figura 12: Variación de los sólidos totales (%) del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

Se observó el incremento de sólidos totales con el aumento de maltodextrina, resultando mayores que los sólidos solubles en una fracción menor al dos por ciento, de esta manera se comprueba que la maltodextrina aporta sólidos altamente solubles, propiedad que lo convierte en un material de encapsulación adecuado para muestras que serán sometidas a atomización.

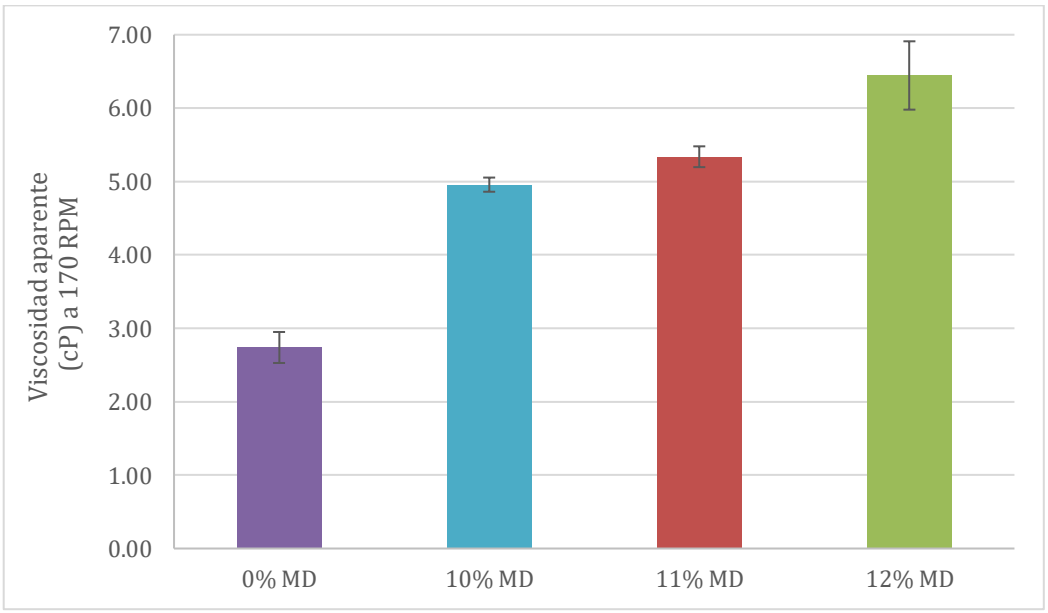


Figura 13: Variación de la viscosidad aparente (cP) a 170 RPM del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

En cuanto a la viscosidad aparente, se aprecia que la maltodextrina no incrementó significativamente esta característica, a diferencia de otros encapsulantes como las gomas, de esta manera, resultó ideal, ya que no dificultó la alimentación durante el secado por atomización en ninguno de los tratamientos.

En las Figuras 14, 15 y 16 y el Anexo 5, se presentan los resultados de color del mucílago con diferentes porcentajes de maltodextrina antes del secado por atomización, donde L denota oscuridad de 0 a 50 y luminosidad de 51 a 100, a* y b* denotan rojo-verde y amarillo-azul para valores positivos-negativos, respectivamente.

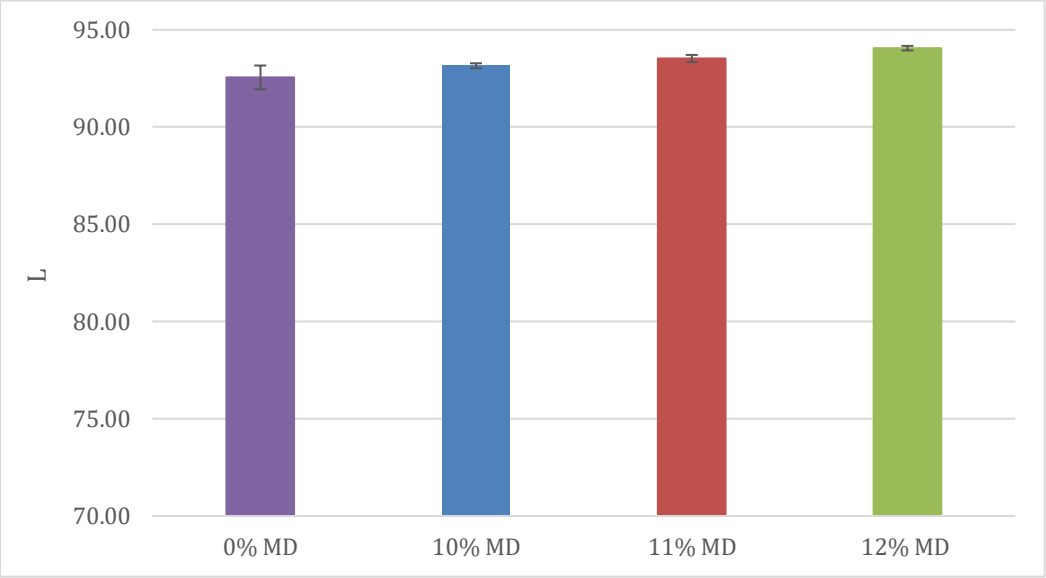


Figura 14: Variación de la coordenada L del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

Se evidencia que a mayor concentración de maltodextrina, los valores L de las mezclas aumentaron, esto se pudo deber a que la maltodextrina presentó alta luminosidad por su característico color blanco, incrementando esta coordenada hasta valores cercanos a 95.

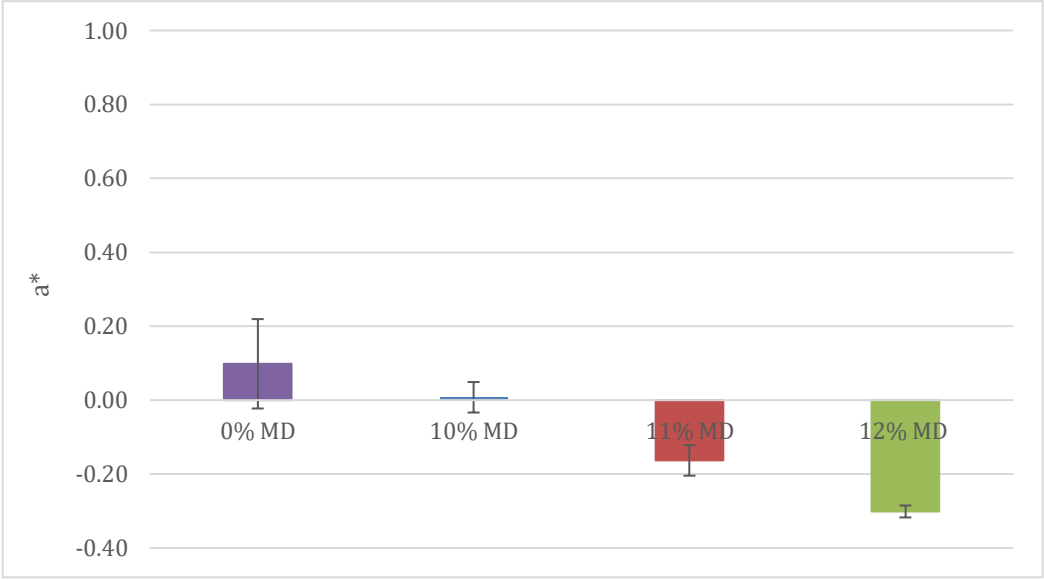


Figura 15: Variación de la coordenada a* del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

Respecto a la coordenada a*, la maltodextrina aumentó la tendencia de las mezclas hacia el color verde, en oposición al matiz ligeramente rojizo de la muestra inicial, ya que el mucílago tiende a oscurecerse después de su extracción, de este modo, la adición de maltodextrina permitió reducir esta característica hasta valores negativos.

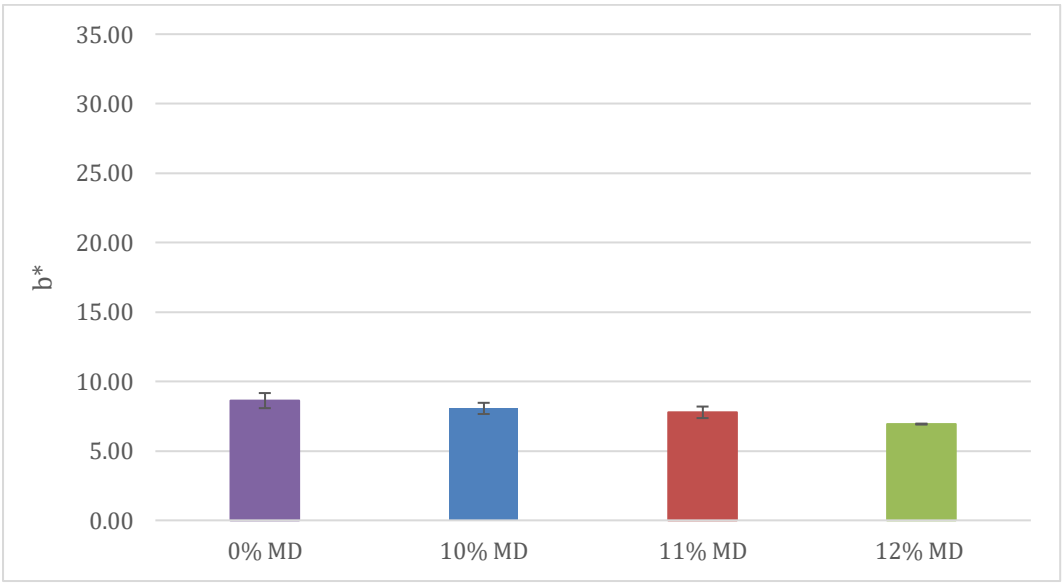


Figura 16: Variación de la coordenada b* del mucílago de cacao con diferentes concentraciones de maltodextrina

De la misma manera, respecto a la coordenada b*, el color blanco de la maltodextrina contrarrestó el color amarillo del mucílago de cacao extraído, reduciéndolo hasta valores menores a 7.

4.3. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO

Durante las pruebas preliminares, se observó que no fue posible secar el mucílago sin la adición de encapsulante, por tanto el rendimiento fue cero y se apreció que el producto quedaba adherido en las paredes del equipo y con el tiempo se quemaba; similares resultados reportaron Fujita *et al.* (2017) y Muzaffar y Kumar (2017),para el secado de camu camu y tamarindo, respectivamente y en otros casos se obtuvieron polvos muy pegajosos, debido al alto contenido de ácidos orgánicos y azúcares que presenta el mucílago de cacao,por tanto se observó la necesidad de utilizar un encapsulante para obtener productos sin estas características indeseables, como en los estudios realizados por Emam-Djomeh *et al.*(2017) y Fujita *et al.*(2017).

En la Figura 17 y el Anexo 6, se presentan los resultados de rendimiento del mucílago en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador; tomando en cuenta las muestras recolectadas tanto en el colector como al final del proceso en el barrido de las paredes de la cámara del secador,similares resultados encontró García *et al.* (2017) al deshidratar pitahaya.

Los valores de rendimiento para los polvos de mucílago de cacao variaron entre 40.4 y 51.9 por ciento, obteniéndose los más altos en los tratamientos a 160 ºC de TEA.Sin embargo, en la mayoría de pruebas se obtuvieron rendimientos menores al 50 por ciento, que es considerado el punto de referencia para un atomizado exitoso en equipos a escala de laboratorio (Bazaria y Kumar, 2017; García *et al.*, 2017; Muzaffar y Kumar, 2017).

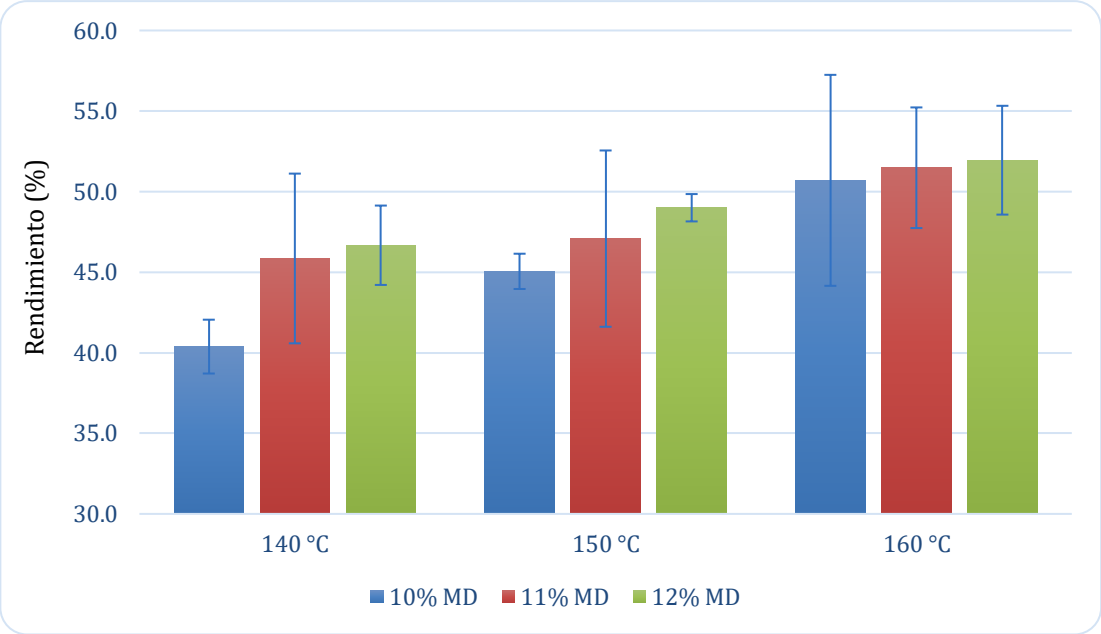


Figura 17: Variación del rendimiento en polvo (%) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se puede observar que el rendimiento es directamente proporcional a la concentración de maltodextrina y a la temperatura de entrada del aire en el atomizador, sin embargo, de acuerdo al análisis estadístico, se encontró diferencias significativas solo en la segunda variable, específicamente, entre los tratamientos a 140 °C y 160 °C de TEA (Anexo 7).

De la misma manera, Fujita *et al.* (2017) reportaron valores bajos de rendimiento para el secado de camu camu (alrededor del 25 por ciento) en un atomizador a escala piloto, similar al utilizado en esta investigación, y resaltaron que se obtienen rendimientos más altos cuando se utiliza un mini atomizador, ya que dadas sus dimensiones, se espera que presente una mayor eficiencia.

Por otro lado, el rendimiento de los polvos obtenidos pudo resultar menor en comparación con otros productos, debido a la alta capacidad de absorción de agua del mucílago que requirió más fuerza de atomización para romper esa pared superficial y formar gotas más pequeñas, como lo indicó Farías *et al.*(2017) para el mucílago de nopal.

En cuanto a la concentración de maltodextrina, su adición incrementó el rendimiento al aumentar los sólidos totales de la mezcla de alimentación sin afectar la atomización en ninguno de los tratamientos, ya que no sobrepasó el límite en que comienza a disminuir el rendimiento (Looi *et al.,* 2019).

Gawalek *et al.*(2017) mencionaron que en la industria de alimentos, se espera que los polvos contengan la mínima cantidad de encapsulante posible, al respecto, en las pruebas realizadas se observó que por debajo de 10 por ciento de maltodextrina, el rendimiento disminuía significativamente, lo que puede ocasionar que toda la producción no sea rentable y que los productos obtenidos no cumplan con las características deseadas.

Respecto a la temperatura de entrada del aire, los resultados mostraron que a 140 ºC fue suficiente para secar las gotas antes de que alcanzaran las paredes del secador y que a medida que aumentó la temperatura, el rendimiento también se incrementó, esto se pudo deber a una mayor transferencia del agua y calor, provocando una mayor productividad de los polvos y reduciendo la adhesión de las partículas en la cámara de secado del atomizador (Farías *et al.,* 2017), ya que ocurren cambios mínimos en la estructura y la condición termoplástica del material.

Numerosos fenómenos se han sugerido para explicar la disminución de la adhesión de los polvos, por ejemplo a altas temperaturas, las gotas son secadas cuando entran en contacto con la pared, reduciendo su adhesión o la relación entre el fenómeno de derretimiento de algunos componentes del polvo y la cohesión en las paredes (García *et al.,* 2017).

El rendimiento máximo se obtuvo a 160 °C de TEA, sin embargo, el uso de temperaturas de entrada del aire más altas podría causar la destrucción de una gran proporción de fitoquímicos que son significativos para el valor nutricional del polvo y también podría aumentar la pegajosidad, ya que podría exceder la temperatura de transición vítrea o provocar la pérdida por arrastre de partículas con el flujo de aire, resultando en la disminución del rendimiento (Looi *et al.,* 2019; Farías *et al*., 2017).

4.4. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LA HUMEDAD

En la Figura 18 y el Anexo 8, se presentan los resultados de humedad de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

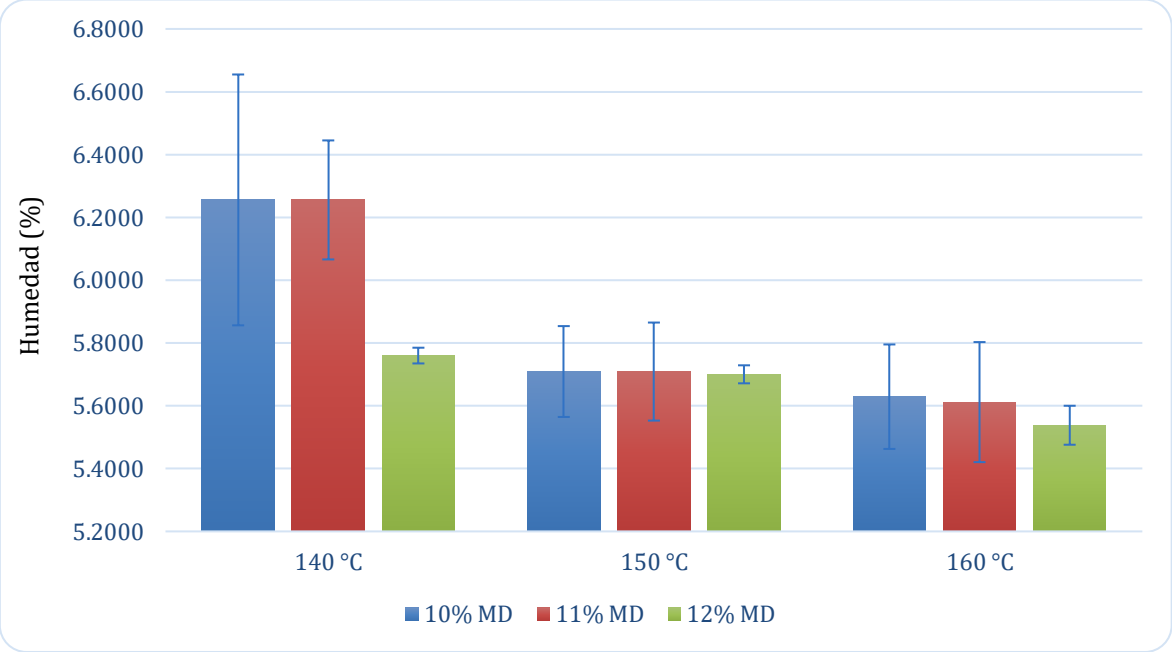


Figura 18: Variación de la humedad (%) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Los valores de humedad para los polvos de mucílago de cacao variaron entre 5.5381 y 6.2555 por ciento,siendo los más bajos a 160 ºC de TEA. Al respecto,Farías *et al.* (2017) y Muzaffar y Kumar (2017), la humedad de los productos atomizados no debe exceder el cinco por ciento,ya que bajos niveles de humedad disminuyen las velocidades de las reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas (García *et al.*, 2017).

Se observó que la humedad es inversamente proporcional a la concentración de maltodextrina y a la temperatura de entrada del aire en el atomizador, mostrándose prácticamente constante para la primera variable e incrementando su diferencia en relación a la segunda variable; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su

interacción, excepto entre los tratamientos con 10 y 11 por ciento de maltodextrina y entre 150 y 160 °C de TEA (Anexo 9).

Por otro lado, Caliskan y Dirim (2017), Emam-Djomeh*et al.* (2017) y García *et al.* (2017) indican que el contenido de sólidos de la mezcla de alimentación también tiene un efecto en la humedad del producto final, ya que al incrementar los sólidos presentes, aumenta la viscosidad de la muestra y disminuye el agua disponible para su evaporación, disminuyendo la humedad del polvo.

Del mismo modo, Farías *et al.* (2017), Fujita *et al.* (2017), García *et al.* (2017) y Muzaffar y Kumar (2017) mencionan que con el aumento de la temperatura de entrada del aire, la humedad disminuyó significativamente, esto se pudo deber al mayor gradiente de temperatura entre la mezcla de alimentación y el medio durante el secado, otorgando una mayor fuerza motriz para la evaporación de agua, obteniendo polvos con menor humedad.

Se obtuvieron valores más bajos de humedad a 160 °C de TEA, que concuerda con lo reportado por Caliskan y Dirim (2017), es posible se deba al mayor tiempo de contacto del producto con el aire caliente, logrando la remoción de la humedad, al aumentar la temperatura de entrada del aire, se incrementó la eficiencia de la transferencia de calor y masa, lo que ocasionó que la humedad de los polvos disminuya.

Sin embargo,temperaturas más altas pueden dañar las partículas del polvo y generar pequeños azúcares con un peso molecular más bajo que tienen tendencia a absorber más humedad comparada con azúcares grandes (Emam-Djomeh *et al.*, 2017). Además, se forma rápidamente una corteza, por tanto la evaporación del agua disminuye y la humedad incrementa, debido a la dificultad de la difusión a través de la corteza (Caliskan y Dirim, 2017; Emam-Djomeh *et al.*, 2017).

4.5. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL COLOR

En la Figura 19 y el Anexo 10, se presentan los resultados de la coordenada L de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

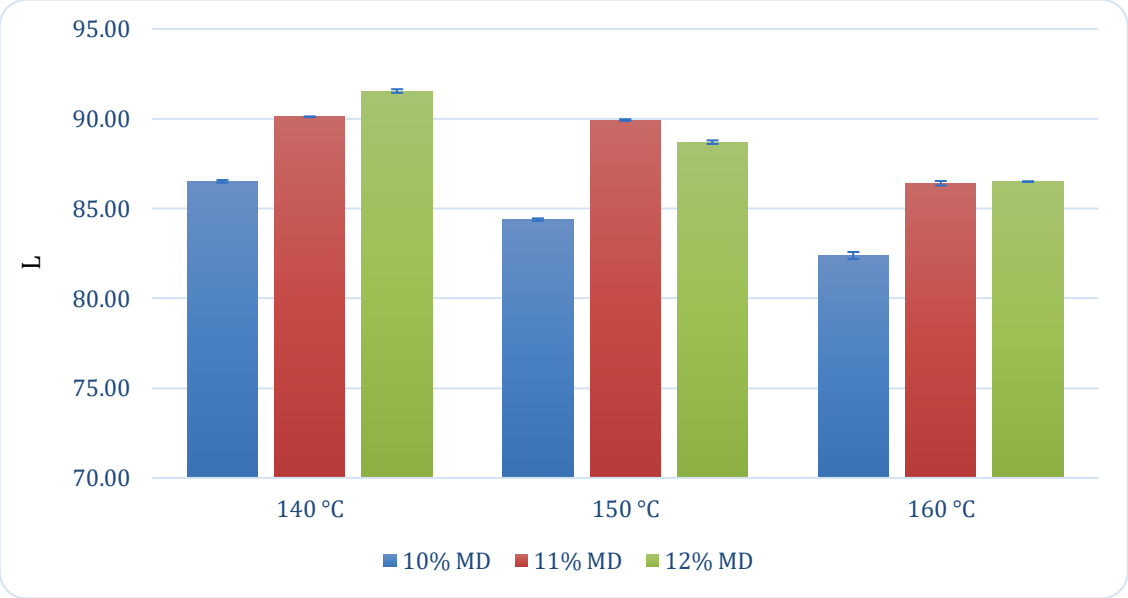


Figura 19: Variación de la coordenada L de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se observó que la luminosidad es directamente proporcional a la concentración de maltodextrina e inversamente proporcional a la temperatura de entrada del aire en el atomizador. La evaluación estadística encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos; los valores más altos se reportaron al trabajar con 11 y 12 por ciento de maltodextrina y a 140 ºC de TEA (Anexo 11).

Al respecto, Caliskan y Dirim (2017) y Muzaffar y Kumar (2017) indican que el color se expresa mediante las coordenadas del espacio CIE LAB (L, a*, b*), donde L denota oscuridad de 0 a 50 y luminosidad de 51 a 100, a* y b* denotan rojo-verde y amarillo-azul para valores positivos-negativos, respectivamente. Además, consideran la evaluación deΔE

(diferencia total de color), con el fin de comparar el color de los productos en polvo reconstituidos con el de la materia prima inicial.

Se encontró una mayor luminosidad para los polvos que contienen más maltodextrina; Looi *et al.* (2019) indican que este encapsulante usualmente presenta un color blanco en su presentación en polvo, generando que el producto atomizado se muestre más luminoso.

También se evidenció que el aumento de la temperatura de entrada del aire disminuye la luminosidad del producto y es posible se deba a una mayor reacción de caramelización en el polvo final con alto contenido de azúcares (Looi *et al.*, 2019; Muzaffar y Kumar, 2017).Se determinó que el incremento de las temperaturas de entrada del aire da un efecto significativo en la luminosidad, que coincide con lo reportado por Caliskan y Dirim (2017) para la espinaca.

En la Figura 20 y el Anexo 12, se presentan los resultados de la coordenada a* de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

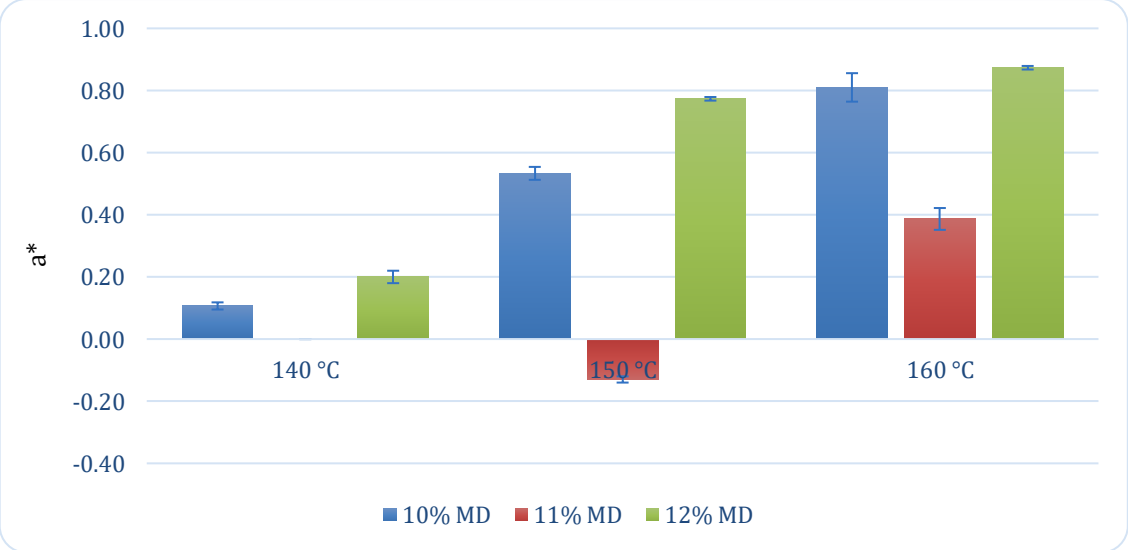


Figura 20: Variación de la coordenada a* de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se observó que la coordenada a* es inversamente proporcional a la concentración de maltodextrina, excepto para el tratamiento con 12 por ciento y directamente proporcional a la temperatura de entrada del aire en el atomizador; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos, obteniéndose los valores más bajos a 140 ºC de TEA (Anexo 13).

En la Figura 21 y el Anexo 14, se presentan los resultados de la coordenada b* de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

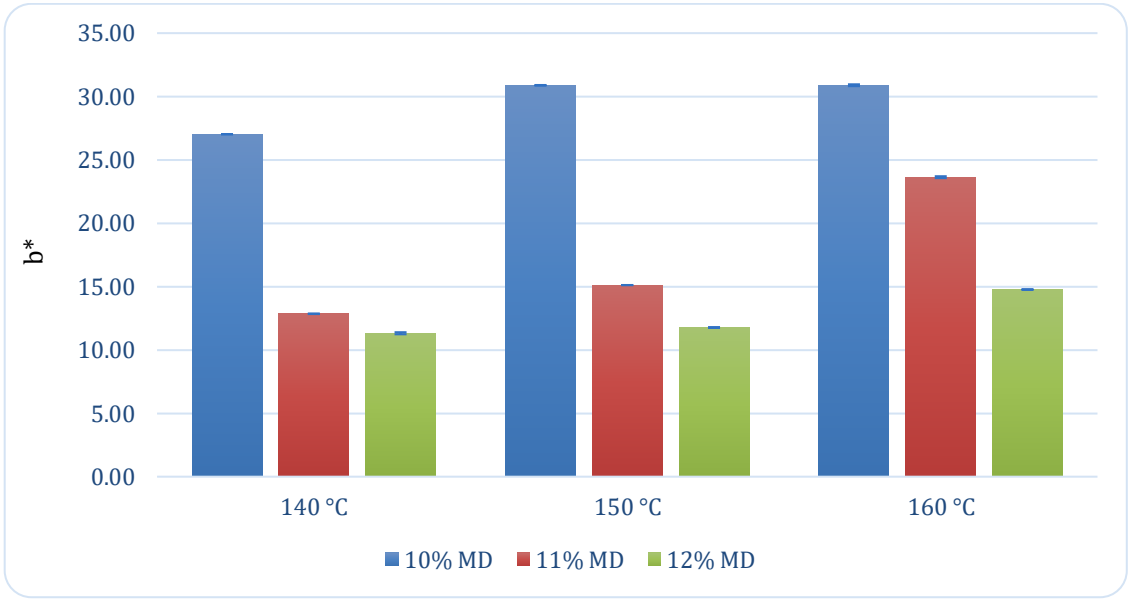


Figura 21: Variación de la coordenada b* de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se observó que la coordenada b* es inversamente proporcional a la concentración de maltodextrina y directamente proporcional a la temperatura de entrada del aire en el atomizador; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos, obteniéndose los valores más bajos con 11 y 12 por ciento de maltodextrina y a 140 ºC de TEA (Anexo 15).

El incremento de la concentración de maltodextrina provocó una disminución del color rojo del producto atomizado, debido al color blanco característico del encapsulante. Por el contrario, el incremento de la temperatura de entrada del aire aumentó significativamente la tendencia del color hacia el rojo (Muzaffar y Kumar, 2017). Lo indicado se pudo deber a la ocurrencia de reacciones de caramelización por efecto del calor, que puede estar relacionada a la degradación de compuestos y por tanto, causar cambios en el color (Caliskan y Dirim, 2017).

De la misma manera que para la coordenada a*, el incremento de la concentración de maltodextrina provocó la disminución del color amarillo del producto atomizado y el incremento de la temperatura de entrada del aire aumentó significativamente la tendencia del color hacia el amarillo, que coincide con lo reportado por Muzaffar y Kumar (2017), atribuido a las condiciones de secado, ya que ocurrió una mayor transferencia de calor y una menor protección del encapsulante, favoreciendo las reacciones de degradación de compuestos (García *et al.*, 2017).

En la Figura 22 y el Anexo 16, se presentan los resultados de diferencia total de color (ΔE) de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

La diferencia total de color para los polvos obtenidos varió entre 2.88 y 24.49, obteniéndose los valores más bajos con 11 y 12 por ciento de maltodextrina y a 140 ºC de TEA. Todos los polvos mostraron una notable diferencia total de color comparados con el jugo inicial (ΔE mayor a 2.3), esto se pudo deber a los cambios en las coordenadas L, a*, b* después de la reconstitución, ya que L se redujo considerablemente, mientras que a* y b* aumentaron, volviéndolas más oscuras, de esta manera, se observó que la rehidratación de los polvos acentuó el efecto de la caramelización (Looi *et al.*, 2019).

Otra de las razones del significativo cambio de color es la reconstitución de los polvos para alcanzar los sólidos iniciales de la muestra antes del secado por atomización, por tanto en

polvos con baja humedad, la cantidad de agua añadida aumenta, lo que provoca colores más claros (Caliskan y Dirim, 2017).

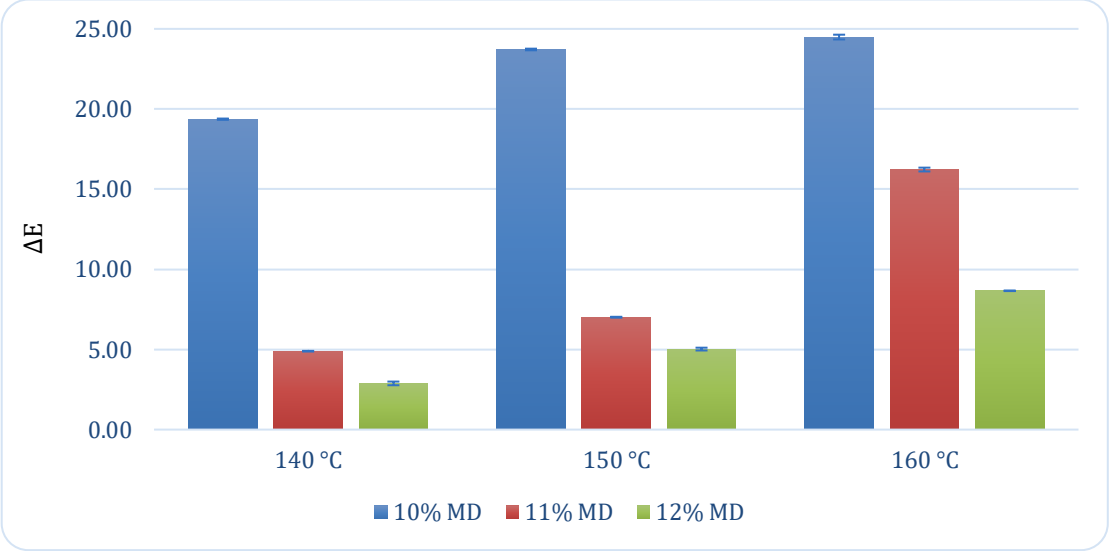


Figura 22: Variación de la diferencia de color (ΔE) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se observó que la diferencia total de color es inversamente proporcional a la concentración de maltodextrina y directamente proporcional a la temperatura de entrada del aire en el atomizador; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos (Anexo 17).

Se obtuvieron mayores ΔE en muestras que se sometieron a mayor temperatura de entrada del aire en el atomizador. Al respecto, Caliskan y Dirim (2017) afirmaron que el cambio de color de los alimentos durante el tratamiento térmico se produce debido a la degradación de pigmentos y reacciones de caramelización como Maillard y la oxidación de la vitamina C, entre otros.

Por el contrario, se obtuvieron valores más bajos de ΔE en las muestras que presentaron mayor concentración de maltodextrina, esto debido a que la adición de este encapsulante

contrarrestó el efecto de caramelización mencionado, disminuyendo las diferenciasde color respecto al jugo inicial.

4.6. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES

En la Figura 23 y el Anexo 18, se presentan los resultados del contenido de polifenoles totales de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

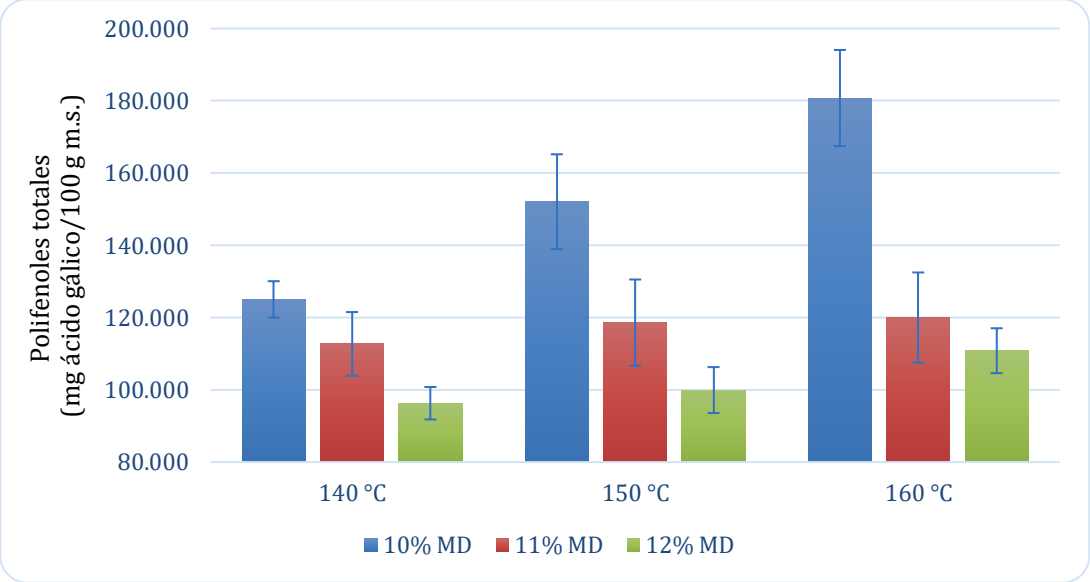


Figura 23: Variación del contenido de polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g m.s.) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

El contenido de polifenoles totales varió entre 96.295 y 180.759 mg ácido gálico/100 g m.s. y su retención entre 40.318 y 75.682 por ciento, obteniéndose los niveles más altos con 10 por ciento de maltodextrina. Se observó que son inversamente proporcionales a la concentración de maltodextrina y directamente proporcionales a la temperatura de entrada del aire en el atomizador; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos (Anexo 19).

El efecto de la maltodextrina se pudo deber a que los encapsulantes provocan dilución en la concentración de fenoles (Looi *et al.*, 2019; Caliskan y Dirim, 2017; Gawalek *et al.*, 2017) y el efecto de la temperatura de entrada del aire se puede atribuir a la degradación parcial de las paredes celulares por efecto del calor, lo cual podría haber provocado la liberación de derivados fenólicos y por tanto, mejorar la extracción de grupos hidroxil fenoles de los polvos o en todo caso, la polimerización así como la síntesis de polifenoles, aumentando su contenido total. Asimismo, Muzaffar y Kumar (2017) reportaron inicialmente similares contenidos de polifenoles con el aumento de la temperatura de entrada del aire y luego, un incremento a temperaturas más altas.

Por su lado, Looi *et al.* (2019) investigaron en atomización de extractos de hojas de moringa, encontrando que algunos compuestos fenólicos son termoestables y que los polvos con ΔE más bajos son los que reportaron valores más altos de polifenoles totales, esto demuestra la estrecha correlación entre la retención de fenoles originales del jugo inicial y los cambios de color durante la atomización. Sin embargo, se observaron polvos con altos ΔE que presentaron una alta retención de polifenoles totales, lo que se pudo deber a su alto índice de caramelización que provocó la formación de compuestos secundarios con estructura fenólica.

4.7. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE VITAMINA C

En la Figura 24 y el Anexo 20, se presentan los resultados del contenido de vitamina C de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

El contenido de vitamina C varió entre 13.332 y 31.431 mg de ácido ascórbico/100 g m.s. y su retención entre 24.561 y 57.901 por ciento, obteniéndose los niveles más altos con 10 por ciento de maltodextrina y a 150 y 160 ºC de TEA, sin embargo, estas muestras presentaron altos ΔE y por tanto, menor apariencia, optando por no considerarlas aunque su contenido

de vitamina Csea alto;por lo expuesto, se determinó como mejor tratamiento a las muestras con 11 por ciento de maltodextrina y a 140 ºC de TEA.

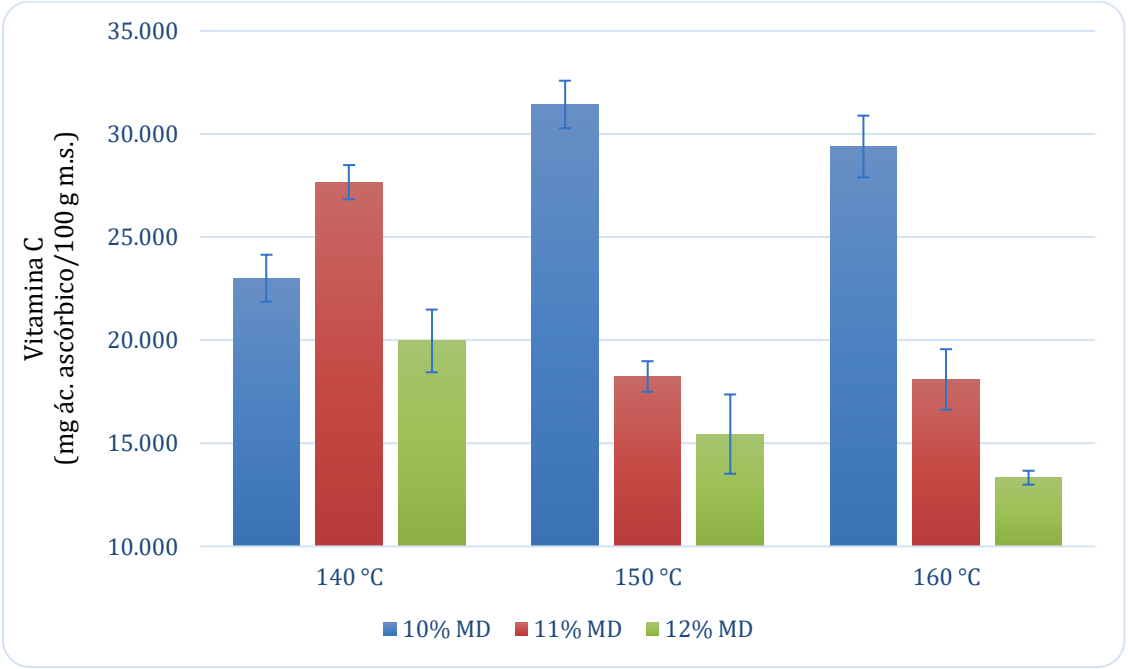


Figura 24: Variación del contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g m.s.) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

Se observó que el contenido de vitamina C y su retención son inversamente proporcionales a la concentración de maltodextrina y a la temperatura de entrada del aire en el atomizador, excepto para el tratamiento con 10 por ciento de maltodextrina y a 140 °C de TEA; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos (Anexo 21).Al respecto, el efecto de la maltodextrina se pudo deber a que provocó la dilución de los compuestos bioactivos y el efecto de la temperatura de entrada del aire se puede atribuir a la naturaleza termolábil de la vitamina C.

Asimismo, se determinó que a una baja concentración de maltodextrina (10 por ciento), la menor temperatura (140 ºC) no fue suficiente para obtener las características adecuadas de un producto en polvo, por el contrario, el apelmazamiento de la muestra durante el secado ocasionó la pérdida de vitamina C, ya que se prolongó el tiempo de exposición del producto

a factores como el oxígeno, que puede causar reacciones de oxidación, y ala retención de calor, que puede causar degradación.

Por otro lado, la pérdida de vitamina C también se puede producir por la exposición a la luz antes del secado, así como a operaciones de corte, lavado y extracción del jugo (Caliskan y Dirim, 2017).

4.8. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

En las Figura 25 y 26 y los Anexos 22 y 23, se presentan los resultados de contenido de capacidad antioxidante y porcentaje de inhibición del radical DPPH de los productos en polvo a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire en el atomizador.

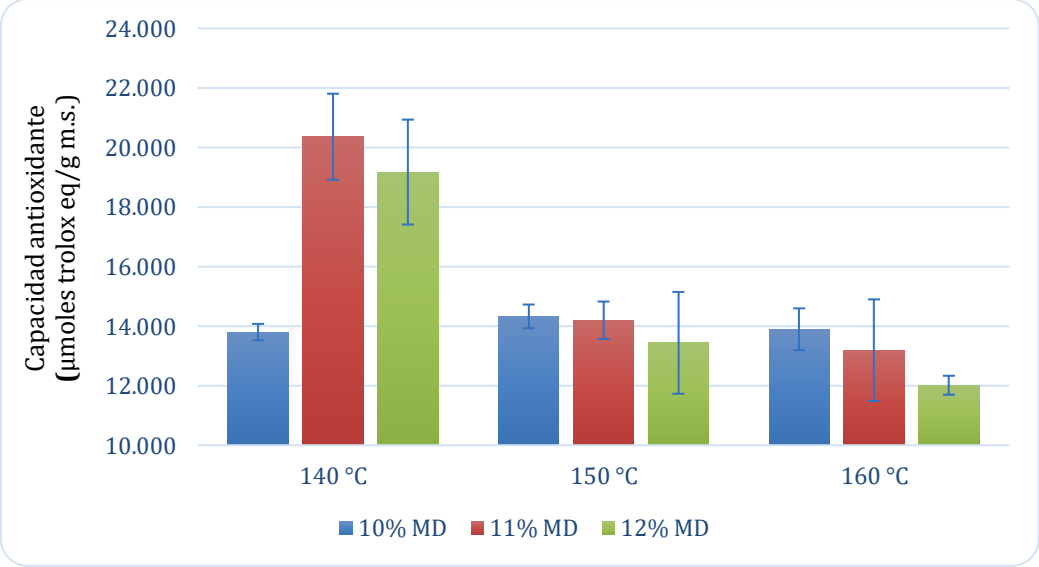


Figura 25: Variación del contenido de capacidad antioxidante (µmol trolox eq/g m.s.) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

El contenido de la capacidad antioxidante varió entre 12.015 y 20.361 µmol trolox eq/g m.s., su retención entre 39.013 y 66.113 por ciento yla inhibición del radical DPPH entre 30.980 y 44.632 por ciento,obteniéndose los niveles más altos en los tratamientos con 11 y 12 por ciento de maltodextrina y a 140 ºC de TEA.

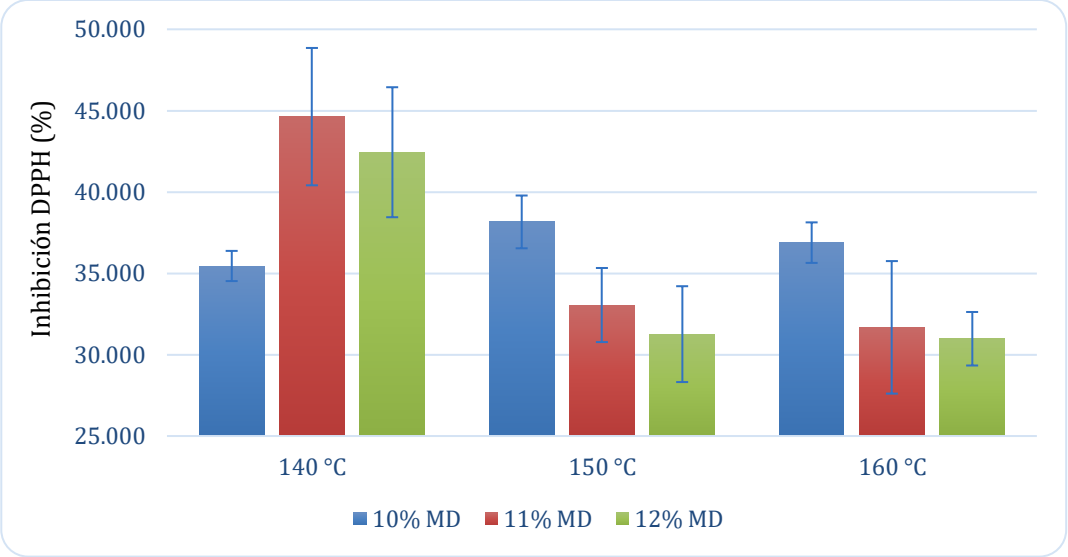


Figura 26: Variación del porcentaje de inhibición del radical DPPH (%) de los productos atomizados a diferentes concentraciones de maltodextrina y temperaturas de entrada del aire

El contenido de capacidad antioxidante, su retención y la inhibición del radical DPPH son inversamente proporcionales a la concentración de maltodextrina y a la temperatura de entrada del aire en el atomizador, excepto para el tratamiento con 10 por ciento de maltodextrina y a 140 °C de TEA; se encontró diferencias significativas en ambos factores y su interacción para todos los tratamientos (Anexo 24), excepto para la inhibición del radical DPPH, cuyas diferencias significativas se encontraron entre los tratamientos con 10 y 12 por ciento, y entre 140 y 150 °C, 140 y 160 °C de TEA (Anexo 25).

El menor contenido de capacidad atntioxidante se obtuvo a 10 por ciento de maltodextrina y 140 ºCde TEA, lo que posiblemente se debió a la mayor retención en el equipo por efecto de la temperatura en la degradación. Es decir, la concentraciòn de maltodextrina provocó la dilución de la cantidad de antioxidantes en el polvo por un lado, por otro, la temperatura de

entrada del aire y el tiempo de permanencia están relacionados con la ruptura de la estructura de los compuestos fenólicos y/o su síntesis en diferentes formas (Looi *et al.*, 2019; Muzaffar y Kumar, 2017).

Se eligió como tratamiento óptimo, en el secado por atomización a las muestras que contenían 11 por ciento de maltodextrina y 140 °C de TEA, por presentar el mayor contenido de capacidad antioxidante, alto contenido de vitamina C y bajo ΔE.

4.9. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

En el Cuadro 8, se presentan las características fisicoquímicas del mucílago de cacao en polvo obtenido con 11 por ciento de maltodextrina y a 140 °C de TEA. Se encontró 6.3, 0.2, 2.4 y 1.2 por ciento de humedad,grasa,proteína y cenizas en base seca,respectivamente, observándose que los contenidos de grasa y cenizas se redujeron bruscamente respecto al mucílago inicial, en cambio el contenido de proteína no se vio afectado por el proceso de secado.

Mientras que el contenido de carbohidratos aumentó de 93.8 a 96.2 por ciento, esto se puede atribuir a la adición de maltodextrina, ya que conforma un subgrupo importante de los carbohidratos a partir de la hidrólisis parcial de los almidones (García *et al.*, 2004). Sin embargo, el contenido de azúcares totales disminuyó de 76.4 a 57.8 por ciento, esto se pudo deber al efecto de dilución de la maltodextrina, por lo que es considerada como un encapsulante adecuado, ya que disminuye la pegajosidad característica de los jugos y pulpas al reducir su contenido de azúcares.

El pH aumentó ligeramente de 3.4 a 3.5, esto se pudo deber al efecto de la adición de maltodextrina que posee mayor pH y a la baja temperatura de entrada del aire. Mientras que la acidez disminuyó de 4.9 a tres g ácido cítrico/100 g m.s., atribuible a la pérdida de algunos compuestos ácidos y la degradación de algunos ácidos, debido a la evaporación durante la atomización (Caliskan y Dirim, 2017).

Cuadro 8: Composición fisicoquímica del mucílago de cacao en polvo

Característica fisicoquímica		Resultado (b.h.)	Resultado (b.s.)
Humedad (g/100 g)		6.3	-
Grasa cruda (g/100 g)		0.2	0.2
Proteína (g/100 g)		2.2	2.4
Cenizas (g/100 g)		1.1	1.2
Carbohidratos (g/100 g)		90.2	96.2
Fibra cruda (g/100 g)		0.0	0.0
Energía total (kcal/100 g)		371.3	396.3
Azúcares totales (g/100 g)		54.2	57.8
pH		3.5	3.5
Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g)		2.8	3.0
Color	L	90.1	90.1
	a*	0.0	0.0
	b*	12.9	12.9
Polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g)		105.6	112.7
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g)		26.0	27.7
Capacidad antioxidante (µmol troloxeq/g)		19.1	20.4

Mostró alta luminosidad, baja tendencia al color rojo y característico color amarillo claro, atributos sensoriales esperados para el producto final, además presentó 112.7 mg ácido gálico/100 g m.s. de polifenoles totales (47.2 por ciento de retención), 27.7 mg ácido ascórbico/100 g m.s. (51.0 por ciento de retención) y 20.4 µmol troloxeq/g m.s. de capacidad antioxidante (66.2 por ciento de retención), esto se pudo deber a la baja temperatura de entrada del aire durante la atomización y al uso de la concentración adecuada de encapsulante

que protegió efectivamente su composición.En el Cuadro 9, se presentan las propiedades físicas del mucílago de cacao en polvo.

Presentó en promedio 0.6041 g/cm^{3}de densidad aparente, que concuerda con lo reportado por Looi*et al.* (2019) y Farías *et al.* (2017), entre 0.625 y 0.666 g/cm^3 para polvos de extracto de hojas de moringa y entre 0.58 y uno g/cm^3 para polvos de mucílago de nopal, respectivamente, lo que indicó que se obtuvieron partículas pequeñas con un mejor arreglo en los espacios libres, permitiendo la formación de estructuras más compactas con mayores densidades (Farías *et al.*, 2017). Además, se puede atribuir a una baja viscosidad de la solución de alimentación (Bazaria y Kumar, 2017).

Cuadro 9: Características físicas del mucílago de cacao en polvo

Característica física	Resultado
Densidad aparente (g/cm^3)	0.6041 +/- 0.0157
Solubilidad (%)	93.0853 +/- 0.6555
Higroscopicidad (g/100 g m.s.)	25.1280 +/- 0.2761
Capacidad de rehidratación (%) (después de 25 horas)	23.8635 +/- 1.0909
Actividad de agua (Aw)	0.2502 +/- 0.0063
Humedad de equilibrio (g agua/g m.s.)	0.1007

Mostró en promedio 93.0853 por ciento de solubilidad, mayor a lo reportado por Emam-Djomeh*et al.* (2017), Fujita*et al*. (2017) y Muzaffar y Kumar (2017), entre 81.6 y 92.4 por ciento para polvos de agracejo negro, entre 76.4 y 88 por ciento para polvos de camucamu y entre 49.9 y 71.58 por ciento para polvos de tamarindo. Esto se pudo deber a la adición de maltodextrina por ser una sustancia amorfa con alta solubilidad y ala baja temperatura de entrada del aire que evitó la formación de azúcares con pesos moleculares pequeños, cuya

baja temperatura de transición vítrea incrementa la pegajosidad de los polvos (Emam-Djomeh *et al.*, 2017).

Presentó en promedio 25.1280 por ciento de higroscopicidad, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Muzaffar y Kumar (2017) para los polvos de tamarindo (entre 20.39 y 34.05 por ciento), esto se pudo deber a la baja higroscopicidad de la maltodextrina, confirmando su eficiencia como agente encapsulante, ya que previene la alteración de propiedades físicas, químicas y bioquímicas del polvo durante su producción y almacenamiento.Además, se puede atribuir a su baja temperatura de entrada del aire, ya quedisminuyó la tendencia del polvo hacia la absorción de agua del aire circundante que se encuentra en relación al menor gradiente de concentración de agua entre el polvo y el medio (Looi *et al*., 2019; Bazaria y Kumar, 2017; Muzaffar y Kumar, 2017).

En la Figura 27, se muestra la curvade rehidratación durante 25 horas de exposición, se apreció un comportamiento logarítmico con R^2 igual a 0.9974, que indica un alto grado de ajuste entre los datos obtenidos y el modelo de regresión establecido (Anexo 26). La mayor absorción de agua del medio se mostró durante las primeras 16 horas y fue disminuyendo hasta volverse constante, alcanzando en total 23.8635 por ciento,esto se debió a la baja higroscopicidad y baja humedad del polvo que limitaron laabsorción de agua.

Presentó en promedio 0.2502 de actividad de agua, valor que se encuentra dentro del rango reportado por Caliskan y Dirim (2017), entre 0.1 y 0.4 para los polvos de espinaca y por debajo de lo mencionado por Looi*et al.* (2019) y Farías *et al*. (2017), 0.6 para polvos de extracto de hojas de moringa y 0.43 para polvos de mucílago de nopal, respectivamente, esto se puede atribuir a su baja humedad y baja higroscopicidad, ya que redujeron la cantidad de moléculas de agua libre disponible para las reacciones químicas y biológicas, al ocasionar cambios en el balance hidrofílico/hidrofóbico de los sitios activos, asegurando la calidad final del producto y su estabilidad durante el almacenamiento (Looi *et al.*, 2019; García *et al*., 2017).

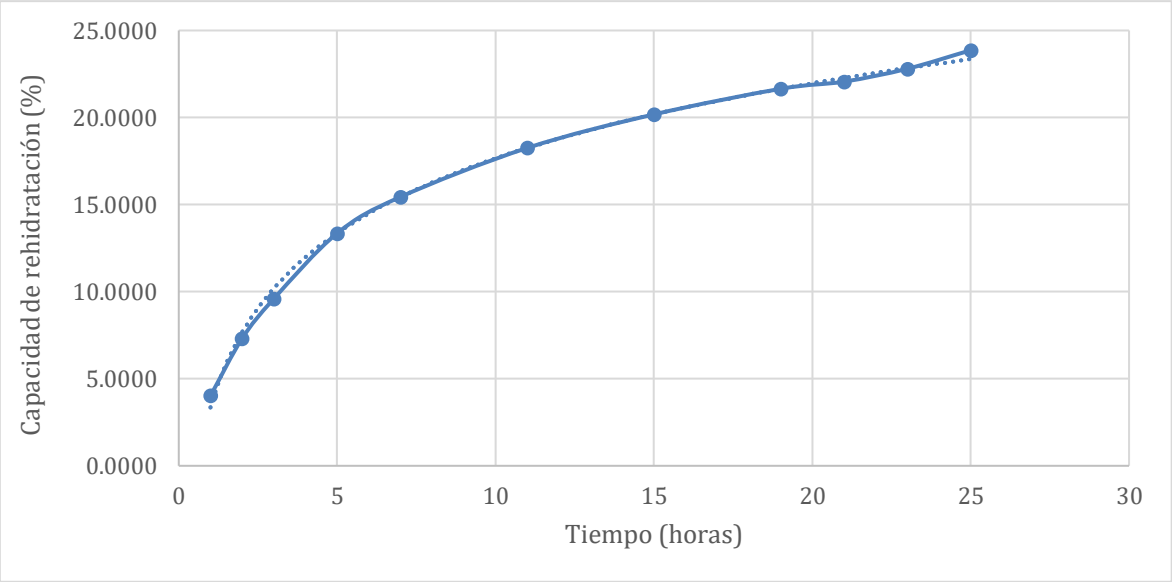


Figura 27: Curva de capacidad de rehidratación (%) del mucílago de cacao en polvo

La Figura 28 muestra la isoterma de adsorción realizada según metodología de BET, obteniendo una curva exponencial entre la humedad de equilibrio y la actividad de agua, a partir de un modelo de regresión lineal con R^2 igual a 0.98884, que indica un alto grado de ajuste entre los datos obtenidos y la curva estimada (Anexo 27).

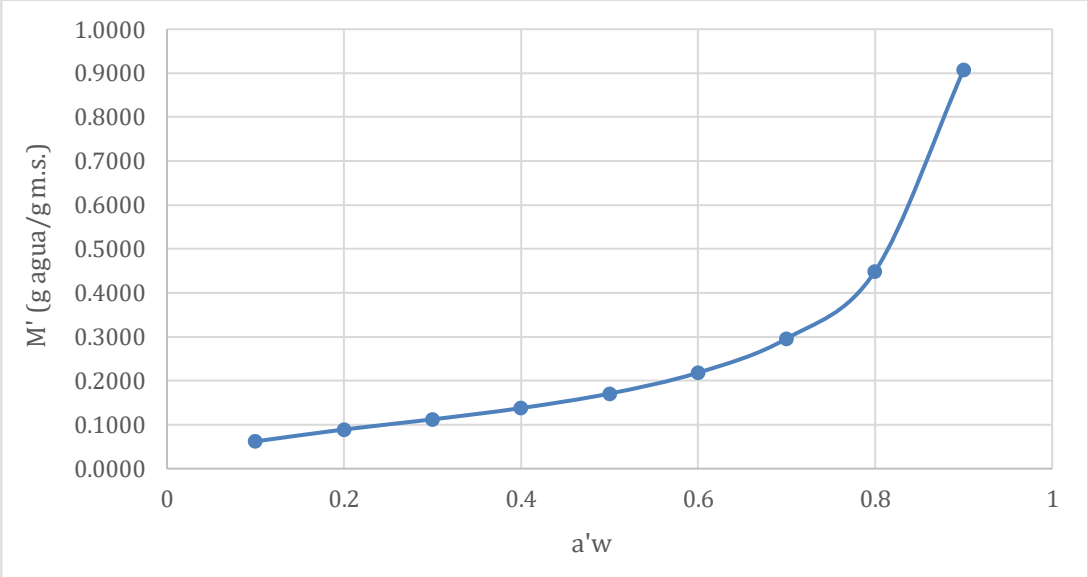


Figura 28: Isoterma de adsorción corregida con la ecuación de BET para el mucílago de cacao en polvo

Durante el estudio de isotermas, se evidenciaron cambios en las muestras almacenadas como la presencia de partículas sueltas como polvo libre cuando la humedad relativa fue 50 por ciento o menor, sin embargo, a partir de 64 por ciento, comenzó la aglomeración, formación de bloques, pardeamiento, pegajosidad, presencia de líquido y solubilización de algunas partículas, defectos que son responsables del deterioro y la pérdida de la calidad (Tonon *et al.*, 2011; Farías *et al.*, 2017).

La isoterma de adsorción mostró un incremento en la humedad de equilibrio, a medida que aumentó la actividad de agua (Anexo 28), este comportamiento es característico de la forma sigmoidea tipo III, que usualmente corresponde a alimentos altos en azúcares. Además, el contenido de agua de la monocapa correspondiente a la cantidad de agua liberada desde la superficie del alimento es considerado un valor crítico, ya que si la humedad aumenta la monocapa, ocurren reacciones de degradación, disminuyendo la estabilidad del alimento, lo cual depende principalmente del número y la disponibilidad de grupos hidrofílicos que son capaces de unir o liberar agua a través de la formación de enlaces de puentes de hidrógeno (Farías *et al*., 2017; García *et al*. 2017).

En el Cuadro 10, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos, de acuerdo a la Resolución Ministerial N° 591 (2008), Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.

El producto en polvo obtenido cumplió con los requisitos microbiológicos para su comercialización (Resolución Ministerial N° 591, 2008), indicando que se siguieron las Buenas Prácticas de Manufactura desde la etapa de recolección, obtención de mucílago, transporte hasta el secado por atomización.

Cuadro 10: Ensayos microbiológicos del mucílago de cacao en polvo

Ensayo microbiológico	Resultado
D. *Salmonella* sp. (en 25 g)	Ausencia
N. Coliformes (NMP/g)	<3
N. *E. coli* (NMP/g)	<3
N. Levaduras (UFC/g)	<10
N. Mohos (UFC/g)	<10
N. *Staphylococcus aureus* (NMP/g)	<3

V. CONCLUSIONES

- El mucílago de cacao reportó 30.8 µmol trolox eq/g m.s. de capacidad antioxidante, 238.8 mg ácido gálico/100 g m.s. de polifenoles totales, 54.3 mg ácido ascórbico/100 g m.s., 92.6, 0.1 y 8.6 como coordenadas de color (L, a*, b*), 86 g/100 g de humedad, 1.2 g/100 g de grasa, 2.5 g/100 g de proteína, 2.5 g/100 g de cenizas, 93.8 g/100 g de carbohidratos, 0 g/100 g de fibra cruda, 14 g/100 g de sólidos totales, 13.8 °Brix de sólidos solubles, 78.4 g/100 g de azúcares totales, 22.2 g/100 g de azúcares reductores, 1.03 g/ml de densidad, 2.7 cP de viscosidad aparente a 170 RPM, 3.4 de pH, 4.9 g ácido cítrico/100 g, 69.1 mg/100 g de calcio, 3.7 mg/100 g de fósforo, 128.4 mg/100 g de magnesio y 763.6 mg/100 g de potasio.

- Los mejores resultados en el secado por atomización se obtuvieron con 11 por ciento de maltodextrina y 140 °C que permitió la retención de compuestos fenólicos en 47.2 por ciento, vitamina C en 51 por ciento y capacidad antioxidante en 66.2 por ciento.

- El mucílago de cacao en polvo presentó 20.4 µmol trolox eq/g m.s. de capacidad antioxidante, 112.7 mg ácido gálico/100 g m.s. de polifenoles totales, 27.7 mg ácido ascórbico/100 g m.s., 90.1, 0 y 12.9 como coordenadas de color (L, a*, b*), 4.9 de ΔE, 45.9 por ciento de rendimiento, 6.3 g/100 g de humedad, 0.2 g/100 g de grasa, 2.4 g/100 g de proteína, 1.2 g/100 g de cenizas, 96.2 g/100 g de carbohidratos, 57.8 g/100 g de azúcares totales, 3.5 de pH, 3 g ácido cítrico/100 g, 0.6041 g/cm^3 de densidad aparente, 93.0853 por ciento de solubilidad, 25.1280 por ciento de higroscopicidad, 23.8635 por ciento de capacidad de rehidratación y 0.2502 de actividad de agua que permitieron la conservación de su calidad.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones utilizando diferentes encapsulantes para el secado por atomización de mucílago de cacao como la goma arábiga y el aislado proteico de suero de leche, que han reportado buenas características en el producto en polvo en otros estudios.

- Realizar un estudio de vida útil del producto en polvo, con el fin de evaluar su adaptación y tolerancia a diferentes condiciones de almacenamiento.

- Realizar investigaciones utilizando el secado por liofilización y microondas para conservar capacidad antioxidante y compuestos bioactivos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afoakwa, E; Kongor, J; Takrama, J; Budu, A. 2013. Changes in nib acidification and biochemical composition during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. International Food Research Journal 20(4):1843-1853.

Aguado, J; Calles, J; Cañizares, P; López, B; Santos, A; Serrano, D. 2002. Ingeniería de la Industria Alimentaria III: Operaciones de conservación de alimentos. Madrid, España, Editorial Síntesis.

Ahmed, M; Akter, M; Lee, J; Eun, J. 2010. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. LWT Journal of Food Science and Technology43:1307-1312.

Anvoh, K; Zoro, A; Gnakri, D. 2009. Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. Pakistan Journal of Nutrition 8:129-133.

AOAC International (Association of Analytical Communities). 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20 ed. Maryland, USA.

Ávila, R; Rivas, B; Hernández, R; Chirinos, M.2012.Contenido de azúcares totales reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease.Revista Multiciencias 12(2):129-135.

Bazaria, B; Kumar, P. 2017. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). Journal of Food Processing and Preservation:1-8.

Bell, L; Labuza, T. 2000. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use. 2 ed. Minnesota, USA, Amer Assn of Cereal Chemists. 587 p.

Biehl, B; Meyer, B; Crone, G; Pollmenn, L. 1989. Chemical and physical changes in the pulp during ripening and post harvest storage of cocoa pods. Journal of the Science of Food and Agriculture 48:189-208.

Caliskan, G; Dirim, S. 2017. Spray drying of spinach juice: characterization, chemical composition, and storage. Journal of Food Science 82(12):2873-2884.

Desay, K; Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. Journal of Drying Technology 23:1361-1394.

Dias, D; Schwan, R; Freire, E; Santos, R. 2007. Elaboration of a fruit wine from cocoa(*Theobroma cacao* L.) pulp. International Journal of Food Science and Technology 42:319-329.

Durán, F. 2010. Cultivo y explotación del cacao.1 ed. Bogotá, Colombia, Grupo Latino Editores. 424 p.

Dziezak, J. 1988. Microencapsulation and encapsulated ingredients. Journal of Food Technology 4:131-148.

Emam-Djomeh, Z; Seddighi, A; Askari, G. 2017. Influence of process conditions on the functional properties of spray dried seedless black barberry (*Berberis vulgaris*) juice powder. Journal of Food Processing and Preservation 41(3):1-11.

Endraiyani, V; Ludescher, R; Di, R; Karwe, M. 2016. Total phenolics and antioxidant capacity of cocoa pulp: processing and storage study. Journal of Food Processing and Preservation 41(4):1-6.

Escalante, M; Badrie, N; Bekele, F. 2013.Production and quality characterization of pulp from cocoa beans from Trinidad: effects of varying levels of pulp on value-added carbonated cocoa beverages.Annual Meeting of the Caribbean Food Crops Society (49, 2013, Port of Spain, Trinidad and Tobago). Port of Spain, Trinidad and Tobago, Caribbean Food Crops Society.20 p.

Esquivel, B; Ochoa, L; Rutiaga, O. 2015. Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 16(2):180-192.

Fang, A; Bhandari, B. 2010. Encapsulation of polyphenols: a review. Journal of Trends in Food Science and Technology 21:510-523.

Farías, V; Chávez, A; Delgado, E; Aguilar, J; Medrano, H; Andrade, I. 2017.Effect of spray drying of agave fructans, nopal mucilage and aloe vera juice. Journal of Food Processing and Preservation 41(4):1-8.

Favaro, C; Santana, A; Monterrey, E; Trindade, M; Netto, F. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. Journal of Food Hydrocolloids 24(4):336-340.

Fernandes, R; Marques, G; Borges, S; Botrel, D. 2014. Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil. Industrial Crops and Products 58:173-181.

Ferrari, C; Marconi, S; Aguirre, J. 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. Journal of Drying Technology 30:154-163.

Freire, E; Mororö, R; Schwan, R. 1999. The cacao-pulp agroindustry and the uses of its residuals in Bahia: progress achieved in the last ten years. International Cocoa Conference (12, 1999, Lagos, Nigeria).Lagos, Nigeria, Cocoa Producer Alliance.1013-1020 p.

Fuchs, M; Turchiuli, C; Bohin, M; Cuvelier, M; Ordonnaud, C; Peyrat, M; Dumoulin, E. 2006. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering 75(1):27-35.

Fujita, A; Brito, V; Daza, L; Favaro, C. 2017.Effects of spray-drying parameters on in vitro functional properties of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh): a typical amazonian fruit.Journal of Food Science 82(9):1-9.

García, G; González, M; Ochoa, M; Medrano, H. 2004. Microencapsulación del jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria 4(4):262-266.

García, K; Méndez, L; Rodríguez, J; Campanella, O; Patel, B; Barriada, L. 2017.Physical properties of spray dryed *Stenocereus griseus* pitaya juice powder.Journal of Food Process Engineering 40(3):1-9.

García, L. 2012. Catálogo de cultivares del Perú. 1 reimp. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)/DEVIDA.

Gawalek, J; Domian, E; Ryniecki, A; Bakier, S. 2017. Effects of the spray drying conditions of chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) juice concentrate on the physicochemical properties of powders.International Journal of Food Science and Technology 52(9):1-9.

Gharsallaoui, A; Roudaut, G; Chambin, O; Voilley, A; Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. Journal of Food Research International 40(9):1107-1121.

Gonzalez, C; Jaimes, M. 2005. Desarrollo experimental del proceso para la obtención de jugo derivado del mucílago de cacao. Tesis Ing. Quim. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander.

Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. Journal of Trends in Food Science and Technology 15:330-347.

Guevara, A. 1990. Obtención de chirimoya (*Annoma Cherimola*) en polvo por atomización. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Guevara, N; Jiménez, M. 2008. Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la industria alimentaria. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 2:36-49.

Guevara, N; Jiménez, M. 2008. Materiales utilizados en la encapsulación. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 2:22-27.

ICMSF(International Commission on Microbiological Specifications). 2000. Microorganismos de los alimentos 1. 2 ed. Zaragoza, España, Editorial Acribia.

Lachenaud, P. 1997. Genetic/taxonomic structuring of the *Theobroma cacao* L. species: fresh hypotheses. INGENIC Newsletter 3:10-11.

Lakkis, J. 2007. Encapsulation and controlled release technologies in food systems. Iowa, USA, Blackwell Publishing.

Looi, Y; Ong, S; Julkifle, A; Alias, M. 2019. Effects of pretreatment and spray drying on the physicochemical properties and probiotics viability of moringa (*Moringa oleifera* Lam) leaf juice powder. Journal of Food Processing and Preservation 43(4):1-15.

López, B; Carvajal, L; Millan, L. 2009. Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión. Revista Vitae 16(3):287-296.

M&O Consulting S.A.C. 2008. Estudio de la caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. Lima, Perú, Proyecto de Cooperación UE-Perú en materia de asistencia técnica relativa al comercio - Apoyo al Programa Estratégico Nacional de Exportaciones (PENX 2003-2013). Consultoría: 24/2007/PNRC/Lote2.

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

Matissek, R; Schnepel, F; Steiner, G. 1998.Análisis de los alimentos: fundamentos métodos y aplicaciones.Paris, Francia, Editorial Lavoisier.

Medina, L; García, E; Calderas, F; González, R; Sánchez, G; Gallegos, J; Rocha, N; Rodríguez, J. 2013. Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*). LWT Journal of Food Science and Technology 50:642-650.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo: un análisis de la producción y el comercio. 1 ed. Lima, Perú. 90 p.

Morales, O; Borda, A; Argandoña, A; Farach, R; Garcia, L; Lazo, K. 2015. La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Lima, Perú, Universidad ESAN. 182 p.(Serie Gerencia para el Desarrollo). Informe N.° 49.

Murúa, B; Beristain, C; Martínez, F. 2009. Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. Journal of Food Engineering 91(3):380–386.

Muzaffar, K; Kumar, P. 2017. Spray drying of tamarind pulp: effect of process parameters using protein as carrier agent. Journal of Food Processing and Preservation 41:1-10.

Nesterenko, A; Alric, I; Silvestre, F; Durrieu, V. 2013. Vegetable proteins in microencapsulation: a review of recent interventions and their effectiviness. Journal of Industrial Crops and Products 42:469-479.

Ochoa, L; González, S; Morales, J; Rocha, N; Trancoso, N; Urbina, M. 2011. Propiedades de rehidratación y funcionales de un producto en polvo a base de jugo de granada y manzana. Revista Ciencia UAQ 4(2):19-25.

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

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

Resolución Ministerial N° 591, 2008. Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Diario El Peruano. Perú. 27 ago.

Romero, C; Zambrano, A. 2012. Análisis de azúcares en mucílago de cacao por colorimetría y electroforesis capilar. Revista Científica UDO Agrícola 12(4):906-913.

Sáenz, C; Tapia, S; Chávez, J; Robert, P. 2009. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Journal of Food Chemistry 114(2):616–622.

Sharoba, A; Ramadan, M. 2011. Rheological behavior and physicochemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana*) juice as affected by enzymatic treatment. Journal of Food Processing and Preservation 35:201–219.

Shu, B; Yu, W; Zhao, Y; Liu, X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. Journal of Food Engineering 76:664-666.

Tonon, R; Freitas, S; Hubinger, M. 2011. Spray drying of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. Journal of Food Processing and Preservation 35(5):691–700.

Torres, M. 2012. Influencia de las características y procesado del grano del cacao en la composición fisicoquímica y propiedades sensoriales del chocolate negro. Tesis Dr. Reus, España, Universitat Rovira I Virgili.

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

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL ENCAPSULANTE MALTODEXTRINA 10 DE

秦皇岛丽华淀粉股份有限公司

QINHUANGDAO LIHUA STARCH CO., LTD

TECHNICAL DATE SHEET

Description of Goods: MALTODEXTRINE 10 DE

Observe Standard: GB/T20884-2007

Characters: WHITE POWDER WITH YELLOWISH SHADOW, NON IRREGULAR SHAPE, NON VISIBLE IMPURITIES BY NAKED EYES, WITH THE SPECIAL FLAVOR OF MALTO DEXTRIN. SWEETISH OR NOT, NO ODOR

TEST ITEM	TEST BASE
CHARACTER	WHITE POWDER WITH YELLOWISH SHADOW , NON IRREGULAR SHAPE, NON VISIBLE IMPURITIES BY NAKED EYES. WITH THE SPECIAL FLAVOR OF MALTO DEXTRIN. SWEETISH OR NOT, NO ODOR
DE VALUE. % (M/M)	10-12
WATER. % (M/M)	≤6
SOLUBILITY	≥98
PH VALUE	4.5-6.5
SULPHATE ASH % (M/M)	≤0.6
IODINE TEST	NEGATIVE
ARSENIC(AS), MG/KG	≤0.5
PB, MG/KG	≤0.5
COLIFORM	≤30
TOTAL BACILLUS(MPN/100 G)	≤3000
SALMONELLA	NONE

ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE LAS PLACAS FILTRANTES K1

Información técnica

BECO

Filtración en profundidad
Placas filtrantes en profundidad serie BECO estándar

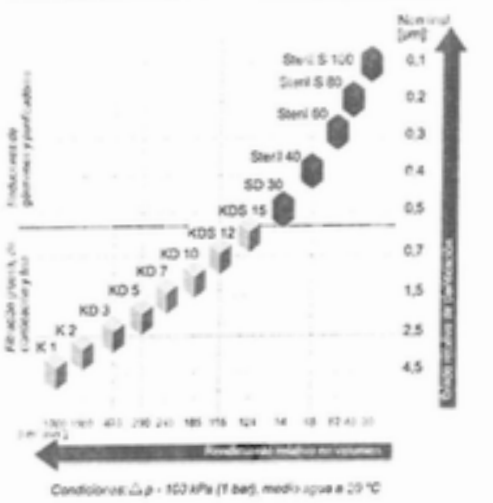
4 A 2.2.2 - MMe
09/2007

Las placas filtrantes en profundidad de la serie BECO estándar han sido desarrolladas para satisfacer las altas exigencias de la filtración de líquidos. La gama de productos representa una variedad de rango continuo en cuanto a la separación de 4,0 µm 0,1 con lo que se puede garantizar, dentro de este rango de separación, una acomodación exacta a cada una de las diversas exigencias.

Las ventajas específicas de la Serie BECO Estándar son:

- Una retención fiable de las partículas a separar asegurada por una estructura porosa ideal
- Un alto rendimiento de clarificación por el uso de materias primas de gran calidad
- Vida útil rentable por alta capacidad de captación de turbiedades
- Amplio aseguramiento de la calidad de todas las materias primas y auxiliares
- Calidad constante garantizada por controles durante el proceso de la fabricación

Visión general de BECO serie estándar



Filtración purificadora

BECO Steril S 100, Steril S 80, Steril 60, Steril 40
Placas filtrantes en profundidad BECO con un alto grado de retención de gérmenes. Estos tipos de placas se prestan especialmente para el llenado esterilizado en frío o el almacenamiento de líquidos. El alto grado de retención de gérmenes se logra por la estructura finamente porosa de la placa filtrante en profundidad BECO y por un potencial electrocinético de efecto adsorbente.

Debido a la alta capacidad de captación de partículas coloidales, estos tipos de placas son especialmente adecuados como prefiltros en la filtración por membrana.

Filtración fina reductora de gérmenes

BECO SD 30, KDS 15, KDS 12, KD 10, KD 7, KD 5
Placas filtrantes en profundidad BECO para obtener un alto grado de clarificación. Estos tipos de placas retienen de forma fiable las partículas más finas y tienen un efecto reductor de gérmenes. Por ello se adecuan especialmente para el almacenamiento y el llenado de líquidos libres de turbiedades.

Filtración clarificadora

BECO KD 3, K 2, K 1
Placas filtrantes en profundidad BECO con una estructura porosa de gran volumen. Estos tipos de placas filtrantes disponen de una alta capacidad de retención de turbiedades y se prestan especialmente para la filtración clarificadora.

Coeficientes físicos

Estas informaciones permiten orientar la elección de las placas filtrantes.

Denominación de los tipos	N° del artículo	Grado nominal de separación [µm]	Espesor [mm]	Residuo de calcinación [%]	Resistencia a los reventones, húmeda [kPa]	Paso del agua a p Δ = 100 kPa [l m^{-2} min^{-1}]
Steril S 100	26950	0,1	3,9	58,0	> 50	30
Steril S 80	26800	0,2	3,9	50,0	> 80	40
Steril 60	25600	0,3	3,8	50,0	> 50	52
Steril 40	25400	0,4	3,8	49,0	> 50	65
SD 30	24300	0,5	3,8	50,0	> 50	84
KDS 15	23150	0,6	3,8	50,0	> 50	124
KDS 12	23120	0,8	3,8	50,0	> 50	155
KD 10	22100	1,0	3,8	50,0	> 50	185
KD 7	22070	1,5	3,8	50,0	> 50	240
KD 5	22050	2,0	3,8	50,0	> 50	290
KD 3	22030	2,5	3,8	50,0	> 40	470
K2	21020	3,0	3,8	46,0	> 50	1550
K1	21010	4,0	3,8	42,0	> 60	1900

Los valores indicados se basan en el estado actual. Dentro del marco del desarrollo ulterior de las placas filtrantes en profundidad BECO para mejorar la calidad se pueden producir modificaciones. En caso de ser necesario se puede extender para cada tipo un certificado de la fabricación según DIN 10204.

Coeficientes químicos

Las placas filtrantes en profundidad BECO cumplen los requisitos establecidos por la LFGB*, recomendación XXXVI/1 del BfR** y los criterios de control de la FDA, Directiva CFR 21 § 177.2260.

Resistencia química de las placas filtrantes en profundidad BECO respecto a diferentes solventes enun tiempo de contacto de 3 horas a 20 °C.

Solvente	Resistencia mecánica	Aspecto del solvente
Soluciones acuosas:		
Soluciones de azúcar al 10 %	c	sc
con 1 % de cloro libre	c	sc
con 1 % de peróxido de hidró	c	sc
con 30 % de formaldehído	c	sc
con 10 % de etanol	c	sc
con 40 % de etanol	c	sc
con 96 % de etanol	c	sc
Sosa cáustica al 1 %	c	sc
al 2 %	c	sc
al 4 %	c	0
Solución de amoníaco al 1 %	c	sc
al 3 %	c	sc
al 5 %	c	sc
Ácido clorhídrico al 1 %	c	sc
al 3 %	c	sc
al 5 %	c	sc
al 10 %	c	sc
Ácido nítrico al 1 %	c	sc
al 3 %	c	sc
al 5 %	c	sc
al 10 %	c	sc
Ácido sulfúrico al 1 %	c	sc
al 3 %	c	sc
al 5 %	c	sc
al 10 %	c	sc
Ácido acético al 1 %	c	sc
al 3 %	c	sc
al 5 %	c	sc
al 10 %	c	0
Disolventes orgánicos:		
Metanol	c	sc
Etanol	c	sc
Isopropanol	c	sc
Toluol	c	sc
Xileno	c	sc
Acetona	c	sc
Etilmetilcetona	c	sc
n-Hexano	c	sc
Dioxano	c	sc
Ciclohexano	c	sc
Tetracloroetileno	c	sc
Glicolo etilénico	c	sc
Sulfuro de dimetilo	c	sc
N,n-dimetilformamida	c	sc

* = Código alimentario de bienes de consumo y forrajes; ** = Instituto Federal de Evaluación de Riesgos

c = constante

sc = sin cambios

0 = opalescencia leve

Componentes

Las placas filtrantes en profundidad BECO están hechas de materiales naturales, ultrapuros y portadores de cargas catiónicas. Se emplean fibras celulósicas finamente fibriladas de árboles de hojas caducas y coníferas, diatomita y perlita en cantidades variables

Instrucciones para el uso correcto

Las placas filtrantes en profundidad requieren un trato esmerado al ser colocadas en el filtro de placas. Evitar golpes, dobleces y roces. No usar placas filtrantes dañadas.

Inserción

Cada una de las placas filtrantes en profundidad tiene un lado áspero y otro liso. El lado áspero es el del producto no filtrado, el liso el del filtrado. Al insertarse ha de cuidarse que el lado del filtrado siempre esté colocado junto al disco del filtrado clarificado.

Sanitisación y esterilización (opcional)

Humedecidas, las placas filtrantes en profundidad BECO pueden ser esterilizadas con vapor saturado hasta un máximo de **134 °C**. El paquete de filtros prensados puede ser aflojado fácilmente. Especial atención merece la completa esterilización de todo el sistema de filtrado. El presionado final se efectuará después que el paquete de filtros se haya enfriado.

Esterilización con agua caliente:
La velocidad de paso (o flujo) debiera de corresponder por lo menos con el rendimiento de filtración.

Calidad del agua:	El agua debiera de estar descalcificada y libre de impurezas
Temperatura:	> 85 °C
Duración:	25 minutos, después de que la temperatura haya alcanzado los 85 °C en todas las válvulas
Presión:	presión mínima de 0,5 bar en la salida del filtro

Esterilización con vapor

Calidad del vapor:	El vapor tiene que estar libre de partículas extrañas y de impurezas
Temperatura:	Máx. **134 °C (vapor saturado)**
Duración:	20 minutos después de la salida del vapor por todas las salidas de las válvulas del filtro
Enjuague:	50 l/m² con 1x1,25 de la velocidad de afluencia después de la esterilización

Preparación del filtro y filtración

Previo al primer filtrado recomendamos lavar el filtro cerrado con 50 l/m² de agua a una velocidad del 1,25 de la velocidad de afluencia, si es que no se ha ejecutado ya después de la esterilización. Según el caso de aplicación, generalmente esto equivale a un tiempo de lavado de 10 a 20 minutos. Comprobar la estanqueidad del filtro completo a presión máxima de servicio.

Las soluciones alcohólicas y los productos que no permitan un lavado previo con agua: deberían ser circuladas de 10 a 20 minutos. Posteriormente la solución de lavado deberá ser desechada.

Presión diferencial

Habitualmente habrá de finalizar la filtración cuando se haya alcanzado una presión diferencial de 300 kPa (3 bar).

Por razones de seguridad, en aplicaciones para la separación de microorganismos no debería superarse una presión diferencial de 150 kPa (1,5 bar).

Regeneración/Lavado por contracorriente

El gran potencial de las placas filtrantes en profundidad EUROPOR® puede aprovecharse, en un mayor o menor grado, para la filtración en ambientes húmedos mediante un lavado a contracorriente con agua blanda, y así estas placas contribuyen de manera decisiva a reducir los costes de las filtraciones.
El proceso de la regeneración es el siguiente:

Lavado en frío:	En dirección de la filtración por aprox. 5 a 10 minutos
Temperatura:	15 – 20 °C
Duración:	aprox. 5 minutos
Lavado en caliente:	En sentido contrario a la dirección de filtración
Temperatura:	60 – 80 °C
Duración:	aprox. 10 minutos

Seguridad

Usado de modo adecuado y técnicamente correcto no se tiene conocimiento de efectos negativos.

A solicitud se envía la hoja de datos de seguridad de la C.E.

Eliminación de desechos

Las placas filtrantes en profundidad BECO PR ENDURA® no son contaminantes y compostables. Deben observarse las disposiciones públicas vigentes que respondan al producto filtrado

Almacenamiento

Las placas filtrantes en profundidad están constituidas por materiales altamente adsorbentes. Durante su transporte y almacenamiento requieren un tratamiento muy esmerado. Las placas filtrantes en profundidad tienen que ser almacenadas en un lugar seco, libre de olores y bien ventilado.

No exponer las placas filtrantes en profundidad a la radiación directa del sol.

Las placas filtrantes en profundidad BECO están indicadas para su uso inmediato y deberán consumirse en los 36 meses posteriores a su entrega.

Formas de suministro

Suministrables para todos los tamaños usuales de filtros, cuadrados o redondos. Modelos especiales se proveen a pedido.

N°de la tarifa aduanera HS: 4812 00 00

Aseguramiento de la calidad según DIN EN ISO 9001:2000

El amplio sistema de gestión de la calidad de BEGEROW ha sido certificado por la DQS según DIN NE ISO 9001:2000.

Esta certificación confirma el funcionamiento del sistema general del aseguramiento de la calidad, desde el desarrollo del producto, pasando por el control de contratos, la selección de los proveedores de insumos así como el control de entrada, la producción y el control final hasta el almacenamiento y el envío.

Amplios controles abarcan el mantenimiento de los criterios de funcionamiento técnico así como la verificación de la pureza química y la inobjetabilidad de acuerdo a las leyes para los productos alimentarios.

Reg. No. 000480 QM

Le informamos y le asesoramos según nuestro real saber. En tales casos la empresa no puede asumir ninguna responsabilidad por daños, sean cuales sean. No obstante, y en vista de la multiplicidad de aplicaciones, modos y condiciones de funcionamiento, etc., le rogamos considerar que nuestras informaciones no podrán ser dadas con compromiso en todos los casos. El empleo improcedente extingue toda responsabilidad, incluso en lo concerniente a posibles derechos de protección de terceros. La reimpresión, incluso parcial, se autoriza sólo con indicación de la fuente. Expuesto a modificación en aras del progresso técnico.

E. Begerow GmbH & Co. · An den Nahewiesen 24 · 55450 Langenlonsheim · Germany
Fon: +49 6704 204-0 · Fax: +49 6704 204-121 · www.begerow.com · info@begerow.com

BEGEROW

ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DEL ENVASE TRILAMINADO

Packing Food SAC

FICHA TECNICA	
PRODUCTO TIPO: STAND UP POUCH TRILAMINADO	BOLSA TRILAMINADA DE ALTA BARRERA COLOR: METALIZADO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

PROPIEDADES	VARIABLES	VALORES				MÉTODO
		Materiales	µm	g/m2	Var	
Datos Generales	Composición de la estructura	PET	16.0	16.8	±5%	--
		Tinta.	-	2.5	±6%	
		Adh	-	2.8	±6%	--
					±5%	--
		BOPPM	18.0	15.5	±6%	
		Adh.	-	2.5	±5%	
		CPE	76.0	55.3		
	Espesor total nominal	µm	110	±6%		
	Peso unitario	g/m2	115.4	±6%		DIN 53352
	Rendimiento	m2/kg	10.48	±6%		DIN 53352
	Dimensiones	Ancho (mm)		±2 mm		
		Alto (mm)		±2 mm		
		Sello fondo (mm)	5-10	±2 mm		
		Sellos laterales(mm)	5-10	±2 mm		
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tensión MD	N/mm²	200			DIN 53455
	TD	N/mm²	210			
	Elongación a la ruptura MD	%	120			DIN 53455
	TD	%	110			
Propiedades Térmicas	Rango de sello recomendado	°C	120-170			
Propiedades Barreras	Permeabilidad al vapor de agua	g/m²*dia	<0.5			ASTMF 1249
	Permeabilidad al oxigeno	cm³/m²*dia*bar	<10			ASTMD 3985
Condiciones de Almacenamiento	Temperatura ambiental	°C	20-35			
	Humedad relativa	%	45-70			

Packing Food SAC

CARACTERISTICAS DE MATERIALES E INSUMOS:

- Lámina de poliester de buena barrera al oxígeno.

- Lámina de BOPP metalizado de buena barrera al oxígeno y a la humedad.

- Lámina de PEBD cristal coextruido, compuesto por resinas de baja densidad y metalocenos lineales de baja densidad que confieren a la lámina sellabilidad en su capa interna, resinas de uso pesado que confieren a la lámina resistencia mecánica.

- Insumos utilizados amparados por las normas FDA para uso en contacto directo con alimentos.

REGLAMENTO PARA CONTACTO CON ALIMENTOS:

Todas las materias primas utilizadas en la elaboración de este producto cumplen con las normativas para contacto con alimentos.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:

El material debe estar protegido de los rayos solares, se debe colocar alejado de fuentes de calor, aislado de sustancias fragantes y emanaciones, protegido de las lluvias, áreas en construcción. Sin contacto directo con el piso.

Mantener en áreas con control de roedores y sin riesgos de derrame por productos químicos.

Evitar golpes, caídas y aplastamientos que puedan deformar el alma o el laminado.

Las bobinas, etiquetas y bolsas preformadas deben estar fuera de su embalaje, sólo mientras se estén montando en la máquina o se están procesando.

Toda Bobina a usar debe ser colocada 24 horas antes en la zona de envasado, con el fin de evitar cambios bruscos de temperatura.

Movimiento de inventario recomendado: Primeros en entrar, primeros en salir.

ANEXO 4: CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL MUCÍLAGO DE CACAO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA

% Maltodextrina	Sólidos solubles (°Brix)	Sólidos totales (%)	Viscosidad aparente (cP) a 170 RPM
0	13.8 +/- 0.2	13.9725 +/- 0.1984	2.74 +/- 0.21
10	21.3 +/- 0.5	21.6666 +/- 0.1145	4.96 +/- 0.10
11	22.1 +/- 0.2	22.4072 +/- 0.1359	5.34 +/- 0.14
12	22.6 +/- 0.1	22.8815 +/- 0.2175	6.44 +/- 0.47

ANEXO 5: COORDENADAS DE COLOR DEL MUCÍLAGO DE CACAO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA

% Maltodextrina	L	a*	b*
0	92.55 +/- 0.61	0.10 +/- 0.12	8.62 +/- 0.54
10	93.15 +/- 0.13	0.01 +/- 0.04	8.06 +/- 0.40
11	93.53 +/- 0.18	-0.16 +/- 0.04	7.78 +/- 0.41
12	94.06 +/- 0.12	-0.30 +/- 0.02	6.93 +/- 0.03

ANEXO 6: RENDIMIENTO EN POLVO (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	**140**	**150**	**160**
10	40.4 +/- 1.7	45.1 +/- 1.1	50.7 +/- 6.5
11	45.9 +/- 5.3	47.1 +/- 5.5	51.5 +/- 3.7
12	46.7 +/- 2.5	49.0 +/- 0.8	51.9 +/- 3.4

ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL RENDIMIENTO EN POLVO (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Rendimiento en polvo (%)
Variable dependiente: Rendimiento en polvo (%)
Factores: % Maltodextrina y TEA (°C)
Número de observaciones: 18

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % Maltodextrina	46.5344	2	23.2672	1.53	0.2678
B: TEA (°C)	152.268	2	76.1339	5.01	0.0345
INTERACCIONES					
AB	16.9289	4	4.23222	0.28	0.8847
RESIDUO	136.805	9	15.2006		
TOTAL (CORREGIDO)	352.536	17			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
10	6	45.3833	1.59167	X
11	6	48.1333	1.59167	X
12	6	49.2	1.59167	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 – 11		-2.75	5.09205
10 - 12		-3.81667	5.09205
11 - 12		-1.06667	5.09205

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
140	6	44.3	1.59167	X
150	6	47.05	1.59167	XX
160	6	51.3667	1.59167	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 – 150		-2.75	5.09205
140 – 160	*	-7.06667	5.09205
150 – 160		-4.31667	5.09205

ANEXO 8: HUMEDAD (%) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	6.2555 +/- 0.3994	5.7091 +/- 0.1447	5.6290 +/- 0.1663
11	6.2555 +/- 0.1894	5.7090 +/- 0.1561	5.6118 +/- 0.1912
12	5.7599 +/- 0.0250	5.7002 +/- 0.0287	5.5381 +/- 0.0621

ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA HUMEDAD (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Humedad (%)

Variable dependiente: Humedad (%)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 54

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	0.459338	2	0.229669	6.66	0.0029
B:TEA (°C)	2.44702	2	1.22351	35.50	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.551599	4	0.1379	4.00	0.0073
RESIDUO	1.55102	45	0.0344672		
TOTAL (CORREGIDO)	5.00898	53			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	18	5.66607	0.0437589	X
11	18	5.85874	0.0437589	X
10	18	5.86456	0.0437589	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 – 11		0.00581111	0.124642
10 – 12	*	0.198489	0.124642
11 - 12	*	0.192678	0.124642

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
160	18	5.59293	0.0437589	X
150	18	5.70611	0.0437589	X
140	18	6.09033	0.0437589	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	0.384222	0.124642
140 - 160	*	0.497394	0.124642
150 - 160		0.113172	0.124642

ANEXO 10: COORDENADA L DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	86.51 +/- 0.07	84.38 +/- 0.07	82.39 +/- 0.19
11	90.11 +/- 0.02	89.93 +/- 0.05	86.41 +/- 0.13
12	91.54 +/- 0.10	88.70 +/- 0.10	86.50 +/- 0.02

ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA L DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Coordenada L

Variable dependiente: Coordenada L
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 27

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	118.059	2	59.0297	6264.94	0.0000
B:TEA (°C)	83.9022	2	41.9511	4452.36	0.0000
INTERACCIONES					
AB	6.11271	4	1.52818	162.19	0.0000
RESIDUO	0.1696	18	0.00942222		
TOTAL (CORREGIDO)	208.244	26			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
10	9	84.4289	0.032356	X
11	9	88.8144	0.032356	X
12	9	88.9133	0.032356	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	-4.38556	0.0961349
10 - 12	*	-4.48444	0.0961349
11 - 12	*	-0.0988889	0.0961349

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
160	9	85.0989	0.032356	X
150	9	87.6689	0.032356	X
140	9	89.3889	0.032356	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	1.72	0.0961349
140 - 160	*	4.29	0.0961349
150 - 160	*	2.57	0.0961349

ANEXO 12: COORDENADA a* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	0.11 +/- 0.01	0.53 +/- 0.02	0.81 +/- 0.05
11	0.00 +/- 0.00	-0.13 +/- 0.01	0.39 +/- 0.04
12	0.20 +/- 0.02	0.77 +/- 0.01	0.87 +/- 0.01

ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA a* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Coordenada a*

Variable dependiente: Coordenada a*
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 27

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	1.36983	2	0.684915	1380.05	0.0000
B:TEA (°C)	1.55476	2	0.777381	1566.37	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.423948	4	0.105987	213.56	0.0000
RESIDUO	0.00893333	18	0.000496296		
TOTAL (CORREGIDO)	3.35747	26			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
11	9	0.0855556	0.0074259	X
10	9	0.483333	0.0074259	X
12	9	0.615556	0.0074259	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	0.397778	0.0220635
10 - 12	*	-0.132222	0.0220635
11 - 12	*	-0.53	0.0220635

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
140	9	0.102222	0.0074259	X
150	9	0.392222	0.0074259	X
160	9	0.69	0.0074259	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	-0.29	0.0220635
140 - 160	*	-0.587778	0.0220635
150 - 160	*	-0.297778	0.0220635

ANEXO 14: COORDENADA b* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	27.02 +/- 0.02	30.88 +/- 0.03	30.89 +/- 0.08
11	12.86 +/- 0.03	15.12 +/- 0.01	23.63 +/- 0.08
12	11.32 +/- 0.09	11.77 +/- 0.02	14.77 +/- 0.01

ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA COORDENADA b* DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Coordenada b*

Variable dependiente: Coordenada b*
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 27

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	1388.77	2	694.383	293861.18	0.0000
B:TEA (°C)	167.828	2	83.9142	35512.28	0.0000
INTERACCIONES					
AB	76.914	4	19.2285	8137.45	0.0000
RESIDUO	0.0425333	18	0.00236296		
TOTAL (CORREGIDO)	1633.55	26			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	9	12.6178	0.0162034	X
11	9	17.2022	0.0162034	X
10	9	29.5967	0.0162034	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	12.3944	0.048143
10 - 12	*	16.9789	0.048143
11 - 12	*	4.58444	0.048143

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
140	9	17.0644	0.0162034	X
150	9	19.2556	0.0162034	X
160	9	23.0967	0.0162034	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	-2.19111	0.048143
140 - 160	*	-6.03222	0.048143
150 - 160	*	-3.84111	0.048143

ANEXO 16: DIFERENCIA DE COLOR (ΔE) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	19.37 +/- 0.04	23.71 +/- 0.05	24.49 +/- 0.15
11	4.89 +/- 0.02	7.01 +/- 0.03	16.22 +/- 0.12
12	2.88 +/- 0.12	5.02 +/- 0.09	8.66 +/- 0.02

ANEXO 17: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA DE COLOR (ΔE) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA – Diferencia de color (ΔE)

Variable dependiente: Diferencia de color (ΔE)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 27

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	1430.39	2	715.195	102988.01	0.0000
B:TEA (°C)	251.509	2	125.754	18108.64	0.0000
INTERACCIONES					
AB	63.3615	4	15.8404	2281.01	0.0000
RESIDUO	0.125	18	0.00694444		
TOTAL (CORREGIDO)	1745.38	26			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	9	5.52	0.0277778	X
11	9	9.37444	0.0277778	X
10	9	22.5222	0.0277778	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	13.1478	0.0825322
10 - 12	*	17.0022	0.0825322
11 - 12	*	3.85444	0.0825322

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
140	9	9.04444	0.0277778	X
150	9	11.9144	0.0277778	X
160	9	16.4578	0.0277778	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	-2.87	0.0825322
140 - 160	*	-7.41333	0.0825322
150 - 160	*	-4.54333	0.0825322

ANEXO 18: CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg ÁCIDO GÁLICO/100 g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	**140**		**150**		**160**	
10	125.022 +/- 5.052	52.346 +/- 2.115	152.072 +/- 13.119	63.671 +/- 5.493	180.759 +/- 13.310	75.682 +/- 5.573
11	112.711 +/- 8.814	47.191 +/- 3.690	118.594 +/- 11.945	49.654 +/- 5.001	120.000 +/- 12.483	50.243 +/- 5.227
12	96.295 +/- 4.488	40.318 +/- 1.879	99.925 +/- 6.364	41.838 +/- 2.664	110.824 +/- 6.212	46.401 +/- 2.601

ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg ÁCIDO GÁLICO/100 g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Contenido de polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g m.s.)

Variable dependiente: Contenido de polifenoles totales (mg ácido gálico/100 g m.s.)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 54

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	24036.3	2	12018.1	127.21	0.0000
B:TEA (°C)	6021.43	2	3010.71	31.87	0.0000
INTERACCIONES					
AB	4166.81	4	1041.7	11.03	0.0000
RESIDUO	4251.27	45	94.4727		
TOTAL (CORREGIDO)	38475.8	53			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	18	102.348	2.29096	X
11	18	117.102	2.29096	X
10	18	152.618	2.29096	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	35.516	6.52551
10 - 12	*	50.2693	6.52551
11 - 12	*	14.7533	6.52551

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
140	18	111.343	2.29096	X
150	18	123.53	2.29096	X
160	18	137.195	2.29096	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	-12.1875	6.52551
140 - 160	*	-25.8519	6.52551
150 - 160	*	-13.6644	6.52551

ANEXO 20: CONTENIDO DE VITAMINA C (mg ÁCIDO ASCÓRBICO/100 g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	**140**		**150**		**160**	
10	23.007 +/- 1.138	42.384 +/- 2.097	31.431 +/- 1.154	57.901 +/- 2.125	29.395 +/- 1.496	54.150 +/- 2.756
11	27.663 +/- 0.829	50.960 +/- 1.527	18.239 +/- 0.743	33.600 +/- 1.368	18.098 +/- 1.465	33.339 +/- 2.699
12	19.966 +/- 1.520	36.780 +/- 2.801	15.446 +/- 1.924	28.455 +/- 3.544	13.332 +/- 0.338	24.561 +/- 0.622

ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg ÁCIDO ASCÓRBICO/100 g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g m.s.)

Variable dependiente: Contenido de vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g m.s.)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 27

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	619.1	2	309.55	193.75	0.0000
B:TEA (°C)	48.3759	2	24.188	15.14	0.0001
INTERACCIONES					
AB	316.734	4	79.1834	49.56	0.0000
RESIDUO	28.7579	18	1.59766		
TOTAL (CORREGIDO)	1012.97	26			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	9	16.2482	0.421329	X
11	9	21.3333	0.421329	X
10	9	27.9444	0.421329	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	6.61111	1.25183
10 - 12	*	11.6962	1.25183
11 - 12	*	5.08511	1.25183

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
160	9	20.2751	0.421329	X
150	9	21.7056	0.421329	X
140	9	23.5453	0.421329	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	1.83978	1.25183
140 - 160	*	3.27022	1.25183
150 - 160	*	1.43044	1.25183

ANEXO 22: CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (µmol TROLOX EQ/g m.s.) Y SU RETENCIÓN (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	**140**		**150**		**160**	
10	13.799 +/- 0.276	44.806 +/- 0.895	14.326 +/- 0.399	46.515 +/- 1.296	13.895 +/- 0.703	45.115+/- 2.282
11	20.361 +/- 1.444	66.113 +/- 4.690	14.198 +/- 0.629	46.099 +/- 2.043	13.192 +/- 1.707	42.834 +/- 5.543
12	19.174 +/- 1.762	62.258 +/- 5.720	13.438 +/- 1.710	43.633 +/- 5.553	12.015 +/- 0.318	39.013 +/- 1.033

ANEXO 23: PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL RADICAL DPPH (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

% Maltodextrina / TEA (°C)	140	150	160
10	35.452 +/- 0.928	38.162 +/- 1.623	36.887 +/- 1.245
11	44.632 +/- 4.222	33.052 +/- 2.277	31.679 +/- 4.073
12	42.445 +/- 3.995	31.262 +/- 2.946	30.980 +/- 1.645

ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (µmol TROLOX EQ/g m.s.) DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Contenido de capacidad antioxidante (µmol trolox eq/g m.s.)

Variable dependiente: Contenido de capacidad antioxidante (µmol trolox eq/g m.s.)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 54

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	32.9387	2	16.4693	12.10	0.0001
B:TEA (°C)	226.752	2	113.376	83.27	0.0000
INTERACCIONES					
AB	127.365	4	31.8412	23.39	0.0000
RESIDUO	61.2695	45	1.36154		
TOTAL (CORREGIDO)	448.325	53			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
10	18	14.0065	0.27503	X
12	18	14.8758	0.27503	X
11	18	15.917	0.27503	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11	*	-1.9105	0.783388
10 - 12	*	-0.869333	0.783388
11 - 12	*	1.04117	0.783388

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
160	18	13.0338	0.27503	X
150	18	13.9872	0.27503	X
140	18	17.7783	0.27503	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	3.79117	0.783388
140 - 160	*	4.7445	0.783388
150 - 160	*	0.953333	0.783388

ANEXO 25: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE INHIBICIÓN DEL RADICAL DPPH (%)DE LOS PRODUCTOS ATOMIZADOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MALTODEXTRINA Y TEMPERATURAS DE ENTRADA DEL AIRE

Multifactor ANOVA - Porcentaje de inhibición del radical DPPH (%)

Variable dependiente: Porcentaje de inhibición del radical DPPH (%)
Factores:
% Maltodextrina
TEA (°C)
Número de observaciones: 54

Análisis de varianza

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GL*	*Cuadrado medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A:% Maltodextrina	37.9681	2	18.9841	2.37	0.1048
B:TEA (°C)	625.962	2	312.981	39.12	0.0000
INTERACCIONES					
AB	516.811	4	129.203	16.15	0.0000
RESIDUO	359.984	45	7.99964		
TOTAL (CORREGIDO)	1540.73	53			

Test de Rangos Múltiples para % Maltodextrina

% Maltodextrina	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
12	18	34.8958	0.666652	X
11	18	36.4544	0.666652	XX
10	18	36.8336	0.666652	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
10 - 11		0.379167	1.89888
10 - 12	*	1.93778	1.89888
11 - 12		1.55861	1.89888

Test de Rangos Múltiples para TEA (°C)

TEA (°C)	*Recuento*	*LS Media*	*LS Sigma*	*Grupos Homogéneos*
160	18	33.1819	0.666652	X
150	18	34.1587	0.666652	X
140	18	40.8431	0.666652	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
140 - 150	*	6.68433	1.89888
140 - 160	*	7.66111	1.89888
150 - 160		0.976778	1.89888

ANEXO 26: CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO RESPECTO AL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Tiempo (horas)	Rehidratación (%)
1	4.0193
2	7.3100
3	9.5895
5	13.3518
7	15.4432
11	18.2526
15	20.1804
19	21.6497
21	22.0621
23	22.8016
25	23.8635

ANEXO 27: HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO RESPECTO A LA ACTIVIDAD DE AGUA

aw	Agua absorbida (g)	Agua inicial (g)	Agua total (g)	Materia seca (g)	Humedad de equilibrio (M)
0.00	-0.0170	0.1266	0.1097	1.8976	0.0578
0.11	-0.0100	0.1260	0.1160	1.8885	0.0614
0.23	0.0778	0.1262	0.2040	1.8910	0.1079
0.33	0.0749	0.1270	0.2019	1.9028	0.1061
0.50	0.2069	0.1276	0.3344	1.9118	0.1749
0.64	0.4025	0.1262	0.5288	1.8917	0.2795
0.75	0.3891	0.1268	0.5159	1.9008	0.2714
0.87	0.7285	0.1268	0.8552	1.8995	0.4502
0.93	0.5602	0.1276	0.6878	1.9116	0.3598
1.00	0.7824	0.1279	0.9103	1.9164	0.4750

ANEXO 28: HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN POLVO AJUSTADA CON LA ECUACIÓN DE BET RESPECTO A LA ACTIVIDAD DE AGUA

a'w	M'	Función a'w/(M'(1-a'w))	Función ajustada	M' ajustado
0.1	0.0611	1.8181	1.7901	0.0621
0.2	0.0963	2.5972	2.8059	0.0891
0.3	0.1066	4.0188	3.8217	0.1121
0.4	0.1345	4.9584	4.8375	0.1378
0.5	0.1749	5.7167	5.8533	0.1708
0.6	0.2496	6.0088	6.8691	0.2184
0.7	0.2751	8.4818	7.8849	0.2959
0.8	0.3459	11.5632	8.9007	0.4494
0.9	0.4050	22.2210	9.9165	0.9076