



UNAP



FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

TESIS

**OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL DE *Bixa orellana* L. (ACHIOTE)
POR ASPERSIÓN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR:
ANTONIO BARDALES CURTO**

ASESORES:

**Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Ing. ALBERTO JOSÉ BAZÁN FERRANDO, MSc.**

IQUITOS, PERÚ

2019



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela Profesional de
Ingeniería en Industrias Alimentarias

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CGT-FIA-UNAP-2019

A los 29 días del mes de marzo de 2019, a horas.....12:00....., en las instalaciones de la Sala de Reuniones de la Decanatura, ubicado en el Campus SL11 Puerto Almendra de la Facultad de Industrias Alimentarias sito al margen derecho del rio Nanay, San Juan Bautista, dando inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada "**OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL DE *Bixa orellana* L. (ACHIOTE) POR ASPERSIÓN**", presentado por el Bachiller **ANTONIO BARDALES CURTO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal Nº 060-FIA-UNAP-2019 del 05 de marzo de 2019, está integrado por:

Ing. ROGER RUIZ PAREDES, Dr.
Blga. JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE, Mtra.
Ing. ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE, Mgr.

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente

El Jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis han sido: aprobadas..... con la calificación bueno.....

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Siendo las 13:00 horas se dió por terminado el acto de sustentación.

Presidente
Ing. ROGER RUIZ PAREDES, Dr.
CIP: 41754

[Signature]

Miembro
Blga. JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE, Mtra.
CBP: 2584

[Signature]

Miembro
Ing. ALFONSO MIGUEL RIOS CACHIQUE, Mgr.
CIP: 211418

[Signature]

Asesor
Ing. ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO, Dr.
CIP: 451671

[Signature]

Asesor
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
CIP: 71113

[Signature]

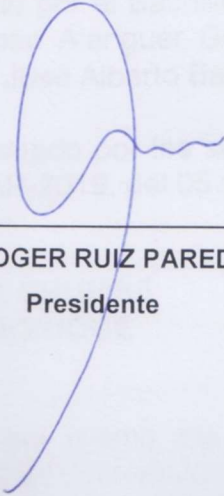
Asesor
Ing. ALBERTO JOSÉ BAZÁN FERRANDO, MSc.
CIP: 69126



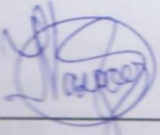
MIEMBROS DEL JURADO

Tesis aprobada en sustentación pública el 29 de marzo de 2019 por el jurado nombrado por la Dirección de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias para optar el título de:


INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



Ing. ROGER RUIZ PAREDES
Presidente



Elga. JESSY PATRICIA VÁSQUEZ CHUMBE
Miembro



Ing. ALFONSO MIGUEL RÍOS CACHIQUE
Miembro



Ing. Alenguer Gerónimo Alva Arévalo, Dr.



Ing. Jorge Luis Carranza Gonzales, MSc.



Ing. Alberto José Bazán Ferrando, MSc.

Doc vs Internet + Library

64.51% Originality	35.49% Similarity	302 Sources
--------------------	-------------------	-------------

Web sources: 214 sources found

1. http://ribuni.uni.edu.ni/1299/1/40023.pdf	5.07%
2. https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055/37055	3.38%
3. https://docplayer.es/15199531-Revision-microencapsulacion-de-alimentos.html	3.38%
4. https://www.perucondor.com/articulos/es_achiote01.htm	2.79%
5. https://www.buenastareas.com/ensayos/Achiote/1250510.html	2.1%
6. http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/5380/HUERTA_LUCERO_ES	1.86%
7. https://docplayer.es/6201764-Escuela-politecnica-nacional.html	1.03%
8. https://www.slideshare.net/1ngellisboa/extraccion-de-achiote	0.91%
9. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4935/Isis_Tesis_Titulo_2017.pdf?seq...	0.82%
10. https://sites.google.com/site/glosariodeornitologia/c	0.72%
11. http://laboratoriocarlosble.blogspot.com/2014/11	0.72%
12. http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/954/pfc3022.pdf;sequence=1	0.67%
13. https://docplayer.es/17113790-Obtencion-de-microencapsulados-funcionales-de-zumo-de-opuntia...	0.67%
14. http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microencapsulac...	0.64%
15. http://fiiai-pe.blogspot.com/2013/10/liofilizacion.html	0.63%
16. https://docplayer.es/55635018-Luis-alberto-aranda-rengifo.html	0.45%
17. https://vdocuments.site/compendio-resumenes-de-tesis-unap-1987-2007.html	0.43%
18. http://informasi-statistika-ofick.blogspot.com/2012/01/cara-analisa-dengan-regresi-linear.html	0.39%
19. https://www.sabermas.umich.mx/secciones/articulos/468-microencapsulacion-de-sabores-y-arom...	0.37%
20. http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4105/Jena_Tesis_Titulo_2016.pdf?s...	0.32%
21. https://revistaeciperu.files.wordpress.com/2016/08/revistaeciperuvol10num165eci2013igalarza.pdf	0.31%
22. http://lastentacionesdelossantos.blogspot.com/2015/12/metodos-de-conservacion-de-alimentos.h...	0.26%
23. http://redinformativacomunitariadecuba.blogspot.com/2009/02	0.26%
24. https://www.universidad-une.com/contenido/b7e465255_archivo_guia_estudio.pdf	0.26%
25. https://docplayer.es/65823428-Universidad-nacional-de-la-amazonia-peruana.html	0.26%
26. http://jurnalmanajemen.petra.ac.id/index.php/man/article/viewFile/16140/16132	0.21%
27. https://buleria.unileon.es/xmlui/bitstream/handle/10612/826/2009ON-SALVA%20RUIZ,%20BETT...	0.21%
28. http://www.ijbssnet.com/journals/Vol_3_No_20_Special_Issue_October_2012/5.pdf	0.21%
29. https://unamaticaseltigre.blogspot.com/2013/03	0.21%
30. http://uadoc.zavantag.com/text/14556/index-1.html	0.21%
31. http://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol16-issue1/Version-4/K016148093.pdf	0.21%
32. http://onlinestatbook.com/2/analysis_of_variance/anova.pdf	0.21%
33. https://unamaticaseltigre.blogspot.com/search/label/regresi%C3%B3n%20lineal	0.21%
34. http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/254066/2/14-R-Sangeetha.pdf	0.21%

 Similarity	 Citation
 Similarity from a chosen source	 References
 Possible character replacement	

Esta tesis se la dedico a Dios que me permite estar vivo y me da fortaleza para enfrentar nuevos retos.

A mis hermanos que con su fuerza moral y amor me impulsan a sobrellevar los obstáculos, a mis hijos cuya perseverancia me inspira a culminar los proyectos emprendidos y por su apoyo incondicional en mis decisiones quienes me llenan de dicha y comparten conmigo momentos invaluable que me motivan a proyectarme y seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia en conjunto por demostrarme la veraz e invaluable amistad que me ofrecen, por el apoyo tenaz en los momentos más enrevesados de mi vida y por ser parte importante de mi vida y crecimiento profesional.

A mi asesor Ing. Jorge Luis Carranza Gonzales, Mtro. por su guía en la elaboración de la tesis y por su incondicional amistad.

A los trabajadores de la planta piloto UNAP (Ing. Carlos Tercero Inga Flores, Luis Ermeto Silva Ramos, Téc. Elmer Guevara Pérez, Sec. Mamelina Tuesta Linares, Téc. José Mauro Arimuya Morey y Lic. Alexander Iman Torres); con el apoyo brindado a la hora de ejecutar las pruebas; me facilitaron el trabajo siendo muy profesionales, aprendí mucho con ellos y llegamos a entablar una amistad sincera.

ÍNDICE

	Páginas
Portada	i
Acta de Sustentación	ii
Jurado y Asesores	iii
Resultado del informe de similitud	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice	vii
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Resumen	x
Abstract	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Bases teóricas	5
1.3 Definición de términos básicos	17
CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	19
2.1 Formulación de la hipótesis.	19
2.2 Variables y su operacionalización.	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	20
3.1 Tipo y diseño	20
3.2 Diseño muestral	22
3.3 Procedimientos de recolección de datos	23
3.4 Procesamiento y análisis de los datos	26
3.5 Aspectos éticos	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	36
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	47
CAPITULO VI: CONCLUSIONES	49
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	50
CAPITULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	51
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1 Composición química de la semilla del achiote.	9
Tabla 2 Composición del pigmento del achiote.	10
Tabla 3 Características del material de la pared utilizado para encapsular sabores.	17
Tabla 4 Factores y niveles para la obtención de <i>Bixa orellana</i> L. (achiote) en polvo.	20
Tabla 5 Análisis Físicoquímico del achiote atomizado.	39
Tabla 6 Análisis microbiológicos.	40
Tabla 7 Resultado del análisis estadístico.	41
Tabla 8 Balance de materia del fruto de la <i>Bixa Orellana</i> L. (achiote).	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Cápsula con semillas de achiote.	5
Figura 2 Estructura Molecular de β -caroteno.	8
Figura 3 Diagrama de flujo para la obtención de achiote en polvo. Descripción del diagrama.	23
Figura 4 Diagrama de flujo definitivo para la obtención de polvo de achiote.	36
Figura 5 Análisis de Pareto.	43
Figura 6 Grafica de contorno.	44

Resumen

El fruto de la *Bixa orellana* L. (achiote) es muy apreciada por las personas como un integrante más para la elaboración de sus alimentos, y por los empresarios como un agente proveedor de color natural muy apreciado actualmente, pero como todas las frutas su producción se da por temporadas ocasionando que no se emplee toda la producción sino solo una parte de la misma desperdiándose el resto.

El presente trabajo tuvo como objetivo principal realizar un estudio experimental del comportamiento convectivo durante el secado del *Bixa orellana* L. (achiote) en un secador por aspersion *SD-BASIC SPRAY DRYER* que se encuentra ubicado en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

Para obtener el polvo del *Bixa orellana* L. (achiote) se planteó un arreglo estadístico factorial 2^3 representado por la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_2 X_3,$$

con las siguientes variables de operación como son: temperatura de entrada comprendida entre 180 °C - 200 °C y 100 °C de temperatura de salida para todas las combinaciones, concentración de solvente (KOH) comprendida entre 2 - 4 % y cantidad de Maltodextrina (encapsulante) comprendida entre 8 % - 10 %.

El diagrama de flujo elaborado para la investigación fue: materia prima (achiote), transporte, selección/clasificación, secado (T° 50 °C), extracción (KOH: 2,3 y 4% de concentración), filtración, atomizado (T 190 °C, 195 °C Y 200°C), empacado (bolsas plásticas de alta densidad) y almacenamiento (bolsas plásticas de alta densidad).

A Las muestras atomizadas de los 8 ensayos (más una repetición) realizados de acuerdo al modelo estadístico se les analizo fisicoquímicamente; presentamos los ensayos con mejor rendimiento:

Temperatura 190 °C, KOH al 2% de concentración, concentración de maltodextrina 8 %: Bixina 4.35 mg/100 gr de materia seca, humedad. 5.31 %, ceniza: 2.4 %, grasa: 0.3, proteína: 2.6 %, carbohidratos: 89.4, calorías: 37.8 Kcal.

Temperatura 190 °C, KOH 2% de concentración, concentración de maltodextrina 10 %: Bixina 4.15 mg/100 gr de materia seca, vitamina C: 81.91 mg/100 gr de muestra, humedad. 5.72 %, ceniza: 2.33 %, grasa: 0.35, proteína: 3.50 %, carbohidratos: 88.1, calorías: 369.55 Kcal.

El análisis fisicoquímico usado fue la A.O.A.C (2014).

La calidad final fue caracterizada en función a la cantidad presente de Bixina (%) después del proceso, la pérdida de color determinada por análisis fisicoquímico, las condiciones higiénicas sanitarias mediante análisis microbiológico según el método recomendado por la A.O.A.C (Official Association Chemical Assays).

Palabras clave: *Bixa orellana* L. (achiote), bixina, encapsulante, atomización.

Abstract

The fruit of the *Bixa orellana* L. (achiote) is highly appreciated by people as a member for the preparation of their food, and by entrepreneurs as a supplier agent of natural color very appreciated now, but like all fruits its production it occurs by seasons causing that not all the production is used but only a part of it wasting the rest.

The main objective of this work was to carry out an experimental study of the convective behavior during the drying of *Bixa orellana* L. (achiote) in a SD-BASIC SPRAY DRYER spray dryer located in the Food Engineering Laboratory of the Pilot Plant of the Faculty of Food Industries of the National University of the Peruvian Amazon.

To obtain the powder of *Bixa orellana* L. (achiote) a factorial statistical arrangement 2³ was proposed, represented by the equation:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_2 X_3$$

with the following operating variables such as: inlet temperature between 180 ° C - 200 ° C and 100 ° C outlet temperature for all combinations, solvent concentration (KOH) between 2 - 4% and amount of Maltodextrin (encapsulant) comprised between 8 % - 10 %.

The flow chart prepared for the investigation was: raw material (achiote), transport, selection / classification, drying (T ° 50 ° C), extraction (KOH: 2,3 and 4%), filtration, atomized (T 190 ° C, 195 ° C and 200 ° C), packed (high density plastic bags) and storage (high density plastic bags).

A The atomized samples of the 8 trials (plus one repetition) made according to the statistical model were analyzed physicochemically, we present the trials with the best performance:

Temperature 190 ° C, KOH 2%, concentration of maltodextrin 80 g: Bixin 4.35 mg / 100 gr of dry matter, humidity. 5.31%, ash: 2.4%, fat: 0.3, protein: 2.6%, carbohydrates: 89.4, calories: 37.8 Kcal.

Temperature 200 ° C, KOH 2%, concentration of maltodextrin 80 g: Bixin 4.11 mg / 100 gr of dry matter, vitamin C: 83.35 mg / 100 g of sample, humidity. 5.86%, ash: 2.31%, fat: 0.28, protein: 4.58%, carbohydrates: 82.39, calories: 350.4 Kcal.

The physicochemical analysis used was A.O.A.C (2014).

The final quality was characterized according to the present amount of bixin (%) present after the process, the loss of color determined by physicochemical analysis, sanitary hygienic conditions through microbiological analysis according to the method recommended by the A.O.A.C (Official Association Chemical Assays).

Keywords: *Bixa orellana* L. (achiote), bixin, encapsulant, atomization.

INTRODUCCIÓN

El achiote es una planta que crece en gran cantidad en toda la amazonia peruana. Dentro de la composición de la semilla de achiote el constituyente más destacado es la bixina, utilizado como colorante en diferentes industrias tales como lácticas, alimenticias, cosméticos, farmacéutica, cerámicas, barnices entre otras. La semilla despigmentada por su alto contenido de carbohidratos, proteínas y minerales se utiliza como subproducto alimenticio en la dieta de algunos animales. El uso y consumo de achiote en Nicaragua data desde la época de las tribus nativas que lo utilizaban para pintarse el cuerpo, como repelente de mosquitos y como medicina.

El uso y consumo de achiote en Nicaragua data desde la época de las tribus nativas que lo utilizaban para pintarse el cuerpo, como repelente de mosquitos y como medicina. En la actualidad en Nicaragua se utiliza como condimento alimenticio, preparándose de manera artesanal, moliendo la semilla de achiote entera y seca con maíz, arroz y especias para la obtención en forma de pasta y esta es comercializada en los diferentes mercados populares; sin embargo, también en algunos supermercados bajo diferentes marcas reconocidas.

En la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) no se encontraron estudios relacionados con respecto al aprovechamiento de achiote, con algunas excepciones de proyectos estudiantiles en las ferias tecnológicas de la facultad. Por otra parte, se han realizado en el marco del programa de investigaciones de ingeniería de procesos una serie de trabajos dedicados a estudios de la lixiviación y el secado. El objetivo de estos trabajos ha sido estudiar el efecto de parámetros

como temperatura, relación sólido-solvente, tiempo de agitación, métodos de separación y establecer los balances de materia que se involucran en el proceso. En el caso de secado, al estudio de la cinética de secado de diferentes materiales entre granos, alimentos, semillas, vegetales, madera y fármacos. Los resultados obtenidos de estos trabajos fueron de gran utilidad para sentar las bases de este estudio. La presente investigación comprende el estudio teórico y experimental, del proceso de lixiviación en una sola etapa o lixiviación discontinua para obtener extracto de achiote, evaluando la influencia de la temperatura y relación sólido-solvente. También se pretende evaluar el secado convectivo y la influencia de la temperatura en este. Estos datos serán útiles para comprender el comportamiento característico del procesamiento de achiote ante ciertas condiciones de operación que determinan la cinética de lixiviación y secado, dos de las operaciones determinantes en el aprovechamiento de achiote, Engelhardt (2014).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

No existen muchas investigaciones reportadas sobre el secado de achiote en forma artesanal, sin embargo, si hay publicaciones sobre los métodos de extracción del colorante, las cuales se describen líneas abajo como complemento de la presente investigación.

- El año 2003 Devia J y Saldarriaga L, desarrollaron un estudio para la instalación de una planta piloto de extracción de colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana* L.), logrando obtener un rendimiento del 8 %, con una dilución 1:3 y una concentración de KOH como solvente de 2% con una agitación a 140 rpm por 45 minutos, el extracto fue atomizado para ser convertido en polvo para su almacenamiento y posterior distribución. En los análisis practicados de cromatografía en capa delgada, así como en los espectros infrarrojos y UV-VIS del producto se identifica claramente a la bixina principal compuesto de coloración.
- El año 2006 los investigadores Hernández M, Tirado J, Ramiro A *et al*, investigaron sobre la obtención del colorante de la semilla del achiote utilizando microorganismos celulolíticos, de ellos la cepa *Aspergillus* spp, rindió mejor trabajando a pH 7, cuantificándose en hasta un 80.7 % del pigmento contenido en las semillas empleadas contrastando con el 90 % obtenida por método alcalino sin que la temperatura influya en la actividad celulolítica. Los rendimientos fueron menores a aquellos obtenidos por método alcalino, pero sin

que presente los residuos que están obstaculizando su comercialización. Lo anterior demuestra que el uso de la biotecnología es factible en la obtención de este tipo de aditivos naturales, mucho más seguros, aplicables en la elaboración de alimentos.

- En su estudio de prefactibilidad realizado por Huerta L y Ostos R. el año 2014 a una empresa productora y comercializadora de bixina dirigido al mercado de Japón, se dieron cuenta que ellos prefieren productos saludables y de origen natural. Los japoneses tienen estilos de vida agitados por lo que demandan productos de consumo rápido y sin mucha elaboración. Además, poseen ingresos altos, por lo que están dispuestos a pagar extra por productos que sean beneficiosos para la salud. También se indica que el producto estará dirigido a la industria alimentaria de Japón y al consumidor final. La industria demanda gran cantidad de colorantes naturales para la producción de productos alimenticios (sopas instantáneas, galletas, snacks) y el producto se comercializará en sacos de 10 kg y en frascos de 90 g y sachets de 30 g.

Finalmente concluyen que el proyecto es viable y rentable, lo que se ve reflejado en los indicadores como el VANE, VANF (ambos son mayores a 0), TIRE y TIRF (ambos mayores al WACC y COK respectivamente).

- En su investigación sobre la extracción del colorante de las semillas de *Bixa orellana* L. para uso cosmético, realizado por Ayala C, Castillo E, Alfaro K *et al* (2016), donde investigaron con diferentes concentraciones y combinaciones obteniendo los siguientes

resultados: la mejor relación de extracción semilla/volumen de solvente fue 1:3, con una concentración al 2% de hidróxido de potasio como la concentración de solvente, 60 minutos como tiempo de agitación, y 58°C como la temperatura óptima. El polvo precipita en rangos de pH 2 a 2,5. Las características organolépticas del polvo del colorante obtenido fueron: color anaranjado y rojo ladrillo a concentraciones de 0,5% y 2% p/v respectivamente incrementándose la tonalidad con la concentración de solvente.

1.2 Bases teóricas

Marco Teórico de la materia prima

a) Clasificación científica

Nombre común: ACHIOTE

Nombre Científico: *Bixa orellana* L.

Sub-División: Angiosperma

Clase: Dicotiledónea

Orden: Parietales

Familia: Bixaceae



Figura 1: Capsula con semillas de achiote

Fuente: Revista Sierra exportadora. Perfil comercial Achiote.

b) Origen.

Bixa orellana L. era cultivada en épocas precolombinas desde Brasil y Bolivia hasta México. El nombre popular, "achiote", es el más conocido en el comercio mundial y procedería de la palabra nahuatl "axiotl". Este vegetal sería nativo, según algunos autores, de una región del alto Amazonas en el Brasil, aunque otros lo dicen que es originario de una zona comprendida entre el centro de México y Panamá.

c) Descripción.

El achiote (*Bixa orellana* L.) es un árbol pequeño que pertenece a la familia botánica Bixaceae. Su origen es americano y más específicamente de las zonas tropicales. Su cultivo es ancestral (prehispánico) y se ha extendido a Asia y África.

En el Perú crece en la zona amazónica y su nombre justamente se lo debe al descubridor del río Amazonas: Francisco de Orellana. La planta tiene una altura entre 3-5 m aunque algunos mencionan que puede llegar hasta 10 m. El tallo es cilíndrico recto y su base tiene entre 20-30 cm de diámetro. Las hojas son simples, alternas y de forma acorazonada, palmatinervadas, y tienen estípulas de color marrón rojizo y/o verde oscuro, miden entre 8-20 cm de largo, y 4-15 cm de ancho.

Las flores son medianas, hermafroditas y actinomorfas, agrupadas en panículas terminales de color rosado o blanco, según la variedad.

d) Principios activos:

- **Carotenoides:** Bixina, norbixina, metil-bixina, beta-caroteno, criptoxantina, luteína y zeaxantina., etc. Proteínas, azúcares, celulosa, grasas, vitamina A, B y C; calcio, fierro y fósforo.
- **Mucílagos Taninos.** Las semillas contienen:
- **Lípidos**
- **Acidos:** Linoleico Alfa-linolénico Oleico.
- **Aminoácidos:** Glutamato Aspartato Leucina.
- **Cenizas:** Fósforo Calcio. Hierro Zinc.

Las hojas contienen:

- **Flavonoides:** Bisulfato de apigenina, glucósido de apigenina, bisulfato de hipolaetina, bisulfato de luteolina y diterpenos
- **Acido gálico y pirogalol.**
- **Aceite esencial:** Bixaganeno o iswarano.

Otros principios activos en el achiote son los carotenoides (vitamina A), vitaminas del complejo B, C, leuteína, pectina, norbixina, y glucósido de apigenina.

e) Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos orgánicos que se encuentran de forma natural en plantas. Su color, que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro, se encuentra directamente

relacionado a su estructura: Los enlaces dobles carbono-carbono interactúan entre sí en un proceso llamado conjugación.

Mientras el número de enlaces dobles conjugados aumenta, la longitud de onda de la luz absorbida también lo que produce compuestos con una apariencia más rojiza.

Por ejemplo: β -caroteno

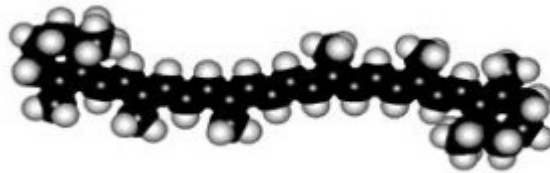


Figura 2: Estructura Molecular de β -caroteno

Es importante mencionar que los carotenoides hidrocarbonados se denominan colectivamente como carotenos, y aquellos que contienen oxígeno se denominan xantofilas. Por lo cual, las xantofilas producen color amarillo, mientras que los carotenoides son anaranjados y rojizos.

f) El fruto

El fruto es una cápsula dehiscente o indehiscente, de forma redonda o hemiesférica, ovoide, elipsoidal o cónica, de 3 a 5 cm de largo y está cubierto de espínulas sedosas que dan el aspecto de cánulas delgadas y puntiagudas, también se encuentran cápsulas de superficie lisa o glabra. Cada fruto contiene de 10 a 40 semillas, las que pueden ser de forma cónica o triangular, de 3 a 4 mm de base y 3 a 4 mm de altura,

las cuales están cubiertas por una membrana fina y blanquecina, debajo de esta se encuentra una capa roja y carnosa en donde se encuentran los pigmentos colorantes o tinte. Conforme madura el fruto aparecen en la superficie de las semillas en papilas rojas que llegan a cubrirlas por completo. El pigmento que se encuentra en las semillas constituye alrededor del 4-5% del peso total de las mismas.

Tabla 1: Composición química de la semilla del achiote.

Composición química (%)	
Humedad	8.0 – 13.0
Proteína	13 – 14.24
Celulosa	13.8
Fibra cruda	18.48
Almidones	11.45
Carbohidratos totales	39.91
Ceniza	4.50 – 7.97
Energía	54 kcal.

Fuente: Devia J, Saldarriaga L (2003).

Tabla 2: Composición del pigmento del achiote.

Composición (g/100 g)	
Proteínas	12.3 – 13.2
Pectina	0.23
Carbohidratos	39.91 – 47.90
Ceniza	5.44 – 6.92
Taninos	0.33 – 0.91
Pentosanos	11.35 – 14.97
Carotenoides	1.21 – 2.30
B-Carotenos	6.8 – 11.30 mg

Fuente: Devia J, Saldarriaga L (2003).

1.2.1 Procesos de secado

1.2.1.1 Secado por Atomización

La obtención de productos en polvo es posible mediante un proceso de secado por atomización, este proceso es capaz de transformar una disolución, emulsión, suspensión o una dispersión líquida en un producto totalmente seco y estable. Siguiendo tres etapas principales:

- a) El líquido se introduce en el equipo por medio de una bomba y se atomiza.
- b) Se elimina el disolvente por medio de una corriente de aire caliente.
- c) Las partículas secas son recepcionadas en un recipiente cerrado.

En este proceso los bajos tiempos que se emplean y el efecto refrigerador debido a la evaporación, posibilita trabajar con productos sensibles a la temperatura (Lozano M, 2009).

1.2.1.2 Productos obtenidos por atomización

Ibarz, A, Barbosa, G, Gasza, S, Gimeno, V (2000), indican que en la industria alimentaria se han obtenido varios productos por atomización como son: café, leche, sopas, alimentos para niños, cuyas características dependen del diseño y de la forma de operar el equipo.

Según Barbosa, G (2000), las aplicaciones mas importantes de la atomización estan relacionadas con el secado de leche, café, té, huevos deshidratados, proteínas de suero, enzimas y microorganismos.

1.2.1.3 Secado por Liofilización

Es un proceso utilizado para la conservación mediante la sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo sensibles, es más fiable en procesos de conservación para productos biológicos más que la congelación y la deshidratación. Sin conservantes o productos químicos, es el proceso más adecuado para para preservar las células, enzimas, vacunas, virus, carnes, peces y alimentos en general. En este proceso no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente. La liofilización no altera la estructura fisicoquímica del material, pero permite su conserva indefinida sin cadena de frío, con menos del 15% de humedad y alta estabilidad microbiológica. A diferencia de lo que ocurre en el secado por calor, con la liofilización en el alimento el encogimiento es mínimo, el aspecto, la textura, el sabor y la aroma no se pierde, se intensifica y se mantienen las características nutricionales. Es ideal para productos que no deban calentarse ni siquiera a temperaturas moderadas (Ramírez, 2007).

1.2.1.4 Secado por lecho fluidizado

El secado en este tipo de equipos permite una operación continua y a gran escala sin llegar al tratamiento excesivo del material. Las altas velocidades de transferencia de calor lo hacen un proceso económico y la carencia de partes mecánicas permite bajos costos de mantenimiento. El rápido mezclado en el lecho, proporciona condiciones cercanas al secado isotérmico (Carrillo, 2008).

1.2.1.5 Secado por bandeja

El secador de bandejas, o también llamado secador de anaqueles, consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar las muestras a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por vapor, pero no saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente.

1.2.2 Encapsulación

Araneda, c., Valenzuela, f. (2009), indican que la encapsulación es un proceso que se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa, y esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs et al., 2006). Según Parra, R (2010) concuerda con lo definido por Yañez, J et al. (2002), quien manifiesta que se utiliza de igual manera el término de

microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente.

1.2.2.1 Aplicaciones y usos

En el área de alimentos, las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, permitiendo mantener su estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios empleados resistan las condiciones de procesamiento y empaque mejorando sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia de sus productos, (Yañez, J *et al*, 2002) citado por Montes, E., (2007).

1.2.2.2 Beneficios de la microencapsulación

Favaro, C *et al* (2010), indican que la técnica de microencapsulación ha permitido solucionar algunos problemas limitando las aplicaciones de ingredientes y aditivos alimenticios, puesto que puede controlar la eliminación de saborizantes, así como reducir volatilidad, higroscopicidad y reactividad incrementando la estabilidad de productos bajo condiciones ambientales adversas.

A continuación, Parra, R (2010) menciona algunas ventajas de este proceso de microencapsulación:

- Permite introducir los componentes activos en una matriz y conservarlos por mayor tiempo.

- Protección de componentes activos sensibles a la luz, radiación UV y humedad.
- Mejora la estabilidad de los materiales que se degradan fácilmente en contacto con el medio ambiente.
- Permite separar componentes incompatibles.
- Enmascara sabores y olores desagradables.
- Permite la liberación controlada del componente activo.
- Facilita el manejo de la sustancia de interés.

1.2.2.3 Sustancias que se encapsulan

Yañez, J *et al* (2002), indican que los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante; así mismo Madene, A (2006) indica que su comienzo en los productos de micro encapsulación se inició en 1950 en las investigaciones dentro de la presión-sensitiva de cubierta para la elaboración de papel destinado a copias.

Hoy en día muchas sustancias pueden ser encapsuladas en partículas en polvo sólidas o ellas pueden ser microencapsuladas en emulsiones estructuradas, Palzer, S. (2009).

Así mismo se pueden micro encapsular un sinnúmero de componentes activos, como vitaminas, minerales, lípidos Roccia, P (2014), carotenos Rocha, G (2011), antocianinas, bacterias Rosas-flores, W., Ramos-Ramírez, E (2013), y aromas con la finalidad de proteger dichos

componentes y garantizar su liberación en el momento en que sea requerida, Eraso, M., y Herrera, A. (2013).

También semillas de frutas como banano, uvas, guayaba, papaya, manzana, mora, granadilla y semillas de cítricos también han sido encapsuladas entre otras sustancias, Rai, M (2009).

1.2.3 Condiciones de operación

Los parámetros más importantes a tener en cuenta son las temperaturas del aire a entrada y salida de la cámara de secado, el flujo de alimentación y acondicionamiento de la materia prima.

Se manifiesta que la temperatura es un parámetro importante ya que influye en las propiedades mecánicas del polímero y desempeña un papel importante en la adhesión del polímero sobre el componente activo. Esto es a medida que aumenta la temperatura lo hace también la fuerza de cohesión del polímero y la de adhesión de la película, Kuang, S, *et al* (2010).

Gharsallaoui, A *et al* (2007). Indican que la temperatura de entrada del aire es directamente proporcional a la velocidad de secado y al contenido de humedad final de agua del producto, entonces si la temperatura es demasiado baja se tendrán partículas con mayor contenido de humedad y tenderán a aglomerarse con facilidad, por otro lado si la temperatura es demasiado alta ocasionara rupturas en la membrana y una liberación temprana del componente activo y por ende su rápido deterioro.

1.2.4 Selección del encapsulante

Una gran cantidad de sustancias de diferentes tipos y propiedades pueden ser útiles para recubrir o encapsular.

Los materiales encapsulantes utilizados en la industria alimentaria (Tabla N° 1) son usualmente biomoléculas derivadas de diversos orígenes como plantas, animales o microorganismos, que se clasifican en tres categorías principales: polímeros de hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Los polímeros de hidratos de carbono son los materiales de encapsulamiento más utilizados en comparación con las proteínas y lípidos, Madene, A *et al* (2006).

Tabla 3: Características del material de la pared utilizado para encapsular sabores.

Material de la pared	Interesar
Maltodextrina (DE <20)	Formación de película
Jarabe de maíz sólido (DE> 20)	Formación de película, reductibilidad.
Almidón modificado	Muy buen emulsionante.
Goma arábica	Emulsionante formador de película
Celulosa modificada	Formación de película
Gelatina	Emulsionante formador de película
Ciclodextrina	Encapsulante, emulsionante.
Lecitina	Emulsionante
Proteína de suero	Buen emulsionante
Grasa hidrogenada	Barrera al oxígeno y al agua

Fuente: Madene, A *et al* (2006).

1.3 Definición de términos básicos

Colorante

Sustancia soluble en agua, capaz de teñir y dar un nuevo color a un tejido, alimento, etc.; puede ser de origen natural o sintético.

Colorante natural

Son extraídos de plantas o animales y pueden teñir desde textiles hasta alimentos, y aún ser usados para la expresión artística.

Colorante sintético

Son derivados del petróleo, una característica principal es que son superiores a los naturales por las propiedades físico-químicas como por las ventajas funcionales que estos muestran tanto en su aplicación como una vez teñidos.

Atomización:

La atomización es un proceso que se utiliza bien para conservar los alimentos líquidos o bien como método rápido de secado. El objetivo

principal es secar (mediante la utilización de aire caliente) los productos lo más rápidamente posible.

Encapsulante:

Agente que absorbe y protege al material central de factores externos, principalmente en aquellas sustancias sensibles al calor, la luz o la humedad y en caso de compuestos altamente reactivos que tienden a oxidarse fácilmente en presencia de oxígeno.

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación de la hipótesis.

La obtención de colorante natural de *Bixa orellana* L. (achiote) por aspersion permitirá tener un producto de buena calidad.

2.2 Variables y su operacionalización.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente			
Concentración de Bixina	<i>La bixina es un colorante natural de las semillas de Bixa orellana, se puede extraer con una solución acuosa de hidróxido de potasio.</i>	Respectivamente en el interior de la fruta y constituyendo químicamente la pared celular.	Porcentaje final contenido en la fruta atomizada.
Independiente			
Temperatura	Parámetro que mide el estado térmico de un cuerpo o sustancia en un determinado momento.	Cuantificación térmica dentro y fuera del atomizador.	Grados Celsius.
Concentración de disolvente KOH.	<i>Compuesto químico inorgánico, siendo una base fuerte de uso común.</i>	Solución para extraer la sustancia colorante.	Concentración empleada (%)
concentración de maltodextrina	Encapsulante para proteger el principio activo de la materia prima.	Almidón modificado para soportar altas temperaturas.	Porcentaje empleado (%)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño

El tipo de investigación será experimental científica. Su característica principal consiste en la correcta manipulación y control de las variables presentes en la investigación.

Tabla 4: Factores y niveles para la obtención de *Bixa orellana L* (achiote) en polvo.

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	nivel (+)
X1: Temperatura de entrada (°C)	190	200
X2: Concentración de KOH (%)	2.0	4.0
X3: Concentración Maltodextrina (%)	8.0	10.0

Representado por el diseño factorial 2^3

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_1X_2 + B_5X_1X_3 + B_6X_2X_3 + B_7 X_1X_2X_3$$

3.1.1 Materiales y metodos

El proyecto de investigación se realizo en las instalaciones de la planta piloto de la facultad de industrias alimentarias de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana con dirección en Av. Augusto Freire N° 610, distrito de iquitos, provincia de Maynas, departamento de Loreto y en los laboratorios de microbiología de alimentos, control de calidad de alimentos y fisicoquímico donde se realizaran las diferentes pruebas de investigación y los analisis respectivos.

3.1.1.1 Materia prima

La materia prima consta de varios fenotipos provenientes del Proyecto de Investigación y Enseñanza “Cultivo y Conservación de Plantas Medicinales Amazónicas” de la Facultad de Agronomía – Zungarococha – UNAP.

Equipos

➤ Equipos del proceso

Atomizador *SD-BASIC Spray Dryer*

Balanza de 20 kg

Balanza digital de 0.1 gr de resolución.

➤ Materiales del proceso

Mesas de acero inoxidable.

Tinas y blades de plástico.

Cucharas

➤ Insumos

Semillas de *Bixa orellana L* (achiote)

Agua potable

➤ Materiales de laboratorio

Solución de KOH al 2, 3 y 4 %

Agitador

Vasos de precipitado

Matraces

3.2 Diseño muestral

El método de la investigación será Descriptivo, de tipo Experimental. se aplicará un diseño factorial 2^3 , con tres factores de estudio: temperatura, concentración de solvente KOH y concentración de maltodextrina, como se detalla a continuación: aplicando la ecuación del modelo estadístico para el cálculo de la concentración final de bixina.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \beta_7 X_1 X_2 X_3$$

Dónde:

X_1 =Temperatura (°C), X_2 = concentración de solvente KOH (%), X_3 = concentración de maltodextrina (%).

El factor X_1 tiene 2 niveles (-1= 190 °C, +1=200 °C), el factor X_2 tiene 2 niveles (-1=2 %, +1= 4 %), el factor X_3 . Tiene 2 niveles (-1=8 %, +1= 10 %), con un rango de aceptación de R^2 (>85%) y el valor de P ($P < 0.05$) o ($F_{cal} > F_{tabla}$).

3.3 Procedimiento para la recolección de los datos experimentales

En la figura 3 se muestra el flujograma seguido para obtener el *Bixa orellana* L (achiote) en polvo obtenido en secador spray, los mismos que se describen en diagrama de flujo de proceso.

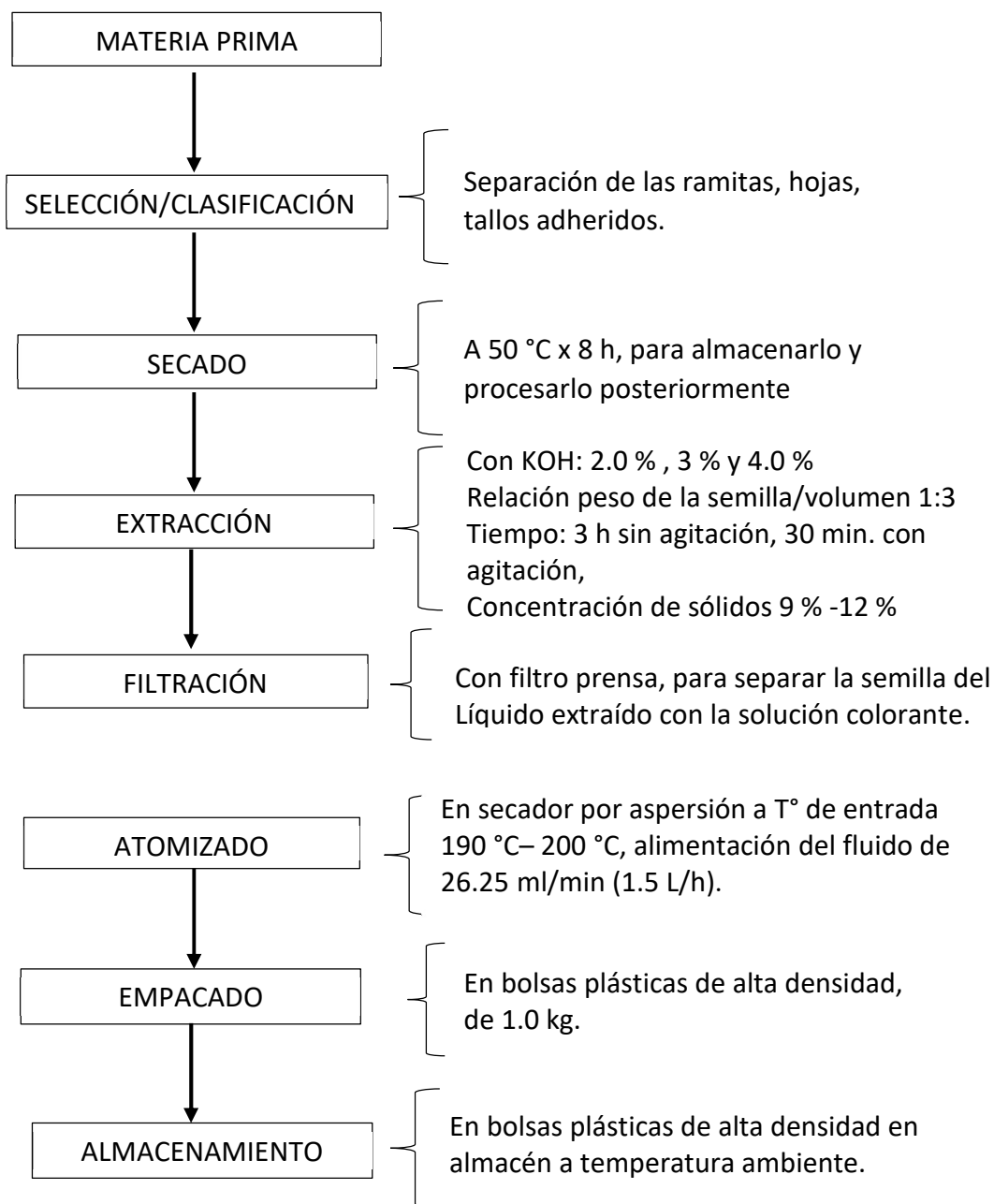


Figura 3: Diagrama de flujo para la obtención de achiote en polvo.

Descripción del diagrama

✓ Materia prima

La fruta es traída de la zona del sembrío del proyecto de investigación de la Facultad de Agronomía en Zungarococha, en capsulas conteniendo las semillas, solo se usarán los que presentes un estado maduro.



✓ Selección/clasificación

Se separarán las capsulas malogradas, las semillas en mal estado, aplastadas, ramitas y hojas, así como otras partículas extrañas al proceso.



✓ Secado

A temperatura de 50 °C, para evitar su descomposición y/o deterioro.



✓ Extracción

En esta etapa se agregará KOH en concentraciones de 2.0 %, 3 % y 4.0 %, en una relación peso de la semilla/volumen 1:3 por un tiempo: 2 h sin agitación por 30 min con agitación.



✓ Filtración

Con filtro prensa, para separar la semilla del líquido extraído con la solución colorante.

✓ Atomizado

En secador por aspersion a T° de entrada 190 °C– 200 °C y una alimentación del fluido de 26.25 ml/min.



✓ Empacado

En bolsas plásticas de alta densidad de 1.0 kg.

✓ Almacenado

A temperatura ambiente.

3.4 Procesamiento y analisis de datos

3.4.1 Análisis realizados al jugo de *bixa orellana* l. (achiote) secados en secador spray

➤ Análisis fisicoquímicos

Fisicoquímico se realizará siguiendo el método oficial de la AOAC

a.) Determinación de Humedad

Se aplicó el método de desecación por estufa de la AOAC 950.46.

Fundamento:

Se determina por el método de la estufa a 105°C hasta obtener peso constante. Es la cantidad de agua que se encuentra en un alimento o parte de una especie, y se expresa en porcentaje.

Procedimiento:

- Pesar la placa seca y enfriada en el desecador.
- Pesar 5 g de muestra y colocarlo en la placa.
- Llevamos la muestra a la estufa a una temperatura de 100-105°C por espacio de 5 a 6 horas.
- Se retira las placas de la estufa, y se coloca en el desecador y se deja enfriar por lo menos 20 minutos, para luego tomar el peso final. Este paso se realiza por triplicado.

Se calcula el contenido de humedad, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{W1 - W2}{WM} \times 100$$

Donde:

W1 = Peso placa con muestra seca.

W2 = Peso de la placa vacío.

WM = Peso de la muestra.

b.) Determinación de Cenizas

Para la determinación de ceniza se utilizó el método de N.T.P. 206.012.

Fundamento:

La ceniza es el residuo inorgánico de una muestra incinerada a 550°C, su cuantificación es el inicio para la determinación los macro y micro minerales en los alimentos; los cuales en el organismo actúan como: Activadores enzimáticos, equilibrio de ácido base, estructuras de los huesos y dientes y componentes de hormonas y vitaminas.

Procedimiento:

- Colocar el crisol limpio en estufa a 100°C durante una hora.
- Colocar el crisol en el desecador para que se enfríe y pesarlo, siempre manipulando con pinzas de metal o guantes para evitar ensuciarlo con la grasa de los dedos.
- Pesar 1.5 a 2.0 g de muestra y colocarlo en el crisol de porcelana.
- Colocarlo en la mufla a temperatura de 550°C por 3-5 horas.
- Cumplido el tiempo de incinerado, retirar el crisol de la mufla cuando la temperatura haya descendido a 100°C; colocarlo en un desecador para que se enfríe.
- Pesar el crisol con las cenizas.

Calculo:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(W1 - W2)}{WM} \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de crisol más muestra (g)

W 2 = Peso crisol (g)

WM = Peso de la muestra (g)

c.) Determinación de Grasas

Para la determinación de grasa se utilizó el método A.O.A.C. 960.39, (1998).

Fundamento:

Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias naturales insolubles en agua, pero solubles en una diversidad de solventes orgánicos, Los componentes más abundantes son los glicéridos (normalmente más del 95%) siendo menores las cantidades de ceras, fosfolípidos, esteroides y vestigios de otros lípidos.

Procedimiento:

- Pesar un balón limpio, seco y frío. Anotar en el registro el peso (g) del balón y el número correspondiente.
- Hacer un cartucho con papel filtro, pesarlo y agregarle 3 a 5 g de muestra seca.

- Colocar el cuerpo del equipo de Soxhlet.
- Agregar hexano hasta que una parte del mismo descienda a través del sifón del quipo hacia el balón, conectar la fuente de calor (cocina eléctrica).
- El solvente (hexano) al calentarse a 69°C se evapora y asciende a la parte superior de la cámara de extracción. Allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al balón por el sifón, arrastrando consigo la grasa por un espacio de 3 horas.
- Se saca el paquete que contiene la muestra desengrasada. El balón debe sacarse del aparato cuando este contiene poco hexano.
- Evaporar el hexano remanente en una estufa a 100°C.
- Sacarlo de la estufa y colocarlo en el desecador.
- Pesar el balón conteniendo la grasa.

El resultado se expresa en porcentaje, calculando según la fórmula:

$$\% G = \frac{P_1 - P_2}{PM} \times 100$$

Donde:

P₁ = Peso del balón más muestra grasa.

P₂ = Peso del balón vacío.

PM = Peso de la muestra.

d.) Determinación de Proteínas

Se aplicó el método Kjeldahl del INTEC-N.T.N.201.021.

Fundamento:

Las proteínas, son polímeros cuyas unidades básicas son aminoácidos. En la molécula de una proteína existen cientos o a veces miles de aminoácidos que se encuentran unidos unos a otros por enlaces peptídicos. En los alimentos por lo general se presentan veinte aminoácidos.

Procedimiento:

Primera etapa: Digestión

- Pesar 0.2 g de muestra seca y adicionar catalizador (1.5 g de sulfato de potasio + 0.005 g de sulfato de cobre) y colocar en el balón de Kjeldahl.
- Adicionar 3.5 ml de H₂SO₄ concentrado.
- Calentar el balón suavemente hasta que cese la formación de espuma.
- Digerir por ebullición vigorosa hasta que el contenido del balón muestre transparencia y de un color ligeramente azul-verdoso (continuar la digestión por 45 minutos) el tiempo total de digestión no debe ser menor de 2 horas.
- La digestión termina cuando el contenido del balón está completamente cristalino.

Segunda etapa: Destilación

- Dejar enfriar la muestra digerida. Luego adicionar 50 ml de agua destilada y colocar en el equipo de destilación. Agregar 15 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 50%.
- Colocar en un Erlenmeyer 20 ml de solución de ácido bórico más 3 gotas de solución indicadora.
- Introducir la salida de vapor del destilador en la solución de ácido bórico contenido en el Erlenmeyer para atrapar el destilado producido. Destilar la muestra hasta obtener 40 ml de volumen final de destilado.
- Titular con HCl a 0.1N el destilado obtenido y anotar el gasto.

El porcentaje de nitrógeno se calculó:

$$\%N_2 = \frac{V \times N \times \text{Factor } N_2}{PM} \times 100$$

Donde:

V = ml de solución 0.1 de ácido Sulfúrico

N = Normalidad corregida solución de ácido

PM = Peso de la muestra

Factor N₂ = 0.014

El porcentaje de Proteína se obtuvo a través de:

$$\% \text{ Proteína} = \% N \times \text{Factor de Proteína}$$

Dónde:

% N = Porcentaje de nitrógeno

Factor de proteína = 6,25

e.) Determinación de Carbohidratos

Para determinar carbohidratos se hizo por diferencia de porcentaje (MINSA, 2009).

Se obtiene por diferencia de porcentaje:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{H} + \% \text{C} + \% \text{G} + \% \text{P})$$

Donde:

%H = Porcentaje de Humedad

%C = Porcentaje de Ceniza

%G = Porcentaje de Grasa

%P = Porcentaje de Proteína

f.) Determinación de fibra total

Para determinar fibra bruta se utilizó la Referencia Técnica: A.O.A.C. 920.39, (1998).

Fundamento:

Para determinar fibra bruta, se utiliza una muestra seca y desengrasada, la cual primero es sometida en una digestión ácida con una solución de ácido sulfúrico al 1.25%, luego el residuo de

este proceso es sometido a una digestión alcalina con solución de hidróxido de sodio al 1,25%.

Procedimiento:

- Pesar 1-2 g de muestra y colocar en un Erlenmeyer de 1 L.
- Añadir 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% que ha sido previamente calentado a ebullición.
- Añadir agente antiespumante o en todo caso perlas de vidrio.
- Hervir suavemente durante exactamente 30 minutos bajo condensador de reflujo, rotando periódicamente los matraces Erlenmeyer para homogenizar el contenido y evitando que las partículas se adhieren a la pared del matraz.
- Filtrar el contenido con embudo de Bunchner (o Hartley) preparado con papel de filtro mojado.
- Arrastrar por lavado la muestra de nuevo hacia el matraz original utilizando 200 ml de hidróxido de sodio al 1.25% y calentar hasta ebullición.
- Hervir por exactamente 30 minutos y seguir con el mismo cuidado de la ebullición.
- Transferir todo el material insoluble a un crisol empleando agua hirviendo.
- Lavar sucesivamente con agua hirviendo, ácido clorhídrico al 1% y finalmente con agua hirviendo hasta que el agua de filtrado quede exenta de ácido.
- Lavar dos veces con etanol.

- Lavar tres veces con acetona.
- Desechar a 100°C hasta peso constante.
- Incinerar en horno de mufla a 550°C durante una hora.
- Enfriar el crisol en desecador y volver a pesar.

El porcentaje de fibra se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

Cálculo:

$$\% \text{ de Fibra} = \frac{P_2 - P_3}{PM} \times 100$$

Donde:

P₂ = Peso de la materia insoluble.

P₃ = Peso de las cenizas.

PM = Peso de la muestra.

3.5 Aspectos éticos

En la presente investigación se utilizaron únicamente las capsulas con semillas maduras de achiote. En ninguna parte del proyecto se pondrá en riesgo la existencia de la especie o se comprometerá el medio ambiente.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Proceso definitivo para la elaboración de polvo de aguaje obtenido en secador spray

En la figura 4 nos muestra el proceso seguido para la obtención de polvo de *Bixa orellana* L. donde es de vital importancia la temperatura y la concentración del encapsulante, para obtener un producto de buena calidad, finalmente el producto obtenido es almacenado a temperatura

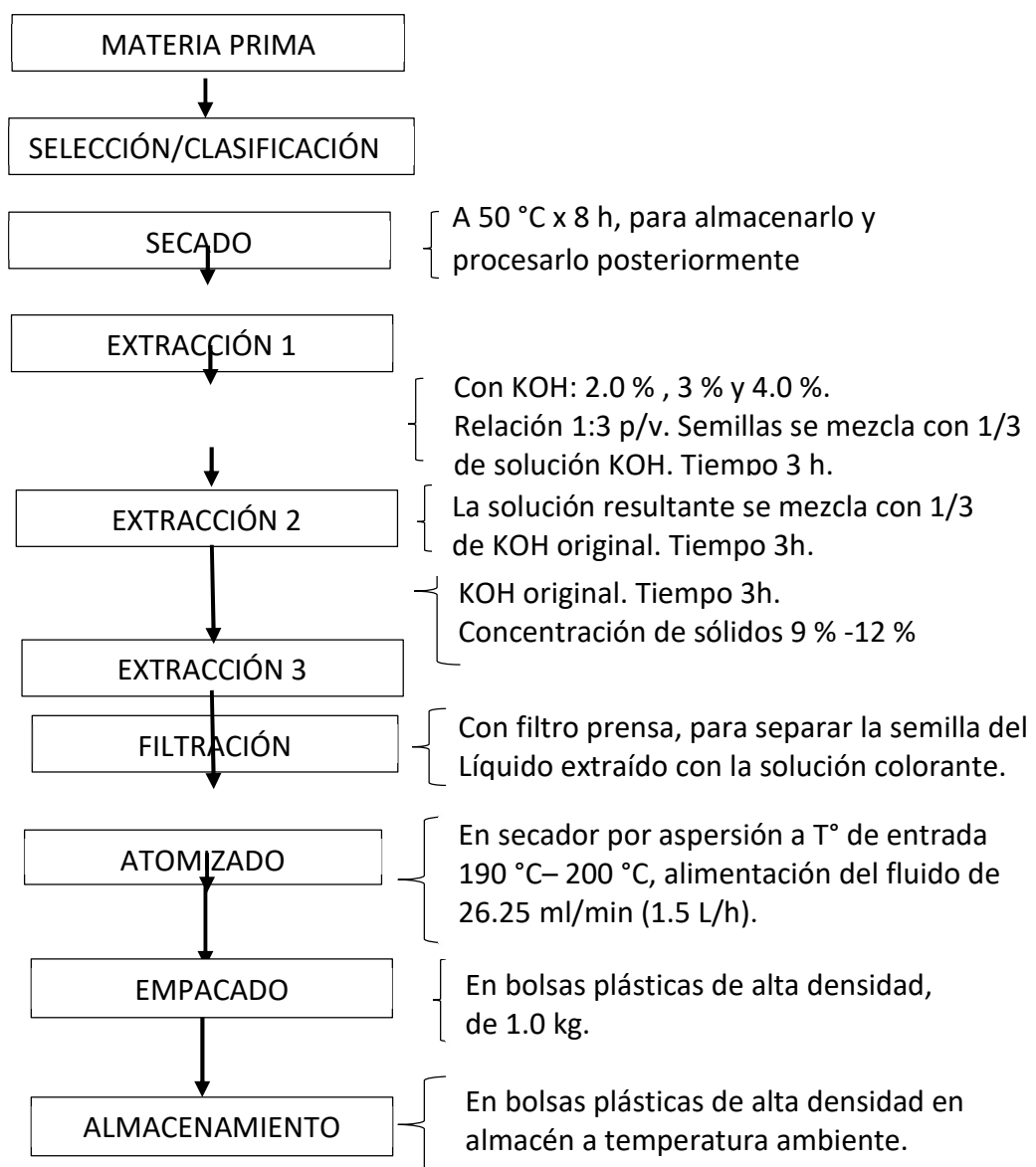


Figura 4: Diagrama de flujo definitivo para la obtención de polvo de achiote.

Descripción del diagrama.

✓ **Materia prima**

La fruta es traída de la zona del sembrío del proyecto de investigación de la Facultad de Agronomía en Zungarococha, en racimos con sus capsulas conteniendo las semillas, solo se usarón los que presentes un estado maduro.

✓ **Selección/clasificación**

Se separaron las capsulas malogradas, las semillas en mal estado, aplastadas, ramitas y hojas, así como otras partículas extrañas al proceso.

✓ **Secado**

A temperatura de 50 °C, para evitar su descomposición y/o deterioro.

✓ **Extracción**

En esta etapa se agregó KOH en concentraciones de 2.0 %, 3.0 % y 4.0 %, en una relación peso de la semilla/volumen 1:10 por un tiempo: 3 h sin agitación y por 30 min con agitación.

Esta etapa se desarrolló en 3 partes: primeramente la solución con KOH se dividió en 3 partes iguales, la totalidad de la semilla a la que se le va extraer el colorante se le va a remojar al inicio en la primera parte de la solución de KOH, después de soltar su colorante este semilla semi agotada será sumergida en la segunda parte de la solución por un tiempo de 3 h, finalmente se retira la semilla agotada y se remoja en la última parte de la solución de KOH hasta retirar lo máximo de color que esté presente en ella.

✓ **Filtración**

Con filtro prensa, para separar la semilla del líquido extraído con la solución colorante.

✓ **Atomizado**

En secador por aspersion a T° de entrada 190 °C – 200 °C y una alimentación del fluido de 26.25 ml/min.

✓ **Empacado**

En bolsas plásticas de alta densidad de 1.0 kg.

✓ **Almacenado**

A temperatura ambiente.

.....

4.2 Análisis fisicoquímicos

N°	T° (°C)	Concentración de KOH (%)	Malto dextrina (%)	Concentración Bixina	Concentración Vitamina C	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)
1	190	2.0	8	4.35	86.56	5.49	2.33	0.35	3.51	88.32
2	200	2.0	8	4.02	87.49	5.56	2.30	0.38	3.56	88.20
3	190	4.0	8	2.92	84.35	5.51	2.31	0.38	3.63	88.18
4	200	4.0	8	2.86	85.31	5.31	2.25	0.27	4.9	87.25
5	190	2.0	10	4.15	81.91	5.72	2.33	0.35	3.50	88.10
6	200	2.0	10	4.11	83.35	5.86	2.31	0.28	4.58	82.39
7	190	4.0	10	2.67	84.45	5.73	2.25	0.24	3.66	88.12
8	200	4.0	10	3.5	87.69	6.81	2.10	0.11	3.48	87.50

Tabla 5: Análisis Físico-químico del achiote atomizado

En la tabla 5 se muestran los experimentos realizados según el modelo estadístico propuesto, donde se aprecia que los valores más altos obtenidos durante el proceso de secado por atomización lo presentan los ensayos con una formulación con el 8 % y 10 % de maltodextrina como encapsulante, es de notar también que la temperatura no afecta el contenido final de la Bixina contenida en las semillas de achiote.

El valor más alto es de 4.35 mg /100 g de polvo y 4.15 mg /100 g de polvo con una temperatura de operación de 190 °C de entrada del producto y 100 °C como temperatura de salida, el contenido final de humedad fue de 5.49 % y 5.72 % respectivamente y que se encuentran dentro del promedio de humedad de los demás tratamientos.

El valor de la Bixina fue de 4.32 mg/100 g de polvo seco obtenido con una solución de KOH al 2 % que es muy cercano al contenido de Bixina de la fruta en estado seco que es de 4.52 mg/100 g de muestra seca, este resultado es un indicador de que el tratamiento es el indicado.

Las concentraciones de la solución de KOH son determinantes en el contenido final de la Bixina en polvo atomizado puesto que ambos reportan las variaciones en sus resultados.

4.3 Análisis microbiológico

Tabla 6: muestra que los análisis microbiológicos están dentro de los parámetros establecidos de la pulpa de *Bixa orellana L.* (achiote).

ENSAYO MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Mohos (UFC/g)	10
Levadura (UFC/g)	<10
E. coli (NMP / g)	0
Salmonella	Ausencia en 25 g

4.4 Análisis estadístico

Tabla 7: Resultado del análisis estadístico

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor
		Ajust.	Ajust.	F	p
Modelo	7	6.32889	0.90413	2225.55	0.000
Lineal	3	5.45732	1.81911	4477.80	0.000
Temperatura (°C)	1	0.04951	0.04951	121.86	0.000
Extracción KOH (%)	1	5.39401	5.39401	13277.55	0.000
Maltodextrina (%)	1	0.01381	0.01381	33.98	0.000
Interacciones de 2 términos	3	0.75427	0.25142	618.89	0.000
Temperatura (°C) * Extracción KOH (%)	1	0.33351	0.33351	820.94	0.000
Temperatura (°C) * Maltodextrina (%)	1	0.35701	0.35701	878.78	0.001
Extracción KOH (%) * Maltodextrina (%)	1	0.06376	0.06376	156.94	0.000
Interacciones de 3 términos	1	0.11731	0.11731	288.75	0.000
Temperatura (°C)* Extracción KOH (%) * Maltodextrina (%)	1	0.11731	4.0	3.5	0.000
Error	8	0.00325	0.00041		
Total	15	6.33214			

En el secado por aspersión mediante encapsulación con maltodextrina, para la obtención de bixina muestran que las variables tienen P valores inferiores a 0.05. Con base en el análisis de varianza (ANOVA) los coeficientes de las variables independientes y todas las interacciones entre ellas fueron significativas, a excepción de los coeficientes de Temperatura (°C) y maltodextrina(%).

La función de respuesta que representa la relación entre el contenido de bixina y las variables independientes del secado por aspersión, X_1 (Temperatura °C), X_2 (Concentración de KOH %) y X_3 (Concentración de Maltodextrina %), está determinada por la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Bixina (\%)} = & 16.25 + 0.1180 \text{ Temperatura} + 23.27 \text{ Extracción KOH (\%)} + \\ & 0.4032 \text{ Maltodextrina (\%)} - 0.12525 \text{ Temperatura} * \text{Extracción} \\ & \text{KOH (\%)} - 0.002150 \text{ Temperatura} * \text{Maltodextrina (\%)} - 0.3276 \\ & \text{Extracción KOH (\%)} * \text{Maltodextrina (\%)} + 0.001712 \\ & \text{Temperatura} * \text{Extracción KOH (\%)} * \text{Maltodextrina (\%)}. \end{aligned}$$

En la figura 5, como se aprecia en el valor 2.3 tiene la función de ser la línea que divide al gráfico en dos partes, los efectos situados a su lado izquierdo no son significativos para el proceso y los ubicados al lado derecho si intervienen en el proceso en mayor o menor grado.

Los efectos principales temperatura (°C), concentración de KOH (%) y concentración de maltodextrina (%) miden como afecta cada factor en la concentración final de Bixina.

El factor que influye más en forma individual en este proceso es la

concentración de KOH (%) que presenta un valor de 23.27, en segundo lugar, muestra su efecto la concentración de maltodextrina (%), finalmente la temperatura (°C) es el que tiene menor influencia 0.1180 indicando que el rendimiento de Bixina no se ve afectada por la temperatura, pero sí muy grandemente por la concentración de solvente que lo disminuye conforme incrementamos su concentración de 2 % al 4 %.

De la interacción de los factores que tienen más presencia en el proceso son: temperatura (°C) con concentración de maltodextrina (%), temperatura (°C) con concentración de KOH (%), y la acción de los tres factores: temperatura (°C), concentración de KOH (%), concentración de maltodextrina (%), son los que en forma conjunta menos afectan al proceso.

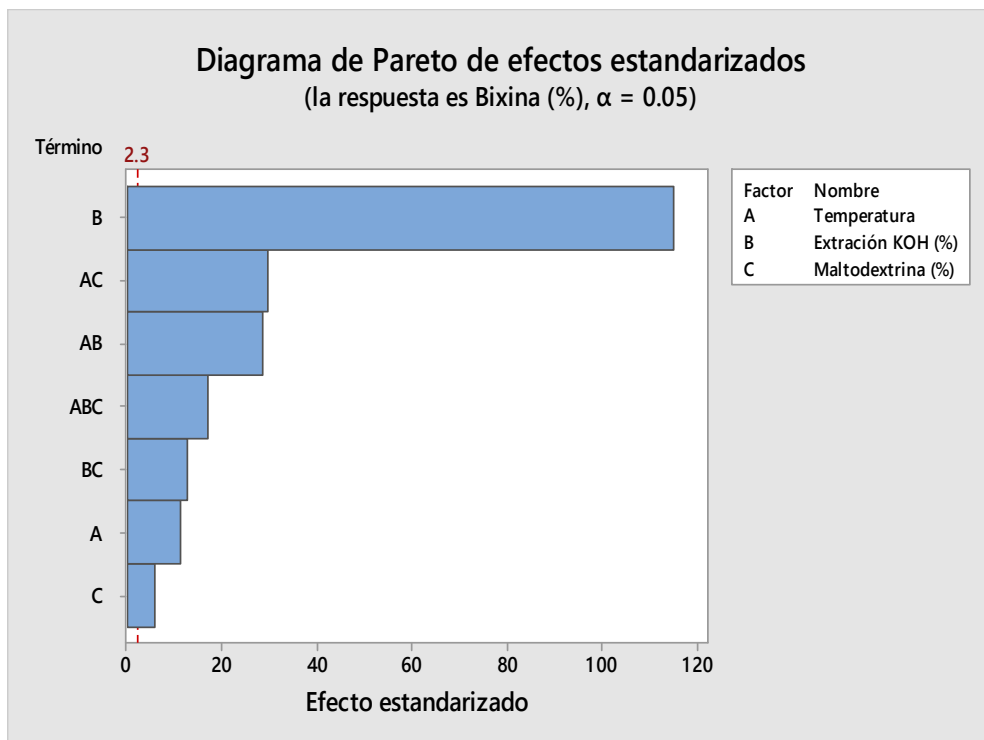


Figura 5. Análisis de Pareto.

La figura 6, nos presenta en forma gráfica la interacción de dos de los factores independientes del proceso de atomización que son la temperatura (°C) y la concentración de KOH (%) sobre la respuesta que es la cantidad de Bixina.

Se evidencia este efecto porque al aumentar la concentración de KOH a 4 % el rendimiento disminuye hasta un valor de 2.67 mg/100 g de muestra y sucede lo contrario si disminuimos la concentración de KOH a 2 % incrementando su valor 4.35 mg/100 g de muestra.

Se puede concluir que los mejores parámetros son una temperatura de 190 °C, concentración de KOH de 2% y concentración de maltodextrina 8%.

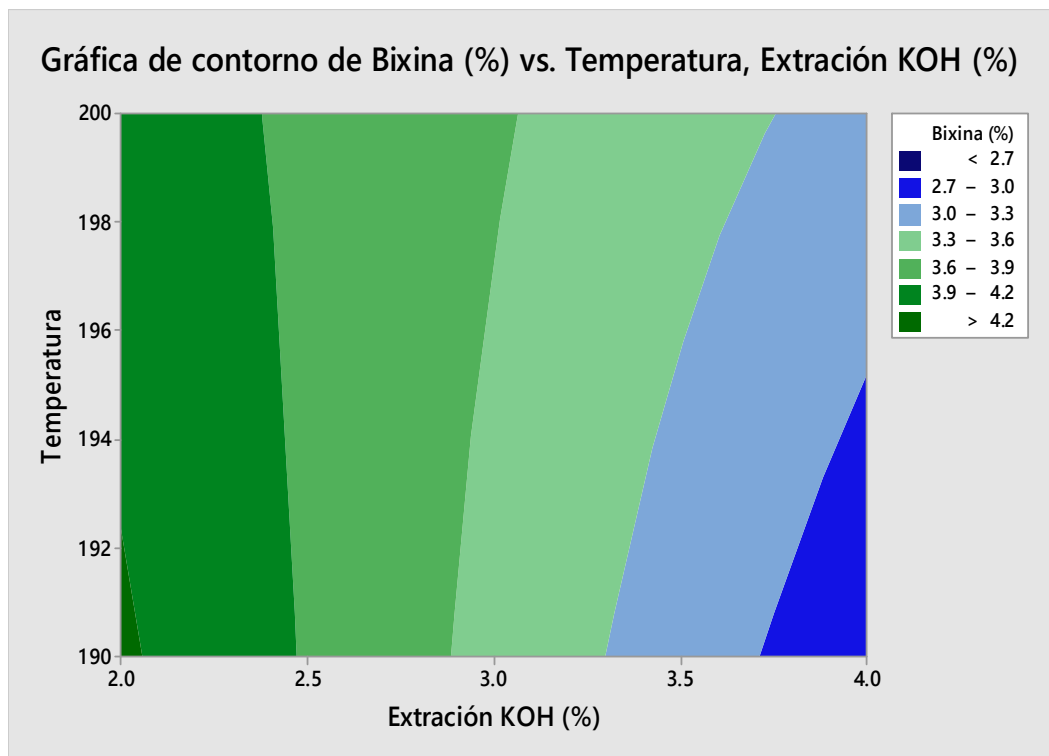


Figura 6: Grafica de contorno

4.5 Balance de materia para el proceso de atomización.

Siguiendo el diagrama de flujo establecido para este proceso, tenemos:

Tabla 8: Balance de materia de la pulpa de *Bixa orellana* L. (achiote) con Maltodextrina al 8 % como encapsulante.

Para todos los ensayos realizados se empleó siempre 1.10 kg de materia prima en estado natural, para seguir luego con las diferentes etapas de acondicionamiento para su conversión en polvo.

Una de las etapas más importantes es la correcta filtración de la semilla seca de *Bixa orellana* L. (achiote) y luego diluirla hasta llegar a una densidad muy cercana a la del agua (referencia ideal para atomizar) puesto que esa condición garantiza que no habrá partículas grandes que puedan obstruir el capilar de salida del aspersor.

El equipo secador spray tiene una capacidad para atomizar 1.2 L/h (en las condiciones de la investigación) lo que significa que la muestra preparada de 1 L para cada ensayo mostrado en la tabla 8 para su conversión en polvo demora aproximadamente 0.9 h obteniéndose finalmente 0.04 kg de polvo atomizado.

Tabla 8: Balance de materia del fruto de la *Bixa orellana* L. (achiote).

MATERIA PRIMA			
A:	Materia prima que ingresa	1.100	Kg
SELECCIÓN/CLASIFICACION			
A:	Materia prima que ingresa	1.100	Kg
B:	Separación capsulas, ramitas, etc. (76 %)	0.836	Kg
C:	Materia a usar (24 %)	0.264	Kg
SECADO			
C:	Materia a usar	0.264	Kg
D:	Deshidratado 50 °C x 8 h (37 %)	0.100	Kg
EXTRACCIÓN			
D:	M.P deshidratado	0.100	Kg
E:	KOH (2 %), relación (p/v) (por 3 veces)	0.98	Kg
F:	Maltodextrina (10 %)	0.01	Kg
G:	Jugo estabilizado	1.08	Kg
ATOMIZACIÓN			
H:	Jugo estabilizado	1.08	Kg
I:	Agua eliminada (96 % del jugo estabilizado)	1.04	Kg
J:	Producto seco (con 4 % de humedad final)	0.04	Kg

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los valores que indicamos sobre la dilución favorable para la atomización del producto es llegar aproximadamente a la densidad del agua con el extracto de *Bixa orellana* L. (achiote) para que opere de manera óptima, (dilución 1:3) y filtrado correctamente, por consiguiente se evitara la obstrucción y deposición en las paredes del atomizador teniendo un producto con menor humedad; una dilución mayor empleó Dominguez, B *et al* (2017) quienes hicieron una dilución 1:4 con semillas de achiote seco y molido, obteniendo una solución para después secarla en un horno a 55 °C y molerla, porque no utilizaría un atomizador pero que encontró presencia de bixina y norbixina.

Ayala C *et al* (2016)en su investigación para obtener colorante de achiote para uso cosmético realizó una dilución 1:3 empleando KOH al 2 % y obtuvo un polvo de color anaranjado contrastando con lo obtenido en esta investigación que fue de color oscuro, esto efecto puede ser por el lugar de cosecha y porque nuestra muestra era de un lugar con varios genotipos mezclados, entonces queda claro que la dilución para la obtención del extracto se puede aplicar a partir de una dilución mínima que es de 1:3 y depende también del método a emplear para finalmente convertirlo en polvo.

El extracto acuoso obtenido en la presente investigación tenía 9.76 % de solidos totales empleando KOH al 2% el cual se diferencia muy poco de lo encontrado por [28] en su investigación de obtención de extracto de achiote contra la diabetes que fue de 11.71 %, esta diferencia se puede deber al lugar de origen de la planta, genotipo, etc.

Los resultados obtenidos mostraron que utilizando la misma concentración de KOH al 2% obtuvimos un rendimiento de 3.70 % en relación p/v, este valor es cercano al encontrado por Reyes Z (2015) quien reporto un rendimiento de 5.46 % en peso, diferenciándose muy poco ya que el efecto del solvente es el mismo para ambas investigaciones.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

El encapsulante maltodextrina actúa muy bien como agente protector de la Bixina contenida en la pulpa de *Bixa orellana* L. (achiote) ya que el análisis fisicoquímico reporta una concentración de 4.35 mg/100 g de polvo seco.

Las temperaturas de operación seleccionadas 180 a 200 °C son las adecuadas para el atomizado del extracto de *Bixa orellana* L. (achiote) y de acuerdo al análisis de varianza no hay diferencia significativa entre ambas temperaturas. Las concentraciones de 8 %, y 10 % de maltodextrina reportaron unos valores comprendidos entre 3.5 y 4.35 mg/100 g de polvo seco de Bixina, indicando que si hay diferencia significativa entre ambas concentraciones.

Las pruebas realizadas con 2 % de KOH a temperaturas de 200 °C mostraron una película pegada a la pared del atomizador indicando que la temperatura era un poco excesiva para el correcto funcionamiento del equipo atomizador, pero que aun así mostro un alto contenido de Bixina en el producto final.

Los contenidos finales de vitamina C también se vieron incrementados encontrando su valor máximo a una temperatura de 200 °C mostrando que el encapsulante maltodextrina protege muy bien este tipo de vitaminas.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Continuar con los estudios de atomizado con otros tipos de encapsulantes, ya que para este proyecto se utilizó maltodextrina.
2. Realizar estudios de empaçados y almacenado para este tipo de producto.
3. Realizar un estudio de pre-factibilidad en la ciudad de Iquitos sobre los frutos de la amazonia dando un valor agregado, mostrando como un producto representativo a *Bixa orellana* L. (achiote).

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

Araneda, C., & Valenzuela, F. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *ciencias ahora*, 22(11):9-19.

Ayala C, Castillo E, Alfaro K *et al* Obtención de un colorante natural de las semillas de *Bixa Orellana L.* (Bixaceae) como alternativa para uso cosmético. *Arnaldoa*. 2016 Enero; 23 (1):pp. 149-158.

Barbosa, G. Deshidratación de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España pp.203-210. 2000.

Carrilo, J. Secado de pimiento *morrón (capsicum annum)* en lecho fluidizado con ciclos atemperado y el efecto en su calidad. *mexico d.f: instituto politecnico nacional*. 2008.

Devia J, Saldarriaga L. Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote *Bixa orellana*. *Universidad EAFIT*. 2003. Julio; 39 (131): pp. 8-22.

Dominguez Valenzuela, B, Madrigal Mendoza, M. Garcia Valenzuela y L. Rodriguez Castillo. Efecto de la Trituracion, Agitacion y Acidificacion con Acidos Organicos en la Obtencion de Colorante de Achiote en Polvo. *1Instituto Tecnologico Superior de los Rios Km. 3 Carretera Balancan – Villahermosa, Balancan. Mexico. Revista. Aportaciones a las ciencias alimentarias*. 2017.

Engelhardt M. Lixiviación en una sola etapa y secado convectivo para la obtención de Achiote en Pasta. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Química. Lima-Perú. 2014.

Eraso, M., & Herrera, A. (2013). Use of starches and milk proteins in microencapsulation. . *international journal of vegetable science*, 289-304.

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

Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M., Ordonnaud, C., Peyrat, M., & Dumoulin, E. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration *journal of food engineering. elsevier*, 75(1):27-35. 2006.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., a, v., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microcapsulation of food ingredients: an overview. *food research international*, 40 (9).

Hernández M, Tirado J, Ramiro A *et al* Obtención del colorante de la semilla de achiote (Bixa Orellana) utilizando microorganismos celulolíticos.IV Congreso internacional de Ingeniería bioquímica y XV Congreso nacional de Ingeniería Bioquímica.2006 Abril. Mexico.

Huerta L, Ostos R. (2014). "Estudio de prefactibilidad de una empresa productora y comercializadora de bixina dirigido al mercado de japon". Tesis. Facultad de ciencias e ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

Ibarz, A, Barbosa, G, Gasza, S, Gimeno, V. Metodos experimentales en la Ingeniería Alimentaria. Zaragoza, España. Acribia 283p. 2000.

Kuang, S., Oliveira, J., & Crean, A. (2010). Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food. . *critical reviews in food science and nutrition*, 50 (10).

Lozano M. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Universidad Politécnica de Cartagena. Ingeniería técnica industrial, especialidad en Química Industrial.

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

Montes, E., C. De Paula y F. Ortega. 2007. Determinación de las condiciones óptimas de encapsulamiento por co-cristalización de jugo de maracuya (*Passiflora edulis*). *Revista Temas Agrarios* 12: 5-12.

Murga E. Estudio del secado por atomización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*) del ecotipo rosado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Industrias Alimentarias. 2014.

Palzer, S. 2009. Review: Food structures for nutrition, health and wellness. Trends in Food Science and Technology 20(5): 194-200.

Parra, R, Microencapsulación de alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Vol. 63, Núm. 2 (2010). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/rt/printerFriendly/25055/37055>.

Rai, M., P. Asthana, S. Kant, V. Jaiswal and U. Jaiswal. 2009. The encapsulation technology in fruit plants: A review. Biotechnology Advances 27(6): 671-679.

Ramirez, J. Universidad del Valle. Cali-Colombia. 2006. Revista ReCiTeIA. January 2007.

Reyes Z. 2015. Extracción y evaluación del colorante natural de achiote (*bixa orellana l.*) como sustituto del colorante e-102 amarillo no. 5 (tartracina) en la elaboración de un yogurt. Universidad de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala.

Roccia, p., Martinez, m., LLabot, j., & Ribotta, p. (2014). Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. *powder technology. elsevier*, 1-30.

Rocha, G., Favaro-trindade, C., & Grosso, C. (2011). Microencapsulation of lycopene by spray drying: characterization, stability and application of microcapsules. *food and bioproducts processing.*, 90 (1), 37 - 42.

Rosas-flores, W., Ramos-ramirez, E., Salazar-Montoya., & j. (2013). Microencapsulation of lactobacillus helveticus and lactobacillus delbrueckii using alginate and gellan gum. . *carbohidrate polimers*, 98 (1).

Sanchez V. 2015. Obtención de un extracto acuoso con propiedad hipoglucemiante a partir de las semillas del achiote (*bixa orellana linn*) para el tratamiento de la diabetes, machala 2014. Universidad técnica de Machala.. Machala-El Oro-Ecuador.

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

ANEXOS

Anexo 1



Planta de achiote ubicado en la zona del sembrío del proyecto de investigación de la Facultad de Agronomía en Zungarococha.



Frutos recolectados de las plantas de achiote.



Forma de transporte del sembrío controlado de achiote hacia las instalaciones de la planta piloto para su transformación.



Frutos listos para la selección y clasificación



Separación de las semillas de achiote de su capsula para ser secadas en horno secador de bandejas



Semillas secas recién retiradas del horno secador



Frascos con el extracto de achiote con diferentes concentraciones de KOH.



Equipo atomizador con residuos de proceso de atomización.



Extracto atomizado de achiote.