

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

TESIS PRESENTADO POR:

Bachiller: OCHOA HUAMÁN, Elder

PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

ASESOR: Ing. FLORES ARIZACA,
Jesús Manuel

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. PULLA
HUILLCA, Palmer Vicente

PUERTO MALDONADO, PERU

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Evaluación de los parámetros de secado por atomización en el contenido de vitamina C de microencapsulado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

TESIS PRESENTADO POR:

Bachiller: OCHOA HUAMÁN, Elder

PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

ASESOR: Ing. FLORES ARIZACA,
Jesús Manuel

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. PULLA
HUILLCA, Palmer Vicente

PUERTO MALDONADO, PERU

2018

DEDICATORIA:

A mis padres Frida y Alberto con todo mi amor, que, aunque partieron ya a la eternidad, siempre me cuidan y guían mis pasos.

A mis queridos tíos Rulo y Lucha, mi eterna gratitud, por su confianza, tiempo y por estar a mi lado en todo momento.

A Dios, por darme la vida, una familia maravillosa y por estar conmigo en cada paso de mi vida, dándome la fortaleza para continuar mi camino.

Elder OCHOA H.

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), por abrirme las puertas y permitirme ser parte de ella.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, quienes me brindaron sus conocimientos para mi formación profesional y personal.

Al Ing. Jesús Manuel Flores Arizaca por su asesoramiento. Al Ing. M.Sc. Palmer Vicente Pulla Huillca, quien me honra por haber trabajado bajo su asesoramiento y por su colaboración en la realización y culminación del presente trabajo.

Al magnifico equipo de trabajo del laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, dirigido por el Ing. Oswaldo Arpasi Alca, y al Laboratorio Transferencia de Masa de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), Ayacucho, dirigido por el Ing. Tineo, quienes me facilitaron sus instalaciones y materiales.

A los miembros del Jurado, conformado por la Dra. María Isabel Cajo Pinche, Ing. Javier Eduardo Díaz Viteri y Dr. Eliseo Pumacallahui Salcedo, por sus valiosas sugerencias, que sin duda contribuyeron al enriquecimiento del presente trabajo.

A mis compañeros de aula de la UNAMAD, por la amistad, el compañerismo y el apoyo moral brindado, pues contribuyeron en gran medida a mis deseos de seguir adelante en mi Carrera Profesional.

Finalmente, un agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron de alguna manera a la realización del presente trabajo.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad dar a conocer la Evaluación de los Parámetros de Secado por Atomización en el Contenido de Vitamina C de Microencapsulado de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)”.

El trabajo de investigación consta de tres capítulos, estructurados de la siguiente manera:

Capítulo I: Problema de investigación, donde se señalan la descripción y formulación del problema, se define los objetivos las variables y las hipótesis de la investigación y finalmente la justificación del presente estudio de investigación.

Capítulo II: Marco teórico, donde se consignan todos los antecedentes de la investigación y la revisión bibliográfica de los conceptos relevantes utilizados en el estudio.

Capítulo III: Metodología de la investigación, donde se consignan las generalidades de la investigación, materiales y equipos utilizados, así mismo, se describe la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación.

Capítulo IV: Resultados del trabajo de investigación, donde se consignan los reportes obtenidos, mediante tablas, cuadros, gráficos y figuras, reforzadas por una discusión e interpretación de dichos resultados.

RESUMEN

La producción del Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) presenta un incremento en los últimos años al 2016 según reporte de DRA (dirección de agricultura de Madre de Dios), sin embargo presenta elevadas pérdidas en su cosecha y aprovechamiento de la pulpa, debido a la ausencia de técnicas de conservación y usos de manera integral, el Copoazú es un producto de gran potencialidad en la agroindustria alimentaria no solo por su variabilidad de uso, sino por su composición funcional como la vitamina C y compuestos fenólicos. Por ello la presente investigación se enfoca en el aprovechamiento de la pulpa, tuvo como objetivo: evaluar el efecto de temperatura de secado y concentración de maltodextrina D 10 (CMD), durante el secado por atomización de la pulpa de Copoazú, sobre el contenido de Vitamina C, porcentaje de Humedad y rendimiento de los polvos obtenidos. Inicialmente, se analizaron las características físico-químicas de la pulpa fresca de Copoazú, que sirven para identificar la calidad de un producto deshidratado por atomización, la pulpa se caracterizó en cuanto a: materia seca 13.88 ± 0.033 %, humedad 86.12 ± 0.033 %, ceniza 0.59 ± 0.009 %, proteína 1.13 ± 0.003 %, grasa 1.08 ± 0.012 , carbohidrato 9.86 ± 0.033 , °brix 4.5 y Vitamina C 25.67 mg/100g. Posteriormente se realizaron las pruebas preliminares con el fin de establecer el rango máximos y mínimos de parámetros de operación. Se utilizó el diseño experimental CCDR (diseño de rotación central compuesto). Se evaluó la influencia de la temperatura de entrada de aire (que van desde 130 °C hasta 170 ° C), la concentración de maltodextrina D10 (rango de 5 hasta 9%), Caudal de alimentación (0.7 ml / seg.). El análisis estadístico de los resultados se evaluó por la metodología de superficie de respuesta, para el cual se usó el software STATISTICA10, los tratamientos presentaron diferencias significativa para un 95 % de confianza ($p < 0.05$), obteniendo resultados de proceso optimizadas para el contenido de Vitamina C: 123 ± 2.720 mg /100g. (150°C temperatura de entrada y 7% CMD), Humedad del Polvo de Copoazú: 1.55 ± 0.012 % (150°C temperatura de entrada y 4 % CMD) y Rendimiento de 82.56% (150°C temperatura de entrada y 7 % CMD) estos datos se encuentran dentro del rango de productos secos.

Palabras clave: microencapsulación, maltodextrina, secado por atomización.

ABSTRACT

The production of the Copoazú (*Theobroma grandiflorum*) presents an increase in the last years to 2016 according to report of DRA (direction of agriculture of Madre de Dios), nevertheless presents / displays high losses in its harvest and exploitation of the pulp, due to the absence of conservation techniques and integral use, the Copoazú is a product of great potential in the food agroindustry not only for its variability of use, but for its functional composition as vitamin C and phenolic compounds. The objective of this research was to evaluate the effect of drying temperature and concentration of maltodextrin D 10 (CMD), during the spray drying of the pulp of Copoazú, on the content of Vitamin C, percentage of Humidity and yield of the powders obtained. First, the physical-chemical characteristics of the fresh pulp of Copoazú, which serve to identify the quality of a dehydrated product by atomization were analyzed, the pulp was characterized in terms of: dry matter $13.88 \pm 0.033\%$, humidity $86.12 \pm 0.033\%$ ash $0.59 \pm 0.009\%$, protein $1.13 \pm 0.003\%$, fat 1.08 ± 0.012 , carbohydrate 9.86 ± 0.033 , brix 4.5 and Vitamin C 25.67 mg / 100g. Subsequently, preliminary tests were performed in order to establish the maximum and minimum range of operating parameters. The experimental design CCDR (composite central rotation design) was used. The influence of the air inlet temperature (ranging from 130 ° C to 170 ° C), the concentration of maltodextrin D10 (range of 5 to 9%), Feed flow rate (0.7 ml / sec) was evaluated. The statistical analysis of the results was evaluated by the response surface methodology, for which the software STATISTICA10 was used, the treatments presented significant differences for a 95% confidence ($p < 0.05$), obtaining optimized results for the content of Vitamin C: $123 \pm 2,720$ mg / 100g. (150 ° C inlet temperature and 7% CMD), Humidity of Copoazú Powder: $1.55 \pm 0.012\%$ (150 ° C inlet temperature and 4% CMD) and Copoazú powder performance 82.56% (150 ° C inlet temperature and 7% CMD), which is among the recommended ranges for powdered products.

Key words: microencapsulation, maltodextrin, spray drying.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las frutas del oriente peruano ha sido objeto de poco estudio, inclusive con respecto a la determinación de sus propiedades físicas, químicas y en particular, estudios sobre microencapsulación (Chirif, 2006).

El Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), originaria de la amazonia del Perú, Ecuador, Colombia y Brasil se caracteriza por ser un cultivo permanente, es un fruto apreciado por su pulpa ácida y aroma intenso. Debido a su fuerte sabor, la pulpa de la fruta no se consume pura, sino que se utiliza para la fabricación de una diversidad de productos como licores, zumos, helados, jaleas, cremas, pasteles, mermeladas, budines, tortas, dulces y otros. Sus características singulares, su sabor exótico y no tradicional, contenido de vitaminas, flavonoides (Pugliese, Tomas-Barberan, Truchado, & Genovese, 2013).

La región de Madre de Dios es uno de los principales productores de Copoazú, el cual viene incrementando su cultivo estos últimos cinco años, en el 2016 se cosecho 465.55 toneladas, 27 toneladas más que el año 2015 (DRA, 2015).

El aprovechamiento tradicional de la pulpa fresca de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) se emplea de como mermeladas, helados, licores, zumos, jaleas, cremas, pasteles, budines, tortas, dulces y otros. Sin embargo, es una fruta altamente perecible y por razones fitosanitarias no pueden ser conservadas o exportadas en fresco. Por lo cual el empleo de técnicas de procesamiento y conservación es una alternativa para su comercialización, sin embargo, implica la degradación de sus compuestos (vitamina C, polifenoles, carotenoides), por la presencia de luz, oxígeno, altas temperaturas (Flores, 2004). Por tal razón se ve estancado ya que carece de estandarización de sus propiedades funcionales, físico – químicos y propiedades bioactivos; constituyen, patrones de calidad exigidos por un mercado competitivo basados en el desarrollo tecnológico.

Es preciso señalar que la microencapsulación es el recubrimiento por un agente capas de rodear un compuesto activo para mantener sus propiedades

intactas, el encapsulante de mayor aplicación es la Maltodextrina por su capacidad de encapsular compuestos termolábiles como vitaminas y compuestos aromáticos (polifenoles) (Martins, 2008); El método de microencapsulación física empleado en la pulpa de Copoazú es el secado por atomización o pulverización, en esencia es extraer el agua de una disolución, dispersión o emulsión, en forma de gotas finas con una corriente de aire caliente. Cuando las partículas están dispersas en pequeñas gotas del líquido se ponen en contacto con el gas a mayor temperatura, se produce una rápida e instantánea evaporación del disolvente, formándose una fina película del material de recubrimiento que se encuentra disuelto (Hellman, 2000).

La pulpa de Copoazú y sus derivados en los últimos años han atraído el interés científico debido a sus compuestos bioactivos. El Copoazú es un alimento funcional debido a los niveles de vitamina C, carotenoides, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Santos *et al.*, 2010).

Una de las vitaminas importantes presente en la pulpa de Copoazú es la Vitamina C (ácido ascórbico), es una vitamina hidrosoluble, emparentada químicamente con la glucosa; la baja ingesta de la vitamina C o ácido ascórbico conlleva al desarrollo de una enfermedad conocida como escorbuto (yañez *et al.*, 2002), con daños relacionados con la síntesis del colágeno, ya que el ácido ascórbico es un cofactor esencial en este proceso, la vitamina C es un nutriente esencial en la dieta humana y es bien conocido por su capacidad de reducir las reacciones de oxidación (Fada, 1996). Los polifenoles son compuestos productos del metabolismo secundario, compuesta por una estructura de varios grupos hidroxilo de anillos aromáticos (Mabach *et al.*, 2004). Según Manach (2004), señala que la estructura fenólica se compone de un núcleo aromático que contiene un grupo hidroxílico libre lo cual se diferencian de otros compuestos porque poseen una estructura fenólica de origen biosintético, estos anillos pueden ser: Ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzoicos), Flavonoides, Estilbenos, Lignanós (Manach *et al.*, 2004). Existen muchos estudios epidemiológicos que señalan el consumo de frutas con alto contenido de compuestos fenólicos puede prevenir

enfermedades cardiovasculares y la mortalidad debida al cáncer (Hertog *et al.*, 1997).

La calidad de los polvos producidos del secado por atomización depende principalmente del tipo de encapsulante empleado, las características (caudal de entrada, la viscosidad, etc.) del aire de secado (caudal, temperatura, presión de aire, etc.), el contacto entre el aire caliente y las gotas en la cámara de secado (en flujo concurrente o en contracorriente), y el tipo de atomizador utilizado (Abbas *et al.*, 2012).

Por tal razón, la presente investigación se planteó evaluar el efecto de la temperatura de secado y la concentración de maltodextrina DE10 (microencapsulante) en el contenido de vitamina C en el microencapsulado de pulpa de Copoazú, se aplicó secado por atomización con caudal de alimentación constante de 0.70ml/sg. Temperatura de secado de 130 a 178 °C y la concentración de maltodextrina DE10 de 5 a 9 CM. finalmente el efecto en el polvo de Copoazú se evaluó el contenido de Vitamina C, rendimiento, retención y humedad de los polvos obtenidos.

En ese sentido el secado por atomización representa una alternativa viable para conseguir productos de alto valor comercial, debido a: reducción del peso, facilidad de conservación, calidad del producto en general y por la diversidad en su uso.

Teniendo en cuenta este aspecto, el presente estudio plantea la hipótesis principal, que la tecnología de secado por atomización es capaz de preservar las características fisicoquímicas de la pulpa de Copoazú.

Para la presente investigación se utilizó pulpa fresca de Copoazú de la variedad Mamorana, producida de la asociación de agricultores la Unión de Planchón donde se cosecho 50 kg de frutos maduros y se tomó una muestra de 10 kg de pulpa fresca para el estudio de investigación.

En ese entender, este estudio de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de las variables del proceso de secado por atomización sobre el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulado de copoazú.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	iii
INDICE DE GRAFICOS	iv
INDICE DE TABLAS	v
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Variables	4
1.5. Operacionalización de Variables.....	5
1.6. Hipótesis	5
1.7. Justificación	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO	8
2.1. Antecedentes de estudio	8
2.1.1. Antecedentes nacionales	8
2.1.2. Antecedentes internacionales	9
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. El Copoazú (Theobroma Grandiflorum)	11
2.2.2. Vitamina C	21
2.2.3. Tecnología del Secado	22
2.2.4. Microencapsulación	23
2.2.5. Encapsulantes	41
2.2.6. Efecto de maltodextrina en el Secado por Atomización	44
2.2.7. Metodología de Superficie de Respuesta	46
2.3. Definición de términos básicos	49
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	54
3.1. Tipo de estudio	54
3.2. Diseño de estudio	54
3.3. Población y muestra	55
3.4. Métodos y técnicas	55

3.4.1. Materia prima e Insumos.....	55
3.4.2. Materiales de Laboratorio	56
3.4.3. Equipos.....	57
3.4.4. Materiales de Acondicionamiento	59
3.5. Tratamiento de datos	59
3.5.1. Tratamientos	59
3.5.2. Muestreo	60
3.5.3. Método de Análisis Proximal Características Físico Químico	60
3.5.4. Metodología	63
3.5.5. Descripción del Proceso de Obtención de Pulpa de Copoazú.....	65
3.5.6. Descripción del Proceso de Secado por Atomización.....	68
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	76
4.1. Caracterización Físico Químico de la Pulpa de Copoazú	76
4.2. Resultado de los Ensayos.....	77
4.2.1. Pruebas Preliminares.....	77
4.2.2. Planificación experimental	78
4.3. Contenido de Vitamina C del Polvo de Copoazú	79
4.4. Contenido de humedad del Polvo de Copoazú.....	88
4.5. Rendimiento del Polvo de Copoazú	97
CONCLUSIONES	105
SUGERENCIA	107
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
FIGURA 1. Fruto del Copoazú (Teobroma Grandiflorum).....	12
FIGURA 2. Variedades del fruto del Copoazú	14
FIGURA 3. Madre de Dios, Producción de Copoazú 2010 - 2016.....	19
FIGURA 4. Estructura General de una Microcápsula	24
FIGURA 5. Microcápsulas de Diferentes Diámetros	25
FIGURA 6. Sistema de Secado por Atomización Típico	26
FIGURA 7. Sistema de Secado por Atomización.....	29
FIGURA 8. Tipos de Flujo.....	33
FIGURA 9. Esquema de un ciclón para separar partículas	34
FIGURA 10. Esquema de la Transición Vítreo	40
FIGURA 11. Esquema de las Propiedades que se Afectan con la Tg	40
FIGURA 12. Generación de un delineamiento compuesto central de 2 factores.....	47
FIGURA 13. Diagrama de Flujo para Obtener Pulpa de Copoazú.....	64
FIGURA 14. Frutas de Copoazú	65
FIGURA 15. Lavado de Frutas de Copoazú	66
FIGURA 16. Despulpado de la Fruta de Copoazú	66
FIGURA 17. Diagrama de Flujo del procedimiento experimental.....	68
FIGURA 18. Muestra de zumo de Copoazú	69
FIGURA 19. Equipo de Secado por Atomización.....	72
FIGURA 20. Acondicionamiento de las muestras de Solución	73
FIGURA 21. Carta de Pareto del contenido de Vitamina C	83
FIGURA 22. Superficie de Respuesta para Vitamina C.....	85
FIGURA 23. Curva de contorno para Vitamina C	86
FIGURA 24. Superficie de Respuesta y contorno de P. Copoazú comercial	88
FIGURA 25. Efecto de temperatura y maltodextrina en la Humedad del polvo de Copoazú.....	92

FIGURA 26. Superficie de Respuesta de la variación de la Humedad en el polvo de Copoazú	94
FIGURA 27. Curva de contorno para los resultados del contenido de humedad en el polvo de pulpa de Copoazú.....	96
FIGURA 28. Efecto de temperatura y maltodextrina en el Rendimiento del polvo de Copoazú, secado por atomización	99
FIGURA 29. Superficie de Respuesta de la variación del rendimiento del polvo de Copoazú, secado por atomización	101
FIGURA 30. Curva de contorno para los resultados del rendimiento en el polvo de pulpa de Copoazú	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Composición Porcentual del Copoazú (T. Grandiflorum).....	15
TABLA 2. Composición Proximal de la Pulpa de Copoazú (T. Grandiflorum)	16
TABLA 3. Indicadores de producción de Copoazú en MDD (2010-2016) ..	18
TABLA 4. Indicadores de producción de Copoazú en MDD 2016.....	18
TABLA 5. Rango de Tamaños de Gotas Obtenidos en el Atomizado	31
TABLA 6. Características de Maltodextrina	56
TABLA 7. Método de Análisis Proximal de la pulpa de Copoazú.....	61
TABLA 8. Pruebas Preliminares en el Secado por Atomización	70
TABLA 9. Planeamiento Experimental para el Secado del Copoazú.....	71
TABLA 10. Análisis Proximal de la Pulpa de Copoazú Fresco	77
TABLA 11. Matriz de los Factores y sus Niveles	79
TABLA 12. Matriz de las Respuestas y sus Niveles	79
TABLA 13. Contenido de Vitamina C en el polvo de Copoazú	80
TABLA 14. Análisis de los efectos y estimaciones de Vitamina C	81
TABLA 15. Análisis de Varianza de Vitamina C.....	82
TABLA 16. Coeficiente de regresión para la Vitamina C	84
TABLA 17. Contenido de Humedad del polvo de Copoazú	89
TABLA 18. Análisis de los efectos y estimaciones de Humedad	91
TABLA 19. Análisis de Varianza de contenido de Humedad	93
TABLA 20. Coeficiente de regresión para el contenido de Humedad	93
TABLA 21. Rendimiento del polvo de Copoazú.....	97
TABLA 22. Análisis de los efectos y estimaciones del rendimiento	98
TABLA 23. Análisis de Varianza del rendimiento del polvo de Copoazú	100
TABLA 24. Coeficiente de regresión para el rendimiento del polvo de Copoazú	100

ÍNDICE DE CUADRO

	Pág.
CUADRO 1. Operacionalización de variables.....	5

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) es una fruta tropical nativa de la Amazonía Brasileña. Esta fruta tiene un alto potencial económico, debido a sus excelentes características como el aroma, sabor y textura. Sin embargo, por su distintivo sabor, la pulpa de copoazú se utiliza como ingrediente en la elaboración de helados, jugos, licores, vinos, jaleas y otros productos tales como yogures, en lugar de ser consumido en natural (Vriesmann & Petkowicz, 2009; Salgado, Lourenço, Sousa, & Araújo, 2013; Faber & Yuyama, 2015; Costa et al., 2015).

En el Perú, el departamento de Madre de Dios es uno de los principales productores de copoazú del país, con una producción aproximada de 465.55 toneladas en el año 2016, el cual se incrementó en un 5,8% con respecto al año 2015; es así, que la producción viene incrementándose año a año, debido a las bondades que presenta esta fruta.

La pulpa de copoazú es una fuente natural de antioxidantes, debido a su contenido de vitamina C y fenoles totales; siendo uno de sus atributos nutritivos más resaltante su alto contenido en vitamina C (96 - 111 mg/100 g) (Pugliese, Tomas-Barberan, Truchado, & Genovese, 2013), el cual le otorga una capacidad antioxidante superior a frutos como por ejemplo, la fresa y otros frutos nativos como el arazá (*Eugenia stipitata* Mc. Vaugh) (Kuskoski, Asuero, Troncoso, Mancini-Filho, & Fett, 2005). La vitamina C generalmente se considera como un indicador de la calidad nutricional durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos, ya que frecuentemente se observa

que, si esta vitamina es bien conservada, los otros nutrientes también son retenidos (Sapei & Hwa, 2014). Además de ello, la vitamina C es termolábil y altamente sensible a la degradación cuando el producto está sometido a diversas condiciones de procesamiento, manipulación y almacenamiento (Lee & Kader, 2000).

Por otro lado, a pesar de contar con excelentes características nutricionales y bondades en la elaboración de productos alimenticios, el copoazú es una fruta altamente perecible con una vida útil muy corta (Martins, 2008), ello debido a la elevada actividad de agua, a_w (0,94) y alto contenido de humedad que presenta (83%) (Pugliese et al., 2013; Santos et al., 2010).

Un secado por atomización representa una alternativa para mejorar la conservación de las frutas. La deshidratación de la pulpa de fruta aumenta potencialmente la estabilidad del producto, disminuye su volumen y consecuentemente reduce el costo referente al embalaje, manipulación y transporte (Ferrari, Marconi Germer, Alvim, & de Aguirre, 2013).

Por otro lado, la pulpa de fruta en polvo obtenida mediante secado por atomización, puede presentar algunas características indeseables, tales como, pegajosidad, higroscopicidad y solubilidad, debido a la presencia de azúcares y ácidos de bajo peso molecular, que presentan una baja temperatura de transición vítrea (Bhandari, Senoussi, Dumoulin, & Lebert, 1993). Por lo tanto, puede adherirse a la pared de la cámara de secado durante el proceso, lo que ocasiona un bajo rendimiento y problemas operativos. Parte de estos problemas puede resolverse mediante la adición de algunos agentes encapsulantes, como polímeros y gomas, a la pulpa antes de ser atomizado (Ré, 1998).

Además de ello, las características fisicoquímicas de los polvos de pulpa obtenidos en un secado por atomización dependen de algunas

variables de proceso, como las características del líquido atomizado (viscosidad, tamaño de partícula, caudal de alimentación), el aire de secado (temperatura, presión), el tipo de atomizador (Tonon, Brabet, & Hubinger, 2008) y el tipo y concentración de agente encapsulante (Tonon, Freitas, & Hubinger, 2011).

Es así que, el secado por atomización se presenta como una excelente alternativa para la conservación de la pulpa copoazú mediante la obtención de polvo a partir de ella, manteniendo su contenido de vitamina C, que es una de sus características funcionales más representativas. Para lo cual, es necesario conocer el efecto de las variables de proceso (temperatura de aire de secado y concentración del encapsulante), sobre las características del polvo de pulpa de copoazú obtenido (contenido de Vitamina C, contenido de humedad y rendimiento).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de las variables de proceso de secado por atomización, sobre el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulada de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de las variables del proceso de secado por atomización sobre el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulado de copoazú.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico – químicos de la pulpa refinado de copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

- Estudiar el efecto de la temperatura del aire de secado y la concentración de encapsulante sobre la humedad de la pulpa microencapsulada de copoazú.
- Estudiar el efecto de la temperatura del aire de secado y la concentración de encapsulante sobre el rendimiento de la pulpa microencapsulada de copoazú.
- Estudiar el efecto de la temperatura del aire de secado y la concentración de encapsulante sobre el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulada de copoazú.
- Determinar, a partir de la metodología de superficie de respuesta, las mejores condiciones de secado, buscando principalmente la mayor retención de vitamina C en la pulpa microencapsulada de copoazú.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

- Condiciones del proceso de secado por atomización (temperatura del aire de secado y concentración del agente encapsulante).

1.4.2. Variables dependientes

- Propiedad física (Contenido de humedad de la pulpa microencapsulada de copoazú, Rendimiento de la pulpa microencapsulada de copoazú).
- Propiedad química (Contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulada de copoazú).

1.5. Operacionalización de variables

Cuadro 1. Operacionalización de variables para la presente investigación.

T.V.*	Variables	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida
VARIABLES INDEPENDIENTES	Condiciones del proceso de secado por atomización	Temperatura	Temperatura presente en la cámara de secado: 122 - 178°C	°C
		Concentración	Maltodextrina DE 10 presente en la pulpa: 4 – 9 %	%
VARIABLES DEPENDIENTES	Propiedades físicas	Contenido de humedad	Humedad final presente en la pulpa en polvo	g agua/g m.s.
		Rendimiento	Cantidad final de pulpa en polvo	%
	Propiedad química	Contenido de vitamina C	Vitamina C presente en la pulpa en polvo	mg/100 g

* T.V.: Tipo de variable

Fuente: Elaboración Propia (2017).

1.6. Hipótesis

H₀: Las variables de proceso, temperatura de secado y concentración de agente encapsulante influyen en el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulada de copoazú.

H₁: Las variables de proceso, temperatura de secado y concentración de agente encapsulante no influyen en el contenido de vitamina C de la pulpa microencapsulada de copoazú.

1.7. Justificación

El copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), es una fruta muy popular en la Amazonía, especialmente en el departamento de Madre de Dios, donde es posible encontrar grandes extensiones plantadas de este fruto (465.55 toneladas en el año 2016). Esta fruta es altamente apreciada debido a las bondades con las que cuenta; la pulpa se caracteriza por presentar un característico sabor ácido y fragancia intensa, mientras que la semilla puede usarse para la elaboración de productos similares al chocolate, así también, la mantequilla de copoazú se ha utilizado como sustituto de la manteca de cacao en los alimentos y como ingrediente cosmético (Alves, Sebbenn, Artero, Clement, & Figueira, 2007; Lúcia C. Vriesmann, Silveira, & Petkowicz, 2010).

En el caso explícito de la pulpa de copoazú, que es motivo de la presente investigación, además de las características sensoriales, lo más resaltante y apreciado es su contenido de Vitamina C (96 - 111 mg/100 g) (Pugliese et al., 2013), pudiendo ser considerada un alimento funcional; debido a que esta vitamina funciona como un antioxidante eficaz que se requiere para mantener la salud humana; siendo que, en la actualidad existe una creciente demanda de alimentos nutritivos, por lo que se han realizado muchos intentos para maximizar la retención de nutrientes tanto en el procesamiento como en el almacenamiento de los alimentos (Sapei & Hwa, 2014).

La microencapsulación es una técnica generalmente utilizada para proteger compuestos bioactivos de condiciones ambientales externas adversas; mejorando su estabilidad, aumentando su vida útil y permitiendo su liberación en un determinado ambiente bajo condiciones controladas. Por otro lado, el secado por atomización es la técnica más común utilizada para la encapsulación de alimentos, debido no solo a su eficacia, sino también a la posibilidad de una producción continua y una fácil expansión e industrialización (Souza et al., 2018)

Por tanto, la presente investigación busca la conservación de la pulpa de copoazú mediante la aplicación de la encapsulación, lo cual permitirá retener sus propiedades funcionales. Además de ello, se definirán los parámetros tecnológicos de operación para la obtención de la pulpa en polvo, lo cual tendrá gran impacto en la sociedad, siendo que los productores y empresarios podrán aplicar una alternativa de conservación y comercialización de esta fruta.

1.8. Consideraciones éticas

En el presente trabajo de investigación científica enfocado en la ingeniería agroindustrial, busca la relación en base a sistemas tecnológicos cuyos componentes interactúan en la solución de problemas, que toman gran importancia en la decisiones de la sociedad, debido a factores como cambio tecnológico, así mismo en la actualidad se aplica conocimiento aplicados en tecnología de alimentos para conservación y prevención de la salud de las personas, llamándolos a estas como alimentos funcionales, siendo una de ellas la microencapsulación de compuestos bioactivos como la vitamina C.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de estudio

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Murga, (2104). El objetivo del estudio realizado fue establecer parámetros óptimos para someter el secado por pulverización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) principalmente las variables de mayor importancia fue evaluar el contenido de vitamina C, contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, propiedades de rehidratación de la guayaba en pulverizada, finalmente avaluar características sensoriales del producto encapsulado. Murga realizo el secado del jugo de guayaba a diferentes parámetros de secado del mejor resultado de secado evaluó el contenido de vitamina C, Polifenoles totales y capacidad antioxidante por método de espectrofotometría. El mejor ensayo se llevó a 170°C, Flujo de alimentación: 10 ml/min, concentración de goma arábica 4%, obteniendo un polvo microencapsulado con contenido de vitamina C de $233,07 \pm 18,1$ O mg/100g, contenido de vitamina C en fruta fresca fue de $76,97 \pm 1,13$ mg/100g; El contenido de polifenoles totales en pulpa fresca de guayaba fue: $145 \pm 15,91$ mg equiv. AG/100g y en guayaba atomizada: $665,09 \pm 56,93$ mg equiv. AG/100g ($6,9134$ mg/g m.s). las propiedades físicas de humedad, $3,8 \pm 0,1$ %, densidad, $0,4:4 \pm 0,056$ g/cm³, humectabilidad $170,66 \pm 4,652$ s, Higroscopicidad ($0,96 \pm 0,043$ g de agua/kg solido seco) (min), Solubilidad $85,38 \pm 2,359$ %. Se observó en los diferentes tratamientos diferencia significativa en atributos de sabor, aroma entre la pulpa fresca y atomizada. (Murga, 2014).

Casanova, (2013). Evaluó los parámetros óptimos de secado por atomización del jugo de camu-camu (*Myrciaria dubia*), para lo cual se utilizó método de superficie de respuesta sobre las cuales se aplicó un Diseño Factorial, donde se definió 07 puntos experimentales (4 puntos factoriales y 3 repeticiones en el punto central). Se trabajó con variables de concentración de maltodextrina (%) y temperatura de entrada de aire (°C). el mejor tratamiento determino temperatura de secado 153 °C, concentración de maltodextrina 15% obteniendo los siguientes resultados, rendimiento de secado 65.121%, contenido de vitamina C 7.397% (70.99% retención de vitamina C), actividad de agua 0.252. Obteniendo resultados por encima de los parámetros óptimos para secado de jugo de frutas. (Casanova, 2013).

2.1.2 Antecedentes Internacionales

Ferrari, (2012). Realizó un estudio de secado por atomización en jugo de mora, El objetivo fue evaluar la influencia de la temperatura del aire de (160° y 180 ° C) y la concentración de Maltodextrina (5, 15, 25%), sobre las características físico-químicas del jugo de mora negra en polvo. El ensayo realizado a una temperatura de 160° C con un 5% de maltodextrina fue el más efectivo en la retención del contenido de antocianinas de los polvos, ya que la retención de estos pigmentos fue alrededor del 80%, los ensayos con alta temperatura (180°C) se obtuvieron productos secos con pérdidas de antocianinas en mayor proporción. (Ferrari, Ribeiro, & Aguirre, 2012).

Shishir, (2014). En la siguiente investigación estudió el secado por pulverización del puré de guayaba rosa, el objetivo es para evaluar las propiedades físicas seleccionadas de su polvo secado utilizando un secador por pulverización para plantas de laboratorio SD-05. El jugo (brix 10.0 ± 0.1) de puré de guayaba rosa se usó como encapsulante Maltodextrina al 10%, 15% y 20% y se secó

a temperaturas de 150, 160 y 170 ° C a una velocidad de flujo de alimentación de 350 ml / h. Se determinó la mejor temperatura de secado 150° C con 15 % de concentración de maltodextrina, se refleja la calidad del polvo en términos de contenido final de humedad, tamaño de partícula, rendimiento de polvo, densidad aparente, densidad captada, fluidez y color adecuado.

Caez, Jarava, (2012). Evaluaron el efecto de la temperatura de secado en la microencapsulación del jugo de mango (*Mangifera indica* L.) utilizando maltodextrina DE 19 como encapsulante. Se utilizó un secado por aspersion tipo Mini Spray Dryer B-290 (BÚCHI, 2010) con una velocidad de alimentación de 10mL/min. Se trabajó con temperatura de aire de entrada: 120, 140 y 160°C, temperatura de aire de salida de 80, 88 y 90°C respectivamente, se utilizó maltodextrina DE 19 concentración 12,5% b.s. Se obtuvo el rendimiento en peso de cascara (18,59%), semillas (17,67%) y pulpa (63,09%). La pulpa se caracterizó en cuanto a pH $5,18 \pm 0,02$, humedad $85,643 \pm 0,035\%$, sólidos solubles totales $13,2 \pm 0,1^\circ\text{Bx}$, acidez titulable $0,049 \pm 0,0036$ (como ácido cítrico), cenizas $0,376 \pm 0,018$ y proteína $0,59 \pm 0,046$. Los resultados de la microencapsulación del mango (*Mangifera indica* L.), determino como la temperatura de 140°C, se obtuvo un polvo microencapsulado con $2,030 \pm 0,108$ % de humedad, cenizas $0,429 \pm 0,065\%$ y rendimiento 52.9% por lo cual se encuentra entre los rangos recomendados para productos en polvo.

Cano, (2005). Tuvo como objetivo evaluar el efecto de encapsulantes maltodextrina, goma arábica y almidón céreo en la concentración del 12%, en el secado por atomización del jugo de mango (*Mangifera indica* L.) con 12 °brix. Se adicióno a la solución celulosa cristalina en concentraciones de 0, 3, 6 y 9%. Se trabajó bajo estas condiciones para evaluar el análisis de microestructura, pegajosidad, higroscopicidad y solubilidad sobre el polvo obtenido. Los análisis de la microestructura sin adición de

celulosa presento una estructura amorfa, sin embargo, con la adición de 3, 6 y 9% de celulosa, las partículas mostraron superficies semicristalinas. El valor de la adherencia disminuyó en términos de la concentración de celulosa que alcanzó valores de 0.15, 0.22 y 0.11 Kg-f para la maltodextrina, la goma arábica y el almidón céreo, respectivamente. La propiedad funcional de la solubilidad se ve afectada cuando se agrega 9% de celulosa, alcanzando valores de 72, 71 y 31% para los portadores de maltodextrina, goma arábica y cera de almidón, respectivamente. Se concluye el efecto positivo con la adición de encapsulante maltodextrina para el secado por atomización del mango. (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 El Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

El Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) es un pariente muy cercano del cacao, originario de la Amazonía oriental, considerado una fruta tropical promisorio de los trópicos húmedos. Sus frutos contienen una pulpa de buen sabor y aroma agradable, la cual suma aproximadamente un 40 % del peso total de la fruta fresca. En base a esto, el principal producto obtenido de la fruta del Copoazú es la pulpa congelada del fruto al natural. Para tal efecto, la pulpa es extraída cumpliendo normas de calidad que permiten conservar su exquisito sabor y agradable aroma. La pulpa es utilizada para preparar refrescos, helados, néctares, mermeladas, vino, licores y otros productos frescos (Enriquez, 2013).



Figura 1. Fruto de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

Fuente: (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica, 1999).

La pulpa (endocarpio), materia prima de la presente investigación, es comestible, de coloración amarilla, cremosa y sabor ácido, sabor y aroma muy propios de la especie. Sus usos están destinados a la alimentación en jugos, mermeladas néctares o pulpas, lácteos, confitería (Enriquez, 2013).

En las dos últimas décadas, el cultivo del Copoazú ha experimentado un progreso significativo, siendo una de las especies que rompió el ciclo extractivista de cosecha, siendo cultivada, en mayor o menor escala, en todos los estados de la Amazonia brasileña y peruana. Este hecho ha despertado el interés para la industrialización de sus productos y subproductos, multiplicándose rápidamente el número de pequeñas empresas que producen pulpa congelada o elaboran néctares, licores, jaleas, dulces, yogurt. (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica, 1999).

Taxonomía del Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

El Copoazú pertenece a la familia Sterculiaceae, que abarca aproximadamente 65 géneros y cerca de 1000 especies, con una distribución predominantemente tropical y subtropical. En

Brasil, esta familia está representada por once géneros y cerca de 115 especies.

En el sistema de clasificación de Cronquist (1981), citado por el Tratado de Cooperación Amazónica (1999) indica que la especie está ordenada en la siguiente secuencia jerárquica:

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: Theobroma

Especie: *Theobroma grandiflorum*.

Nombre Común: Copoazú, copoasu, cupuazu, cupuassu, cacao blanco.

Características del Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

El Copoazú, a diferencia del cacao, presenta más pulpa que semilla, en una relación aproximada de 2 a 1, (Lúcia Cristina Vriesmann & Petkowicz, 2009), refiere que el contenido de pulpa es del 40 % del peso total del fruto, por otro lado investigaciones realizadas por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI (Colombia), indicaron que el fruto tiene un peso promedio de 1.308 gramos, el color de la pulpa es amarillo crema y de aroma fuerte característico, asimismo, la semilla se ven envueltas por la pulpa, estas contienen una grasa aromática parecida a la manteca del Cacao (Sinchi & Pronatta, 2000). Respecto al fruto se conocen diferentes variedades que, en términos generales, se caracterizan por su forma o según su cáscara o corteza, y se distinguen tres grupos, los cuales se pueden apreciar en la Figura 2 presentada a continuación:

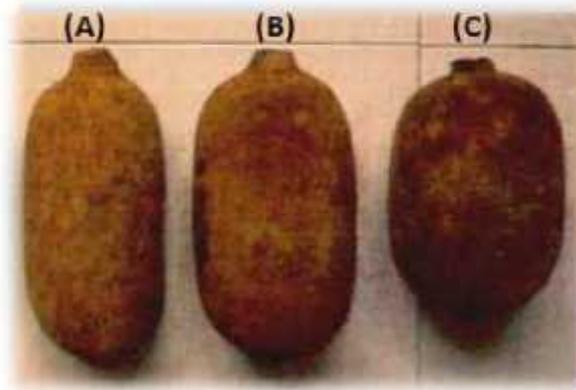


Figura 2. Variedades del fruto Copoazú (*Theobroma G.*)

Fuente: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (1999).

- **Copoazú Redondo (A):** Es la variedad más común de la Amazonía, los frutos presentan extremos redondeados, y su cáscara tiene de 6 a 7 mm de grosor.
- **Copoazú Mamorana (B):** Sus frutos son los de mayor tamaño en todas las variedades conocidas, sus extremos son más ovalados, pesa aproximadamente 2.5 a 4 Kg. y su cáscara es más gruesa, entre 7 y 9 mm.
- **Copoazú Mamau (C):** Su mayor característica es la carencia de semillas también recibe los nombres de Copo sin semilla o Copoazú sin semilla y pesa aproximadamente 1.5 Kg.

Según lo mencionado anteriormente, la pulpa y las semillas son las partes aprovechables del fruto. La primera, en la que se asienta la presente investigación, se constituye como la parte de mayor valor económico, se utiliza principalmente en la elaboración de refresco, néctar, helados, dulces, crema y licor, en tanto que la segunda es utilizada, aunque en pequeña escala, en la elaboración de un producto semejante al chocolate, denominado “Cupúlate” (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica, 1999).

En lo que respecta a la composición del fruto, y de acuerdo a la revisión bibliográfica, se recogió información relacionada a la composición centesimal del fruto, la misma que está representada por 44,6% de corteza (epicarpio + esocarpio), 37,7% de pulpa (endocarpio) y por 17,7% de semillas. Considerando las porciones aprovechables del fruto, o sea, la pulpa y Las semillas, el rendimiento de la parte útil del fruto alcanza al 55,4%. Se hace referencia a la composición del fruto con algunos aportes recogidos, los cuales se muestran en la Tabla 2 a continuación:

Tabla 1. Composición porcentual del Copoazú, según diferentes autores, (Porcentajes).

Parte del Fruto	Santos & Condurú	Barbosa & Nagata	Calzavara & Kawage	Media
Corteza (%)	46,0	42,0	46,0	44,6±2.31
Pulpa (%)	37,0	40,0	36,0	37,7±1.7
Semilla (%)	17,0	18,0	18,0	17,7±0.58

Fuente: Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (1999).

Composición de la pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

La pulpa de Copoazú es un producto no concentrado, no diluido, con una parte mínima de sólidos totales, proveniente de la parte comestible del fruto, en la Tabla 3 se presenta la composición proximal de la pulpa de Copoazú en base a un contenido de 100 gramos de porción comestible y con sus respectivos porcentajes de composición.

Tabla 2: Composición proximal de la pulpa de Copoazú (*T. Grandiflorum*).

Componente	Unidad	1	2
Acidez	gramos	2,15	2,15
Brix		10,80	11,17
pH		3,30	3,45
Humedad	gramos	89,00	87,27
Aminoácidos	mg	21,90	
Extracto Etéreo	gramos	0,53	0,41
Cenizas	gramos	0,67	0,70
Fibras	gramos	0,50	1,04
Proteínas		0,923	1,31
Carbohidratos	gramos	11,00	9,27
Azucares reductores	gramos	3,00	6,29
Pectina	mg	3900	
Vitamin C	mg	23.1	

Fuente: Barra ja *et al* (1) (1995), INIAP (2) (2008).

Utilización del Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*)

El Copoazú es utilizado principalmente en la industria alimentaria, pero con un nivel de desarrollo incipiente, la industrialización de esta fruta exótica constituye un paso importante para el aprovechamiento del bosque húmedo tropical, trayendo consigo beneficios socio-económicos para la región y el sector agroindustrial. (FAO, 1996).

Sus frutos contienen una pulpa de buen sabor y aroma agradable y el principal producto obtenido de la fruta del Copoazú es la pulpa congelada del fruto al natural. Para tal efecto, la pulpa es extraída cumpliendo normas de calidad que permiten conservar su exquisito sabor y agradable aroma. La pulpa es utilizada para preparar refrescos, helados, néctares, mermeladas, vino, licores confitería, jaleas y otros productos frescos. De las semillas del fruto se obtiene manteca de

Copoazú, muy utilizada en la formulación de cosméticos hidratantes y en la industria alimenticia. De las semillas molidas se obtiene una pasta similar al chocolate de cacao, denominada “Copulate”. Finalmente, la cáscara es usada como abono orgánico en los sistemas agroforestales y debidamente procesada constituye un componente en el alimento para animales de cría. (Enriquez, 2013).

Producción de Copoazú en la Región de Madre de Dios

La producción de Copoazú en Madre de Dios ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos seis años, según información de la Oficina de Estadística Agraria de la Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios el año 2016 se cosecharon alrededor de 465.55 toneladas del fruto, en comparación con la producción del 2010 que fue de 45.72 toneladas, siguiendo la misma referencia la Tabla 4 nos presenta los principales indicadores de en la cadena productiva del fruto a nivel regional, comprendiendo datos de superficie cosechada, rendimiento del cultivo y precio por kilo de Copoazú para el año 2016. Sin duda estos datos señalan la importancia de este fruto y la demanda aumenta cada año (Dirección Regional de agricultura-MDD, 2016).

Tabla 3: Indicadores de producción de Copoazú, Madre de Dios 2010 - 2016.

Copoazú (<i>Theobroma Grandiflorum</i>)			
AÑO	Producción (t/año)	Superficie Cosechada (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)
2010	45.72	27.25	1678
2011	168.23	86	1956
2012	106.34	64.4	1651
2013	309.77	184.5	1679
2014	295.03	175.5	1681
2015	437.92	260.5	1681
2016	465.55	269	1731

Fuente: Dirección de Agricultura – MDD, (2017).

Tabla 4: Indicadores de producción de Copoazú, Madre de Dios 2016.

Copoazú en Cifras, 2016	
Producción total en (t./año)	465.55
Superficie cosechada en (ha./año)	269
Rendimiento del cultivo (Kg/ha.)	1,731
Precio en campo (Nuevos soles/Kg.)	4.61

Fuente: Dirección de Agricultura – MDD, (2017).

Asimismo, se tiene prevista una producción superior a las 490 toneladas al culminar el presente año, la figura 3 nos presenta un detalle del crecimiento en la producción de Copoazú en la región en el periodo 2010 hasta 2016, a continuación:

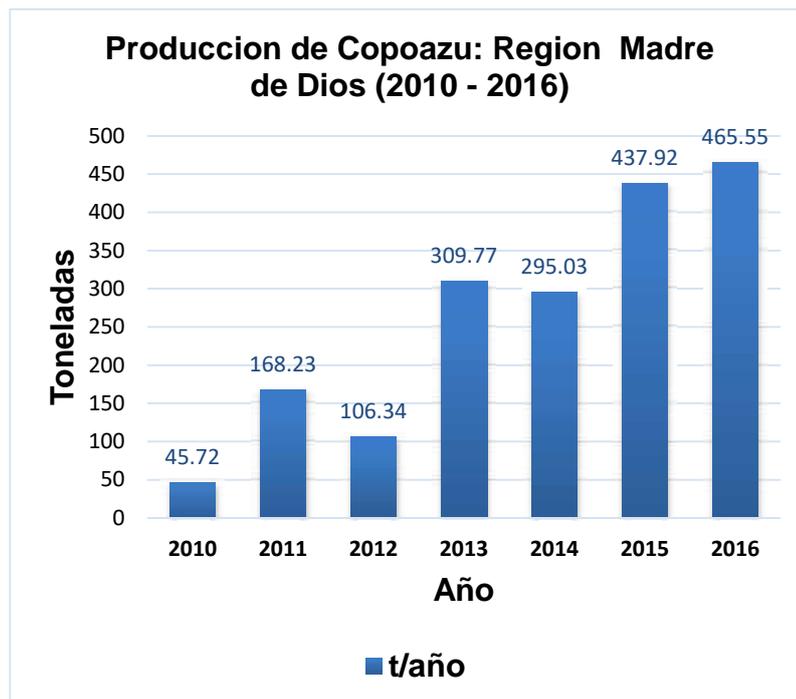


Figura 3: Madre de Dios, Producción (t) Copoazú, 2010 al 2016.

Fuente: Dirección de Agricultura – MDD, (2017).

Finalmente, es prudente mencionar que el Copoazú se constituye como uno de los productos que forman parte del potencial agroindustrial de Madre de Dios, el presente trabajo de investigación ha contemplado este aspecto y ha sido desarrollado en función a futuros conocimientos técnicos que se incurrirían durante el desarrollo de la agroindustria a nivel regional y nacional.

Copoazú como alimento funcional.

Existe una gran diversidad de productos a base de frutas y la inclusión constante de nuevos productos para el consumo en el mercado, los cuales, en la mayoría de los casos, no han sido adecuadamente investigados con respecto a sus propiedades y actividades beneficiosas para la salud. La pulpa de Copoazú y productos derivados en los últimos años han atraído el interés científico debido a sus compuestos bioactivos (Santos et al.,

2010). El Copoazú es un alimento funcional debido los niveles de vitamina C, carotenoides, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos (Santos et al., 2010).

La pulpa de Copoazú tiene nutrientes y macronutrientes esenciales tales como minerales, vitaminas y fibras, diversos compuestos fenólicos naturaleza secundaria, llamados polifenoles (Harborne & Williams, 2000). El interés de la industria alimentaria para la comercialización es, además de cumplir con los estándares requeridos por la ley, tienen propiedades que mejoran su funcionalidad, así como el aumento de los componentes bioactivos, y muchos de ellos antioxidantes.

Los antioxidantes son compuestos que actúan mediante la inhibición y / o reducción de los efectos provocados por los radicales libres (Soares et al., 2006), puede definirse como compuestos que protegen a las células contra los efectos nocivos de los radicales libres de oxígeno y nitrógeno, formadas en los procesos oxidativos. El exceso de radicales libres generan un desequilibrio, comenzando con el estrés oxidativo, proceso metabólico responsable de desencadenar varios tipos de enfermedades crónicas.

Los pasos y procedimientos adoptados en el procesamiento de pulpa de fruta son importantes, ya que hay una multitud de variedades de frutas, y cada uno tiene características diferentes, por lo tanto, la necesidad de centrar la atención en la conservación y almacenamiento de nutrientes y compuestos benéficos para la salud. Por lo que es necesario que haya una profundización de la investigación en las áreas científicas y tecnológicas, destinadas a minimizar los efectos abrasivos para que cumplan con los estándares óptimos en el procesamiento de cada variedad de fruta.

En un trabajo realizado por Alexandre Porte, (2010), evaluaron la degradación de aminoácidos y procesamiento Copoazú a diferentes pH y temperaturas. El calentamiento de la pulpa

reduce significativamente los niveles de aminoácidos. El pH alcalino mostró mayores pérdidas en las cantidades de aminoácidos (Porte, Rezende, Antunes, & Maia, 2010).

Aunque se han llevado a cabo muchos estudios para evaluar la pérdida de vitamina C de la pulpa de Copoazú, entre otros compuestos, por calentamiento o la transformación industrial, la literatura científica tiene poca información sobre el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de vitamina C y de los componentes nutricionales para secar por pulverización el Copoazú suspensión.

2.2.2 Vitamina C

La característica principal del copoazú es la acidez es un compuesto asociado al ácido ascórbico (AA) o vitamina C, es vitamina hidrosoluble y termolábil. Los seres humanos y otros primates, así como el cobayo, son los únicos mamíferos incapaces de sintetizar el AA. En ellos, la deficiencia, genéticamente determinada, de la gulonolactona oxidasa impide la síntesis del ácido L-ascórbico a partir de la glucosa (Monica, M. A, Mandarim, C. A, 2003).

Además, en el artículo publicado por Mónica M. A. 2003. Señala la dosis recomendada para mantener el nivel de vitamina C en el organismo es de unos 100mg al día. En las diversas situaciones, como las infecciones, el embarazo y la lactancia, y en los fumadores, las dosis aún más elevadas son necesarias. La vitamina C se encuentra en la naturaleza bajo dos formas: reducida oxidada (ácido de hidroascórbico); ambas son igualmente activas, pero la forma oxidada está mucho menos difundida en las sustancias naturales. La transformación del AA en ácido de hidroascórbico ocurre normalmente en el interior del organismo y es reversible, permitiendo que una de sus sustancias pueda siempre ser transformada en la otra. Esta

capacidad de transformación funciona como un sistema oxidorreductor capaz de transportar hidrógeno en los procesos de respiración a nivel celular. El ácido ascórbico participa en los procesos celulares de oxirreducción, como también es importante en la biosíntesis de las catecolaminas. Previene el escorbuto, es importante en la defensa del organismo contra infecciones y fundamental en la integridad de las paredes de los vasos sanguíneos. Es esencial para la formación de las fibras colágenas existentes en prácticamente todos los tejidos del cuerpo humano (dermis, cartílago y huesos) (Monica, M. A, Mandarim, C. A, 2003).

En el trabajo citado por Riveros, C. señala el mecanismo de degradación del ácido ascórbico es específico para cada sistema en particular y depende de varios factores, por ejemplo, puede degradarse vía aeróbica y/o anaeróbica (cetonización); en la vía aeróbica pueden llevarse a cabo reacciones de oxidación catalizadas por metales u oxidaciones no catalizadas. Las dos vías tienen productos intermediarios comunes que no pueden ser distinguibles por análisis químicos, como el ácido ehidroascórbico y a menudo el ácido 2,3- dicetogulónico (Riveros, 2015).

Según Fennema O.1993, citado por Riveros. La vitamina C o ácido ascórbico es un compuesto altamente inestable a la presencia de oxígeno, luz y actividad de agua. (Riveros, 2015).

2.2.3 Tecnología del Secado

El secado es una operación unitaria ampliamente usada en la industria química, comprende la remoción de un solvente (en la mayoría de los casos agua), para producir un sólido con determinada cantidad de líquido. El sólido final puede tener forma de escamas, cristales o polvo. Es importante para el

estudiante - ingeniero conocer los secadores, los equipos que se encuentran antes y después de los secadores, las características finales del producto sobre todo cuando se trata de mejorar la eficiencia, las normas ambientales o cumplir con determinada especificación deseada para un proceso posterior (Mc, Cabe, 1991).

Antes de elegir un secador, debemos especificar si el proceso es continuo o discontinuo. Para ello se emplea el siguiente criterio: si la capacidad de producción es superior a cien kilogramos hora (100 Kg/h), se requiere de un continuo. Si es posible remover la humedad mecánicamente, esta vía es más económica que por evaporación (Landvan *et al.*, 1984).

2.2.4 Microencapsulación

El proceso de microencapsulación es una operación par encapsular compuestos activos altamente inestables a diversos factores como presencia de oxígeno, luz, ph, acidez, usada durante décadas, estos compuestos activos pueden ser vitaminas, Carotenoides, flavonoides, compuestos fenólicos entre otros. Se caracteriza por ser un proceso rápido donde que el solvente es generalmente agua y el compuesto activo es mínimamente reducido. Para encapsular se requiere de un estudio del compuesto de interés y las condiciones de operación del equipo spray o atomizador, con la finalidad de optimizar el proceso. (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007). El principio fundamental de la encapsulación consiste en una cubierta (encapsulante o shell) rodean un compuesto activo, formando microcápsulas, si estos son inferiores a 1 μm , se le denomina nanocápsulas (Vila, 1997). En la figura numero 4 muestra la estructura general de una microcápsula, con sus componentes más importantes.

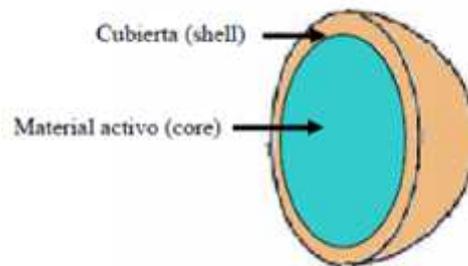


Figura 4: Estructura general de una microcápsula.

Fuente: Adaptado de Dziezak, 1988.

Según (Caez, F.K.M, Jaraba, 2012), en la figura numero 5 describe el tamaño de partículas (microcápsulas) desde nanocápsulas inferiores a $1\ \mu\text{m}$ hasta partículas de microcápsulas de $100\ \mu\text{m}$, señala la cubierta protectora o encapsulante tiene mayor efectividad cuando las partículas son más grandes, lo cual permite una mayor área de protección al compuesto activo.

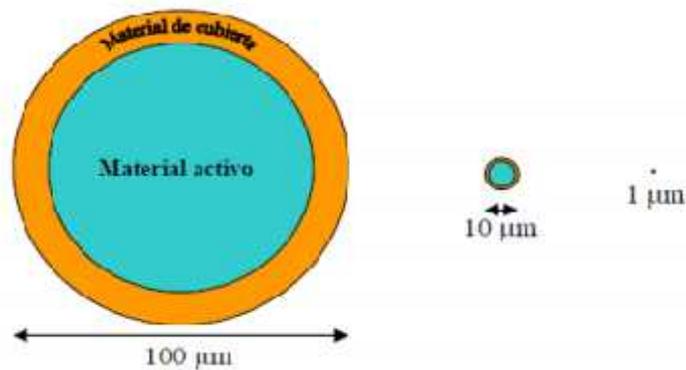


Figura 5: Microcápsulas de diferentes diámetros con un mismo volumen de material activo y de material de cubierta.

Fuente: Adaptado de Dziezak, 1988.

Las principales razones para el uso de la microencapsulación en los alimentos son: proteger a los alimentos contra las condiciones ambientales adversas (como la luz, la humedad, el oxígeno, la radiación UV), a proteger los componentes alimenticios sensibles de otros ingredientes durante el

almacenamiento, proteger los alimentos contra las pérdidas nutricionales o incluso añadir materiales nutritivos que incorporan mecanismos de liberación controlada de las formulaciones enmascaran o preservar los sabores y aromas, diluir el material del núcleo cuando es necesario para ser utilizado en cantidades muy pequeñas, y finalmente hacer el producto más atractivo, promoviendo una mayor flexibilidad y controlar el desarrollo de productos más sabrosos y nutritivos para satisfacer las expectativas de los consumidores (Dolinsky, Maletskaya, & Snezhkin, 2000).

Según (Arshady, 2008), los puntos críticos de microencapsulación son: la composición correcta del material de encapsulación y el núcleo, la calidad comestible del alimento que contiene el ingrediente encapsulado, la elección correcta del material de la pared de la microcápsula (su Características físico-químicas, solubilidad, cristalinidad, capacidad de formación de película y propiedades de barrera), el tamaño deseado de microcápsulas, la sensibilidad del material encapsulado, el costo de operación, aplicabilidad a productos alimenticios y el mecanismo de liberación del material activo . Sin embargo, en la práctica más a menudo el factor decisivo en la elección es el costo del material de la pared, que la encapsulación puede alcanzar hasta 95% del precio del producto final.

La microencapsulación de sustancias sensibles mediante secado por pulverización permite que la protección contra la evaporación, oxidación y otras reacciones químicas. También tiene como uno de sus principales objetivos el refinamiento de alimentos y por lo tanto la oferta de un nuevo producto en el mercado. La microencapsulación con liberación controlada de sabores y fragancias revolucionó la industria alimentaria, en consecuencia, mejorar el sabor, aroma, estabilidad, apariencia y

valor nutricional en sus productos. En estas áreas, la conversión de líquidos, polvos secos, que son fáciles de manejar, una de las primeras motivaciones para el uso de microcápsulas. Ejemplos de los aditivos alimentarios que pueden beneficiarse de la encapsulación y liberación controlada son los conservantes, colorantes, edulcorantes, enzimas, antioxidantes, aromas y nutrientes que se pueden agregar a la base (Ferrari et al., 2012).

Microencapsulación: secado por atomización

La figura numero 6 ilustra el proceso de secado por atomización para la formación de producto en polvo o microcápsulas.

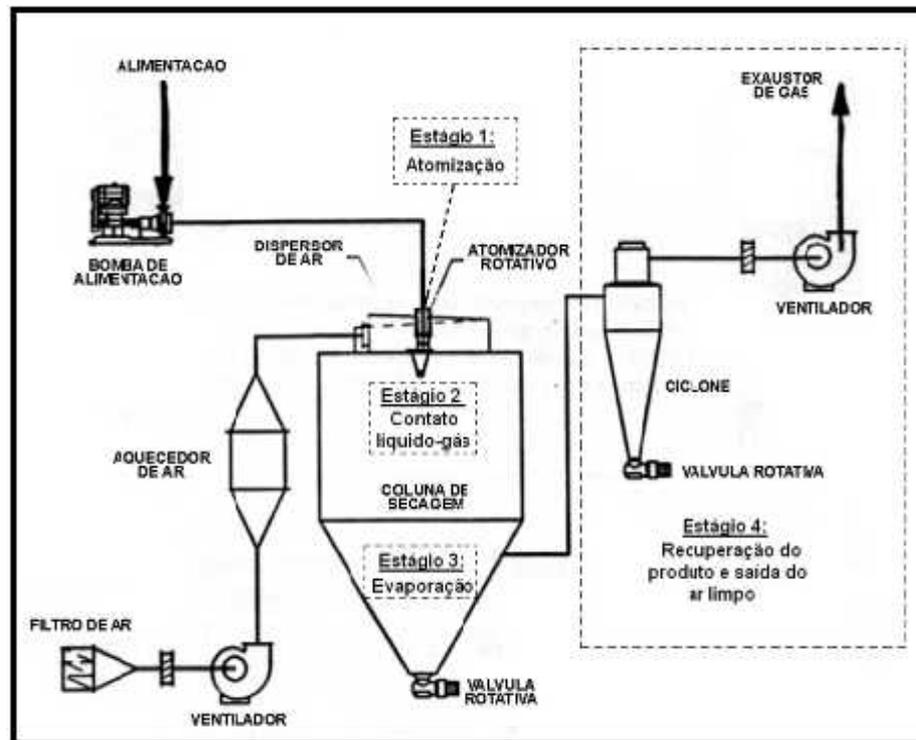


Figura 6: Sistema de secado por atomización típico.

Fuente: Adaptado de Dziezak, 1988.

Mujundar (1988) Señala, que la atomización es un proceso de secado en donde una solución, dispersión, emulsión o suspensión de un compuesto disuelto generalmente en agua, se

obtiene un producto seco y estable llamado microcápsulas. Realizando una breve descripción del proceso tenemos lo siguiente: 1) la solución ingresa al equipo atomizador alimentado mediante una bomba peristáltica para controlar un caudal constante de alimentación. 2) se elimina el agua por evaporación instantánea por una corriente de aire caliente que circula dentro de la cámara de secado. 3) finalmente el producto seco es recogido en un ciclón, para luego ser recogido en envases de buena protección y condiciones adecuadas. Este procedimiento se lleva a bajos tiempos de residencia lo cual hace atractivo para compuesto altamente susceptibles a altas temperaturas (termolábil) tales como vitaminas, proteínas, fenoles y otros. A comparacio de otros procesos como la liofilización, la atomización se desarrolla a tiempos cortos, menor costo de operación y de mayor rendimiento de secado (Mujumdar, 1988).

Según Mujumdar citado por Carl W. Hall. (Mujumdar, 1988), señala ventajas y desventajas del secado por atomización:

Las principales ventajas del secado por atomización son:

- Mayor control de los parámetros de operación y calidad.
- Los productos termo sensibles de la industria alimentaria y farmacéutico se secan a presión atmosférica.
- Permite la producción del secado a gran escala, operación continua.
- No hay contaminación de la microcápsula por el equipo de secado, produciendo partículas uniformes y esféricas.

Las desventajas del secado por atomización son:

- Requiere de una alta inversión inicial.
- Falla si se requiere un producto a granel de alta densidad.

Principio de la técnica de secado por atomización

Los primeros secadores de pulverización fueron fabricados en los EE.UU. en 1933. El secado por pulverización es uno de los mejores métodos de secado para convertir directamente los materiales fluidos en partículas sólidas o semisólidas (Dolinsky et al., 2000). El secado por pulverización es una operación unitaria por el cual la solución (suspensión, emulsión, dispersión) se elimina el agua por medio de una corriente de aire caliente para obtener finalmente la microcápsula. El gas utilizado es generalmente aire o más raramente un gas inerte, en particular de gas nitrógeno. La alimentación de líquido inicial puede ser una solución, una emulsión o una suspensión (Gharsallaoui et al., 2007). Se puede utilizar tanto a los productos sensibles resistente al calor y de calor. El secado por pulverización consiste en las complejas interacciones de los parámetros del proceso, aparatos y piensos que todos tienen una influencia en la calidad producto final. El proceso de secado por pulverización puede producir un producto final de buena calidad con baja actividad de agua y reducir el peso, dando como resultado un fácil almacenamiento y transporte. Las propiedades fisicoquímicas del producto final dependen principalmente de la temperatura de entrada, la tasa de flujo de aire, caudal de alimentación, la velocidad del atomizador, tipos de agente portador y su concentración (Masters, 1987).

El secador por pulverización es un dispositivo utilizado para producir la forma en polvo de cualquier líquido. Se necesita una corriente de líquido y separa el soluto o suspensión como un sólido y el disolvente en un vapor, el sólido se recoge normalmente en un tambor o ciclón (Maltini, 1986). El flujo de entrada de líquido se rocía a través de una boquilla en una corriente de vapor caliente y vaporizado. El sólido como formas como el contenido de humedad abandonan rápidamente las gotitas. Una boquilla se utiliza generalmente para hacer que las

gotitas tan pequeño como sea posible para maximizar la transferencia de calor y velocidad de vaporización del agua. Los secadores por pulverización pueden secar un producto muy rápidamente en comparación con otros métodos de secado. También resultan una solución o suspensión en un polvo seco en una sola etapa, que puede ser la ventaja para maximizar el beneficio y minimizar el proceso (Kwapinska, 2005).

Etapas del secado por atomización

A. Concentración del zumo de fruta

Generalmente, La materia prima se concentra antes de la introducción en el secador por pulverización. Por proceso de concentración hay un aumento en el contenido de sólidos, reduciendo así la cantidad de líquidos y que debe evaporarse en el secador por aspersion. El material de alimentación en la secadora por pulverización convencional a gran escala normalmente se concentra a 50% 60% antes de introducir al secador por atomización. Sin embargo, el pequeño secador de atomización de laboratorio escala tendrá más materia prima diluida porque se obstruyen con facilidad si el alimento tiene alta viscosidad (Chegina, 2008).

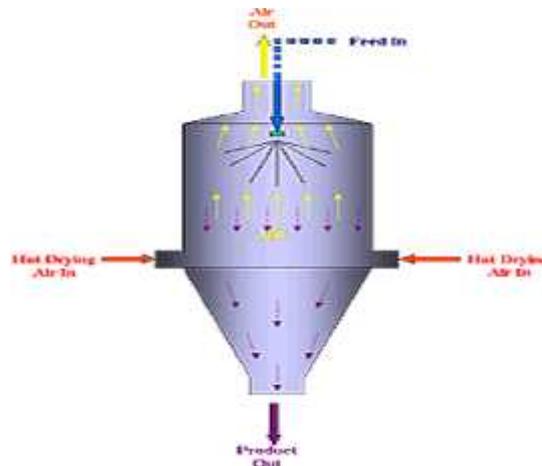


Figura 7: Sistema de secado por atomización.

Fuente: Chegina, (2008).

B. Atomización

El secado por atomización es uno de los métodos más empleados para encapsular debido a la disponibilidad del equipo, proceso de bajo costo, trabajo amplia variedad de agentes de encapsulamiento, una buena retención de compuestos volátiles y la estabilidad del producto final (Reineccius, 1989).

De atomización se refiere a la conversión de líquido a granel en unas gotitas o niebla, a menudo haciendo pasar el líquido a través de una boquilla. El líquido que pulveriza a través de la boquilla incrementará el área de la superficie del líquido que posteriormente será contactado para aire caliente y se seca en un polvo. El tamaño de la boquilla puede variar de acuerdo al tamaño del secador por aspersión. El tamaño de gota oscila entre 20 micras a 180 micras y que depende de la boquilla. Más pequeño secador por aspersión ocupa boquillas más pequeñas e invertir en el secador por aspersión a escala industrial. El objetivo de esta etapa es realizar la transferencia de calor entre el aire caliente y agua, debido a la mayor área de secado, a fin de optimizar las transferencias de calor y de masas. La elección de la configuración atomizador depende de la naturaleza y la viscosidad de los piensos y características deseadas del producto seco (Masters, 1987).

La elección del tipo de atomizador a usar en una operación se realiza en función a la naturaleza y caudal de alimentación y de las características de interés del alimento seco. Cuanto más alta es la energía para la dispersión, son más pequeñas son más pequeñas las partículas de solución a secar (Mujumdar, 1988).

En la industria de los alimentos se aplican tres tipos de secadores por atomización: tipo por boquilla a presión de un

fluido, boquilla a presión de dos fluidos y rudas giratorias. (Patel, 2009).

Tabla 5: Rango de tamaños de gota obtenidos en el atomizado.

Tipo de atomizador	Tamaño de gota
Ruedas giratorias	1-600 μm
Boquillas a presión de un fluido	10-800 μm
Boquillas a presión de dos fluidos	5-300 μm

Fuente: Master, (1986).

En la tabla número 5 se describe el tamaño de microcápsula que genera los tipos de secadores. Los atomizadores de mayor uso son los de ruedas giratorias y boquilla a presión de un líquido, las características del equipo atomizador se señalan a continuación según el trabajo realizado por Mujumdar:

Ruedas giratorias: el tamaño de las gotas o microcápsulas está en función al tamaño del diámetro del atomizador, velocidad del atomizador y las revoluciones de la rueda del atomizador (Mujumdar, 1988).

La alimentación se realiza mediante una bomba peristáltica con un caudal constante, las ruedas giratorias cuentan con orificios por donde salen las gotas o partículas de tamaño aproximado de 30 a 50 micras, este sistema se aplica una relación de longitud y diámetro de la cámara de secado con la finalidad de que el secado se desarrolle de forma horizontal sin tener en contacto con la pared del secador (Mujumdar, 1988).

Boquillas a presión de un fluido: en este tipo de atomizador se genera un aerosol del alimento con una presión que oscila entre 50 a 70 bar (5 a 7 MPa), el orificio de la boquilla es de 0.4 a 4 mm y se aplica un caudal de 100 L/h. la cámara de secado es de longitud larga y corto de diámetro (Mujumdar, 1988).

Boquillas a presión de dos fluidos: el fluido que generalmente se usa vapor o aire comprimido, se mezcla en el exterior de la cámara de secado, se requiere 0.5 m³ de aire comprimido para atomizar 1kg de líquido. El caudal se maneja en 1000 Kg/h en su mayoría. Los alimentos poco viscosos producen un aerosol de homogéneo y de tamaño bajo, sin embargo, los alimentos de mayor viscosidad generan un aerosol bajo grado de homogeneidad y gotas de mayor tamaño, su mayor coste de operación debido a la cantidad de energía requerida (presión: 1.5 – 8 bar) influye al momento de elegir este método (Mujumdar, 1988).

Para la obtención de un producto seco en capsulas de alto valor influye significativamente la disposición del contacto del aerosol (alimento) con la corriente de aire caliente para un óptimo secado, el flujo de contacto se menciona a continuación:

- Flujo co-corriente
- Flujo contracorriente
- Flujo combinado

En la figura número 8 se muestra los tres flujos antes mencionados, Snow, (2003).

Flujo co-corriente: tanto el alimento en spray y el flujo de calor ingresan en la misma dirección a la cámara de secado, por lo que el alimento entra en contacto con la mayor cantidad de humedad.

Flujo contracorriente: tanto el alimento en spray y el flujo de calor ingresan en direcciones opuestas a la cámara de secado, el alimento en spray ingresa por la parte superior y en aire caliente ingresa por la parte inferior, este método se aplica para alimentos o compuestos termolábiles.

Flujo combinado: en esta operación se combinan los métodos antes mencionados, el spray se dirige hacia arriba y permanece

en la zona caliente por mínimo tiempo para eliminar la humedad por lo que la gravedad se encarga de llevar al producto al área más fría de la cámara de secado.

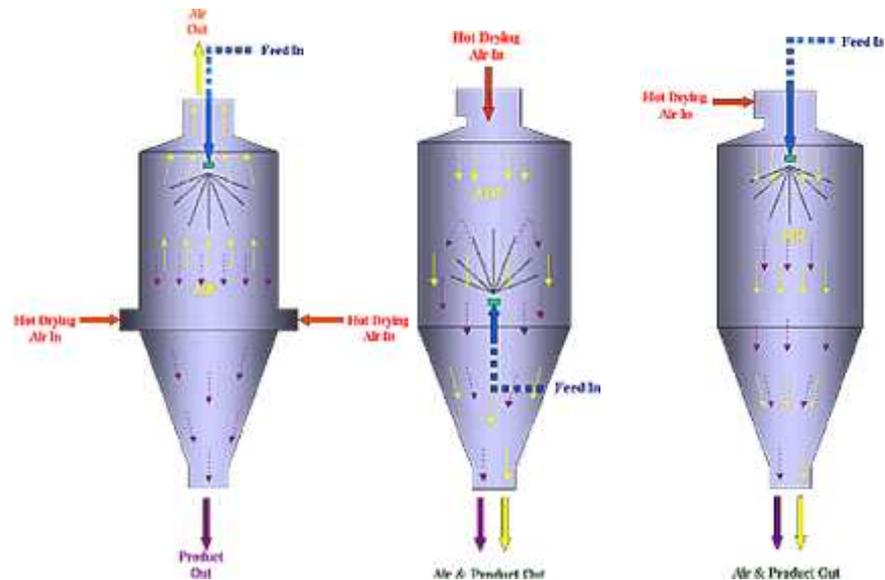


Figura 8: Tipos de flujo: flujo co-corriente, contracorriente y combinado.

Fuente: Snow, (2003).

C. Separación del producto seco del aire de salida

En la figura número 9 se muestra el esquema de separación de la microcápsula seca del aire de secado, ello se lleva a cabo en un compartimento denominado ciclón o Venturi.

Snow (2003), señala, para separar el polvo seco del aire se aprovecha la fuerza centrífuga que genera el ciclón de esta forma golpea las paredes del compartimento y cae a la parte inferior para ser recogidos en un envase y por la parte superior sale el aire libre de polvo seco (Snow, 2003).

La importancia de un ciclón es geometría, el diámetro, la partícula (tamaño de partícula separa del aire) y el diámetro de partícula, generalmente de 5 – 100 micras.

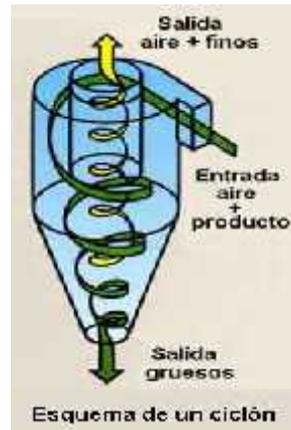


Figura 9: Esquema de un ciclón utilizado para la separación de partículas secas.

Fuente: Snow, (2003).

Principales variables del secado por atomización

Caudal de alimentación de la dilución: es la cantidad de alimento en ml que ingresa a la cámara de secado por minutos, el cual es regulado por una bomba peristáltica.

Caudal de aire de atomización: se utiliza para los discos rotatorios y por presión de fluidos, se suministra mediante un compresor y se regula por un rotámetro el cual señala el caudal de aire que ingresa al equipo de secado.

Caudal de aire de secado: El caudal de aire de secado indica el aire que entra en el cilindro de pulverización para realizar el secado. El caudal real depende de la pérdida de presión del conjunto del sistema.

Temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización: la temperatura del aire de entrada se controla mediante una resistencia eléctrica.

Las características del polvo seco serán influenciadas por las condiciones antes mencionadas:

- Humedad final del polvo (% humedad)
- Rendimiento de producción (% humedad)
- Temperatura del aire de secado (°C)
- Tamaño de partícula o polvo seco.

A. Caracterización de las Microcápsulas

Las microcápsulas son el producto obtenido del secado por atomización, el cual son caracterizados y controladas para medir su homogeneidad, calidad y liberación del material activo:

- Densidad, estructura interna, tamaño de partícula.
- Rendimiento de producción.
- Eficacia de la encapsulación y contenido en material activo.
- Estudio de liberación del material activo.
- Estado físico e interacciones polímero material activo.

B. Características morfológicas:

Para estudiar el tamaño de partícula de las microcápsulas se llevan a cabo en microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido (SEM) en esta se puede caracterizar la estructura interna de las microcápsulas realizando un corte transversal. Para medir la densidad real, se usa picnómetro de helio y la compactación se usa para medir la densidad aparente.

C. Rendimiento de producción

Es un control de importancia desde el punto de vista económico ya que mide la cantidad de material activo sobre el encapsulante, ya que los polímeros o encapsulantes son de elevado coste.

D. Eficacia de encapsulación y contenido en material activo

La cantidad de material activo encapsulado en microcápsulas se separa por disolución del encapsulante ya que el polímero es insoluble y el material activo es soluble.

En la formula siguiente se calcula la cantidad (%) de material activo dispuesta en la microcápsula:

$$C \quad m.a (\%) = \frac{\text{cantidad de material activo encapsulado}}{\text{peso final de la microcapsula}}$$

En la siguiente formula se calcula la eficiencia de encapsulación:

$$E (\%) = \frac{\text{cantidad de material activo encapsulado.}}{\text{cantidad teorica de material activo}} \times 100$$

E. Estudio de liberación del material activo.

Al igual que en otros productos de liberación controlada, el estudio de liberación in vitro del material activo a partir de las microcápsulas es muy importante. La liberación del material activo está gobernada por una serie de factores que son dependientes del polímero, del material activo y de la propia microcápsula. Entre los primeros se puede citar el tipo de polímero (insoluble, solubilidad pH dependiente), su peso molecular y estado cristalino.

Entre los parámetros relacionados con el principio activo, se destaca la solubilidad del mismo y su peso molecular. Por último, factores dependientes de la propia microcápsula son, por ejemplo, el tipo de estructura interna (reservorio o matricial) y el contenido teórico de material activo con respecto al polímero. Para realizar el estudio de liberación se puede utilizar el

procedimiento especificado por la USP (Farmacopea Norteamericana), así como métodos de flujo, agitación de viales, membranas de diálisis, etc. Las microcápsulas son incubadas en el medio, añadiendo un agente tensoactivo de ser necesario (principios activos de tipo proteico o peptídico), y se determina su liberación con el tiempo.

F. Estudio de las interacciones polímero principio activo

La mayoría de los procedimientos de microencapsulación implican un mezclado íntimo entre el polímero y el principio activo, por lo que pueden tener lugar diversas interacciones fisicoquímicas influyendo en la eficacia terapéutica, cuando se habla de una forma farmacéutica. En consecuencia, es conveniente caracterizar el estado físico del polímero y principio activo por separado y del material activo en la microcápsula (material activo disuelto o dispersado en el polímero) y poner de manifiesto la posible existencia de interacciones medicamento - excipiente. Para ello se recurre a técnicas espectroscópicas del tipo de difracción de rayos X, infrarrojos (IR) y resonancia magnética nuclear (RMN), así como a técnicas de análisis térmico diferencial (ADT) o calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Además de estos estudios, estará también indicado realizar controles de disolventes orgánicos residuales (técnicas de cromatografía de gases) si las microcápsulas han sido preparadas por procesos que impliquen la utilización de disolventes. Por otra parte, habrá que garantizar la esterilidad y ausencia de pirógenos en productos para administración parenteral y realizar ensayos de resistencia mecánica en aquellas microcápsulas que se vayan a someter a continuación a una compresión, etc. Si las macropartículas son formuladas en

suspensiones, un objetivo crucial será minimizar la difusión del principio activo al medio suspensor y mantener las propiedades originales de las macropartículas durante el almacenamiento, por lo que estará indicado realizar estudios de estabilidad (Vila,1997).

Microencapsulación de jugos de fruta por atomización

Los jugos de fruta se pueden secar por atomización, el cual transforma en un producto en polvo, ello facilita el transporte y reducción de peso y alarga la vida de anaquel, debido a la baja actividad de agua.

El jugo de fruta por naturaleza presenta un elevado contenido de azúcares como la fructosa, galactosa y ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y tartárico) que les confiere una característica diferencial al momento de secar. Las diluciones, emulsiones o dispersiones presentan compuestos con una característica singular, es que su temperatura de transición es baja, ello acarrea problemas de adherencia o pegajosidad al momento de secar por atomización para obtener un producto en polvo. El fenómeno de cohesión o pegajosidad es de partícula – partícula y la adhesión de partícula pared de secador, estos fenómenos influyen negativamente en el óptimo secado por atomización, dificultando la presentación del producto final en polvo y ensucia la pared del secador. Esto conlleva a bajar el rendimiento de producción ya que el jarabe se pega en las paredes del secador. La cohesión es un fenómeno de fuerza que mantiene unida las partículas entre si, la mayor adhesión de las partículas o microcápsulas es la acción plastificante del agua en la superficie que da lugar a la cohesión y adhesión, este fenómeno también sucede por las condiciones de operación.

Los cortos tiempos de secado por atomización conlleva a la producción de partículas en estado amorfo debido a la

temperatura de transición vítrea (T_g). T_g es la medida de un fenómeno de transición de fase, donde un material pseudo líquido pegajoso o gomoso se transforma en un material pseudo-sólido en estado vítreo. La transición ocurre a lo largo de un rango de temperaturas entre la temperatura de transición vítrea inicial ($T_{g\text{ onset}}$) y la final ($T_{g\text{ endset}}$). Este intervalo varía entre 10 y 30 °C. Imaginemos un material pseudo-líquido (pegajoso) que se está moviendo hacia el estado pseudo-sólido vítreo (no pegajoso).

Cuando la temperatura en la superficie de una gota atomizada (T_d) es mucho mayor que la T_g , esta gota presenta una fuerza cohesiva baja (fluidez alta) comparada con la fuerza adhesiva en la interfase gota-equipo. Cuando la temperatura está cercana a la T_g final la fuerza cohesiva del material aumentará sustancialmente debido a la menor fluidez. Cuando la temperatura del material cae por debajo de la temperatura vítrea inicial se completa la transición y se obtiene un material vítreo. Puesto que la transición vítrea ocurre en un rango de temperatura, es necesaria una escala de tiempo para completar el proceso. Resulta razonable establecer una temperatura de compensación que ofrezca una escala de tiempo suficientemente larga que permita la transición. Un valor de 10 °C de compensación de temperatura permite un tiempo suficiente para conseguir un estado seguro de no adhesión.

La presencia de ácidos orgánicos y azúcares de bajo peso molecular presente en frutas maduras, disminuye la temperatura de transición vítrea (T_g) inferior a la temperatura del producto (T_p), Ello genera un estado pseudo-líquido de material amorfo, que es responsable de la cohesión antipartículas y de la adhesión de partículas en el secador. Cuanto mayor sea esta diferencia de temperatura ($\Delta T = T_p - T_g$) mayor es el grado de pegajosidad.

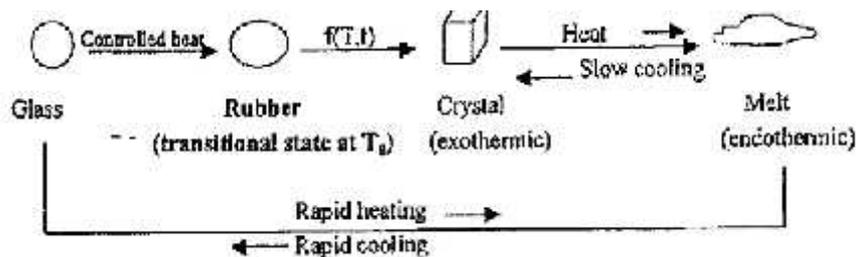


Figura 10. Esquema de la transición vítrea.

Fuente: Vilela, 1997.

En la actualidad se han desarrollado opciones para solucionar problemas de adhesión, tenemos el uso de cilindro de doble pared o el uso de encapsulantes estos compuestos son característica proteica capas de envolver y proteger a un compuesto activo, se aplican en una solución antes de someter al secado por atomización, evitan la pegajosidad en las paredes (adhesión) y la aglomeración entre partículas. La estructura amorfa o semi-cristalina del polvo seco se tiene que almacenar en condiciones controladas para evitar la declinación de las características y calidad del producto. Cualquier cambio en su transición vítrea influye y afecta a las cualidad físico-sensorial del producto, las reacciones bioquímicas también aumentan el deterioro. En la figura número 11 se muestra las propiedades que afecta la temperatura d transición vítrea (T_g).

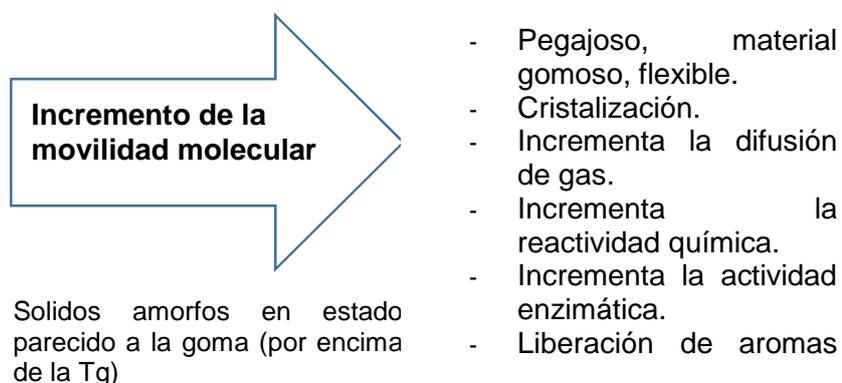


Figura 11. Esquema de las propiedades que afectan con la T_g .

Fuente: Vilela, 1997.

2.2.5 Encapsulantes

La obtención de producto en polvo a partir de fruta no es un proceso fácil debido al alto contenido en ácidos, como el cítrico y el málico, y azúcares de bajo peso molecular como la sacarosa, glucosa y fructuosa en su composición, que hace que el producto obtenido sea altamente higroscópico, mostrando, enseguida, problemas de pegajosidad y apelmazamiento (Adhikari, Howes, Bhandari, & Truong, 2003). Una técnica habitual para contrarrestar estos problemas es la incorporación de determinados solutos que eviten la adherencia de las partículas en polvo tanto al equipo como entre sí (Gabas, Telis, Sobral, & Telis-Romero, 2007). Los solutos deben ser solubles y aportar baja viscosidad al zumo para realizar una pulverización correcta del producto durante el atomizado (Fazaeli, Emam-Djomeh, Kalbasi Ashtari, & Omid, 2012). Uno de los principales factores que influyen en la estabilidad de los compuestos encapsulados es la naturaleza del material encapsulante (Rosenberg, Kopelman, & Talmon, 1990). La elección del agente encapsulante depende de una serie de factores, como: técnica utilizada para microencapsulación, tipo de aplicación del producto, propiedades físicas y químicas del núcleo (porosidad, solubilidad, etc.) y de la pared (viscosidad, propiedades mecánicas, transición vítrea, La capacidad de formación de películas, etc.), compatibilidad del núcleo con la pared, y factores económicos (Brazel, 1999). Los principales requisitos de una buena matriz encapsulante son: fácil manipulación durante el proceso; Baja higroscopicidad, para facilitar la manipulación y evitar aglomeración; Baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos; Capacidad para dispersar o emulsionar y estabilizar el material del núcleo; No reactividad con el núcleo; Buenas propiedades de formación de película; Liberación completa del disolvente u otros materiales utilizados durante el proceso de encapsulación; Máxima protección al núcleo contra condiciones

adversas, como luz, pH y oxígeno; Solubilidad en disolventes comúnmente utilizados; Fácil reconstitución; Ausencia de sabor u olor desagradable y finalmente, bajo costo. En la práctica, como un solo material encapsulante no encierra en sí todas estas propiedades, es común la utilización de mezclas de dos o más materiales (Thies, 2005).

Una de las limitaciones de la atomización como técnica de microencapsulación es el número restringido de materiales de pared disponibles. Dado que la mayoría de los procesos de atomización en la industria alimentaria se llevan a cabo a partir de formulaciones acuosas, el material de pared debe ser razonablemente soluble en agua. Los polisacáridos son los compuestos más utilizados, pues además de su diversidad, atienden a los requisitos básicos y son de bajo costo (Arshady, 2008). Los materiales de pared típicos incluyen la goma arábica, maltodextrinas, almidones modificados y mezclas entre ellos.

La goma arábica es considerada históricamente como un material encapsulante por excelencia, gracias a su solubilidad, baja viscosidad, buena propiedad emulsificante, sabor suave y alta estabilidad oxidativa conferida al núcleo (Kenyon, 1995). Por otro lado, tiene alto costo y problemas de disponibilidad, ya que es producida en regiones sujetas a variaciones climáticas imprevisibles y conflictos políticos, lo que puede comprometer su oferta. Así, la búsqueda por sustitutos totales o parciales para la goma arábica ha sido incentivada (McNamee, O'Riorda, & O'Sullivan, 1998). Debido a su baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos, las maltodextrinas se han estudiado como posibles sustitutos para la goma arábica en emulsiones atomizadas (Bangs *et al.*, 1988).

Alginato de sodio: Forma una película de buena protección a condiciones de oxígeno, luz, ph, calor, y otros. Altamente versátil, no toxica y biocompatible. El proceso de

microencapsulación con Alginato se lleva a cabo a través de dos mecanismos de gelificación iónica: la gelificación externa y la gelificación interna, dependiendo de si el calcio se suministra desde fuera de las cápsulas o en el interior de las mismas. Para la preparación de microcápsulas de Alginato de calcio con aplicaciones alimentarias, se tienen las técnicas por extrusión, en emulsión y secado por atomización. El secado por atomización es un proceso rápido y económico se ve limitado su aplicación con el Alginato debido a la viscosidad y velocidad de gelificación. Por el contrario, la técnica por extrusión ha sido la técnica tradicional empleada en las últimas décadas, debido a la uniformidad de las microcápsulas en su forma y tamaño. En este sentido, la técnica en emulsión es la aplicada más recientemente, la cual ha demostrado ser sencilla y de producción a gran escala. En la actualidad se desarrollan nuevas tecnologías a fin de disminuir el tamaño de las microcápsulas para así ampliar sus usos en la industria. Entre las últimas tendencias de microencapsulación, se estudian sistemas mixtos de matrices poliméricas con la finalidad de obtener propiedades físico-químicas combinadas, permitiendo hacer el proceso de encapsulación más eficiente tanto para la protección como para la liberación controlada del principio activo (González-Manzano et al., 2012).

Maltodextrinas: Se obtiene por hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. Al momento de elegir un envoltente para encapsular, la maltodextrina es una mejor opción entre costo y efectividad; son inodoras, incoloras, baja viscosidad a altas concentraciones, permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (*García et al.*, 2004), la maltodextrina presenta diferentes pesos moleculares y de alto aplicación en la industria alimentaria (Madene, Jacquot, Scher, & Desobry, 2006).

Goma Arábica: La goma Arábica es un agente emulsificante muy efectivo debido a su función de coloide que ha encontrado amplio uso en la preparación de emulsiones alimenticias de aceite en agua. La goma arábica produce emulsiones estables con mayor parte de los aceites en un amplio rango de pH y en presencia de electrolitos sin la necesidad de un agente estabilizante secundario. La Goma Arábica forma una película visible en la interfase grasa, pero el mecanismo de emulsificación aún no está claramente entendido. Se cree que la goma como un agente formador de película, previene la coalescencia de los glóbulos de aceite (*García et al.*, 2004).

2.2.6 Efecto de adición de Maltodextrina en el secado por atomización

Según Hennigs, 2001, el producto para ser secado por atomización puede clasificarse en dos grandes grupos, Productos antiadherentes y pegajosos. Los productos pegajosos son generalmente Difícil de secar por atomización. Durante el proceso de secado, Pueden permanecer como jarabe o pegar en la pared del secador o formar Aglomerados no deseados en la cámara del secador generando un bajo rendimiento de secado. Estos productos pegajosos Son polvos de jugo de frutas y verduras, polvos de miel y Polvo de lactosa amorfa. Los productos no pegajosos pueden ser Secado usando un diseño de secador más simple y el polvo obtenido Es relativamente menos higroscópico y fluye más libremente (Hennigs, Kockel, & Langrish, 2001).

El problema de la viscosidad del polvo se debe principalmente a la Baja temperatura de transición vítrea (T_g) De Azúcares de bajo peso molecular presentes en dichos productos, como: Sacarosa, glucosa y fructosa (Bhandari et al., 1993). El secado por pulverización es un proceso rápido Que produce el producto

seco en una forma amorfa (vítrea) de Los sólidos en estado amorfo tienen una viscosidad muy alta ($> 10^{12}$ Pa s) ya medida que la temperatura aumenta durante el secado, La viscosidad disminuye hasta un valor crítico de alrededor de 10^7 Pa s, donde primero se vuelven pegajosos (Bhandari et al., 1993). Esta viscosidad crítica Se alcanza a las temperaturas 10-20 ° C por encima de T_g y Estas temperaturas disminuyen con un aumento en el contenido de agua (Roos & Karel, 1991).

Bhandari et al., (1993). Una forma de lograr un secado exitoso de alimentos ricos en azúcares es añadir un aditivo (encapsulante) de alto peso molecular a la alimentación del secador. Estos aditivos tienen una T_g muy alta y elevan la T_g de las frutas. Las Maltodextrinas es un encapsulante más comunes utilizados en la actualidad. Adhikari et al., (2003). señala que La T_g de maltodextrinas varía de 100 a 243 °C según su propiedad de dextrosa equivalente (DE). Varios investigadores han añadido maltodextrinas a los alimentos ricos en azúcar para reducir Problemas de deposiciones de paredes. Bhandari et al., (1993). Encontró que se debe añadir una cierta cantidad de maltodextrina para evitar que las cantidades excesivas de producto se peguen a las paredes del secador. También encontraron que más deposición de la pared ocurrió cuando la proporción de la fruta A la maltodextrina y se informó de que el intervalo aceptable de esta relación podría aumentarse disminuyendo la temperatura del aire de entrada o utilizando una maltodextrina de mayor peso molecular.

Tsourouflis & Karel, (1976). También mencionó que Cuando se usan como auxiliares de secado para el zumo de naranja, se encontró que las maltodextrinas equivalentes a baja dextrosa dan temperaturas de colapso más altas que las maltodextrinas de alto DE en las mismas concentraciones (Tsourouflis, Flink, & Karel, 1976). En general, la cantidad de maltodextrinas

necesaria para el secado exitoso depende de tres factores principales, la composición del producto, la temperatura de secado y el tipo de maltodextrina, y se basa en gran medida en el ensayo y error y en la experiencia del operador, en lugar de en cualquier Métodos a priori basados en los componentes del producto. Bhandari *et al.*, (1993). Desarrolló un índice de ayuda de secado semi-teórico basado en la recuperación del producto, que se utilizó con éxito para determinar la proporción óptima de jugo de fruta y maltodextrina en un secador por pulverización a escala piloto.

2.2.7 Metodología de Superficie de Respuesta

En un experimento, una o más variables de proceso (variables independientes o factores) se cambian deliberadamente para que se observan los efectos de estos cambios en una o más variables dependientes (respuestas). El delineamiento experimental es un procedimiento utilizado para planificar el experimento, de forma que los datos obtenidos puedan ser analizados, obteniéndose conclusiones válidas y objetivas (Nist, 2006). El delineamiento experimental se inicia con la determinación de los objetivos del experimento y la selección de las variables independientes a ser estudiadas, y sus respectivas bandas experimentales. A partir de ahí, se construye el delineamiento propiamente dicho, que es un plan detallado de las condiciones de cada tratamiento a ser conducido.

La Metodología de Superficie de Respuestas (MSR) es una herramienta usada para optimización de procesos. Se basa en la variación simultánea de varios factores, previamente seleccionados por su influencia sobre la (s) respuesta (s) de interés, con la finalidad de definir la combinación ideal de los niveles de los factores que generen el mejor valor de la respuesta. El delineamiento compuesto central, relacionado con la MSR, contiene 3 tipos de puntos: las factoriales (obtenidos a

partir de un delineamiento factorial), los puntos-estrella o axiales, y el punto central (con repeticiones, para calcular el error experimental). La distancia de los puntos factoriales y de los axiales hasta el punto central es la misma (, que corresponde a $2k / 4$, siendo k el número de variables independientes), de manera a formarse, en el caso de 2 factores, un círculo conforme ilustrado en la Figura 12. Para un delineamiento con 2 factores, las coordenadas del punto central son (0; 0); De los puntos factoriales, (-1, -1), (-1, 1), (1, -1) y (1; 1); Y de los puntos axiales, (- ; 0), (; 0), (0, -) y (0;), siendo igual a 1,41, que corresponde al radio del círculo formado por los puntos experimentales.

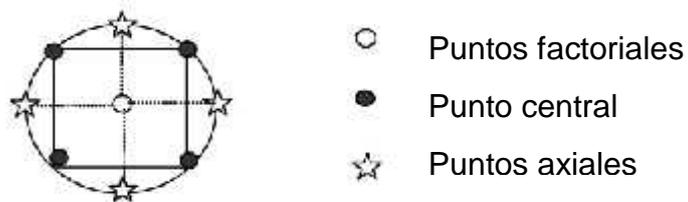


Figura 12. Delineamiento Compuesto C de dos factores.

Fuente: Nist, (2006).

Las coordenadas de los puntos corresponden a los niveles codificados de los factores. Para la decodificación, se establecen los niveles mínimo y máximo (- y) para cada factor (generalmente con base en datos de la literatura o en pruebas preliminares). A partir de ahí, por interpolación, se definen los niveles decodificados de los demás puntos. Después de la realización de los experimentos (según las directrices del delineamiento), los resultados son analizados por la MSR, que permite la construcción de un modelo cuadrático, con la siguiente forma general (para dos factores): X_2

$$Y(X_1, X_2) = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_1 X_1 X_2 + b_1 X_1^2 + b_2 X_2^2 + e$$

Por lo tanto:

Y : Valor promedio de la variable respuesta

X_1 : Variables independientes (factores) codificadas

b_0 : Valor promedio de respuesta, en ausencia del efecto de los factores X_1

b_1 : Razón de cambio (efecto lineal) del factor 1 sobre la respuesta promedio

b_2 : Razón de cambio (efecto lineal) del factor 1 sobre la respuesta promedio

b_1 : Razón de cambio (efecto cuadrático) del factor 1 sobre la respuesta promedio

b_2 : Razón de cambio (efecto cuadrático) del factor 1 sobre la respuesta promedio.

b_1 : Razón de cambio del efecto de interacción entre x^1 y x^2 sobre la respuesta

e : Error experimental.

Un modelo se evalúa sobre la base de algunos parámetros, destacándose los siguientes:

Coeficiente de determinación (R^2): define el porcentaje de variación en la respuesta que se explica por el modelo.

R^2 ajustado: indica la proporción de la variación de la respuesta explicada por el modelo en relación al máximo valor explicable, teniendo en cuenta no sólo cuánto de la variación se explica, sino también el impacto de los grados de libertad. Así, "ajusta" el valor de R^2 al número de factores, siendo especialmente importante cuando se usan muchos factores.

El valor de F de la regresión: la prueba F, realizada por medio del análisis de varianza del modelo, genera un valor que se compara a valores tabulados, para definir si el modelo es significativo, a un determinado nivel de significancia (generalmente el 5% o 0,05). Según Barros *et al.*, (2001), si la razón $F_{calculada} / F_{tabelado}$ es mayor que 1, el modelo es

estadísticamente significativo y, si mayor que 5, modelo es, además de significativo, predictivo:

El valor de F de la falta de ajuste: la falta de ajuste del modelo es la parte del residuo (error) que se refiere a las fallas del modelo en ajustarse a los datos experimentales. A diferencia del F de la regresión, se desea que el F de la falta de ajuste sea no significativo, y que la razón F calculada / F tabelado sea menor que 1. Los coeficientes no significativos pueden ser eliminados del modelo, para simplificación. No parece existir una regla definida que establezca la decisión "correcta" entre simplificar o no un modelo, por la eliminación de los términos no significativos.

2.3. Definición de términos básicos

Atomización: es un proceso de secado práctico y relativamente de bajo coste caracterizado de extraer el agua de una suspensión, dilución, emulsión, en el interior de una cámara con flujo de aire caliente por la formación del alimento en diminutas gotas por un pulverizador o disco rotatorio (Luna, López, Jiménez, & Luna, 2016).

Antioxidante: son moléculas capaces de prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas, ejemplo tenemos a las vitaminas liposolubles (vitamina A, D, E, K y carotenos) y vitaminas hidrosolubles (vitamina C), la oxidación produce radicales libres que dañan las células, el antioxidante quita estos radicales libres, oxidándose ellos mismos (Schrooyen, van der Meer, & De Kruif, 2001).

Encapsulación: La encapsulación es un proceso mediante el cual sustancias bioactivas de los alimentos se introducen en una matriz para impedir que se pierdan, para protegerlas de la reacción con otros compuestos o para frenar reacciones de oxidación a causa de la

temperatura, luz o del oxígeno (yañez, Salazar Montoya, Chaires Martinez, Jiménez-Hernández, & Ramos-Ramírez, 2002).

Maltodextrina: Es el resultado de la hidrólisis del almidón o fécula, comercialmente está en forma de polvo blanco, compuesto por una mezcla de varios oligómeros de glucosa, compuestos por 5 a 10 unidades. Se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones (García & López, 2012).

Vitamina C: Conocida como ácido ascórbico, es un nutriente hidrosoluble que se encuentra en ciertos alimentos. Es un antioxidante (protección y regeneración celular). Importante para la producción de colágeno. Mejora la absorción del hierro presente en los alimentos de origen vegetal y contribuye al sistema inmunitario (Monica, M. A, Mandarim, C. A, 2003).

CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de estudio.

La presente investigación es de tipo cuantitativo experimental, La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la planta piloto de frutas, laboratorio de procesos agroindustriales, de la Universidad Nacional Amazónica De Madre De Dios – Puerto Maldonado, el secado por atomización se llevó a cabo el Laboratorio de Operaciones y Proceso de la FIQ – UNA – Puno, durante los meses de enero hasta febrero del 2017. la caracterización de la materia prima, así como también el análisis de los resultados obtenidos del Secado por Atomización se evaluaron en Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno del 2017.

Puerto Maldonado presenta una precipitación anual de 1157 mm, siendo los meses de mayores lluvias en enero, febrero y marzo, con una marcada diferencia entre el período seco y lluvioso, una temperatura media anual de 33°C y una humedad relativa promedio de 82.5%.

3.2. Diseño de estudio.

El diseño de estudio y experimental se llevó a cabo con el diseño compuesto central (CCRD), con dos variables independientes, con los puntos centrales (nivel 0) y puntos axiales (niveles \pm), un total de 10 ensayos, como se muestra en la Tabla 9. Las variables independientes fueron: temperatura de entrada de aire en la secadora (T en ° C) y

concentración de maltodextrina D 10 (CMA en %) y se evaluaron como respuestas (variables dependientes) el contenido de Vitamina C porcentaje de Humedad y el Rendimiento del polvo de Copoazú. Durante los experimentos, se registraron la temperatura de salida (Ts) y la temperatura ambiente (Ta).

3.3. Población y muestra.

La presente investigación se realizó con la producción de Copoazú (*T. Grandiflorum*) de la parcela del Sr. Tapia Holgado, Washington quien produce un promedio de 3.00 toneladas de Copoazú por año. Proveniente la localidad de Planchón, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. ubicado a 260 msnm, temperatura promedio de 26.3 °C (T. máx. 30.9 y T. min 21.3 °C), Humedad relativa de 84 %, la cosecha se realizó el 05 de enero del 2017.

La muestra Copoazú (*T. Grandiflorum*), se recolecto de la parcela identificadas dentro de la provincia de Tambopata. Para la muestra se cosecho, 50 kg de Copoazú para la investigación, la muestra fue de 10 kg de pulpa fresca de Copoazú refinada, para cada tratamiento se usó 430 gr. de pulpa de Copoazú refinado.

3.4. Métodos y técnicas.

3.4.1. Materia prima e insumos

- Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), de la variedad mamorana, Proveniente la localidad de Planchón, distrito de las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. ubicado a 260 msnm, temperatura promedio de 26.3 °C (T. máx. 30.9 y T. min 21.3 °C), Humedad relativa de 84 %, la cosecha se realizó el 05 de enero del 2017.
- Maltodextrina D 10.

Tabla 6: Características de la Maltodextrina.

Atributo	Descripción
Humedad (%)	6.0 máximo
Ph	4.0 - 5.5
Dextrosa equivalente (DE) (%)	9.0 - 14.0
Presencia de Almidón	negativo
Apariencia	Polvo fino
Color	Blanco
Materia extraña	libre de materia extraña
Toxicidad	NO dispone
Irritación	NO dispone

Fuente: Frutaron SAC, (2017).

3.4.2. Materiales de laboratorio

- Vaso de precipitado.

Características:

Marca : made in germany

Material : boro 3.3

Capacidad : 200ml

Cantidad : 10 unid.

Error : 5%

- Pipetas graduadas.

Características:

Marca : made in germany

Material : boro 3.3

Capacidad : 10ml

Cantidad : 2 unid.

Error : ± 0.5 ml a 20 °C

- Probeta.
Características:
Marca : Pyrex, made in germany
Material : boro 3.3
Capacidad : 200ml
Cantidad : 10 unid.
Error : 5%

- Erlenmeyer.
Marca : Pyrex, made in germany
Material : boro 3.3
Capacidad : 200ml
Cantidad : 5 unid.
Error : 5%

- Espátula.
Características:
Material : acero inoxidable
Cantidad : 2 unid.

- Pera de succión
- pizeta
- Bagueta.

3.4.3. Equipos.

- Atomizador: NITRO ATOMIZER (marca del secador por atomización en laboratorio). Disponible en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química – UNA. La presión de atomización constante es de 2.5 bares., carga térmica con 3,79 KW.
Diámetro de la cámara es de 0,52 m y una altura de 1,42 m,
Diámetro del ciclón es de 1,8 m., potencia del ventilador

2HP., Diámetro de la tubería de transporte de 3". El equipo es parcialmente automatizado con un tablero de control, donde se controlan la temperatura de aire caliente con su controlador set point tipo ON/OFF, teniendo 6 resistencias (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆).

El equipo de alimentación se llevó a cabo mediante una bomba peristáltica, cuya masa de flujo de velocidad de alimentación puede ser ajustado por el porcentaje de la velocidad máxima.

La operatividad del equipo se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química, UNA Puno, ubicado:

Altitud de 3925 msnm

Latitud: 15°50'31" S

Longitud: 70°01'11" O

Humedad: 44%

Presión atmosférica: 633.0 in²

▪ Pulpeadora:

Material : Acero Inoxidable

Capacidad : 500 kg/h

Potencia : 5 HP, 220 V

Malla de Pulpeado : 8 mm

Marca : A&C INGENIEROS

Modelo : PULP 03T.

▪ Balanza digital:

Marca: Mettler Toledo, MT-SICS.

▪ Ph metro:

Marca : Mettler Toledo.

Rango : - 2 +19 unidades de pH

- Balanza Analítica:
Marca : HW Kessel
Rango : 0.1 mg-220g

- Estufa de convección mecánica.
Capacidad : 124.6 L.
Marca : Lab-line.

- Plancha de calentamiento:
Marca : Fisher scientific.

- selladora en caliente
- Refractómetro digital NR151.
- Termómetro de 0°- 100°C.

3.4.4. Materiales de acondicionamiento

- Baldes 20 litros
- Cuchillos de acero inoxidable C - 201.
- Balanza tipo Reloj marca "ROMA" (Cap. Máx. 10 kg.)
- Bolsas, alta densidad grado alimentario (polipropileno cap. 1kg; 20x20 cm).
- Tina de lavado de acero inoxidable.
- Mesa de trabajo de acero inoxidable.

3.5. Tratamiento de datos

3.5.1. Tratamientos

En la investigación de secado por atomización de la pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*) se realizó dos métodos de secado, primero se secó pulpa de Copoazú sin la adición de encapsulante maltodextrina DE 10 y segundo se secó pulpa de Copoazú con la adición de encapsulante maltodextrina DE 10. Se detalla los tratamientos realizados en la presente investigación:

Tratamiento 1 (T1). = 430 gr. (sin adición de encapsulante maltodextrina DE 10)

Tratamiento 2 (T2). = 430 gr. (con adición de encapsulante maltodextrina DE 10)

En la investigación el tratamiento 2, el método de secado se realizó 10 tratamientos determinando variables que tengan mayor influencia en los resultados, las variables más importantes empleados fue temperatura de secado y la concentración de maltodextrina DE 10.

3.5.2. Muestreo

La muestra se obtuvo en la provincia Tambopata, distrito las piedras de la localidad de Planchón – Asociación de agricultores “la unión de Planchón” está ubicado en la carretera Puerto Maldonado - Iñapari en el km 47, del predio agrícola del señor Tapia Holgado Washington, que consta de 1 hectárea de cultivo de Copoazú, donde se cosecho, 50 kg de Copoazú para la investigación, la muestra fue de 10 kg de pulpa fresca de Copoazú refinada, para cada tratamiento se usó 430 gr. de pulpa de Copoazú refinado.

Para la obtención de las muestras experimentales se recolectaron cuando el pedúnculo se desprendió naturalmente (estado óptimo de maduración) tomando en cuenta que el fruto este sin daños físicos, microbiológicos, sobre maduro o su estado de madurez este incompleto, adecuados para la investigación.

3.5.3. Método de análisis proximal de la pulpa de copoazú

El análisis proximal de la pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), se realizó en el laboratorio de análisis químico de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la

Universidad Nacional del Altiplano – UNA, se utilizó el método de laboratorio.

Tabla 7: Análisis Proximal, Pulpa de Copoazú y sus respectivas Normas.

ANALISIS	NORMA
Humedad y Materia Seca (%)	NTP 206.011
Cenizas (%)	AOAC 15,1990
Fibra (%)	AOAC 15,1990
Proteínas (%)	AOAC 15,1995
Carbohidratos (%)	AOAC 15,1995
Grasa (%)	NTP 206.017
PH	AOAC 181.12
Vitamina C (mg/100gr)	AOAC 2010
Solidos Solubles	NTP 203.072

Fuente: laboratorio de Análisis Nutricional de Alimentos UNA (2017).

Estos análisis se realizaron a la pulpa fresca de Copoazú y el polvo de Copoazú (microencapsulado) se realizó el análisis de Vitamina C y Humedad. En estos análisis se utilizaron los métodos recomendados por la Normas Técnicas Peruanas (NTP), durante los procesos de secado, estos fueron:

Determinación de Humedad (NTP-ISO 206.011)

La determinación del contenido de humedad se realizó por triplicado en placas Petri a peso constante, se colocaron en cada una de ellas un peso conocido de muestras (5 g aprox.). Una vez que la estufa fue precalentada a $103^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}$, cada muestra en su cápsula fue sometida a calentamiento en la estufa durante 16 horas. Transcurrido este período las cápsulas con las muestras fueron retiradas de la estufa y colocadas en el desecador, dejándolas enfriar hasta que alcanzara la

temperatura ambiente; y finalmente pesadas una vez más. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{P - P}{P} \times 1$$

Dónde:

Pi = Peso inicial (Peso de Placa + Muestra)

Pf = Peso final

%H = Porcentaje de humedad

Determinación del pH (AOAC 981.12)

Para la medición del pH se usó un pH-metro digital, previa calibración del potenciómetro, se enjuago el electrodo con agua destilada y se secó cuidadosamente, el potenciómetro se calibro con buffer pH 7, para la preparación de la muestra de la pulpa se sigue el procedimiento de la AOAC 981.12 ISO11289: 1993, las determinaciones se hicieron por triplicado.

Determinación de acidez titulable (NTP-203.070)

Para la determinación de la acidez, se siguió el siguiente procedimiento para la preparación de la muestra según (NTP-203.070), la determinación se hizo por titulación con una solución valorada de hidróxido de sodio 0.1 N, se transfirieron de la muestra a un vaso precipitado y se adicionó 2 a 3 gotas de solución de fenolftaleína. El porcentaje de acidez es expresada como ácido cítrico calculándose mediante la siguiente fórmula.

$$\% A = \frac{N \times V \times 0.0}{V} \times 1$$

Dónde:

N = Normalidad del Hidróxido de Sodio

V = Volumen del Hidróxido de Sodio usado para la titulación.

0.064 = Miliequivalente del Ácido Cítrico.

V_m = Volumen de la Muestra (ml).

Determinación de sólidos solubles (NTP 203.072)

Los sólidos solubles se expresaron como °Brix, se determinó con un refractómetro digital NR151, a 25°C. La preparación de la muestra (pulpa) fue preparada según la NTP 203.072. Una vez obtenido la muestra preparada se toma dos gotas para determinar los sólidos solubles en un refractómetro de previa calibración del equipo con agua destilada, posteriormente se registró el °Brix por triplicado.

$$S = \frac{MS}{1} \times 1$$

En donde:

S = contenido de sólidos solubles en el producto, en porcentaje en masa

M = más de los 100 cm³ de la muestra preparada, en gramos

S = contenido de sólidos solubles en la muestra preparada, encontrado por medio de la lectura del refractómetro digital y corregido a 20°C en porcentaje de masa.

3.5.4. Metodología

La investigación es cuantitativo y experimental, considerándose las siguientes etapas: Obtención de pulpa refinada de Copoazú: Selección, lavado, sanitización, quebrado, despulpado, refinado, almacenado en frío; b) Caracterización Físico-química de la Pulpa fresca de Copoazú (Métodos AOAC 1998, 2005, 2006); c) Secado por atomización según diseño compuesto central, d) Análisis físico-químico de Copoazú en polvo: rendimiento de secado, humedad, retención y vitamina C; e) Análisis estadístico

y modelamiento utilizando STATISTICA 10.0, considerando 95 % de confiabilidad; f) optimización, retención de vitamina C y minimizando el contenido de humedad del Copoazú en polvo.

Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación el trabajo experimental se desarrolló por etapas, las que se muestran en la figura 13 y se describen a continuación:

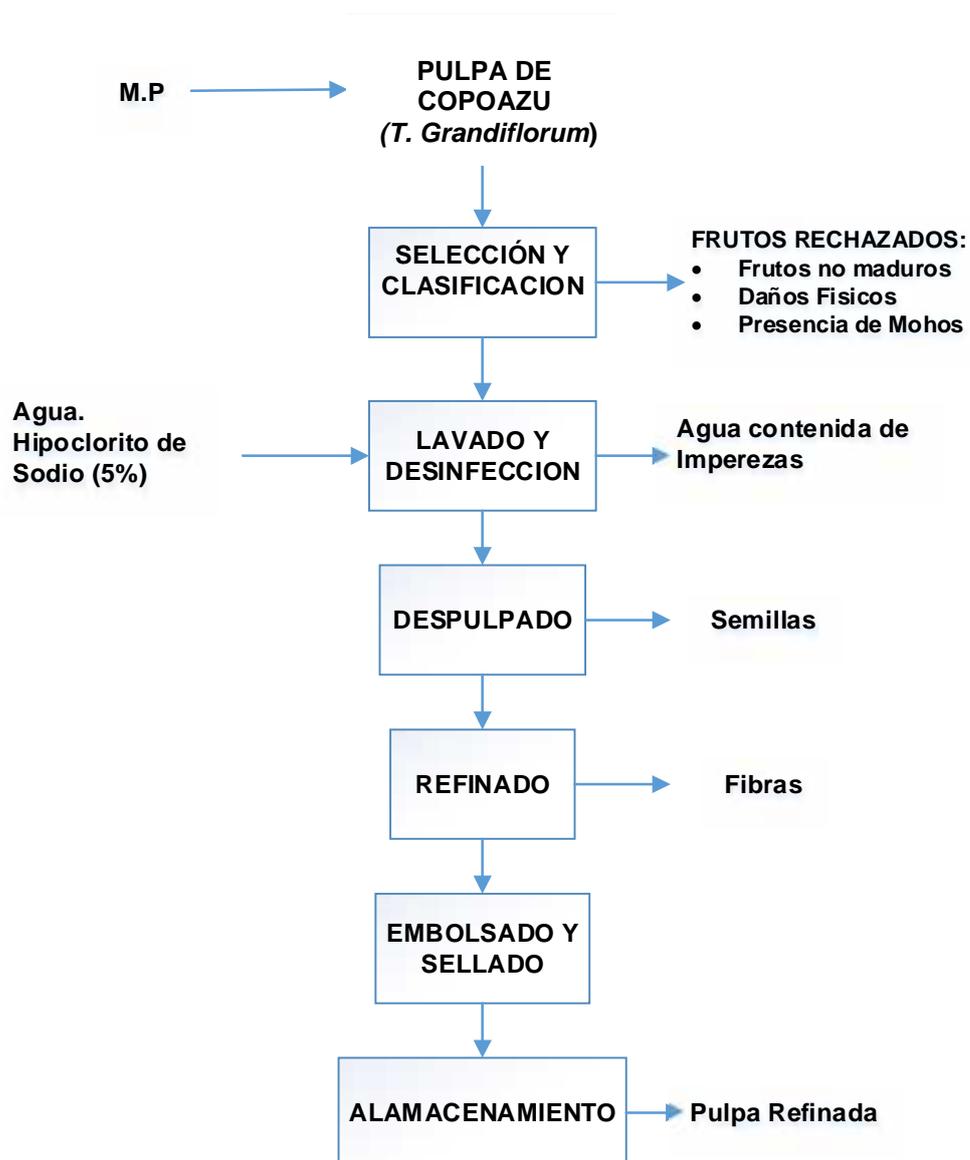


Figura 13: Diagrama de flujo del proceso para obtención de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.5.5. Descripción del Proceso para obtención de pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

En este apartado se describen los procesos unitarios realizados para la obtención de la pulpa de Copoazú refinado, a continuación:

Materia prima:

La materia prima es el fruto Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), completamente maduro y en perfectas condiciones para la investigación.



Figura 14: Frutos de Copoazú, (*Theobroma Grandiflorum*).

Fuente: Elaboración propia (2017).

A. Selección y clasificación:

La selección consistió en separar toda materia prima que se encuentre en estado de deterioro ya sea por daños mecánicos, físicos o biológicos. Esta operación se llevó a cabo manualmente, en mesas de acero inoxidable.

B. Lavado y desinfección:

Los frutos de Copoazú se lavaron mediante inmersión en agua con hipoclorito de sodio 0.5-1.0% durante 10 minutos. Posteriormente se enjuagaron y se dejó escurrir. El principal objetivo es el de eliminar toda infección traída del campo.



Figura 15: Lavado de los Frutos de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

C. Pulpeado:

Se realizó en una Pulpeadora (malla con orificios de 8 mm de diámetro). la finalidad de esta operación es de retirar las semillas de la pulpa.



Figura 16: Despulpado de los Frutos de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

D. Refinado:

La pulpa obtenida se refino en un molino coloidal (malla con orificios de 0.5 mm de diámetro), en la cual se encarga de retirar los sólidos insolubles o fibras contenidas en la pulpa de Copoazú.

E. Embolsado-sellado:

La pulpa de Copoazú refinada se empacaron en bolsas de polipropileno de grado alimentario con una capacidad aproximada de un 1 kg, para ser luego ser sellados.

F. Almacenamiento:

la pulpa refinada empacada y sellada se almacenaron a temperatura de refrigeración de 1 – 5°C.

Asimismo, en la figura 17, se detalla el procedimiento experimental desarrollado durante la investigación, a continuación:

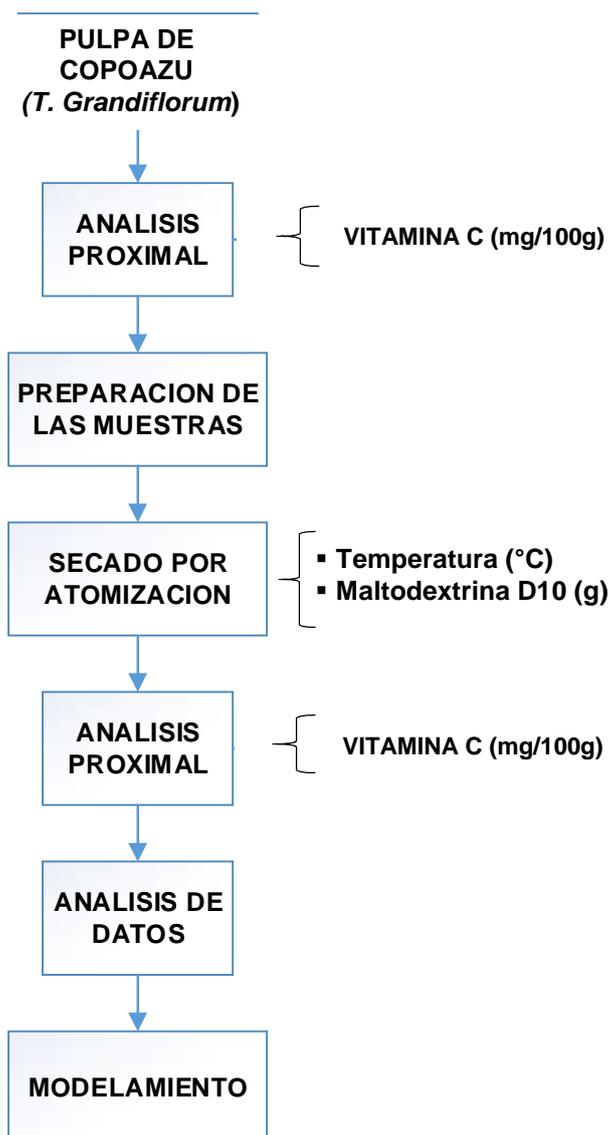


Figura 17: Diagrama de flujo del procedimiento experimental de la investigación.

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.5.6. Descripción del proceso de evaluación del proceso de secado por atomización

A. Análisis proximal

Caracterización química de la pulpa de Copoazú Natural físico- químicas:

El análisis proximal de la pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), se realizó en el laboratorio de análisis químico de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano – UNA, se utilizó el método de laboratorio – AOAC -1990.

B. Preparación de la muestra

Se realizó el acondicionamiento de la muestra, previo al proceso de secado por atomización, la muestra de pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*), se homogenizaron a una temperatura ambiente 25°C para el cual se prepararán una disolución con agua destilada a concentraciones establecidas, para lograr una disolución adecuada de pulpa – agua, a continuación, se describen las pruebas preliminares que se realizaran.



Figura 18: Muestras del zumo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

B.1. Las pruebas preliminares de secado

Para definir la dilución óptima (pulpa: agua - masa: relación de masas), se realizó según la recomendación de (Pereira. 2013), los niveles de temperatura de entrada del aire de secado y la concentración de maltodextrina. La disolución

del agente portador se llevó a cabo en un homogeneizador a temperatura ambiente y la velocidad de 8000 rpm durante 10 minutos (disolución completa).

Tabla 8. Las pruebas preliminares de pulpa de Copoazú utilizando maltodextrina como agente microencapsulante.

Ensayo	Disolución (masa: masa)	T. entrada (°C)	Maltodextrina (%)
1	1;1	130	0
2	1;1.5	150	10
3	1;2	170	15

Fuente: Recomendado por Pereira L. (2013).

Las pruebas preliminares servirán para identificar los niveles mínimo y máximo de la pista de las variables de estudio, y poner a prueba las limitaciones operativas de la secadora.

B.2. Planificación Experimental - Diseño Compuesto Central Rotacional.

Para llevar a cabo el secado por atomización de la pulpa de Copoazú, el diseño experimental se llevó a cabo con el diseño compuesto central (CCRD), con dos variables independientes, con los puntos centrales (nivel 0) y puntos axiales (niveles \pm), un total de 10 ensayos, como se muestra en la Tabla 9. Las variables independientes fueron: temperatura de entrada de aire en la secadora (T en ° C) y concentración de maltodextrina D 10 (CMA en %) y se evaluaron como respuestas (variables dependientes) el contenido de Vitamina C porcentaje de Humedad y el Rendimiento del polvo de Copoazú. Durante los experimentos, se registraron la temperatura de salida (Ts) y la temperatura ambiente (Ta).

Tabla 9. Planteamiento Experimental de pulpa de Copoazú, CCRD.

Ensayo	Temperatura de entrada del aire (°C)	% Maltodextrina (D 10)	Flujo de Alimentación (ml/seg.)
1	178	7	0.70
2	122	7	0.70
3	130	8	0.70
4	150	4	0.70
5	150	7	0.70
6	170	8	0.70
7	130	5	0.70
8	150	7	0.70
9	150	9	0.70
10	170	5	0.70

Fuente: Elaboración propia (2017).

C. Secado por atomización:

El proceso de secado, se desarrolló en el equipo de atomización (NITRO ATOMIZER) (figura 19). Se operó con flujo de alimentación de 0.7 ml/seg. presión del aire comprimido 2.5 bares, diámetro de boquilla de aspersion 0.5 mm, flujo de aire 117.5 m³/h, temperatura varia de 122 178°C. Se realizo según el diseño experimental desarrollado (tabla 9), posteriormente se separaron cada muestra seca obtenida para su posterior evaluación.

Las características del secador son: Diámetro de la cámara es de 0,52 m y una altura de 1,42 m, Diámetro del ciclón es de 1,8 m., potencia del ventilador 2HP., Diámetro de la tubería de transporte de 3". El equipo es parcialmente automatizado con un tablero de control, donde se controlan la temperatura de aire caliente con su controlador set point tipo ON/OFF, teniendo 6 resistencias (R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆).

La alimentación se llevó a cabo mediante una bomba peristáltica, cuya masa de flujo de velocidad de alimentación puede ser ajustado por el porcentaje de la velocidad máxima (Laura *et al.*, 2015).



Figura 19: Equipo de secado por atomización.

Fuente: Laboratorio operaciones unitarias de Facultad Química, UNA 2017.

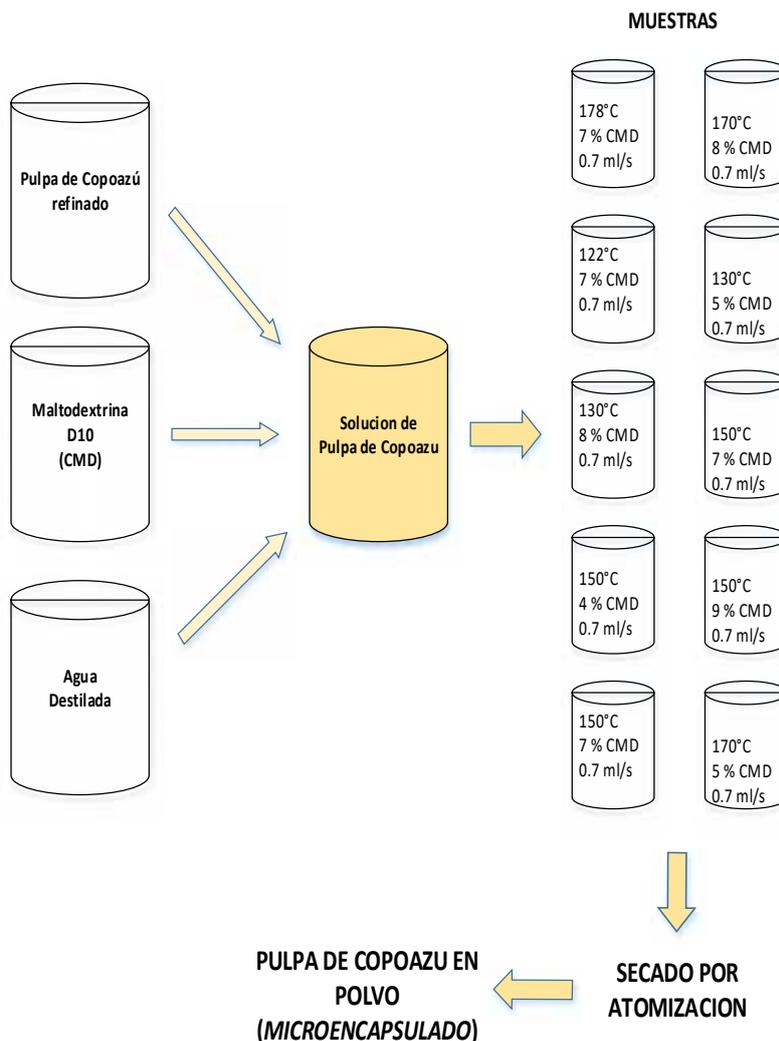


Figura 20: Acondicionamiento de las muestras de solución de pulpa de Copoazú para el secado por atomización.

Fuente: Elaboración propia 2017.

En la figura 20, detalla el diseño de preparación de las muestras de la pulpa de Copoazú para llevar a cabo el procedimiento de secado por atomización, se realiza la mezcla de la pulpa de Copoazú con agua destilada posteriormente se adiciona el agente encapsulante CMD (concentración de maltodextrina D10), posteriormente se fraccionan en muestras según el diseño experimental descrito en la tabla N° 9 de los cuales se obtendrán diez

muestras diferentes para llevar a cabo el secado por atomización, los polvos obtenidos después del secado se realiza el almacenamiento de cada muestra obtenida para su posterior evaluación.

D. Análisis de la pulpa de copoazú microencapsulado:

Se llevaron a cabo para el puesto de cada prueba, el análisis sobre las respuestas (variables dependientes) de diseños experimentales, que son: Vitamina C (mg/100g), humedad (mg de agua/100g).

El análisis proximal se realizó en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la universidad nacional del altiplano (Puno), en la facultad de ingeniería agroindustrial.

D.1.) Rendimiento del polvo de copoazú (microencapsulado).

El rendimiento seco se determinó como la relación entre la masa de sólidos en el polvo de producto y la masa de sólidos en la pulpa fresca de Copoazú utilizada para suministrar a la secadora. El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$R (\%) = \frac{m_{s.p}}{m_{s.li}} \times 100 = \frac{m_p \cdot X_{s.p}}{m_p \cdot X_{s.li}} \times 100$$

Donde RS es la eficiencia de secado, m es la masa (g) y Xsól es el contenido de sólidos (sólidos / g de polvo o harina). Los subíndices se refieren polvo liq y el producto polvo obtenido y el líquido utilizado para suministrar el secador.

D.2.) Contenido de humedad.

El contenido de humedad en polvo se determinó gravimétricamente usando un horno de vacío a 70 °C hasta peso constante. (AOAC, 2006).

$$\% H = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

D.3.) Determinación de vitamina C.

Contenido de ácido ascórbico (mg / 100 g) se determinó por titulación de la muestra de acuerdo con AOAC (2006), que se basa en la reducción de indicador 2,6 - diclorofenolindofenol (DCFI) por el ácido ascórbico.

D.4.) Método de cuantificación de vitamina C retenido.

Para determinar la cuantificación de la vitamina C. se realizó por diferencia de contenido de vitamina C de la pulpa fresca, posteriormente se realizó el análisis de la vitamina C de la pulpa de Copoazú secado por atomización.

E. Análisis estadístico de los datos:

Los resultados del análisis físico y químico de las materias primas y del polvo obtenido, se evaluaron estadísticamente por análisis de varianza, utilizando el test de Tukey nivel 5% de significación. Para ello, se utilizó el software STATISTICA 10 (Statsoft, Tulsa, EE.UU.).

Para garantizar la validez de los coeficientes dentro de un nivel de confianza del 95% usando análisis estadísticos apropiados.

La optimización del secado por atomización de la pulpa de Copoazú se utilizó la metodología superficie de respuesta, con el fin de obtener para todas las pruebas, el mayor de los valores de rendimiento del polvo de Copoazú, el contenido de vitamina C y los valores de contenido humedad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Se presentan el análisis de los resultados del trabajo de campo a fin de cumplir los objetivos planteados en la propuesta inicial, en una primera parte se presentan los resultados producto del análisis proximal practicado a las muestras de pulpa de Copoazú antes de someterlos al secado por atomización, la segunda etapa contiene los resultados registrados del secado por atomización de la pulpa de Copoazú, finalmente, la tercera sección contiene el modelamiento estadístico de los resultados del producto a partir de los datos obtenidos en la etapa experimental.

4.1. Análisis proximal de la pulpa de Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

A continuación, en la tabla número 10, se presentan los resultados del análisis proximal de la pulpa de Copoazú fresco.

El componente de mayor porcentaje presente en la pulpa de Copoazú es el agua, con un valor de $86,12 \pm 0.033$ %, realizando una comparación con lo analizado por Pérez (2014), la pulpa de Copoazú presento un 84.79 % de humedad, lo cual indica otro contenido importante son los carbohidratos con 9,86%, el interés de estudio es el contenido de vitamina C con un contenido de 25.67mg/100 g muestra en base húmeda, este valor es comparable con el trabajo realizado por Pereira (2013), con un contenido de vitamina C de 23.16 mg. /100 gr. de muestra.

Tabla 10: Análisis proximal de la pulpa Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

Composición	Unid.	Valores			Valor Promedio
		ensayo 1	ensayo 2	ensayo 3	
Materia seca	%	13.88	13.84	13.92	13.88 ± 0.033
Humedad	%	86.12	86.16	86.08	86.12 ± 0.033
Ceniza	%	0.60	0.58	0.60	0.59 ± 0.009
Proteína	%	1.13	1.13	1.13	1.13 ± 0.000
Grasa	%	1.21	1.21	1.22	1.21 ± 0.005
Fibra	%	1.08	1.1	1.07	1.08 ± 0.012
Carbohidrato	%	9.86	9.82	9.90	9.86 ± 0.033
Vitamina C	mg	25.67	25.67	25.67	25.67 ± 0.000

* mg: mg/100g. ±: Desviación estándar.

Fuente: Laboratorio de Análisis Nutricional de Alimentos UNA (2017).

4.2. Resultados de ensayos de secado por atomización.

4.2.1. Pruebas preliminares

Se han realizado tres pruebas preliminares de pulpa de Copoazú en el secador por atomización.

La primera prueba de pre-dilución se realiza con la relación de 1: 1 (pulpa de Copoazú y agua) en masa. En esta prueba no se utilizó maltodextrina. La temperatura del aire de entrada en el secador se fijó en 130 ° C. El objetivo de esta primera prueba fue la forma en que se comportó en el equipo de la pulpa sin incorporar las características del agente de encapsulación. En este caso, no hubo formación de polvo, aunque con bajos ingresos. La mayor viscosidad causado por la alimentación de menor dilución 1: 1 de emulsión resultó en mayor adherencia del producto en la cámara de secado debido a la Tg baja (presencia de ácidos orgánicos y azúcares). En los parámetros de secado conjunto, la temperatura del aire de secado 130 ° C, no degradó

el polvo formado no mostró oscurecimiento visible o la reacción de Maillard.

En la segunda prueba preliminar, la temperatura de entrada del secador (150 ° C) y la proporción de la preparación del extracto se ajustó fue de 1: 1,5 (pulpa: agua), 9% de concentración de maltodextrina. Esta dilución se observó una buena fuerza de tracción y la pulverización de la emulsión. El rendimiento fue mayor que en la primera pre-ensayo que muestra la importancia de agente portador para la microencapsulación de pulpa de Copoazú.

La tercera pre-prueba se realizó con una dilución 1: 2 (pulpa: agua), 170 ° C de entrada de aire de secado de temperatura y 15% de concentración de maltodextrina. Hubo un buen rendimiento, pero con la formación de polvo fino posiblemente explica por la mayor dilución de la pulpa y un mayor porcentaje de maltodextrina.

Basado en los ensayos pre-prueba se establecieron a la dilución de diseño experimental de 1: 1,5 (pulpa: agua), secado rango de temperatura de entrada de aire 130 a 170 °C, la concentración de maltodextrina de 5 a 9 %.

4.2.2. Planificación Experimental

Se desarrolló los ensayos experimentales de la pulpa de Copoazú siguiendo el delineamiento compuesto central rotacional 2^k completo, con 4 puntos factoriales, 4 puntos axiales y 2 puntos centrales, totalizando 10 ensayos, como se describe en la Tabla 8. Esta planificación tuvo como objetivo evaluar la influencia de las variables: temperatura de aire de entrada al secador, concentración de maltodextrina D 10, sobre las respuestas: humedad de la microcápsula, rendimiento del proceso, contenido de vitamina C.

Tabla 11: Matriz de los Factores y sus niveles.

Nombre	Unidad	Nivel Codificado		Media	Desviación Estándar
		Inferior	Superior		
Concentración Maltodextrina D10	%	-1 = 5	1 = 9	7	2
Temperatura de Secado	°C	-1 = 130	1 = 170	150	10

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla 12: Matriz de las respuestas y sus niveles.

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Modelo
Rendimiento	%	Media	*Max	cuadrático
Vitamina C	mg/100 g b.s	media	*Max	cuadrático
Humedad	%	media	*Max	cuadrático

* Max: maximizar

Fuente: Elaboración propia 2017.

Utilizando la Matriz de diseño considerado en la tabla 9, se ha llevado el trabajo experimental y los análisis de los resultados (análisis químico del contenido de Vitamina C en el encapsulado obtenido). Los resultados se muestran en la Tabla 13.

4.3. Contenido de vitamina C, en el polvo de Copoazú

El contenido de vitamina C obtenidos en cada ensayo de secado se presentan en la Tabla 13 junto con la temperatura del aire de entrada y la concentración de maltodextrina, los valores experimentales de la vitamina C para el polvo de pulpa de Copoazú oscilan entre 37.85 ± 2.574 a 123.58 ± 2.720 mg de ácido ascórbico / 100 g de sólidos de pulpa en el polvo del ensayo 3 (130 °C T entrada y 8 % CMA) y ensayo 8 (150 °C T entrada y 7 % CMA). A pesar de las pérdidas de secado, mantiene

el contenido vitamina C comparando con el dato inicial de pulpa de Copoazú fresco.

Tabla 13: Contenido de Vitamina C, del microencapsulado de pulpa de Copoazú.

Ensayo	Temperatura (°C)	Maltodextrina DE10 (%)	Vitamina C (mg/100gr)
1	178	7	54.55 ± 1.574
2	122	7	70.14 ± 2.727
3	130	8	37.85 ± 1.574
4	150	4	87.95 ± 1.574
5	150	7	123.58 ± 0.00
6	170	8	89.06 ± 1.574
7	130	5	121.35 ± 1.74
8	150	7	123.58 ± 2.72
9	150	9	106.88 ± 0.00
10	170	5	122.46 ± 1.57

± Desviación estándar.

Fuente: Laboratorio de Análisis Nutricional de Alimentos UNA (2017).

Según la tabla 13, el mayor contenido de vitamina C se obtuvo en el ensayo número 8, lo cual se desarrolló a 150 °C de temperatura de secado y una concentración de 7 % de maltodextrina D 10, con un contenido de 123.58 ± 2.72 mg/100g de polvo de Copoazú, Oliveira (2016), determino un contenido de 129.8 mg de vitamina C, en la pasta de Pequi (*Caryocar brasiliense*) microencapsulado con Maltodextrina D18 a una temperatura de secado de 152 °C, lo cual se encuentra en niveles comparables en este estudio. Así mismo se encuentra por niveles superiores según estudio realizado por Santos *et al.*, (2010) que investigó la actividad antioxidante, presencia de carotenoides y vitamina C en diversas pulpas comerciales y productos a base de Copoazú. Los

autores encontraron, para vitamina C entre 6 pulpas comerciales del estado de Ceará, un rango entre 5,05 a 15,26 mg de ácido ascórbico / 100g de pulpa. Para jugo integral y jugo listo para beber (néctar), encontraron valores iguales de 4,95 mg de ácido ascórbico / 100g de jugo. Por último, para la muestra de pulpa de Copoazú más el conservante y la sacarosa, encontraron un valor de 9,90 mg de ácido ascórbico / 100g de esa pulpa. Transformando los valores iniciales de vitamina C, de la materia prima utilizada en ese trabajo, que son de 23,16 y 56,15 mg de ácido ascórbico / 100g de pulpa.

La variable con mayor influencia ($P < 0.05$) en el contenido de vitamina C, fue la temperatura de secado en el equipo seguido por el factor concentración de maltodextrina influyó significativamente la respuesta de la vitamina C de los polvos de la pulpa de Copoazú.

Efecto positivo para los parámetros lineales y cuadráticos, indicando que los niveles de vitamina C aumentan a medida que la temperatura disminuye hasta ciertos niveles y la concentración de maltodextrina aumenta.

Tabla 14: Análisis de los efectos y estimaciones de vitamina C, en el polvo de Copoazú.

Factor	efecto	Error estándar	t(5)	p
Media/Interacción.	123.5799	16.31541	7.57443	0.000636
(1)Temperatura (°C)(L)	7.5682	16.31549	0.46387	0.662237
Temperatura (°C)(Q)	-54.8356	21.58357	-2.54062	0.048855
(2)Maltodextrina D10 (%)(L)	-35.9178	16.31541	-2.20146	0.078948
Maltodextrina D10 (%)(Q)	-19.7646	21.58322	-0.91574	0.401810

Estimación efectos; R-sqr =.69794; MS Residual = 532.3854.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Se observa que la temperatura del aire de entrada en el secador mostró influencia en la vitamina C. Esto avala con los resultados obtenidos por

Ángel *et al.*, (2009), estudiando la atomización de jugo de maracuyá en atomizador con una mezcla de lactosa y maltodextrina, en los cuales la vitamina C de los polvos se mantuvo en mayor cantidad cuanto menor fue la temperatura de entrada. Sin embargo, si este fenómeno de retención de la vitamina C para la pulpa de Copoazú a mayores temperaturas tiene recurrencia negativa, esto resulta en algo indeseable, pues tal hecho no posibilita aumentar el rango de temperatura de entrada del aire, disminuyendo el rendimiento de proceso.

Al extraer los factores no significativos, se verificó la significancia de la regresión y de la falta de ajuste en relación al 95% de confianza ($p = 0,50$), a través de la prueba F, en el análisis de varianza (Tabla 15).

Los modelos propuestos para describir la retención de vitamina C de la pulpa de Copoazú encapsuladas con maltodextrina presentaron coeficiente de determinación (R^2) de 70%. La regresión y la falta de ajuste del modelo se presentaron significativa. Por lo tanto, el modelo ajustado fue considerado predictivo, pero con falta de ajuste.

Tabla 15: Análisis de varianza de Vitamina C, en el polvo de Copoazú.

Factor	SS	MS	F	P
(1)Temperatura (°C)(L)	114.555	114.555	0.215173	0.662237
Temperatura (°C)(Q)	3436.404	3436.404	6.45473	0.048855
(2)Maltodextrina D10 (%)(L)	2580.172	2580.172	4.846436	0.078948
Maltodextrina D10 (%)(Q)	446.449	446.449	0.838582	0.40181
Error	2661.927	532.385		
Total SS	8812.596			

ANOVA; R-sqr = 0.69794; MS Residual=532.3854.

Fuente: Elaboración propia (2017).

La figura 21 presenta la carta de Pareto de efectos estandarizados en la variable contenido de Vitamina C (mg/100g), el mayor efecto para contenido de Vitamina C es la temperatura y la maltodextrina.

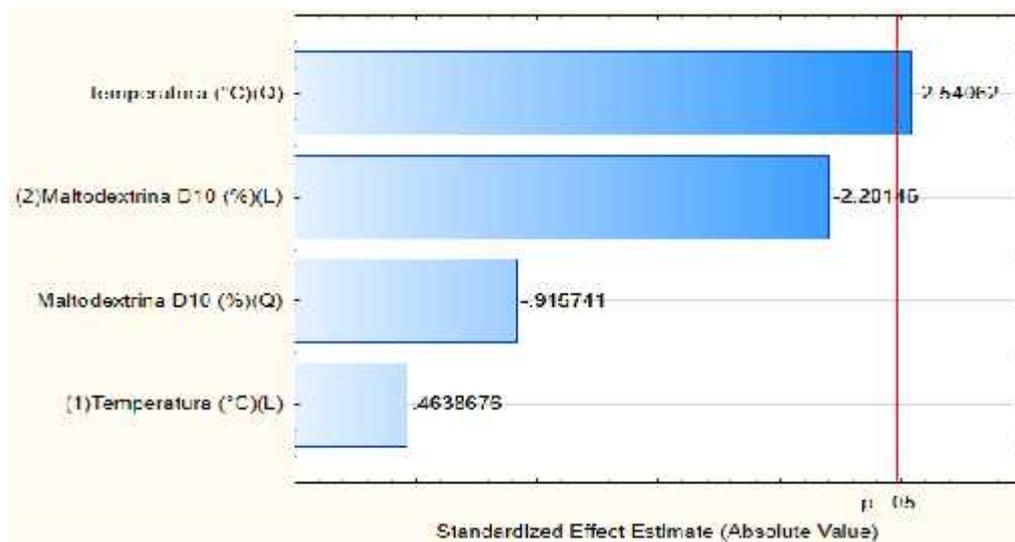


Figura 21. Carta Pareto de Efectos Estandarizados del contenido de Vitamina C (mg / 100 g).

Fuente: Elaboración propia (2017).

Según Pedroza 2002, citado por Caez (2012), La Maltodextrina es empleada como material formador de pared, por tener gran aplicación industrial y haber sido reportada como uno de los de mayor utilización en la microencapsulación por secado por aspersion, además es aprobada para la industria de alimentos y resultan más económicos que otros, como alginatos y caseinatos. Rivas *et al.*, (2010), señala que estudios previos reportan que la concentración de maltodextrina (MD) mayores de 50% b.s., se obtienen productos con características indeseables, por lo tanto, es ideal trabajar con concentraciones inferiores.

En la tabla 16 se presenta el coeficiente de regresión del modelo ajustado para la vitamina C del polvo de Copoazú.

Tabla 16: Coeficiente de regresión del modelo ajustado para Vitamina C, en el polvo de Copoazú.

Factor	Coeficiente Regresión	Error estándar	t(5)	p
Media/Interacción.	-1554.80	707.3075	-2.19819	0.079274
(1)Temperatura (°C)(L)	20.75	8.1041	2.56074	0.050601
Temperatura (°C)(Q)	-0.07	0.0270	-2.54062	0.051855
(2)Maltodextrina D10 (%)(L)	45.13	62.5883	0.72099	0.503210
Maltodextrina D10 (%)(Q)	-4.39	4.7963	-0.91574	0.401810

R-sqr=0.69794

Fuente: Elaboración propia (2017).

Este panel muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Vitamina C} = -1554.80 + 20.75T - 0.07T^2 + 45.13M - 4.39M^2$$

Donde:

T: temperatura de secado.

M: concentración de maltodextrina DE10.

T y M representan las variables codificadas de la temperatura del aire de entrada y concentración de maltodextrina. El modelo presenta una regresión significativa al nivel de 90% de confianza ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabulado}}$). Por lo tanto, el modelo ajustado para la vitamina C de la pulpa de Copoazú encapsulado con maltodextrina en atomizador fue considerado predictivo, pero con falta de ajuste.

La Figura 22 muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno generadas a través de los modelos propuestos para la vitamina C secado por atomización.

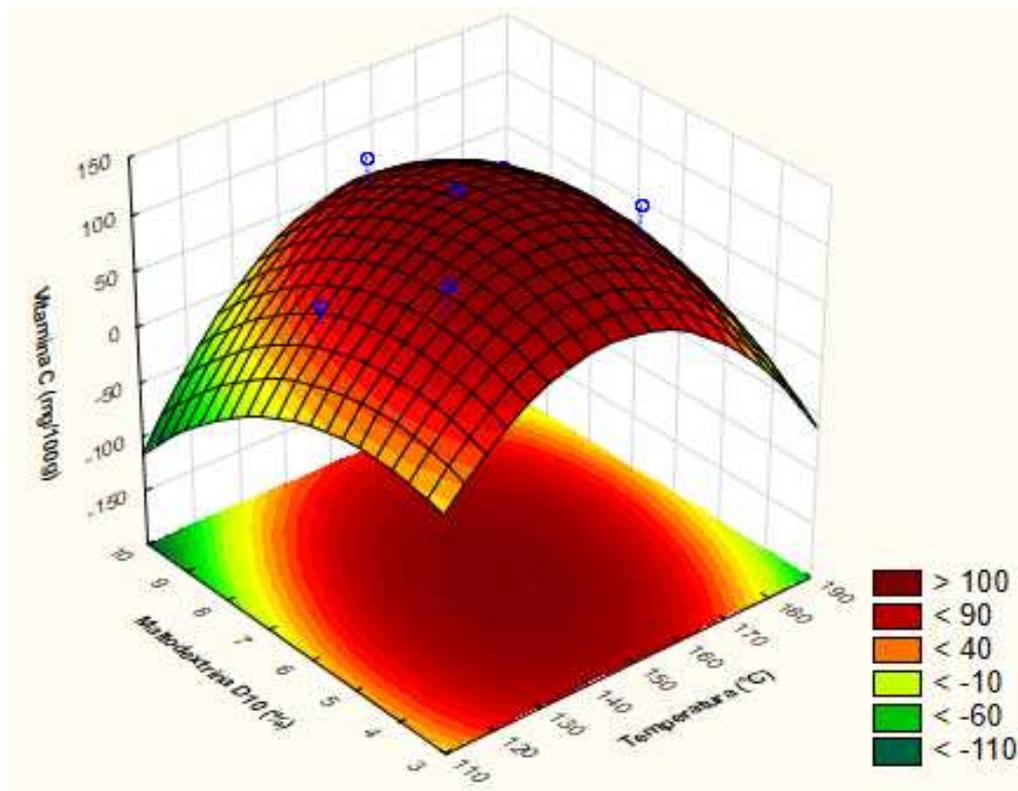


Figura 22: Superficie respuesta de la variación de vitamina C, en el polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Mediante la figura 22 de superficie de respuesta se realiza el análisis para indicar la región sobre la que se va a realizar la optimización.

Se estima, en un rango de temperatura de 130 °C y 160 °C se obtiene altos niveles de Vitamina C (123.58 ± 2.72 mg/100gr) corresponde a 150 °C y 7 % de CMD y se obtiene bajo nivel de Vitamina C (54.55 ± 1.574 mg/100gr) con temperatura de 178 °C y 7% de CMD, según ala figura 23 de contorno para este estudio, estima la región rojo oscuro como la zona de experimentos que se obtiene mayor nivel de vitamina C ($8 < \text{vitamina C} < 120$), temperaturas de 120 hasta 170 °C y CMD 3% y 10%, en la zona más claro (amarillo) se obtiene bajo nivel de vitamina C (vitamina C < 48).

La Figura 23, muestra la curva de contorno generadas a través de los modelos propuestos para la vitamina C secado por atomización.

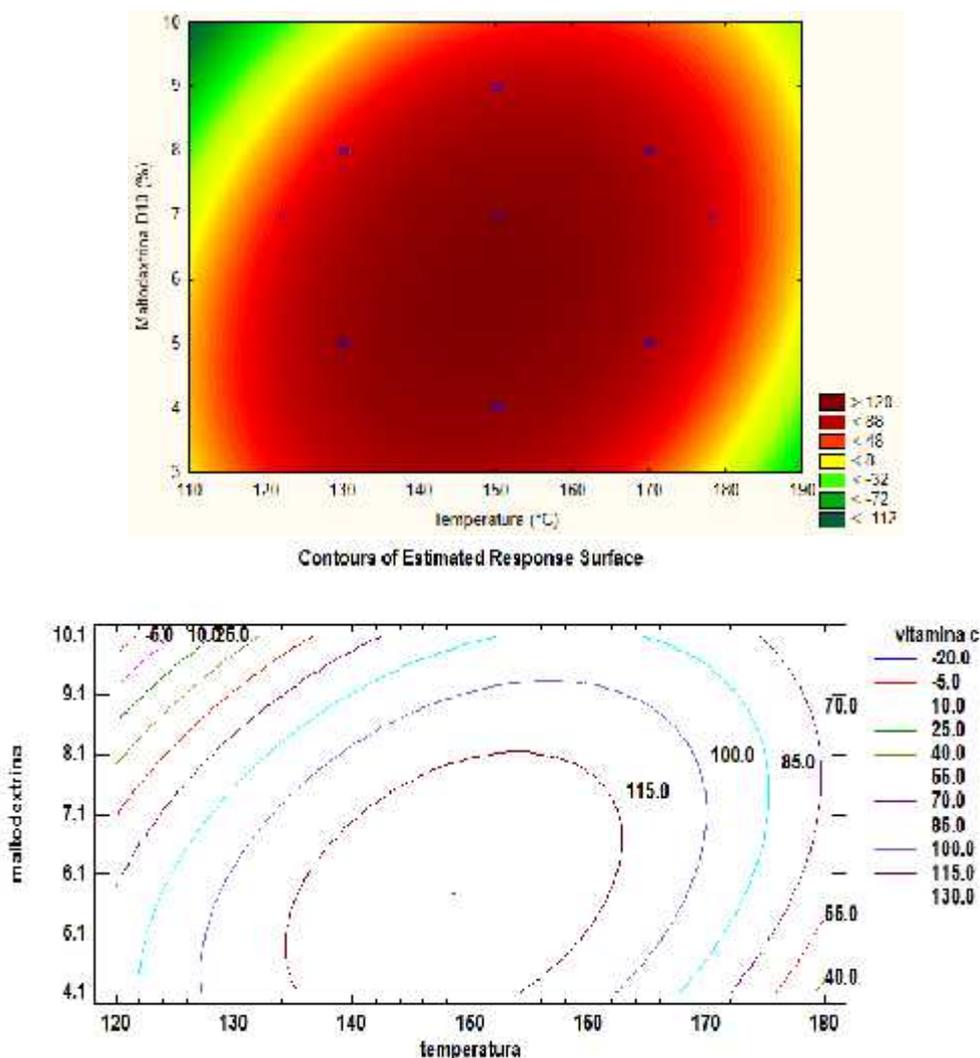


Figura 23: Curva de contorno para los resultados de vitamina C, en el polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017)

La curva de contorno de los resultados del contenido de vitamina C, de la pulpa de Copoazú secado por atomización indica la región más oscura representa el entorno donde se obtiene mejor resultado mayor a 120 mg de vitamina C, estableciendo temperaturas de 150 a 160 °C y una concentración de maltodextrina de 5 a 7 %.

Los resultados experimentales indican a una temperatura de secado mayor a 170°C se obtiene bajos niveles de contenido de vitamina C en el microencapsulado de pulpa de Copoazú, sin embargo, a niveles bajos

de temperatura de secado hasta 130 °C se obtiene altos niveles de contenido de vitamina C en el microencapsulado de pulpa de Copoazú. La concentración de maltodextrina DE 10 tiene un efecto positivo en el contenido de vitamina C de la microcápsula de pulpa de Copoazú, a mayor contenido de encapsulante se obtiene mayor contenido de Vitamina C, estos resultados son similares al estudio realizado por Pereira 2013 como se señala en la figura 23.

La combinación de las variables temperatura de secado y encapsulante juegan un papel muy importante al momento de obtener como resultado óptimo de material activo (ácido ascórbico), la pulpa de Copoazú contiene 9.86 ± 0.033 % de carbohidratos, lo cual induce en problemas a la hora de secar por atomización, Según Bhandari *et al.*, (1997), Una forma de lograr un secado exitoso de alimentos ricos en azúcares es añadir un aditivo (encapsulante) de alto peso molecular a la alimentación del secador. Estos aditivos tienen una Tg muy alta y elevan la Tg de las frutas. Las maltodextrinas es un encapsulante más comunes utilizados en la actualidad. Adhikari *et al.*, (2003), señala que La Tg de maltodextrinas varía de 100 a 243 °C según su propiedad de dextrosa equivalente (DE). Varios investigadores han añadido maltodextrinas a los alimentos ricos en azúcar para reducir Problemas de deposiciones de paredes. Bhandari *et al.*, (1997), Encontró que se debe añadir una cierta cantidad de maltodextrina para evitar que las cantidades excesivas de producto se peguen a las paredes del secador. También encontraron más deposición de la pared ocurrió cuando la proporción de la fruta y maltodextrina eran bajas sin embargo esta relación podría aumentarse disminuyendo la temperatura del aire de entrada o utilizando una maltodextrina de mayor peso molecular. Tsourouflis *et al.*, (1997), También mencionó que Cuando se usan como auxiliares de secado para el zumo de naranja, se encontró que las maltodextrinas equivalentes a baja dextrosa dan temperaturas de colapso más altas que las maltodextrinas de alto DE en las mismas concentraciones. En general, la cantidad de maltodextrinas necesaria para el secado exitoso depende de tres factores principales, la composición del producto, la temperatura

de secado y el tipo de maltodextrina, y se basa en gran medida en el ensayo y error y en la experiencia del operador, en lugar de en cualquier Métodos a priori basados en los componentes del producto.

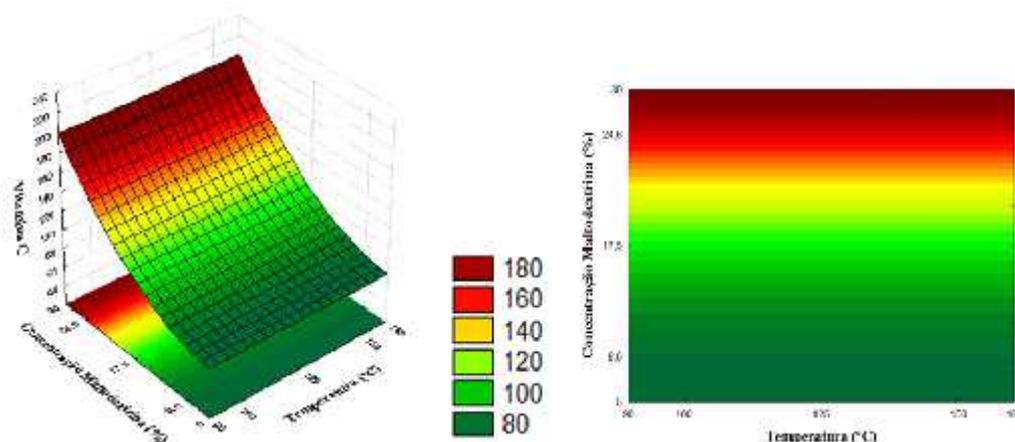


Figura 24: Superficie de respuesta y contorno de pulpa de Copoazú comercial.

Fuente: estudio realizado por Pereira L. 2013. Campinas.

La figura 24 señala el estudio realizado por Pereira 2013, Se observa que la temperatura del aire de entrada en el secador no mostró influencia en la vitamina C. Esto contradice con los resultados obtenidos por Ángel *et al.*, (2009).

4.4. Determinación de humedad del polvo de copoazú

Los contenidos de Humedad obtenidos en cada ensayo de secado se presentan en la Tabla 17, junto con la temperatura de entrada del aire y la concentración de maltodextrina referente a la planificación experimental. El contenido de humedad es una importante respuesta, pues a través de ella se analiza la eficiencia de secado, e influye directamente en la temperatura de transición vítrea (T_g) de los productos secos

Tabla 17: Contenido de Humedad del polvo de la pulpa de Copoazú, secado por atomización.

Ensayo	Temperatura (°C)	Maltodextrina D10 (%)	Humedad (%)
1	178	7	2.55 ± 0.008
2	122	7	3.76 ± 0.009
3	130	8	3.19 ± 0.009
4	150	4	1.55 ± 0.012
5	150	7	2.98 ± 0.008
6	170	8	3.97 ± 0.462
7	130	5	2.55 ± 0.009
8	150	7	3.54 ± 0.014
9	150	9	4.42 ± 0.005
10	170	5	1.78 ± 0.008

± Desviación estándar.

Fuente: Laboratorio de Análisis Nutricional de Alimentos UNA (2017).

Los valores de contenido de humedad de los polvos de pulpa de Copoazú encapsulados con maltodextrina D10, variaron de 1.55 ± 0.012 % a 4.42 ± 0.005 % referentes a los ensayos 4 (150°C de T entrada, y 4% de CMA) y al ensayo 9 (150°C de T entrada y 9% de CMA) de la planificación experimental. Los ensayos 4 y 9 presentan el mayor y menor valor del porcentaje de humedad obtenido del polvo de pulpa de Copoazú. En el trabajo, Publicado por Pereira (2013), trabajo con pulpa de Copoazú comercial secado en atomizador de laboratorio, encontró valores de 1,30 a 3,55% es los ensayos (160 °C y 17.5% CMA) y (90 ° C y 5% CMA) respectivamente para la pulpa de Copoazú comercial, Los cuales son similares a los obtenidos en este trabajo.

El estudio realizado por Goula *et al.*, (2003), el contenido de humedad de los polvos de pulpa de tomate vario de 3.11% a 9.43%. Este estudio se basa en el control de la temperatura de secado y velocidad de aire comprimido, encontró un aumento en la humedad del polvo con el aumento de la tasa de flujo de aire de secado.

Cabe señalar, la energía disponible para la evaporación varía de acuerdo con la cantidad de aire de secado. Esto podría dar la impresión de que el flujo de aire de secado debe ser máximo en todos los casos. Sin embargo, el movimiento del aire predetermina la velocidad y el grado de evaporación de gotitas al influir, el paso de la pulverización a través de la zona de secado, la concentración de producto en la región de las paredes de la secadora y la medida en que gotas semisecos vuelven a entrar en las áreas calientes alrededor del aire dispersado. Una velocidad menor de flujo de aire de secado causa un aumento en el tiempo de permanencia del producto en la cámara de secado según Masters (1979) e impone los efectos de la circulación Goula (2004); Oakley (1991). En tiempos de residencia, a mayor velocidad del aire de secado disminuye el tiempo de residencia del producto en la cámara de secado, conduce a mayores contenidos de humedad en los polvos.

Sin embargo, el contenido de humedad muestra una disminución con un aumento en el flujo de aire comprimido debido al efecto de este flujo el tamaño de partícula media disminuye (Nath, 1998). Como se forman partículas más pequeñas, el aire no puede penetrar en el centro del patrón de pulverización (Liang, 1991). Esto reduce la mezcla de calor y el aire debería hacer que las tasas de secado disminuyan. Sin embargo, el secado es facilitado por tamaños de partícula más pequeños para dos razones. En primer lugar, una mayor superficie proporciona más superficie en contacto con el medio de calentamiento y más superficie de donde puede escapar la humedad. Segundo, más pequeñas partículas reducen la distancia que el calor debe viajar al centro de las partículas y reducir la distancia por el cual la humedad debe salir del centro de las partículas a la superficie y salir al exterior.

Cuanto más seco es el aire, más rápida es la velocidad de secado la Temperaturas de transición de fase y estado determinadas experimentalmente de componentes de alimentos sugieren que, en la deshidratación de líquidos durante la evaporación de gotitas con sustancias disueltas, la rápida eliminación del agua da como resultado la vitrificación del gotitas en un corto tiempo, y la formación de un

superficie de partículas sólidas (Roos 2003), De acuerdo con (Downton 1982), durante el secado por atomización, el requisito principal es que una superficie de partícula sólida se forma rápidamente, aumentando viscosidad superficial y disminución de la adherencia de partículas entre ellos o en las superficies de la secadora.

Tabla 18: Análisis de los efectos y estimaciones de Humedad, en el polvo de Copoazú.

Factor	Efecto	Error Estándar	t(4)	p
Media/Interacción.	2.982921	0.332505	8.97106	0.000854
(1)Temperatura (°C)(L)	-0.524021	0.329385	-1.59091	0.186840
Temperatura (°C)(Q)	-0.133116	0.445100	-0.29907	0.779782
(2)Maltodextrina D10 (%) (L)	1.600182	0.290823	5.50225	0.005320
Maltodextrina D10 (%) (Q)	-0.015772	0.338597	-0.04658	0.965080
1L by 2L	0.598660	0.440142	1.36015	0.245390

R-sqr = 0.89589; MS Residual = 0.2043786

Fuente: Elaboración propia (2017).

La tabla 18 muestra el efecto de las variables temperatura de sacado y concentración de maltodextrina D10, sobre el contenido de humedad, la concentración de maltodextrina tuvo un efecto significativo ($p < 0.005$) sobre el contenido de humedad del polvo de Copoazú, la interacción temperatura y maltodextrina presentó una influencia significativa $P= 0.000854$ sobre el contenido de humedad para los polvos de la pulpa de Copoazú, mostrando una influencia significativa con un nivel de confianza del 95 %.

A continuación, se presenta mediante la figura 25, el efecto de temperatura y maltodextrina D 10 sobre el contenido de humedad del polvo de Copoazú. A medida que incrementa la concentración de maltodextrina incrementa la humedad.

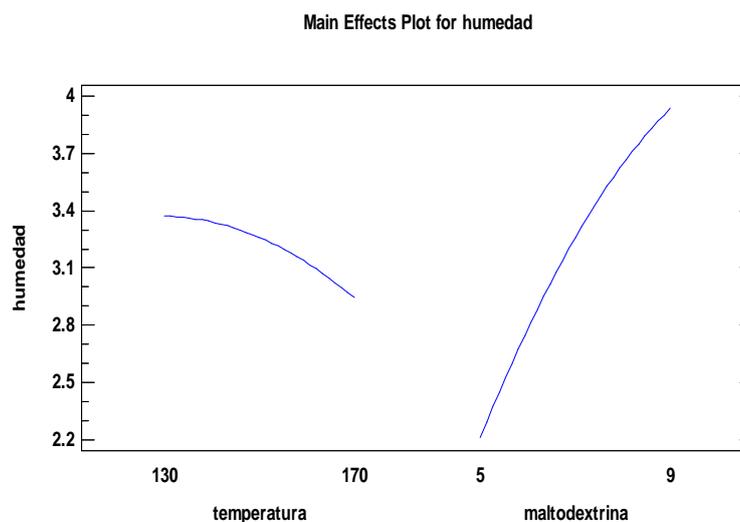


Figura 25: Efecto de temperatura y maltodextrina en la humedad del polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Tabla 19 se presenta el análisis de varianza de contenido de humedad en polvo de Copoazú. A si mismo muestra la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. Son significativamente diferentes de cero en el nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo tal como está instalado explica 89% de la variabilidad en humedad. El estadístico R ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra la desviación estándar de los residuos de 0.2043786

Tabla 19: Análisis de varianza de Contenido de humedad, en el polvo de Copoazú.

Factor	SS	MS	F	p
(1)Temperatura (°C)(L)	0.517279	0.517279	2.53099	0.186840
Temperatura (°C)(Q)	0.018280	0.018280	0.08944	0.779782
(2)Maltodextrina D10 (%) (L)	6.187516	6.187516	30.27478	0.005320
Maltodextrina D10 (%) (Q)	0.000443	0.000443	0.00217	0.965080
1L by 2L	0.378103	0.378103	1.85001	0.245390
Error	0.817514	0.204379		
Total SS	7.850490			

ANOVA; R-sqr = 0.89589; MS Residual = 0.2043786

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Tabla 20 se presenta el coeficiente de regresión ajustado para la humedad del polvo de Copoazú.

Tabla 20: Coeficiente de regresión del modelo ajustado para Humedad, en el polvo de Copoazú.

Factor	Coeficiente Regresión	Error Estándar	t(4)	p
Media/Interacción.	7.317199	15.92440	0.459496	0.669742
(1)Temperatura (°C)(L)	-0.028037	0.17428	-0.160871	0.879993
Temperatura (°C)(Q)	-0.000166	0.00056	-0.299069	0.779782
(2)Maltodextrina D10 (%)(L)	-0.917691	1.46764	-0.625285	0.565686
Maltodextrina D10 (%)(Q)	-0.003505	0.07524	-0.046581	0.965080
1L por 2L	0.009978	0.00734	1.360152	0.245390

R-sqr = 0.89589

Fuente: Elaboración propia (2017).

Este panel muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Humedad} = 7.317199 - 0.028037T - 0.000166T^2 - 0.917691M - 0.003505M^2$$

Donde:

T: temperatura de secado.

M: concentración de maltodextrina DE10.

Donde los valores de las variables se especifican en sus unidades originales.

La Figura 26 muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno generadas a través de los modelos propuestos para la Humedad del polvo de Copoazú secado por atomización.

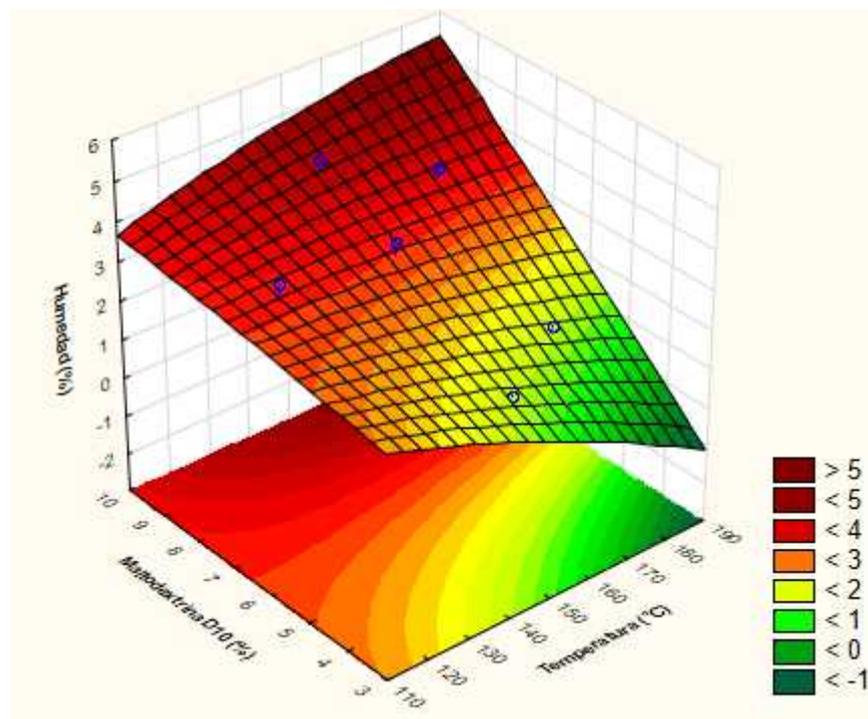


Figura 26: Superficie de respuesta de la variación de Humedad, en el polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017)

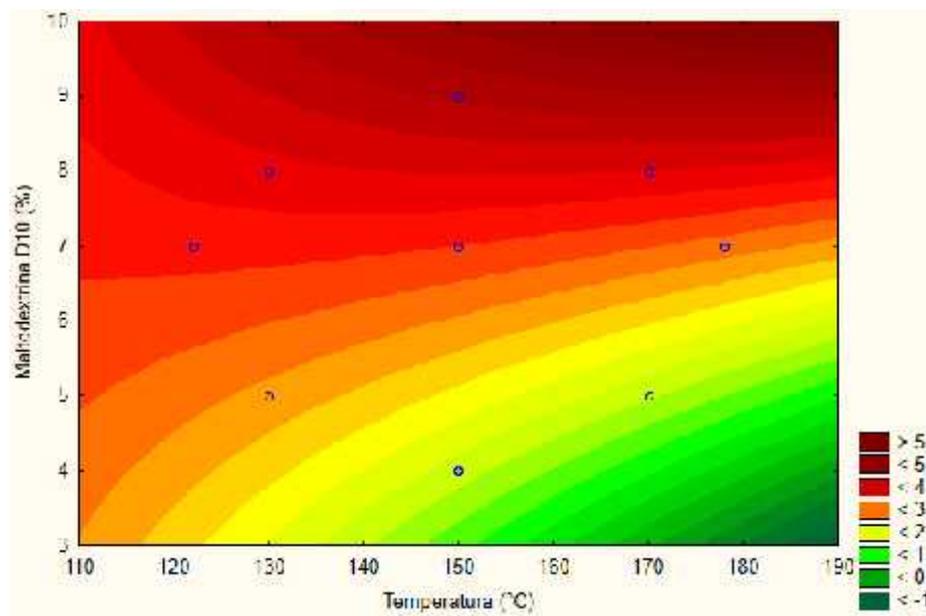
Se estima, a medida que incrementa la CMD se obtiene altos niveles de humedad ($4.42 \pm 0.005\%$) corresponde a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 9% de CMD y se obtiene bajo nivel de humedad ($1.55 \pm 0.012\%$) con temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 9% de CMD, según ala figura 26 de contorno para este estudio, estima la región rojo oscuro como la zona de experimentos que se obtiene mayor nivel de humedad ($4 < \text{humedad} < 5$), temperaturas de 50

hasta 190 °C y CMD 9% y 10%, en la zona más aclarado (amarillo) se obtiene bajo nivel de humedad ($1 < \text{humedad} < 3$), indica a menor concentración de encapsulante de 3 a 5%, temperatura de secado de 130 a 160 °C y se obtiene bajo nivel de humedad en los polvos, ello es comparable con el estudio realizado por Caez (2012), señalo los porcentaje de humedad de los polvos de mango obtenidos fue de $2,096 \pm 0,04$; $2,030 \pm 0,108$; $2,286 \pm 0,007$ para los ensayos a 120, 140 y 160°C respectivamente. Con este porcentaje de humedad no se favorecen fenómenos de agregación y apelmazamiento durante el almacenamiento, según observaciones experimentales a nivel industrial para productos en polvo. Según Lopera *et al.*, (2009), citado por Caez (2012), el porcentaje de humedad aumenta con el incremento del porcentaje de MD, la cual, como cualquier derivado de almidón, presenta una notable capacidad para atrapar y enlazar moléculas de agua a través del grupo hidroxilo.

El estudio realizado por Monroy *et al.*, (2007), observo la influencia del encapsulante y la temperatura en el contenido de la humedad final en un rango de temperatura de 141 a 146 °C con Maltodextrina DE 20 como encapsulante, observo un incremento en el contenido de humedad del polvo disminuyendo la temperatura, pero aún más utilizando Maltodextrina DE 10 como encapsulante.

Según Goula (2008), La adición de maltodextrina disminuye la tasa de secado y cuanto mayor sea su equivalente de dextrosa, menor será la velocidad de secado. En cuanto a la temperatura de las gotitas, inicialmente aumenta a medida que aumenta la proporción de maltodextrina. Por el contrario, después de 0,7 s, cuanto mayor es la proporción de maltodextrina, menor es la temperatura de la gota. Además, cuanto mayor sea el equivalente de dextrosa, La temperatura de la gota es menor.

La Figura 27, muestra la curva de contorno generadas a través de los modelos propuestos para % Humedad de los polvos de Copozú.



Contours of Estimated Response Surface

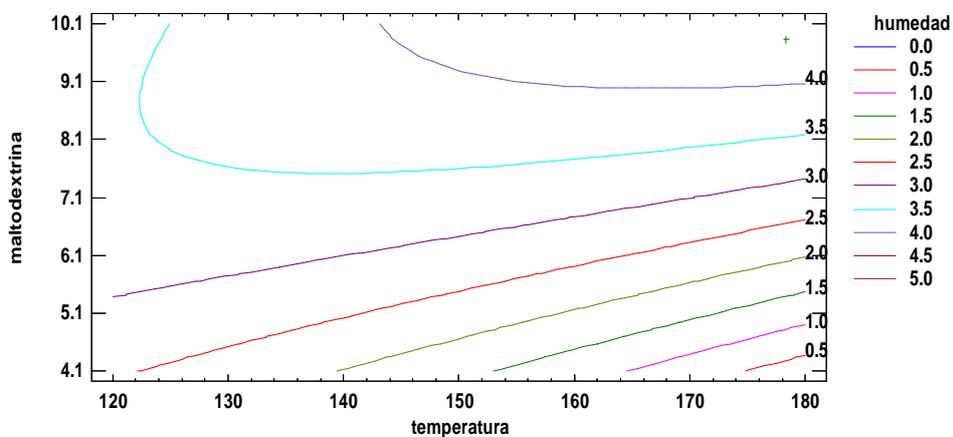


Figura 27: Curva de contorno para los resultados de contenido de Humedad, en el polvo de pulpa de Copozú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

4.5. Rendimiento del polvo de Copoazú.

Los rendimientos obtenidos en cada ensayo de secado se muestran en la Tabla 21, junto con la temperatura de entrada del aire, y la concentración de maltodextrina referente a la planificación experimental. Se observa un rendimiento máximo de 82.56 % y el menor de 24.87 %, referentes a los ensayos 5 (150°C de T entrada, y 7% de CMA) y al ensayo 1 (178°C de T entrada y 7% de CMA) de la planificación experimental. Los ensayos 5 y 1 presentan el mayor y menor valor del porcentaje de rendimiento de los polvos obtenido de la pulpa de Copoazú. En el trabajo, En el trabajo, Publicado por Pereira (2013), trabajo con pulpa de Copoazú comercial secado en atomizador de laboratorio, determino valores de 25.62 a 40.22% como valores mínimos y máximos de la prueba (125 °C y 17.5% CMA) y (160 ° C y 17.5% CMA) respectivamente. El rendimiento es un parámetro de mide la cantidad de polvo de copoazú obtenido por cada 100g. de muestra de solución de pulpa de copoazú que se sometió al secado por atomización.

Tabla 21: Rendimiento del polvo de la pulpa de Copoazú secado por atomización.

Ensayo	Temperatura (°C)	Maltodextrina D10 (%)	Rendimiento (%)
1	178.00	7.00	24.87
2	122.00	7.00	42.24
3	130.00	8.00	38.08
4	150.00	4.00	47.29
5	150.00	7.00	82.56
6	170.00	8.00	47.45
7	130.00	5.00	45.74
8	150.00	7.00	40.03
9	150.00	9.00	70.97
10	170.00	5.00	41.94

Fuente: Elaboración Propia (2017).

La tabla 22 muestra el efecto de las variables temperatura de sacado y concentración de maltodextrina D10, sobre el rendimiento de secado para la obtención del microencapsulado de la pulpa de copoazú.

Tabla 22: Análisis de los efectos y estimaciones del Rendimiento del polvo de Copoazú, secado por atomización.

Factor	Efecto	Error Estándar	t(4)	p
Media/interaccion.	62.1525	12.65046	4.91306	0.007969
(1)Temperatura (°C)(L)	-5.3722	12.53176	-0.42868	0.690231
Temperatura (°C)(Q)	-29.9334	16.93422	-1.76763	0.151859
(2)Maltodextrina D10 (%)(L)	-8.2911	11.06463	-0.74933	0.495320
Maltodextrina D10 (%)(Q)	-3.2582	12.88224	-0.25292	0.812796
1L por 2L	3.8659	16.74560	0.23086	0.828748

R-sqr=0.52564

Fuente: Elaboración propia (2017)

La tabla 22 muestra el efecto de las variables temperatura de sacado y concentración de maltodextrina D10, sobre el rendimiento, la interacción de temperatura de secado y CMD tuvo un efecto significativo ($p < 0.005$) sobre el rendimiento del polvo de Copoazú, $P = 0.007669$, mostrando una influencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

según Gharsallaoui, (2007) citado por Caez (2012), el rendimiento en el proceso de secado por atomización se encuentra influenciado fundamentalmente por variables de operación del secador, como la atomización y el caudal de la bomba de alimentación, de forma que el rendimiento en peso aumenta al aumentar el caudal. La temperatura de entrada del aire también tiene efectos en las partículas, a valores menores de 140°C, puede afectar las interacciones partícula-partícula y el contenido de humedad final, produciendo aglomeraciones y partículas de mayor tamaño.

En la figura 28 se muestra el efecto de la temperatura de secado y la CMD, sobre el rendimiento de los polvos obtenidos del secado por atomización de la pulpa de Copoazú.

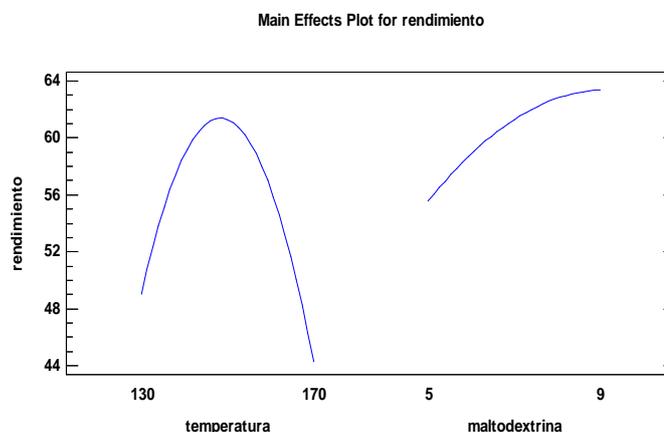


Figura 28: Efecto de temperatura y maltodextrina en el rendimiento del polvo obtenido del Copoazú, secado por atomización.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Se estima a medida que incrementa la CMD incrementa los niveles de rendimiento, mientras la temperatura de secado llega a un pico máximo y decrece de esta manera perjudicando el nivel de rendimiento de los polvos de pulpa de Copoazú.

En la Tabla 23 se presenta el análisis de varianza del rendimiento de secado por atomización de la pulpa de Copoazú, muestra la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. Son significativamente diferentes de cero en el nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo tal como está instalado explica 52.564% del rendimiento. El estadístico R ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra la desviación estándar de los residuos de 295.8363.

Tabla 23: Análisis de varianza del rendimiento del polvo de Copoazú, secado por atomización.

Factor	SS	MS	F	p
(1)Temperatura (°C)(L)	54.366	54.3657	0.183770	0.690231
Temperatura (°C)(Q)	924.346	924.3462	3.124519	0.151859
(2)Maltodextrina D10 (°C)(L)	166.112	166.1118	0.561499	0.495320
Maltodextrina D10 (°C)(Q)	18.924	18.9242	0.063969	0.812796
1L by 2L	15.767	15.7675	0.053298	0.828748
Error	1183.345	295.8363		
Total SS	2494.617			

ANOVA; R-sqr=0.52564; MS Residual=295.8363

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Tabla 24 se presenta el coeficiente de regresión ajustado para el rendimiento del polvo de Copoazú.

Tabla 24: Coeficiente de regresión del modelo ajustado para el rendimiento, en el polvo de Copoazú.

Factor	Coeficiente Regresión	Error Estándar	t(4)	p
Media/interacción.	-709.385	605.8584	-1.17088	0.306642
(1)Temperatura (°C)(L)	10.672	6.6307	1.60947	0.182799
Temperatura (°C)(Q)	-0.037	0.0212	-1.76763	0.151859
(2)Maltodextrina D10 (°C)(L)	-3.016	55.8375	-0.05401	0.959514
Maltodextrina D10 (°C)(Q)	-0.724	2.8627	-0.25292	0.812796
1L por 2L	0.064	0.2791	0.23086	0.828748

R-sqr = 0.52564.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Este panel muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Rendimiento} = -709.385 + 10.672T - 0.037T^2 - 3.016M - 0.724M^2$$

Donde:

T: temperatura de secado.

M: concentración de maltodextrina DE10.

Donde los valores de las variables se especifican en sus unidades originales.

La Figura 29 muestra la superficie de respuesta y las curvas de contorno generadas a través de los modelos propuestos de humedad del polvo de Copoazú secado por atomización.

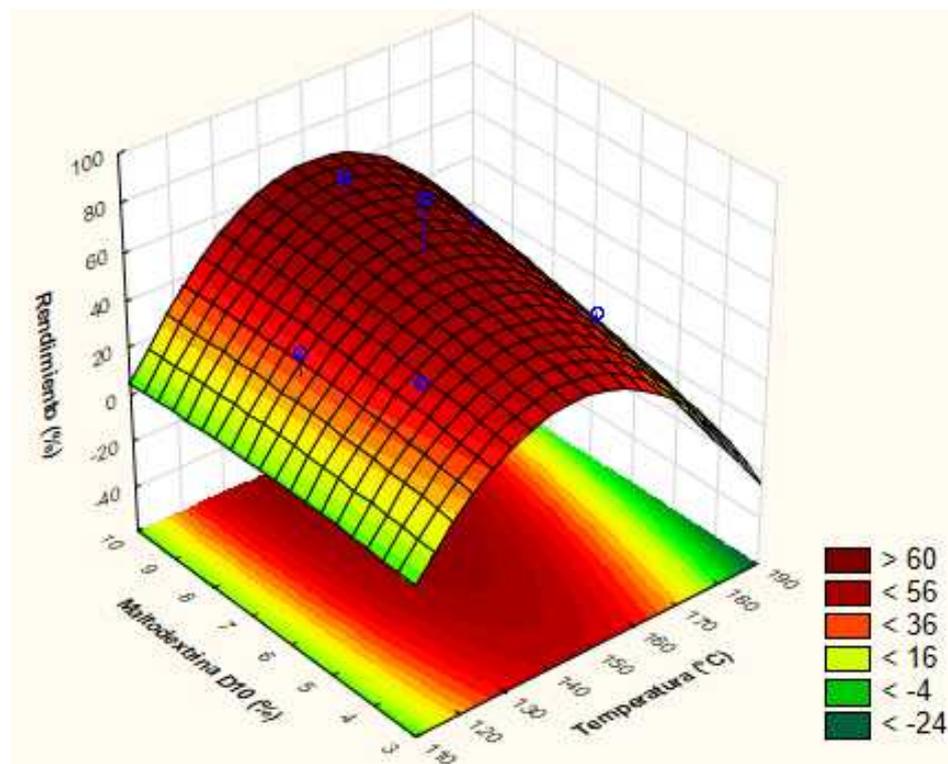


Figura 29: Superficie respuesta de la variación del rendimiento, del polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Se estima, que se obtiene rendimientos superiores a 60 % con CMD de 6 a 10 %, con temperatura de 140 °C a 170 °C, sin embargo, se obtiene un óptimo a 150 °C y 7% de concentración de maltodextrina D 10, según la figura 30 de contorno para este estudio, estima temperatura de secado

de 140 a 170 °C y CMD de 6 a 10 %, se obtiene rendimientos entre 56 % y 60%.

La Figura 30, muestra la curva de contorno generadas a través de los modelos propuestos para el rendimiento de los polvos obtenido de secado por atomización.

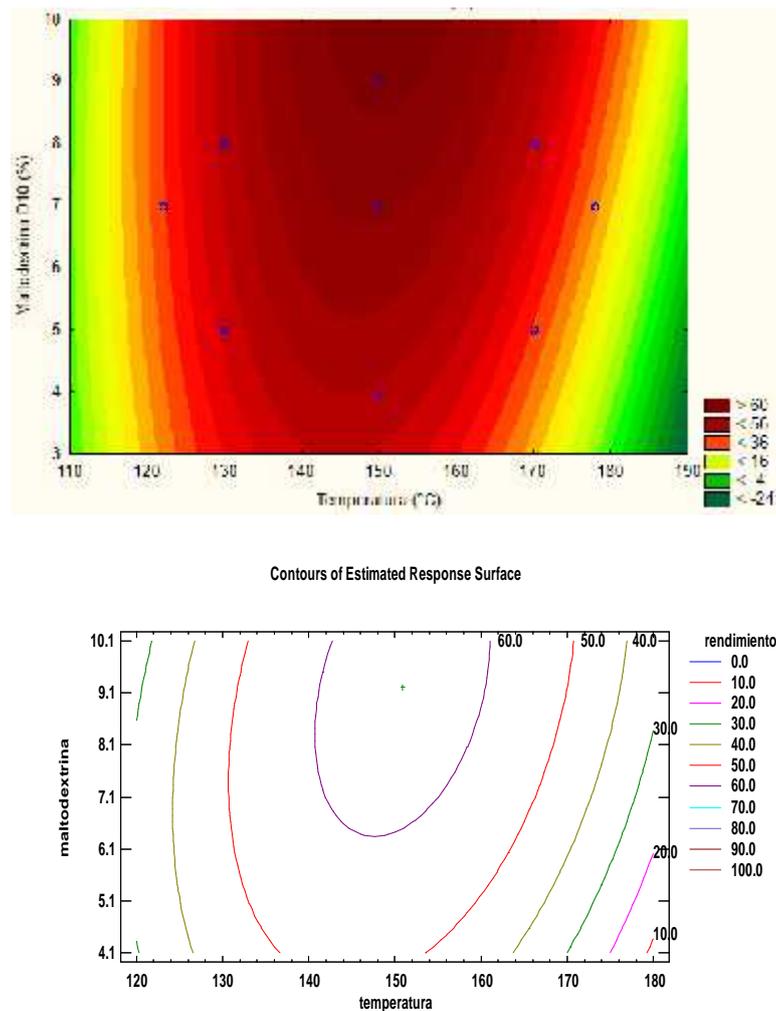


Figura 30: Curva de contorno para los resultados de rendimiento, en el polvo de pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017)

El estudio realizado por *Tee et al., 2012*, secado por pulverización del extracto de *Piper betle L.* (Sirih). El rendimiento del proceso incremento con un aumento en la temperatura del aire de entrada. Esto se debe a que, a una temperatura de entrada más alta, hay una mayor eficiencia

de proceso de transferencia de calor y masa y conduce a un mayor rendimiento del proceso. Esto está de acuerdo con el resultado informado por *Tonon et al.*, 2008, que estaba trabajando en el secado por aspersión de betacianina y acacia de *Amaranthus* respectivamente. El rendimiento del proceso disminuyó al aumentar la velocidad de flujo de alimentación. Esto es probablemente debido a la lentitud del calor y la masa transferencia con mayor velocidad de flujo de alimentación. Además, cuando se usaban velocidades de flujo de alimentación más altas, se pasaba parte de la alimentación directamente a la cámara sin atomización, lo que resulta en un mayor desperdicio del proceso y un menor rendimiento del proceso. *Toneli et al.*, 2006, que estaban trabajando con secado por atomización de inulina también observaron un aumento en la producción en masa con disminuyendo las velocidades de la bomba, que es un índice de flujo de alimentación más bajo.

Sin embargo, en el estudio realizado por *Arrazola et al.*, 2014, Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.), quien extrajo antocianinas de la cascara de Berenjena, las variables de temperatura y flujo de alimentación tuvieron influencia significativa, el mayor rendimiento fue de 90.74% (se trabajó a 180 °C de temperatura y 30% de concentración de maltodextrina). Según el trabajo realizado por *Bakowska et al.*, 2011. Citado por *Arrazola*, obtuvieron un rendimiento mayor de 86% (con encapsulante maltodextrina DE 11, a 150 °C de temperatura de secado), el rendimiento disminuyó entre 72.6% y 55.1% (con encapsulante maltodextrina DE 11, a 180 °C y 205 °C de temperatura de secado respectivamente). Los tratamientos con bajos niveles de maltodextrina formaron adherencia de polvo en las paredes del secador, *Valduga et al.*, 2008, señaló que estos problemas se deben a la presencia de alto flujo de alimentación y un elevado contenido de solutos con relación al encapsulante.

En este estudio el mejor rendimiento del proceso se obtuvo a 150 °C (82.56%) y el rendimiento más bajo fue de 24.87% a 178 °C. el bajo rendimiento es debido a que la viscosidad de la muestra era alta por la presencia de azúcares, el rendimiento mejora con mayor adición de

encapsulantes tal como lo señala los estudios de referencia de Tonon *et al.*, 2008; Tee *et al.*, 2012, el rendimiento más bajo es de 26.06% (trabajo a 15% maltodextrina, temperatura de secado 170°C) se debió a la adhesión y aglomeración de partículas de polvo y pérdidas en el ciclón. Bhandari 2011, realizó el secado de Arrayan por atomización obtuvo un rendimiento de 55.3 % con maltodextrina a 11° brix y 150 °C de temperatura de secado.

Según Rivas *et al.*, 2010 citado por Caez 2012, Estudios previos reportan que la concentración de maltodextrina (MD) mayores de 50% b.s., se obtienen productos con características indeseables, por lo tanto, es ideal trabajar con concentraciones inferiores. Finalmente se puede concluir, el rendimiento de los polvos de Copoazú se optimizan con el aumento de concentración de maltodextrina tal como lo señalan los autores mencionados de referencia.

CONCLUSIONES

- ✓ Se logró microencapsular pulpa de Copoazú (*T. Grandiflorum*), desarrollando un análisis para cada tratamiento incluyendo las dos variables temperatura de entrada al secador y concentración de Maltodextrina D 10, siendo asistido por un equipo de atomización con tobera neumática.
- ✓ Se determinaron las propiedades físico – químicas de la pulpa de Copoazú, valores que se aproximan a los valores referenciales obtenidos por Villachica (1996) e INIAP (2008), siendo relevante el porcentaje de humedad, el mismo que ascendió a $86,12 \pm 0.033$ % y la presencia de Carbohidratos con $9,86 \pm 0.003$ % y Vitamina C con $25,67 \pm 0.000$ % de la pulpa de Copoazú (*T. Grandiflorum*).
- ✓ Las variables independientes elegidas para este estudio, temperatura de entrada de aire, concentración de Maltodextrina D10, explicaron más del 66% la variabilidad de la respuesta. El aumento de la temperatura y concentración de Maltodextrina aumenta el rendimiento en producto, incrementa el nivel de humedad del polvo de Copoazú y protege a los compuestos bioactivos. Según Lopera *et al.*, (2009), el porcentaje de humedad aumenta con el incremento de la dextrosa equivalente y porcentaje de MD, la cual, como cualquier derivado de almidón, presenta una notable capacidad para atrapar y enlazar moléculas de agua a través del grupo hidroxilo.
- ✓ Para obtener un producto con una retención mejorada del rendimiento de vitamina C y menor contenido de humedad de la microcápsula de Copoazú, las condiciones elegidas para la producción de partículas fueron de 7% de concentración de maltodextrina y 150 ° C temperatura del aire de admisión; Las condiciones de secado por atomización evaluada son capaces de preservar el contenido de vitamina C. Las partículas de maltodextrina tienen mejor estructura morfológica y la retención de vitamina C.

- ✓ La Temperatura de secado fue la variable que presentó diferencia significativa ($p < 0.05$), para el contenido de Vitamina C, mientras que la concentración de maltodextrina presentó diferencia significativa para los niveles de humedad óptimo. Sin embargo, la interacción de temperatura y microencapsulante maltodextrina D 10 presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), para el contenido de vitamina C (123 ± 2.720 mg/100g a 150°C temperatura de entrada, 7 % CMD), contenido de Humedad (1.55 ± 0.012 % a 150°C temperatura de entrada, 4 % CMD) y rendimiento (82.56 % a 150°C temperatura de entrada, 7 % CMD).

- ✓ la interacción de las variables de estudio (temperatura de secado y la concentración de maltodextrina D 10) para el estudio de las condiciones de secado de la pulpa Copoazú en el atomizador presentó diferencia significativa ($p < 0.05$), para la Vitamina C ($p = 0.000636$), para la humedad del polvo de Copoazú ($p = 0.000854$) y para el rendimiento de los polvos de Copoazú ($p = 0.007969$), el análisis estadístico señala la influencia significativa de las interacciones de las variables independientes. Las mejores condiciones de operación para obtener mayor contenido de vitamina C ($123 \pm 2,720$ mg/100g de polvo de copoazú), mayor rendimiento de secado (82.56 %) y menor contenido de humedad ($1.55 \pm 0,012$ %) fue a 150°C de temperatura de secado y 7 % de concentración de maltodextrina D10.

SUGERENCIAS

- Se recomienda realizar el microencapsulado de la pulpa de Copoazú con otros agentes encapsulante como la goma arábica, CMC, etc.
- Para evaluar el efecto de otras variables del proceso como la temperatura de la pasta en la entrada del atomizador, el flujo de aire comprimido, la tasa de flujo de alimentación de la solución a ser secada, y el uso de un dispositivo que permite fijar el estudio de otros niveles de las variables de proceso, para optimizar todas las respuestas deseadas.
- realizar una limpieza exhaustiva al término de cada corrida en el equipo para la obtención de todo el producto seco.
- para realizar nuevas investigaciones de secado de otras soluciones tomar como materia prima, una concentración mínima de 10 % a 15 % de sólidos totales.
- realizar un monitoreo continuo de la tobera neumática para evitar obstrucción por la presencia de partículas insolubles como las fibras.
- recolectar las muestras secas en recipientes oscuros para evitar la pérdida de compuestos bioactivos por la presencia de luz.
- se recomienda realizar investigaciones para determinar temperatura de secado de otras soluciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Truong, V. (2003). Characterization of the Surface Stickiness of Fructose–Maltodextrin Solutions During Drying. *Drying Technology*, 21(1), 17–34. <https://doi.org/10.1081/DRT-120017281>
- Alves, R. M., Sebbenn, A. M., Artero, A. S., Clement, C., & Figueira, A. (2007). High levels of genetic divergence and inbreeding in populations of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Tree Genetics and Genomes*, 3(4), 289–298. <https://doi.org/10.1007/s11295-006-0066-9>
- Arshady, R. (2008). Microcapsules for food. *Journal of Microencapsulation*, 10(4), 413–435. <https://doi.org/10.3109/02652049309015320>
- Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (1993). Spray Drying of Concentrated Fruit Juices. *Drying Technology*, 11(5), 1081–1092. <https://doi.org/10.1080/07373939308916884>
- Caez, F.K.M, Jaraba, N. (2012). Microencapsulación del jugo de mango (*mangifera indica* L.) para la obtención de un concentrado con la utilización de maltodextrina como material pared. *Universidad de Cartagena, Industrias Alimentarias.*, 1–85.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Casanova, F. R. (2013). Efecto de la temperatura de secado y concentración de encapsulante en el rendimiento y concentración de Vitamina C del jugo de *Myrciaria Dubia* (Camu-Camu) atomizado. *Universidad Nacional de La Amazonia Peruana*.
- Costa, M. P., Frasao, B. S., Silva, A. C. O., Freitas, M. Q., Franco, R. M., & Conte-Junior, C. A. (2015). Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 1–9. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9738>
- Dolinsky, A., Maletskaya, K., & Snezhkin, Y. (2000). Fruit And Vegetable

- Powders Production Technology On The Bases Of Spray And Convective Drying Methods. *Drying Technology*, 18(3), 747–758. <https://doi.org/10.1080/07373930008917735>
- Enriquez, E. R. (2013). Highly nutritious agroindustrial products from Bolivia 's Amazon region. *Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE)*.
- Faber, M., & Yuyama, L. K. (2015). Nectar Mix Functional Based on Amazonian Fruits. *Journal of Cell Science & Therapy*, 06(01), 1–7. <https://doi.org/10.4172/2157-7013.1000197>
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>
- Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. *Drying Technology*, 31(4), 470–478. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.742103>
- Ferrari, C. C., Ribeiro, C. P., & Aguirre, J. M. de. (2012). Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(2), 157–165. <https://doi.org/10.1590/s1981-67232012005000009>
- Gabas, A. L., Telis, V. R. N., Sobral, P. J. A., & Telis-Romero, J. (2007). Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.029>
- García, A., & López, A. (2012). *Biopolimeros.pdf*. Retrieved from <http://www.udlap.mx/>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- González-Manzano, S., González-Paramás, A. M., Delgado, L., Patianna, S., Surco-Laos, F., Dueñas, M., & Santos-Buelga, C. (2012). Oxidative Status

- of Stressed *Caenorhabditis elegans* Treated with Epicatechin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8911–8916. <https://doi.org/10.1021/jf3004256>
- Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00235-1)
- Hennigs, C., Kockel, T. K., & Langrish, T. A. G. (2001). New Measurements Of The Sticky Behavior Of Skim Milk Powder. *Drying Technology*, 19(3–4), 471–484. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103929>
- Kenyon, M. M. (1995). *Modified Starch, Maltodextrin, and Corn Syrup Solids as Wall Materials for Food Encapsulation*. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0590.ch004>
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Troncoso, A. M., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(4), 726–732. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). *Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops*. 20, 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Luna, J. J., López, J. M., Jiménez, O., & Luna, L. (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersion. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10).
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x>
- Martins, V. B. (2008). *Perfil sensorial de suco tropical de cupuaçu (Theobroma grandiflorum Schum) com valor calórico reduzido*. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- Masters, H. P. (1987). Spray Drying Handbook. *AIChE Journal*, 33(1), 172–173. <https://doi.org/10.1002/aic.690330131>
- McNamee, B. F., O’Riorda, E. D., & O’Sullivan, M. (1998). Emulsification and

- Microencapsulation Properties of Gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4551–4555. <https://doi.org/10.1021/jf9803740>
- Monica, M. A, Mandarim, C. A, et al. (2003). Vitamina C. *SciELO*, 18(1), 7–12. <https://doi.org/10.1590/S0365-05962003000300002>
- Mujumdar, A. S. (1988). Handbook of Industrial Drying. *Drying Technology*, 6(3), 571–573. <https://doi.org/10.1080/07373938808916399>
- Murga, R. E. (2014). Estudio del secado por atomización de la pulpa de Guayaba (psidium guajaval.) del ecotipo rosado. In *Univerddidad Agrari a de la Selva, Tingomaria*. Retrieved from <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/313>
- Organización del Tratado de Cooperación Amazónica. (1999). *Copoasu [Theobroma grandiflorum]: Cultivo y utilización*. 142.
- Porte, A., Rezende, C. M., Antunes, O. A. C., & Maia, L. H. (2010). Redução de aminoácidos em polpas de bacuri (*Platonia insignis* Mart), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd ex-Spreng Schum) e murici (*Byrsonima crassifolia* L.) processado (aquecido e alcalinizado). *Acta Amazonica*. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672010000300017>
- Pugliese, A. G., Tomas-Barberan, F. A., Truchado, P., & Genovese, M. I. (2013). Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of theobroma grandiflorum (Cupuassu) pulp and seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2720–2728. <https://doi.org/10.1021/jf304349u>
- Ré, M. I. (1998). Microencapsulation by Spray Drying. *Drying Technology: An International Journal*, 16(6), 1195–1236. <https://doi.org/10.1080/07373939808917460>
- Reineccius, G. A. (1989). Flavor encapsulation. *Food Reviews International*, 5(2), 147–176. <https://doi.org/10.1080/87559128909540848>
- Riveros, C. A. (2015). Estabilidad de vitamina C del zumo atomizado de aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.) utilizando distintos encapsulantes. In *Universidad Nacional de Huancavelica*. Retrieved from uri: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/119>
- Roos, Y., & Karel, M. (1991). Plasticizing Effect of Water on Thermal Behavior and Crystallization of Amorphous Food Models. *Journal of Food Science*,

- 56(1), 38–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb07970.x>
- Rosenberg, M., Kopelman, I. J., & Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(5), 1288–1294. <https://doi.org/10.1021/jf00095a030>
- Salgado, H., Lourenço, L., Sousa, C., & Araújo, E. (2013). Dessert made from cupuassu fruit on eastern amazon: Preparation and shelf life. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 391–398. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00658.x>
- Santos, G. M., Maia, G. A., Sousa, P. H. M., Figueiredo, R. W., Costa, J. M. C., & Fonseca, A. V. V. (2010). Atividade antioxidante e correlações com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. *Ciência Rural*, 40(7), 1636–1642. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000103>
- Sapei, L., & Hwa, L. (2014). Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.008>
- Schrooyen, P. M., van der Meer, R., & De Kruif, C. G. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 60(4), 475–479. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12069400>
- Shishir, M. R. I., Taip, F. S., Aziz, N. A., & Talib, R. A. (2014). Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium Guajava*) Powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.011>
- Sinchi Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, & PRONATTA, P. N. de T. de T. A. (2000). *Manejo poscosecha y transformacion de frutales nativos promisorios de la Amazonía colombiana* (Produmedios, Ed.). Bogotá.
- Soares, E. C., Oliveira, G. S. F. De, Maia, G. A., Monteiro, J. C. S., Silva Jr., A., & S. Filho, M. D. S. De. (2006). Desidratação Da Polpa De Acerola (*Malpighia Emarginata* D.C.) Pelo Processo “Foam-Mat.” *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. <https://doi.org/10.1590/s0101->

20612001000200008

- Souza, A. L. R., Hidalgo-Chávez, D. W., Pontes, S. M., Gomes, F. S., Cabral, L. M. C., & Tonon, R. V. (2018). Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *LWT - Food Science and Technology*, 91(January), 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.053>
- Thies, C. (2005). Microencapsulation. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. <https://doi.org/10.1002/0471238961.1309031820080905.a01.pub2>
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Tonon, R. V., Freitas, S. S., & Hubinger, M. D. (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. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00518.x>
- Tsourouflis, S., Flink, J. M., & Karel, M. (1976). Loss of structure in freeze-dried carbohydrates solutions: Effect of temperature, moisture content and composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27(6), 509–519. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740270604>
- Vriesmann, Lúcia C., Silveira, J. L. M., & Petkowicz, C. L. de O. (2010). Rheological behavior of a pectic fraction from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 312–317. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.08.013>
- Vriesmann, Lúcia Cristina, & Petkowicz, C. L. (2009). Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): Structural characterization of a pectic fraction. *Carbohydrate Polymers*, 77(1), 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.12.007>
- yañez, J., Salazar Montoya, J. A., Chaires Martinez, L., Jiménez-Hernández, J., & Ramos-Ramírez, E. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y Perspectiva*, 21(January), 313.

ANEXOS

Anexo 1: Resultado del análisis Proximal.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Ciudad Universitaria, Av. Sesquicentenario N° 1150, Telf.: (051)599430 / IP: 10301 / (051) 366060

LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS N° 0017-2017-EPIA-FCA

SOLICITANTE : ELDER OCHOA HUAMAN
 CODIGO : 09200011
 TITULO DE PROYECTO DE INVESTIGACION : "Secado por Atomización de la Pulpa de Copoazu (*Theobroma grandiflorum*): Influencia de las variables de proceso en la calidad del producto en polvo"
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS.
 ESCUELA PROFESIONAL : INGENIERIA AGROINDUSTRIAL.
 FACULTAD : INGENIERIA
 PRODUCTO : PULPA DE COPOAZU (*Theobroma grandiflorum*)
 FECHA DE RECEPCION : 30-01-2017
 FECHA DE ENSAYO : 30-01-2017
 FECHA DE EMISION : 03-02-2017

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS FISICO QUIMICOS DE PULPA DE COPOAZU (*Theobroma grandiflorum*) EN BASE HUMEDA

Producto	% Materia Seca	% Humedad	% Ceniza	% Proteína	% Grasa	% Fibra	% Carbohidratos
Pulpa de Copoazu (<i>Theobroma grandiflorum</i>) R1	13,88	86,12	0,60	1,13	1,21	1,08	9,86
R2	13,84	86,16	0,58	1,13	1,21	1,10	9,82
R3	13,92	86,08	0,60	1,13	1,22	1,07	9,90

RESULTADOS DE VITAMINA "C" Pulpa de Copoazu (*Theobroma grandiflorum*)

R1 : 25,67 mg/100g
 R2 : 25,67 mg/100g
 R3 : 25,67 mg/100g

MÉTODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:
- AOAC. 1990

CONCLUSIÓN : Los resultados Físico Químicos y Vitamina "C" están conformes.

Puno, C. U. 03 de Febrero del 2017.

Ing. Oswaldo P. PASI ALCA
 General de Cátedra de Alimentos
 LABORATORIO
 C.I.P. 110025

E-mail: direccion.epiaj@unap.edu.pe

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional UNA (2017).

Anexo 2: Resultado de Vitamina C, Humedad de la microcápsula de Copoazú.



LABORATORIO DE EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS N° 0016-2017-EPIA-FCA

SOLICITANTE : ELDER OCHOA HUAMAN
 CODIGO : 09200011
 TITULO DE PROYECTO DE INVESTIGACION : "Secado por Atomización de la Pulpa de Copoazú (*Theobroma grandiflorum*): Influencia de las variables de proceso en la calidad del producto en polvo"
 PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS.
 ESCUELA PROFESIONAL : INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
 FACULTAD : INGENIERIA
 PRODUCTO : MICROENCAPSULADO DE PULPA DE COPOAZU (*Theobroma grandiflorum*)
 ANALISIS SOLICITADO : VITAMINA "C" Y HUMEDAD
 FECHA DE RECEPCION : 30-01-2017
 FECHA DE ENSAYO : 30-01-2017
 FECHA DE EMISION : 03-02-2017

RESULTADOS:

De acuerdo al Informe de los Análisis de Laboratorio que obra en los archivos los resultados son:

RESULTADOS DE VITAMINA C Y HUMEDAD							
Numero de Análisis	Muestra	GASTO 1 (Muestra)	GASTO 2 (Ac. Oxálico)	Volumen corregido	Peso Muestra g	Vitamina C mg/100g	% Humedad
01	E-1 R1	0.25	0.00	0.16	0.5	53.44	2.54
	E-1 R2	0.26	0.00	0.17	0.5	56.78	2.56
	E-1 R3	0.25	0.00	0.16	0.5	53.44	2.55
02	E-2 R1	0.31	0.00	0.22	0.5	75.48	3.75
	E-2 R2	0.29	0.00	0.2	0.5	66.8	3.75
	E-2 R3	0.30	0.00	0.21	0.5	70.14	3.77
03	E-3 R1	0.2	0.00	0.11	0.5	36.74	3.18
	E-3 R2	0.2	0.00	0.11	0.5	36.74	3.20
	E-3 R3	0.21	0.00	0.12	0.5	40.08	1.54
04	E-4 R1	0.35	0.00	0.26	0.5	66.84	1.55
	E-4 R2	0.35	0.00	0.26	0.5	66.84	1.57
	E-4 R3	0.36	0.00	0.27	0.5	70.18	2.97
05	E-5 R1	0.47	0.00	0.37	0.5	123.58	2.99
	E-5 R2	0.47	0.00	0.37	0.5	123.58	2.98
	E-5 R3	0.47	0.00	0.37	0.5	123.58	4.80
06	E-6 R1	0.35	0.00	0.26	0.5	66.84	4.80
	E-6 R2	0.36	0.00	0.27	0.5	70.18	3.92
	E-6 R3	0.36	0.00	0.27	0.5	70.18	3.92
07	E-7 R1	0.45	0.00	0.36	0.5	120.24	3.54
	E-7 R2	0.45	0.00	0.36	0.5	120.24	3.56
	E-7 R3	0.46	0.00	0.37	0.5	123.58	3.54
08	E-8 R1	0.45	0.00	0.36	0.5	120.24	3.52
	E-8 R2	0.46	0.00	0.37	0.5	123.58	3.55
	E-8 R3	0.47	0.00	0.38	0.5	126.92	3.55
09	E-9 R1	0.5	0.00	0.42	0.5	106.88	4.41
	E-9 R2	0.5	0.00	0.42	0.5	106.88	4.42
	E-9 R3	0.5	0.00	0.42	0.5	106.88	4.42
10	E-10 R1	0.46	0.00	0.37	0.5	123.58	1.77
	E-10 R2	0.45	0.00	0.36	0.5	120.24	1.79
	E-10 R3	0.46	0.00	0.37	0.5	123.58	1.78

CONCLUSIÓN

: Los resultados de Vitamina C y Humedad están conformes.
 Puno, C. U. 03 de Febrero del 2017.


 Ing. OCHOA HUAMAN, ALCA
 Sorrel de Córdova y Ferrer
 LABORATORIO
 C.I.P. 160023

E-mail: direccion.epiai@unap.edu.pe

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional UNA (2017).

Anexo 3: Datos Obtenidos del Secado de Copoazú por Atomización.

Tabla 3.1. Porcentaje de humedad de la microcápsula de pulpa de Copoazú.

Ensayo	T _{ent} (°C)	(°brix)	C _{MA} (%)	Flujo de Alimentación (ml/seg.)	Humedad del polvo (%).	Promedio Humedad del polvo (%).
1	178	8.3	7	0.70	2.54	2.55 ± 0.008
	178	8.3	7	0.70	2.56	
	178	8.3	7	0.70	2.55	
2	122	8.6	7	0.70	3.75	3.76 ± 0.009
	122	8.6	7	0.70	3.75	
	122	8.6	7	0.70	3.77	
3	130	9.8	8	0.70	3.18	3.19 ± 0.009
	130	9.8	8	0.70	3.20	
	130	9.8	8	0.70	3.20	
4	150	9.7	4	0.70	1.54	1.55 ± 0.012
	150	9.7	4	0.70	1.55	
	150	9.7	4	0.70	1.57	
5	150	9.4	7	0.70	2.97	2.98 ± 0.008
	150	9.4	7	0.70	2.99	
	150	9.4	7	0.70	2.98	
6	170	9.4	8	0.70	4.30	3.97 ± 0.462
	170	9.4	8	0.70	4.30	
	170	9.4	8	0.70	3.32	
7	130	4.5	5	0.70	2.54	2.55 ± 0.009
	130	4.5	5	0.70	2.56	
	130	4.5	5	0.70	2.54	
8	150	8.7	7	0.70	3.52	3.54 ± 0.014
	150	8.7	7	0.70	3.55	
	150	8.7	7	0.70	3.55	
9	150	10	9	0.70	4.41	4.42 ± 0.005
	150	10	9	0.70	4.42	
	150	10	9	0.70	4.42	
10	170	9	5	0.70	1.77	1.78 ± 0.008
	170	9	5	0.70	1.79	
	170	9	5	0.70	1.78	

Fuente: laboratorio UNA Puno 2017.

Tabla 3.2. Resultado de los ensayos realizados para la determinación de vitamina C, de la microcápsula de pulpa de Copoazú.

A*	Muestra	GASTOS 1 (Muestra)	GASTOS 2 (Ac. Oxálico)	Volumen corregido	Peso Muestra g.	Vitamina C mg/100g	Promedio vitamina C (mg/100g)
1	E-1 R1	0.25	0.09	0.16	0.5	53.44	54.55 ± 1.574
	E-1 R2	0.26	0.09	0.17	0.5	56.78	
	E-1 R3	0.26	0.09	0.16	0.5	53.44	
2	E-2 R1	0.31	0.09	0.22	0.5	73.48	70.14 ± 2.727
	E-2 R2	0.29	0.09	0.2	0.5	66.80	
	E-2 R3	0.30	0.09	0.21	0.5	70.14	
3	E-3 R1	0.20	0.09	0.11	0.5	36.74	37.85 ± 1.574
	E-3 R2	0.20	0.09	0.11	0.5	36.74	
	E-3 R3	0.21	0.09	0.12	0.5	40.08	
4	E-4 R1	0.35	0.09	0.26	0.5	86.84	87.95 ± 1.574
	E-4 R2	0.35	0.09	0.26	0.5	86.84	
	E-4 R3	0.36	0.09	0.27	0.5	90.18	
5	E-5 R1	0.47	0.09	0.37	0.5	123.58	123.58 ± 0.00
	E-5 R2	0.47	0.09	0.37	0.5	123.58	
	E-5 R3	0.47	0.09	0.37	0.5	123.58	
6	E-6 R1	0.35	0.09	0.26	0.5	86.84	89.07 ± 1.574
	E-6 R2	0.36	0.09	0.27	0.5	90.18	
	E-6 R3	0.36	0.09	0.27	0.5	90.18	
7	E-7 R1	0.45	0.09	0.36	0.5	120.24	121.35 ± 1.57
	E-7 R2	0.45	0.09	0.36	0.5	120.24	
	E-7 R3	0.46	0.09	0.37	0.5	123.58	
8	E-8 R1	0.45	0.09	0.36	0.5	120.24	123.58 ± 2.72
	E-8 R2	0.46	0.09	0.37	0.5	123.58	
	E-8 R3	0.47	0.09	0.38	0.5	126.92	
9	E-9 R1	0.50	0.09	0.32	0.5	106.88	106.88 ± 0.00
	E-9 R2	0.50	0.09	0.32	0.5	106.88	
	E-9 R3	0.50	0.09	0.32	0.5	106.88	
10	E-10 R1	0.46	0.09	0.37	0.5	123.58	122.47 ± 1.57
	E-10 R2	0.45	0.09	0.36	0.5	120.24	
	E-10 R3	0.46	0.09	0.37	0.5	123.58	

* A: Análisis

Fuente: laboratorio UNA Puno 2017.

Tabla 3.3. Parámetros de entrada para cada ensayo para el secado por atomización de la pulpa de Copoazú.

Ensayo	Solidos Solubles (°brix)	Maltodextrina D 10 (%)	Flujo de Alimentación (ml/seg.)	Temperatura (°C)	
				T. entrada	T. salida
1	4.5	7	0.7	178	59
2	4.5	7	0.7	122	46
3	4.5	8	0.7	130	53
4	4.5	4	0.7	150	57
5	4.5	7	0.7	150	58
6	4.5	8	0.7	170	59
7	4.5	5	0.7	130	50
8	4.5	7	0.7	150	49
9	4.5	9	0.7	150	46
10	4.5	5	0.7	170	47

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 3.4. Parámetros de entrada para cada ensayo para el secado por atomización de la pulpa de Copoazú.

Muestras de Solución de pulpa de Copoazú.				
Ensayo	°Brix de solución	Peso(g)	Humedad (%)	Solidos (%)
1	8.3	376	91.35	8.65
2	8.6	364	93.02	6.98
3	9.8	388	93.33	6.67
4	9.7	396	92.64	7.36
5	9.4	362	96.15	3.85
6	9.4	358	96.15	3.85
7	4.5	378	94.42	5.58
8	8.7	394	94.74	5.26
9	10	376	95.63	4.37
10	9	374	94.64	5.36

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 3.5. Humedad, peso y rendimiento del polvo de Copoazú secado por atomización de la pulpa de Copoazú.

polvo de Copoazú		
Peso(gramos)	Humedad (%)	Rendimiento (%)
8.3	2.55	24.87
11.15	3.76	42.24
10.18	3.19	38.08
14	1.55	47.29
11.86	2.98	82.56
6.81	3.97	47.45
9.9	2.55	45.74
8.6	3.54	40.03
12.2	4.42	70.97
8.56	1.78	41.94

Fuente: Elaboración propia (2017).

Anexo 4: Detalle de las Normas Usadas para los Análisis de Alimentos.

CODIGO	TEMA	FECHA
NTP 203.070:1977	Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de la acidez	1977
NTP 203.072:1977	Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de los sólidos solubles.	1977
NTP 206.017:1981	Galletas. Determinación del porcentaje de grasa.	1981
NTP 206.011:1981	Biscochos, galletas, pastas. Determinación de humedad	1981
NTP 203.069:1977	Productos elaborados a partir de frutas y otros vegetales. Determinación de la densidad relativa.	1977
AOAC 981.12 ISO11289: 1993	Frutas y hortalizas elaboradas. Determinación de pH, principio potenciometría.	1993
AOAC 15.1990	Determinar el contenido de cenizas totales en diversos alimentos.	1990
AOAC 15.1995	Determinar fibra dietética total en diversos tipos de alimentos por método enzimático-gravimétrico.	1995
AOAC 1995	Determinar proteína en diversos tipos de alimentos por método Kjendahl	1995

AOAC: Association of Official Analytic Chemist.

NTP: Norma Técnica Peruana.

Fuente: Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), 2003

Anexo 5: Fotografías del estudio de Secado del Copoazú por Atomización.



Figura 5.1: Materia prima: Copoazú (*Theobroma Grandiflorum*).

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.2: Refinado y tamizado de la pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.3: Determinación de Humedad de la pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.4: Determinación de ° brix de la pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.5: Pesado y dilución de la Maltodextrina D10.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.6: Homogenización (Maltodextrina D10 y pulpa de Copoazú), pesado de la muestra final.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.7: Muestras de pulpa de Copozú listos para el Secado por Atomización.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.8: Recolección de la Muestra seca (Polvo) de la pulpa de Copozú.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.9: Muestras seca (Polvo) de la pulpa de Copoazú.

Fuente: Elaboración propia (2017).



Figura 5.10: Codificación de las Muestra seca (Polvo) de la pulpa de Copoazú, obtenidas para su análisis de Vitamina C y Humedad.

Fuente: Elaboración propia (2017).