



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN EL  
PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus retroflexus* L.)  
COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO**

**Josué Daniel Fuentes Orozco**

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN EL  
PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus retroflexus* L.)  
COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSUÉ DANIEL FUENTES OROZCO**

ASESORADO POR EL INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTNI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE  
AMARANTO (*Amaranthus retroflexus* L.) COMO SUPLEMENTO  
ALIMENTICIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de Julio de 2017.



**Josué Daniel Fuentes Orozco**

Guatemala, 23 de octubre de 2018

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final de Trabajo de Graduación **“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus retroflexus* L.) COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO”**, del estudiante de Ingeniería Química Josué Daniel Fuentes Orozco, quien se identifica con carné estudiantil número 201314247 y DPI No.2689 06467 0101.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente.



Ms. Sc. Hilda Piedad Palma de Martini  
Colegiado No. 453  
Asesora

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI  
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 19 de noviembre de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.061.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **022-2017** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Josué Daniel Fuentes Orozco**.  
Identificado con el CUI: **2689 06467 0101**.  
Identificado con registro académico: **2013-14247**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE  
AMARANTO (*Amaranthus retroflexus* L.) COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



*(Handwritten signature)*  
Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.019.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JOSUÉ DANIEL FUENTES OROZCO** titulado: **"EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus Retroflexus* L.) COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2019

FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

Cc: Archivo  
CSWD/ale

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.135.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química del trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus Retroflexus* L.) COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO”** presentado por el estudiante universitario: **Josué Daniel Fuentes Orozco** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, Marzo de 2019

/echm

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por haberme permitido alcanzar esta meta, por su fidelidad y misericordia hacia mí y por ser parte fundamental de mi vida.
- Mi mamá** Sandra Orozco, por su amor y apoyo incondicional, por darme un gran ejemplo de esfuerzo y por inspirarme a ser mejor en la vida.
- Mi papá** Rudy Fuentes (q.e.p.d.) por ser la persona que me inspiró para ser mejor en la vida.
- Mis abuelos** Lidia Vásquez de Orozco (q.e.p.d.) y Fredy Orozco, por haberme inculcado valores y guiarme en los caminos de Dios. A Maximina Orozco de Fuentes y Tranquilino Fuentes (q.e.p.d.), por su apoyo y sabios consejos.
- Mis tíos** Raúl, Fredy y Aída Orozco, Dilman Vásquez, Luvia Figueroa, Guillermo Velásquez, Carlos y Manfredo Fuentes, Lorena González y Lourdes Córdoba, por ser una importante influencia en mi carrera.
- Karla Santa María** Por ser una importante persona en mi vida, por su amor y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la oportunidad de estudiar y empezar mi carrera profesional.
<b>Mis primos</b>	Libni y Zury Orozco, Nancy, José, Guillermo y Estuardo Velásquez, Michel, Cristian y Karol Fuentes por su apoyo durante estos años.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Karla Santa María, Franz Castillo, Pablo Fajardo, Alejandro de León, Juan Oliva, Antonio Villalta, Jonathan Butz, Rony Vielman, Juan Carlos Rojas, Raquel Saquec, Andrés Escobar, Joaquín Us, Guillermo Paz y a mis demás amigos, por su apoyo durante la carrera y por hacer que esta etapa sea inolvidable.
<b>Mis amigos</b>	Emilio González, Abigail Barrios, Moisés González y Alejandra González, por su apoyo en los momentos difíciles
<b>Inga. Hilda Palma</b>	Por asesorarme en este trabajo de graduación, por sus enseñanzas y apoyo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Amaranto.....	7
2.1.1. Origen del amaranto.....	7
2.1.2. Especies.....	8
2.1.3. Taxonomía.....	10
2.1.4. Aspectos generales del amaranto.....	11
2.2. Nutrición.....	11
2.2.1. Nutrientes.....	12
2.2.2. Usos en la alimentación humana.....	14
2.3. Información agronómica.....	14
2.3.1. Características que debe tener las plantas de amaranto y el grano de amaranto.....	14
2.3.2. Aspectos por considerar para la siembra y cosecha del amaranto.....	16
2.4. Secado.....	19

2.4.1.	Objetivo del secado .....	19
2.4.2.	Proceso y métodos de secado.....	20
2.4.3.	Fenómenos involucrados.....	21
2.4.4.	Factores físicos involucrados .....	21
2.4.5.	Factores controlables .....	22
2.4.6.	Secadores .....	23
2.4.6.1.	Secadores directos .....	23
2.4.6.2.	Secadores indirectos .....	23
2.4.7.	Tipos de secadores .....	24
2.4.7.1.	Secador de bandejas.....	24
2.4.7.2.	Secador indirecto al vacío con anaqueles .....	25
2.4.7.3.	Secador continuo de túnel .....	26
2.4.7.4.	Secador rotatorio .....	27
2.4.7.5.	Secador de tambor .....	28
2.4.7.6.	Secador de aspersion .....	29
2.5.	Curvas de secado .....	30
2.5.1.	Curva cero.....	30
2.5.2.	Curva uno.....	31
2.5.3.	Curva dos.....	32
2.5.4.	Curva tres.....	33
2.5.5.	Curva cuatro.....	34
2.5.6.	Curva cinco .....	35
2.6.	Molienda .....	36
2.6.1.	Característica del material .....	36
2.6.2.	Equipo de molienda.....	38
2.7.	Tamizado .....	39
2.8.	Análisis importantes .....	40
2.8.1.	Análisis bromatológico.....	40

2.8.2.	Análisis de cromatografía.....	41
2.8.2.1.	Cromatografía líquida (HPLC) .....	41
2.8.2.2.	Cromatografía de gases .....	42
2.8.3.	Análisis microbiológico.....	42
3.	METODOLOGÍA .....	43
3.1.	Localización.....	43
3.2.	Variables .....	43
3.2.1.	Variables independientes.....	44
3.2.2.	Variables dependientes.....	46
3.3.	Delimitación del campo de estudio .....	47
3.4.	Recursos humanos disponibles .....	48
3.5.	Recursos materiales disponibles .....	48
3.5.1.	Equipo .....	49
3.5.2.	Cristalería .....	49
3.5.3.	Reactivos químicos.....	51
3.5.4.	Materia prima.....	51
3.6.	Técnica cuantitativa.....	51
3.6.1.	Punto de muestreo.....	52
3.6.2.	Obtención de la información en el procedimiento....	52
3.6.2.1.	Elaboración de la harina de amaranto.....	52
3.6.2.2.	Análisis bromatológico .....	53
3.6.2.3.	Análisis de cromatografía HPLC .....	54
3.6.2.4.	Análisis de microbiológico .....	54
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	54
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	55
3.9.	Análisis estadístico .....	57

3.9.1.	Promedio o media de la muestra .....	57
3.9.2.	Varianza y desviación estándar .....	58
3.9.3.	Intervalo de confianza de la media con desviación estándar desconocida.....	58
3.9.4.	Prueba de hipótesis para la comparación de medias de las propiedades fisicoquímicas de la harina de amaranto respecto a la procedencia de la semilla .....	59
3.10.	Plan de análisis de los resultados .....	59
3.10.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variable.....	59
3.10.2.	Programas a utilizar para análisis de datos .....	60
4.	RESULTADOS .....	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	75
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA .....	83
	APÉNDICES .....	85
	ANEXOS .....	95

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Semilla de amaranto .....	8
2.	Mecanismos de secado.....	21
3.	Secador de bandejas o anaqueles .....	24
4.	Secador de caretilas con flujo de aire a contracorriente .....	26
5.	Secador de banda transportadora con circulación cruzada. ....	27
6.	Diagrama esquemático de secador rotatorio con calentamiento directo. ....	28
7.	Secador de tambor.....	29
8.	Diagrama de flujo para unidad de secado de aspersion .....	30
9.	Tipos de humedades y dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire .....	31
10.	Masa de la muestra en función del tiempo .....	31
11.	Humedad del sólido en función de tiempo de secado .....	32
12.	Velocidad de secado en función del tiempo .....	34
13.	Velocidad de secado en función de la humedad del sólido .....	35
14.	Protocolo de secado .....	36
15.	Diagrama de proceso de la elaboración de harina de amaranto .....	53
16.	Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 1 Sipacapa .....	61
17.	Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 2 Comitancillo ...	62
18.	Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 3 Tejutla.....	63
19.	Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 1 Sipacapa .....	64

20.	Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 2 Comitancillo .....	65
21.	Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 3 Tejutla .....	66
22.	Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 1 Sipacapa .....	67
23.	Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 2 Comitancillo .....	68
24.	Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 3 Tejutla .....	69
25.	Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido para la muestra No. 1 Sipacapa.....	70
26.	Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido para la muestra No. 2 Comitancillo .....	71
27.	Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido muestra No. 3 Tejutla .....	72

## TABLAS

I.	Taxonomía del amaranto .....	11
II.	Composición química de la semilla de amaranto (por cada 100 g de parte comestible y en base seca) .....	13
III.	Contenido de proteína del amaranto comparado con los principales cereales (g/100g pasta comestible) .....	14
IV.	Definición operacional de las variables, para el proceso de elaboración de harina de amaranto ( <i>Amaranthus retroflexus</i> L.).....	44
V.	Definición y descripción de las variables independientes.....	44
VI.	Definición y descripción de las variables dependientes .....	46
VII.	Equipos utilizados durante la investigación.....	49

VIII.	Recolección de datos para la etapa de elaboración de harina de amaranto correspondiente al secado .....	54
IX.	Recolección de datos para la etapa del análisis bromatológico.....	55
X.	Recolección de datos para la etapa del análisis de cromatografía HPLC .....	55
XI.	Recolección de datos para la etapa del análisis microbiológico .....	55
XII.	Tabulación de datos para la etapa de elaboración de harina de amaranto correspondiente al secado. ....	56
XIII.	Tabulación de datos para la etapa del análisis bromatológico.....	56
XIV.	Tabulación de datos para la etapa del análisis de cromatografía HPLC .....	57
XV.	Tabulación de datos para la etapa del análisis microbiológico .....	57
XVI.	Métodos y modelos de datos .....	60
XVII.	Rendimientos de la elaboración de la harina de Amaranto.....	61
XVIII.	Análisis bromatológico para la harina de amaranto .....	73
XIX.	Análisis de cromatografía para la harina de amaranto .....	73
XX.	Análisis Microbiológicos para la harina de amaranto .....	73



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>S</b>	Desviación estándar
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>h</b>	Hora
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>X<sub>bs</sub></b>	Kg agua / kg solido seco
<b><math>\bar{x}</math></b>	Media de la muestra
<b><math>\mu</math></b>	Media poblacional
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b><math>\mu</math>g</b>	Microgramo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>w</b>	Peso
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Presión
<b>t</b>	Tiempo
<b>UFC</b>	Unidades formadoras de colonias
<b>S<sup>2</sup></b>	Varianza
<b>R</b>	Velocidad de secado



## GLOSARIO

<b>Amaranto</b>	Planta herbácea de tallo grueso, verde y ramoso, hojas alternas, de forma aovada, flores purpúreas, dispuestas en espigas densas colgantes alrededor de otra más larga y fruto con muchas semillas negras y brillantes.
<b>Ceniza</b>	Polvo mineral de color gris que queda después de una combustión completa.
<b>Cromatografía HPLC</b>	Es un tipo de cromatografía en columna utilizada frecuentemente en bioquímica y química analítica.
<b>Extracto etéreo</b>	Es el conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico.
<b>Fibra cruda</b>	Es un resultado del análisis químico proximal expresado en porcentaje de la cantidad de fibra contenida en un alimento, el resultado es obtenido por diferencia de pesos antes y después de la calcinación de la muestra en la que se está realizando la determinación.
<b>Levadura</b>	Hongo unicelular que produce enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono.

<b>Moho</b>	Es el nombre común, en biología, que se da a los hongos filamentosos de pequeño tamaño que crecen en la superficie de los alimentos y otros materiales orgánicos, en condiciones de humedad o descomposición.
<b>Molienda</b>	Es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida.
<b>Proteína cruda</b>	Se refiere al porcentaje de proteína que contiene un alimento después de haberlo sometido al análisis químico proximal o al análisis bromatológico.
<b>Salmonella</b>	Es un género de bacterias que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, formado por bacilos gramnegativos, anaerobios facultativos, con flagelos peritricos.
<b>Secado</b>	Es la extracción de un líquido desde un sólido por métodos no mecánicos.
<b>Tamizado</b>	Es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo con su tamaño de partícula individual.
<b>Vitamina A</b>	Es una vitamina liposoluble que el cuerpo adquiere a través de la comida y ayuda a mantener en buen estado la vista y el sistema inmunitario.

**Vitamina C**

Es una vitamina que ayuda en el crecimiento y desarrollo del cuerpo humano.



## RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación fue realizar una evaluación y caracterización de las propiedades fisicoquímicas en el proceso de elaboración de harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.) como suplemento alimenticio.

Para ello, se llevó a cabo la recolección de tres muestras de semilla de amaranto del departamento de San Marcos. Luego se secó la semilla de amaranto mediante un secador de bandejas transversal. A continuación se molió en un molino pulverizador y se tamizó para obtener la harina de amaranto. Se determinó el rendimiento en función de la cantidad de materia prima procesada. Se obtuvo un rendimiento de 90,08 % para la semilla de Sipacapa; 94,50 % para la de Comitancillo; 91,80 % para la de Tejutla.

Una vez obtenida la harina de amaranto, se caracterizaron sus propiedades fisicoquímicas. Para ello, las muestras fueron llevadas a los laboratorios correspondientes donde se obtuvo el análisis bromatológico, se determinó la presencia de vitamina A mediante el análisis de cromatografía HPLC, y se obtuvieron estudios microbiológicos.

A partir de los resultados obtenidos de las muestras de harina, se concluyó que la procedencia de la semilla carece de importancia para la obtención de la harina porque todas cumplen con las características y propiedades adecuadas, entre las que destacan la proteína, el extracto etéreo, la ceniza, la fibra cruda, la vitamina A y la ausencia de salmonella, para la utilización de la misma como suplemento alimenticio.



## OBJETIVOS

### General

Evaluar el proceso de elaboración de la harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.) y caracterizar las propiedades fisicoquímicas para su utilización como suplemento alimenticio.

### Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la elaboración de la harina de Amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.) en función de la procedencia de la materia prima utilizada.
2. Elaborar las curvas de secado para la semilla de Amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.).
3. Determinar el contenido nutricional de la harina de Amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.) mediante un análisis bromatológico.
4. Identificar las vitaminas presentes en la harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.), mediante un análisis de cromatografía (HPLC).
5. Realizar análisis microbiológico a la harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.), según la procedencia de la semilla.



# HIPÓTESIS

## Hipótesis científica

El amaranto como utilización de suplemento alimenticio es una opción viable para el consumo de la persona en general.

El contenido nutricional del amaranto puede variar según la procedencia geográfica de las semillas.

## Hipótesis estadística

- El tiempo de secado para la semilla de Amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.)

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): No existe diferencia significativa en la medias de los pesos en el tratamiento del secado para cada una de la muestras.

$$\mu_{r1\%} = \mu_{r2\%} = \dots = \mu_{rn\%}$$

- Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): Si existe diferencia significativa en las medias de los pesos en el tratamiento del secado para cada una de las muestras.

$$\mu_{r1\%} \neq \mu_{r2\%} \neq \dots \neq \mu_{rn\%}$$



## INTRODUCCIÓN

Se considera que el amaranto es un alimento con alta calidad de proteína, por lo que se han realizado estudios para respaldar el contenido nutricional del mismo. México ha impulsado el estudio de este alimento, para ello, ha enfatizado en la determinación de las características fisicoquímicas del atole de amaranto.

Actualmente, en Guatemala, se siembran alrededor de 30 a 40 hectáreas de amaranto, cuya semilla se utiliza, principalmente, en atoles, menús escolares, galletas, cereales y dulces.

El trabajo de investigación consistió en aprovechar las propiedades fisicoquímicas del amaranto para la nutrición de la población en general. Esta investigación se justifica porque la población que conoce los beneficios de la ingesta del amaranto es escasa.

Para ello, también se obtuvo un conocimiento teórico amplio acerca del amaranto, como la cantidad de nutrientes que aporta, su información agronómica, las propiedades del amaranto, las técnicas para procesar la harina y el equipo que se puede utilizar.

De la misma forma se dio a conocer cada uno de los análisis que se realizaron a las muestra de harina y se explicó en que consiste cada análisis.



## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala, no se han aprovechado las propiedades de la planta de *Amaranthus retroflexus* ni la información que se tiene acerca de su alto contenido nutricional. Entre los estudios relacionados con el *Amaranthus* y la fabricación de harinas de otras plantas con contenido nutricional se encuentran los siguientes.

En la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central Del Ecuador, en Junio de 2015 fue realizado el estudio de graduación titulado “Diseño de una bebida nutricional saborizada a base de aguamiel (Chaguarmishqui) de Penco (*Agave americana* L.) Enriquecida con amaranto (*Amaranthus caudatus* L.)” realizado por Andrea Renata Cruz Pachacama.

La investigación describe el proceso de elaboración y evaluación sensorial, nutricional y del tiempo de vida útil de una bebida saborizada, utilizando la propiedad edulcorante del Chaguarmishqui, la pulpa de maracuyá como colorante, aromatizante/saborizante y el amaranto un pseudocereal muy rico en nutrientes, para obtener una bebida de origen vegetal con productos locales y nutritivos.

En el diseño de la formulación final se buscó la combinación que proporcione las mejores características organolépticas, mediante la evaluación sensorial de la viscosidad, color, olor y del sabor. Al finalizar la experimentación se comprobó que la formulación final obtenida tiene una aceptabilidad sensorial del 100 %, catalogándola como muy agradable, contiene 1,19 % de proteína, 16,36 % de carbohidratos, proporciona 73,3 Kcal clasificándola como una

bebida refrescante con aporte de nutrientes que se puede consumir de forma segura ya que microbiológicamente se encuentra bajo los parámetros requeridos para bebidas y análisis de estabilidad en envase de vidrio, con una vida de anaquel promedio de un mes a condiciones de almacenamiento (refrigeración, 4-8 °C).

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en noviembre de 2011 fue realizado el trabajo de graduación con el título “Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (*Moringa oleífera*) y su respectiva evaluación nutricional” realizado por Luis Ernesto Ruiz Funes.

En el trabajo de investigación se diseñó un proceso para la obtención de una galleta. Para ello, evaluaron varias mezclas que comprendían harina de trigo y polvo de la hoja de paraíso blanco (moringa oleífera) en distintas proporciones en peso. Se analizó químicamente el nivel nutricional de cada mezcla, donde fueron evaluados lípidos, ácidos grasos, fibra alimentaria, proteínas, azúcares totales y reductores así como, pruebas de aceptación hechas al producto final como herramienta para su introducción al mercado.

Las pruebas química realizadas determinaron y cuantificaron la clase de lípidos por medio de cromatografía en capa fina de alta definición (HPTLC), los ácidos grasos y azúcares fueron determinado por cromatografía de gases acoplado a la espectrofotometría de masas, la clasificación de azúcares totales y reductores fueron realizados por colorimetría usando métodos espectrofotométricos del fenol – sulfúrico y Somogyi – Nelson, como también se evaluó la fibra alimentaria por el método de Southgate modificado.

Las proteínas se cuantificaron por el método de Kjeldahl como amoníaco que se destiló y recogió en solución acida para su valoración. Por lo que se llegó a determinar que, con los análisis químicos, existe diferencia significativa entre la cantidad de nutrientes de la harina de trigo y la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleífera*), siendo la mezcla que cuenta con un 30 % de harina de trigo y 70 % de polvo de hoja de Paraíso Blanco la más apropiada como alimento nutricional. Esto es por su alta composición en ácidos grasos insaturados (30,01 % de ácido linolénico y 19,34 % de ácido linoleico), fibra alimentaria (26,23 % de celulosa, 27,13 % de hemicelulosa, 13,15 % de lignina y 7,28 % de gomas, mucílagos y sustancias pépticas), un porcentaje en proteínas del 19,06 %, una concentración de 583,22 mg/L de azúcares totales y 98,55 mg/L de azúcares reductores.

En la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, en Junio de 2011, de la Facultad de Ciencias Administrativas y Contables de dicha casa de estudio, en la cual se realizó el estudio de investigación con el título “Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de amaranto en la región y litoral del Ecuador”, dicho estudio fue realizado por Stephanie Cecilia Haro Rojas.

El estudio fundamenta la cadena de amaranto del país de Ecuador, esto mediante la propuesta de una microempresa productora de cereal. Para lograr dicho estudio se optó por la realización de un estudio de pre-factibilidad que consistió en determinar la viabilidad de la creación de una microempresa de tipo productora, debido a que se considera importante explotar de manera adecuada los recursos naturales con los que cuenta el país de Ecuador.

La investigación realizada determinó la conveniencia de producir el grano, y se evidenció el interés por el mercado potencial de adquirirlo y de expandir el producto procesado de dicho cereal. Así mismo, se determinó que la

potencialización del amaranto blanco podría generar, además, beneficio económico para el país; debido a su demanda internacional que se encuentra en constante crecimiento y beneficiaría al país.

Uno de los estudios de investigación científica fue realizado en Pachuca, Hidalgo, México, en la Universidad Autónoma de Hidalgo, en el área de Académica de Química, por Contreras López, Elizabeth, Jaimez Ordaz, Judith, Porras Martínez, Griselda, Juárez Santillán, Luis Felipe, Añorve Morga, Javier, & Villanueva Rodríguez, Socorro, en el año de 2010. Este trabajo investigación fue titulado “Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto”.

El objetivo de este trabajo de investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de una harina para preparar una bebida (atole) a base de amaranto a fin de determinar su aporte nutricional, para ello se realizó un análisis bromatológico del atole de amaranto y de las marcas comerciales (a base de maíz y arroz) acorde a las técnicas de la AOAC. Así mismo, se realizó un análisis de minerales mediante espectrofotometría de absorción atómica, con ello según los resultados obtenidos, el atole de amaranto presentó un mayor contenido de proteína y grasa que los atoles de maíz y arroz, en general, sodio y potasio fueron los macrominerales más abundantes. El atole de amaranto, respecto a los atoles de maíz y arroz, presentó el mejor perfil nutricional, destacando su aporte proteico.

En la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, en Ecuador, se realizó el trabajo de graduación con el título “Valor nutritivo y funcional de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) en la preparación de galletas” realizado por Priscila Guadalupe Criollo Minchalo y Sandra Isabel Fajardo Carmona.

El trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar el nivel óptimo de sustitución de harina de trigo por harina integral de amaranto tostado para la elaboración de galletas dulces. Para ello, se establecieron cinco formulaciones de galletas en base a distintos porcentajes de sustitución de haría de trigo por harina integral de amaranto tostado, cuyos niveles de sustitución fueron 0, 20, 25, 30 y 35 %.

Las caracterizaciones microbiológicas, fisicoquímicas, bromatológicas en la materia prima “harina integral de amaranto tostado” comparándola con la harina de trigo, así como también se evaluaron las características microbiológicas, fisicoquímicas, bromatológicas y sensoriales del producto “Galleta de Amaranto” comparándola con una galleta testigo (100 % harina de trigo).

La detección de compuestos fenólicos y flavonoides mediante reacciones de identificación, en las semillas, harina integral e inflorescencias de la planta *A. hybridus*, así como la identificación del Flavonoide Quercetina por cromatografía en capa fina en las mismas muestras y por último, la cuantificación del contenido total de flavonoides, por medio de espectrofotometría UV-V en la harina integral de amaranto e inflorescencias de *A. hybridus*.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en octubre de 2008 fue realizado el trabajo de Graduación con el título “Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina de Camote (*Ipomoea Batata*)” realizado por Mercedes Esther Roquel Chávez.

El propósito de esta investigación fue el de procesar una harina de camote (*Ipomoea Batata*) a nivel de laboratorio, evaluando en ello su valor nutricional y la factibilidad de uso como materia prima para usos alimenticios.

Para ello, se evaluó la cantidad de azúcares reductores por medio del método de Munson – Walker propuesto por la AOAC, también se evaluó un estudio organoléptico de dos panes con respecto a la harina de camote (*Ipomoea Batata*), por lo que se llegó a la conclusión que la producción de harina de camote realizada a nivel laboratorio reviste un especial interés, ya que, con los resultados, se establecieron parámetros que ayudarán a desarrollar la producción a una escala industrial.

El artículo “Sinopsis de la investigación del Dr. Ricardo Bressani” el cual fue publicado en el año 2001, habla de las principales actividades e investigación realizada por el Dr. Ricardo Bressani que se ha orientado a encontrar soluciones prácticas a algunos de los problemas nutricionales que afectan a la población, particularmente a los niños y mujeres en los países en desarrollo, en especial de América Central.

El énfasis ha sido en comprender el potencial nutricional y las limitaciones de los alimentos básicos, como los cereales y leguminosas de grano, de las semillas oleaginosas y de otras fuentes, sobre su contribución al desarrollo de alta calidad nutritiva y de aceptabilidad en la dieta y sobre los efectos de procesamiento sobre el valor nutritivo.

En dicho artículo se analiza potencial agroindustrial de muchos recursos existentes en Mesoamérica y la utilización de subproductos y mejor aprovechamiento de las diversas cosechas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Amaranto

El bledo (*Amaranthus retroflexus* L.) es una hierba anual de la familia de las amarantáceas que mide de 0,3 a 1 m de alto. Es erecta, puede ser simple o más o menos ramificada, y tiene una raíz principal bastante robusta que puede llegar a un 1 metro de profundidad. Los tallos ordinariamente son pubescentes y pueden tener tonalidades rojizas.<sup>1</sup>

#### 2.1.1. Origen del amaranto

Las muestras arqueológicas del grano de amaranto, o *Amaranthus*, hallados en Tehuacán, Puebla, datan del año 4 000 a.C., e indican que probablemente se originó en América Central y del Sur. Los registros históricos revelan que el amaranto era consumido tanto en forma vegetal como cereal, y la producción de este grano estuvo en su máximo apogeo durante los períodos maya y azteca en Centroamérica. La civilización maya probablemente fue una de las primeras en usar el amaranto como cultivo de alto rendimiento, mientras las civilizaciones aztecas e Inca de Perú tardaron más en reconocer su importancia.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> INSTITUTCIÓ CATALAN D'HISTORIA NATURAL, *El medio natural del bages*, [en línea].<http://ichn.iec.cat/Bages/planes/lmatges%20grans/cAmaranthus%20retroflexus.htm> .[consulta 6 de junio 2018]

<sup>2</sup> CORFO, *historia del amaranto*, [en línea].<http://www.amaranto.cl/noticia/historia-del-amaranto.html>. [consulta 7 de julio de 2018]

Figura 1. **Semilla de amaranto**



Fuente: Beneficios de la semilla de amaranto. [en línea].  
<<https://alimentossaludables.mercola.com/amaranto.html>>. [consultado: julio 2018]

### 2.1.2. **Especies**

La familia del amaranto se desprende 60 géneros y más de 800 especies de las cuales se mencionarán algunas de ellas a continuación<sup>3</sup>:

- *Amaranthus acanthochiton*
- *Amaranthus acutilobius*
- *Amaranthus albus*
- *Amaranthus arenicola*
- *Amaranthus australis*
- *Amaranthus bigelovii*
- *Amaranthus blitoides*
- *Amaranthus blitum*
- *Amaranthus brownii*
- *Amaranthus californicus*
- *Amaranthus cannabinus*
- *Amaranthus caudatus (kiwicha)*
- *Amaranthus chihuahuensis*

---

<sup>3</sup> MISSOURI BOTANICAL GARDEN, *a working list of all plant species*, [en línea].  
<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Amaranthus>. [consulta 7 de julio 2018]

- *Amaranthus chlorostachys*
- *Amaranthus crassipes*
- *Amaranthus crispus*
- *Amaranthus cruentus*
- *Amaranthus deflexus*
- *Amaranthus dubius*
- *Amaranthus fimbriatus*
- *Amaranthus floridanus* (amaranto de Florida)
- *Amaranthus greggii*
- *Amaranthus hybridus*
- *Amaranthus hypochondriacus*
- *Amaranthus leucocarpus*
- *Amaranthus lineatus* (Amaranto Australiano)
- *Amaranthus lividus*
- *Amaranthus mantegazzianus* (Quinoa de Castilla)
- *Amaranthus minimus*
- *Amaranthus muricatus* (Amaranto Africano)
- *Amaranthus obcordatus*
- *Amaranthus palmeri*
- *Amaranthus paniculus*
- *Amaranthus pereus*
- *Amaranthus polygonoides* (Amaranto Tropical)
- *Amaranthus powellii*
- *Amaranthus pringlei*
- *Amaranthus pumilus*
- *Amaranthus quitensis*
- *Amaranthus retroflexus*
- *Amaranthus rudis*

- *Amaranthus scleropoides*
- *Amaranthus spinosus*
- *Amaranthus standleyanus*
- *Amaranthus thunbergii*
- *Amaranthus torreyi*
- *Amaranthus tricolor*
- *Amaranthus tuberculatus*
- *Amaranthus viridis*
- *Amaranthus watsonii*
- *Amaranthus wrightii*

### 2.1.3. Taxonomía

Tallo pubescente en la parte superior. Hojas ovadas, elípticas o romboidales, emarginadas y con un mucrón en el ápice. Flores agrupadas en una inflorescencia terminal densa, verdosa, con el espicastro terminal similar en longitud a los laterales. Flores con tépalos espatulados, con el ápice obtuso o emarginado; suelen ser mucronados y son más largos que el fruto, que es de tipo pixidio.<sup>4</sup>

La clasificación de la taxonomía de *Amaranthus retroflexus* se dará a continuación en la tabla I.

---

<sup>4</sup> UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA, *Herbario*. [en línea]. [http://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar\\_retr.htm](http://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar_retr.htm). [consulta 7 de julio 2018]

Tabla I. **Taxonomía del amaranto**

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Subfamilia	Amaranthoideae
Género	Amaranthus
Especie	Amaranthus retroflexus

Fuente: FAO.

#### **2.1.4. Aspectos generales del amaranto**

Las suaves hojas jóvenes y las semillas son aptas para el consumo humano, también es un buen alimento con un elevado contenido de hierro. Debe recogerse cuando es muy joven. Puesto que tiene un sabor suave, es mejor cuando se mezcla con verduras silvestres que tienen un sabor más fuerte. Por otra parte en el otoño las semillas se pueden recoger de las espigas secas de la planta y molerse hasta convertirse en una harina que se puede mezclar con harina de trigo para hacer panqués.

#### **2.2. Nutrición**

El Amaranto puede ser la planta más nutritiva del mundo. Botánicos y Nutricionistas han estudiado esta planta, encontrando que posee gran calidad nutritiva, en especial un alto contenido de proteínas, calcio, ácido fólico y vitamina C.

### **2.2.1. Nutrientes**

Las semillas de amaranto tostado proveen una fuente de proteínas superior, que puede satisfacer gran parte de la ración recomendada de proteínas para niños, y también pueden proveer aproximadamente el 70 % de energía de la dieta.

Una combinación de arroz y amaranto, en una proporción de 1:1 ha sido reportada como excelente para alcanzar las especificaciones de proteínas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El amaranto posee un alto contenido proteico, aproximadamente 17 %. La semilla de Amaranto compite bien con variedades convencionales de trigo que contiene de 12 a 14 % de proteína, con el arroz que contiene de 7 a 10 %, con el maíz que contiene de 9 a 10 % de proteínas y con otros cereales de gran consumo. Además, el amaranto posee abundante lisina, aminoácido esencial que está en baja proporción en los demás cereales. El amaranto tiene el doble de lisina que el trigo, el triple que el maíz, y tanta lisina como la que se encuentra en la leche<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> CORFO, *el valor nutritivo del amaranto*. [en línea]. <http://www.amaranto.cl/informacion-nutricional.html>. [consulta 7 de julio 2018]

Tabla II. **Composición química de la semilla de amaranto (por cada 100 g de parte comestible y en base seca)**

Característica	Contenido
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 – 8,1
Fibra (g)	3,5 – 5,0
Cenizas (g)	3,0 – 3,3
Energía (g)	391
Calcio (g)	130 – 164
Fósforo (g)	530
Potasio (g)	800
Vitamina C (mg)	1,5

Fuente: *Amaranto el alimento del futuro*, [en línea], el valor nutricional.

El balance de aminoácidos en el amaranto está cercano al requerido para la nutrición humana. Su aminoácido más limitante es la leucina, que permite que la proteína de la variedad *Amaranto caudatus* se absorba y utilice hasta el 70 %, cifra que asciende hasta el 79 % según el tipo de semilla. El cómputo aminoacídico es de 86% en *Amaranto hypochondriacus* y de 77 % en *Amaranto cruentus*. Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con los cómputos químicos de la proteína del trigo (73 %) y soya (74 %), mientras que las proteínas de origen animal no tienen aminoácidos limitantes. Lo destacable de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina, en comparación con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de maíz, arroz y trigo.<sup>5</sup>

Tabla III. **Contenido de proteína del amaranto comparado con los principales cereales (g/100g pasta comestible)**

Cultivo	Proteína
Amaranto	13,6 – 18,0
Cebada	9,5 – 17,0
Maíz	9,4 – 14,2
Arroz	7,5
Trigo	14,0 – 17,0
Centeno	9,4 – 14,0

Fuente: FAO, 1997.

### **2.2.2. Usos en la alimentación humana**

El amaranto es un alimento muy importante y se consume principalmente como cereal reventado, del cual se elaboran alegrías, un dulce típico mexicano, cereales, granolas, tamales, atoles, pinole, mazapán y otros deliciosos productos elaborados con su harina como tortillas, galletas, panqués, horchata y bebidas chocolatadas. También produce aceites y colorantes que se utilizan en la cosmetología o industria química o farmacéutica.<sup>6</sup>

### **2.3. Información agronómica**

Esta nos dará a conocer datos de cosecha y siembre del amaranto, a continuación se detallara cada aspecto.

#### **2.3.1. Características que debe tener las plantas de amaranto y el grano de amaranto**

Para considerar una buena plantación del amaranto es importante tomar en cuenta las siguientes características de debe tener las plantas de amaranto que se mencionan a continuación:

---

<sup>6</sup> CORFO, *el amaranto y sus beneficios*. [en línea]. <<http://www.amaranto.cl/noticia/amaranto-y-sus-beneficios-para-la-salud.html>>. [consulta 8 de julio 2018]

- Homogeneidad de la plantación (que esté pareja y uniforme).
- Plantas con alto rendimiento.
- Altura de 1.2 a 1.8 m.
- Plantaciones vigorosas y homogéneas (igual desarrollo de la planta, sanidad, producción, etc.).
- Que se adapte a las condiciones climáticas de la región.
- Morfología, características propias de la variedad, como la coloración del follaje, de la inflorescencia, porte de la planta, entre otras.
- Plantas preferentemente sin ramificaciones.
- Inflorescencia encima del follaje. i. Buena longitud de panoja (1/3 parte de la altura total de la planta).
- Las panojas deben ser preferentemente compactas, con las espigas pegadas al eje central de la inflorescencia, para evitar la caída de semilla.
- Resistencia a plagas y enfermedades.
- Maduración homogénea y secado uniforme de las panojas.
- La calidad, semilla blanca o crema, libre de semillas negras.
- Vigor en la semilla al momento de su germinación.
- Semilla grande (retenidas en malla #20).
- Calidad en el reventado del grano (buen rendimiento y densidad).
- Sin aguante y otras cualidades que faciliten su manejo.

Asimismo es necesario conocer las calidades de grano de amaranto para poder tener un mejor cultivo en las plantaciones de amaranto para ello dos aspectos importantes que determinan la calidad del grano, la limpieza y la humedad. “En la limpieza podemos observar características que nos permiten diferenciar el grano. En un grano de buena calidad no hay presencia significativa de impurezas (restos de hojas, palitos, excremento de insectos, tierra y piedra). La humedad debe ser de 10 %, es decir lo más seco posible; las

características del grano en este punto son: al morderlo se percibe su dureza; al mover los granos se escucha un sonido característico de grano seco; los granos ya no se pegan en la palma de las manos al tomar un puño y soltarlos. Las calidades del grano se pueden consultar en la norma mexicana NMX-FF-114-SCFI-2009”<sup>7</sup>

### **2.3.2. Aspectos por considerar para la siembra y cosecha del amaranto**

Los aspectos que se a continuación se detallan son de suma importancia, para lograr una buena producción de amaranto y así poder tener una mejor consistencia del grano.

- **La siembra**

Aproximadamente 1 kilogramo de semilla, se pueden sembrar 3 hectáreas, es decir, se necesitan 333 g/ha. Para dimensiones más humildes y pensando en número de semillas, se necesitarán unas 55 semillas/m<sup>2</sup>.

La profundidad de siembra es sumamente importante, los mejores resultados se obtienen cuando se siembra de 1 a 2 cm de la superficie del suelo. Si la profundidad es mayor se tienen problemas y la emergencia es muy irregular. Además, el suelo o sustrato debe estar húmedo en este momento.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO SOCIAL, PUENTE A LA SALUD COMUNITARIA, A.C., *Manual de la producción de amaranto*. [en línea]. <http://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manualecoamarantofinal.pdf>. [consulta 8 de julio 2018]

<sup>8</sup> AGROHUERTO, *Amaranto ¿cómo cultivarlo?* [en línea]. <https://www.agrohuerto.com/amaranto-como-cultivarlo/>. [consulta 8 de julio 2018]

- **Riego**

La cantidad total de agua requerida por el amaranto a través de su ciclo vital es de solo el 60% del agua en comparación al trigo o la cebada, por lo tanto, el amaranto de semilla es un cultivo ideal para las regiones secas. Soporta la escasez e irregularidad de lluvias, necesita de la humedad solamente en el momento de la siembra hasta que aparecen los retoños, aunque con el aporte de riego durante todo el ciclo se mejoran los rendimientos.<sup>8</sup>

A mediados o finales del verano aparecen las espigas coloridas, si las frotas y las semillas se desprenden es el momento de suspender el riego para iniciar la recolección.<sup>8</sup>

- **Crecimiento**

El cultivo del amaranto es altamente eficiente ya que puede prosperar en condiciones agroclimáticas adversas: sequía, altas temperaturas o suelos salinos. Su ciclo vegetativo tiene un promedio de 180 días, desde que germina hasta que la semilla alcanza su madurez.

- **Cuidados**

Es importante tener la planta en un lugar con luz. Las plagas no suelen atacarlo. De hecho, la planta genera enzimas que combaten a los insectos fitófagos de manera natural, y cuando es atacada, mueve los azúcares lejos de donde se encuentra la fuente del daño, por lo que estos, se quedan sin alimento. Además, la incidencia de plagas y enfermedades puede disminuirse mediante la rotación de cultivos.

Después del establecimiento del cultivo, lo más importante es el control de las hierbas adventicias. Para lograr esto son necesarios dos escardas, la primera cuando la planta tenga de 10-20 cm de altura, y el segundo a los 40 o 50 cm de altura. Es importante resaltar que se debe poner especial cuidado con la maleza en las primeras etapas de crecimiento, ya que el amaranto crece muy lento durante el primer mes. Después no sería tan necesario, ya que la planta es lo suficientemente grande para competir contra las adventicias, incluso, a veces, se puede omitir la segunda escarda.<sup>8</sup>

- **Recolección**

La cosecha se debe realizar cuando las plantas son color pardo amarillento. En todo caso, presenta cierta dehiscencia en la base de las panojas y los granos, se tornan de aspecto harinoso, cuando han llegado a la madurez de la cosecha.

Después de haber suspendido el riego, se dejan pasar 3 días y se cosechan. La forma tradicional de cosechar el grano de amaranto consiste en cortar las panojas, ponerlas a secar durante dos o tres días al sol sobre una manta o superficie de cemento, y posteriormente trillarlas, golpeándolas con varas o pisoteándolas con animales; la semilla se limpia venteándola.<sup>8</sup>

- **Almacenamiento**

La humedad más recomendable para almacenar la semilla es de 10 a 12 por ciento, lo cual se logra secándola al sol durante dos a tres días, como ya se ha comentado.

El grano almacenado libre de plagas y enfermedades conserva su potencial nutritivo, entre los 5 y 7 años si se mantiene en un lugar seco, fresco y ventilado.

Un problema que puede surgir es la inhalación de polvo de amaranto directa por la manipulación de este, la cual debe minimizarse con el uso máscaras, para evitar que la exposición repetida que pueda llevar a problemas respiratorios.<sup>8</sup>

## **2.4. Secado**

Extracción física de un líquido, generalmente agua, de un sólido que no utiliza métodos mecánicos ni químicos, usando como coadyuvante un medio gaseoso generalmente aire, que idealmente conviene este seco, caliente y en movimiento. El movimiento acelera el secado y además aumenta el movimiento del aire saturado. La temperatura beneficia el cambio de estado del agua.<sup>9</sup>

### **2.4.1. Objetivo del secado**

Consiste la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos.

En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes; además, ahí el agua se

---

<sup>9</sup> GIRÓN HERNÁNDEZ, Lenyn Ubaldo. *Evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (Moringa oleífera Lam) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional.* p.49

elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre, se elimina en forma de vapor con aire.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente, es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo.<sup>10</sup>

#### **2.4.2. Proceso y métodos de secado**

El proceso de secado se puede manejar de forma sencilla o compleja según lo demande la materia prima que se secará. Para ello, se debe tomar muy en cuenta sus características para evaluar cuál será el método por utilizar. Según las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua, los procesos se pueden clasificar como los que se mencionan a continuación:

- Calor añadido por contacto directo con el aire caliente a presión atmosférica y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.
- Secado al vacío, el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación y, la evaporación de agua se verifica con mayor rapidez a presiones bajas.

---

<sup>10</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p 579.

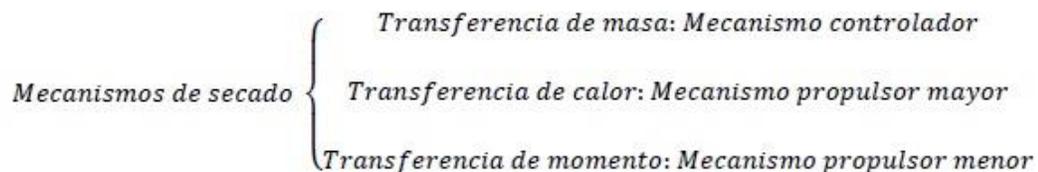
- Liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado.

Los procesos de secado se pueden dar por lotes o en continuo. Cuando se trabaja por lotes, el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo. En el proceso en continuo el material es añadido sin interrupción y se obtiene material seco con régimen continuo.<sup>11</sup>

### 2.4.3. Fenómenos involucrados

Los fenómenos involucrados en el proceso de secado son la transferencia de masa, transferencia de calor y transferencia de momento.

Figura 2. **Mecanismos de secado**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, p.580.

### 2.4.4. Factores físicos involucrados

La temperatura ideal del secado de la semilla varía dependiendo de la humedad del grano y condiciones ambientales. Cuanto más alto es el contenido de humedad, más alta es la susceptibilidad de la semilla al secarse. Por lo cual los factores físicos que se ven involucrados son los siguientes:

<sup>11</sup> SOTO FRANCO, Clara Ivonne. *Proceso de fabricación de harina de coco (cocos nucifera) para la obtención de un producto de panificación para personas celíacas*. p.34.

- Solido
- Agua contenida en el solido
- Medio (coadyuvante gaseoso que generalmente es aire)

#### **2.4.5. Factores controlables**

Para que la semilla no sea dañada durante el proceso, es recomendable secarlas a temperatura máxima permisible para la mayoría de las especies es de 40°C. Por ello, la regulación de la temperatura en la secadora es muy importante, recomendándose que, en la mayoría de los casos, la temperatura del aire de secado esté por debajo de los 60°C.<sup>12</sup>

- Tamaños de partícula
- Temperatura de bulbo seco del medio
- Presión del medio
- Humedad del medio
- Leyes de secado
- Configuración de partículas del medio
- Velocidad de medio

---

<sup>12</sup> FAO DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, Secado de diversos granos. [en línea]. <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S0e.htm>. [consulta 8 de julio 2018]

#### **2.4.6. Secadores**

Como se mencionó con anterioridad, existe una diversidad de métodos para reducir o eliminar el contenido de humedad de la semilla. Estos se adaptan según las necesidades específicas, sean estas económicas o técnicas.

Los secadores son equipos utilizados en el proceso de secado, puede haber diversas clases, en forma general se clasifican en directo e indirectos.

##### **2.4.6.1. Secadores directos**

La característica principal es su utilización en gases que entran en contacto físico con los granos húmedos, transmiten temperatura por convección y arrastran fuera del secador los vapores producidos.

Así mismo, calienta el medio y este calienta el sólido lo realiza básicamente por medio convectivos.

##### **2.4.6.2. Secadores indirectos**

La principal característica más importante de este tipo de equipos es que la transmisión de calor hacia los granos húmedos se da por conducción a través de una pared, que por lo general es metálica.

Este tipo de secadores calienta al sólido, no al medio, pueden ser conductivos o radioactivos.

- Radiactivos: lámparas infrarrojas, microondas
- Conductivos: bandeja de doble fondo, con inducciones

## 2.4.7. Tipos de secadores

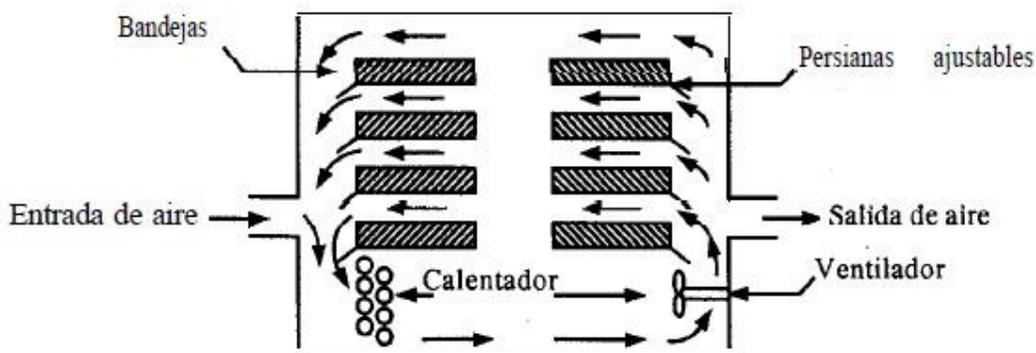
Existe una diversidad de secadores en los cuales se pueden resaltar lo siguientes:

### 2.4.7.1. Secador de bandejas

En el secador de bandejas, que también se llama secador de anaqueles, de gabinete, o de compartimientos, el material, que puede ser un sólido en forma de terrones o una pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad. Un secador de bandejas típico, tal como el que se muestra en la figura 2, tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete.

Un ventilador recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las bandejas. También se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos del 10 al 20% del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado.

Figura 3. Secador de bandejas o anaqueles



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.580.

Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se remplazan por otras con más material para secado. Una de las modificaciones de este tipo de secadores es el de las bandejas con carretillas, donde las bandejas se colocan en carretillas rodantes que se introducen al secador. Esto significa un considerable ahorro de tiempo, puesto que las carretillas pueden cargarse y descargarse fuera del secador.

En el caso de materiales granulares, el material se puede colocar sobre bandejas cuyo fondo es un tamiz. Entonces, con este secador de circulación cruzada, el aire pasa por un lecho permeable y se obtienen tiempos de secado más cortos, debido a la mayor área superficial expuesta al aire.<sup>13</sup>

#### **2.4.7.2. Secador indirecto al vacío con anaqueles**

Este tipo de secador se calienta indirectamente y son del tipo de lotes, similares a los de las bandejas. Esta clase de secador consta de un gabinete construido de hierro colado o plancha de acero con puertas herméticas, de tal manera que se pueda operar al vacío. Los anaqueles huecos de acero se montan dentro de las cámaras y se conectan en paralelo, con los colectores de vapor de entrada y de salida. Las bandejas que contienen los sólidos mojados se colocan sobre los anaqueles huecos. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles.

Para operaciones a temperaturas más bajas, se usa circulación de agua caliente en lugar de vapor para suministrar el calor que vaporiza la humedad. Los vapores se colectan en un condensador.

---

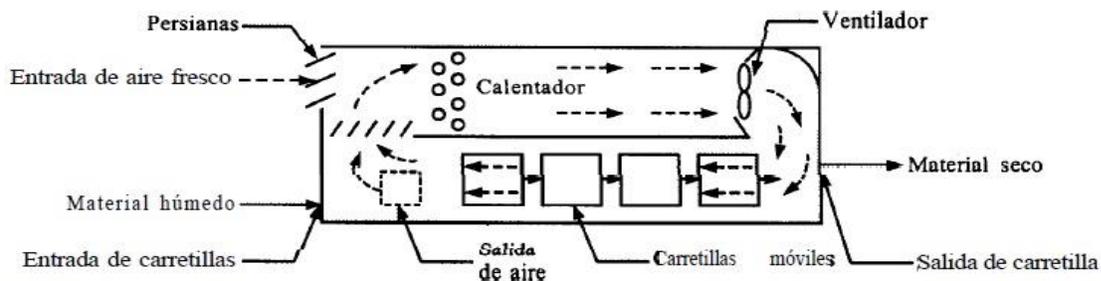
<sup>13</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.580 - 581.

Estos secadores se usan para secar materiales costosos o sensibles a la temperatura, o bien que se oxiden fácilmente. Son muy útiles para manejar materiales con disolventes tóxicos o valiosos.<sup>14</sup>

### 2.4.7.3. Secador continuo de túnel

Los secadores continuos de túnel suelen ser compartimentos de bandejas o de carretillas que operan en serie, tal como se muestra en la figura 3. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento.

Figura 4. **Secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente**



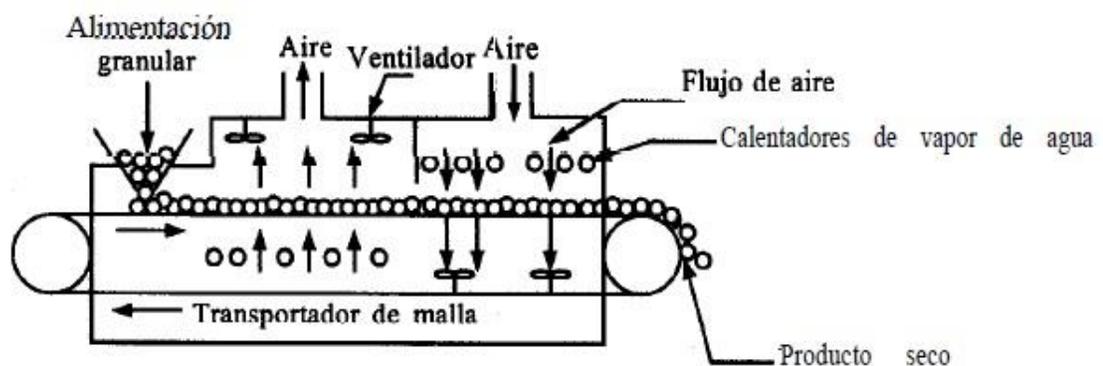
Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.581.

Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, pueden utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz, como el de la figura 4. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de una capa que tiene entre 25 y 150 mm de profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia

<sup>14</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.581.

abajo. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento. Un ventilador adicional extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera. En algunos casos, los materiales en forma de pasta pueden preformarse en cilindros y colocarse sobre el transportador para secarse.<sup>15</sup>

Figura 5. **Secador de banda transportadora con circulación cruzada.**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, p.581.

#### 2.4.7.4. **Secador rotatorio**

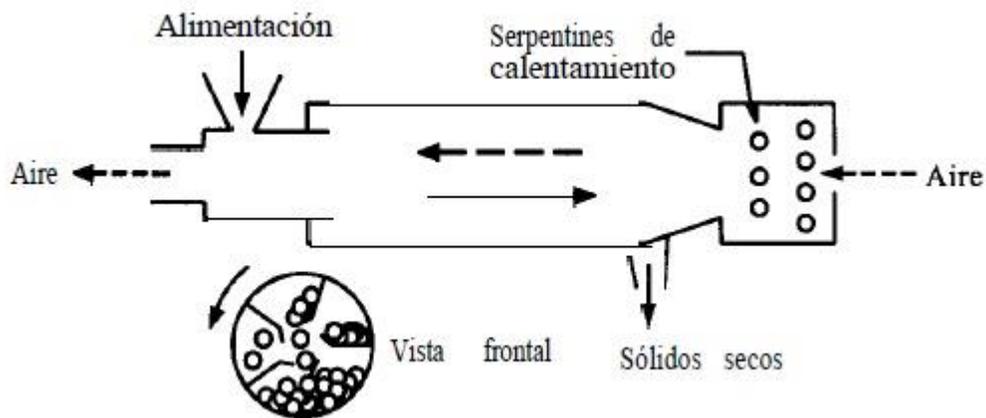
Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre su eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se alimentan por la parte superior, tal como se muestra en la figura 5 y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. El calentamiento se lleva a cabo por contacto directo con gases calientes mediante un flujo a contracorriente.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.582.

<sup>16</sup> *ibíd.*

En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro.

Figura 6. **Diagrama esquemático de secador rotatorio con calentamiento directo.**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.582.

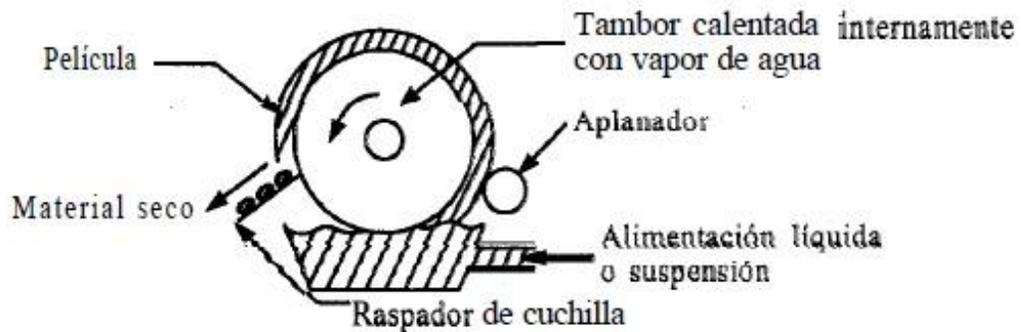
#### 2.4.7.5. **Secador de tambor**

Un secador de tambor consta de un tambor de metal calentado, como se indica en la figura 6, en cuyo exterior se evapora una capa delgada de un líquido o una suspensión hasta que se seca. El sólido seco final se le raspa al tambor, que gira lentamente.<sup>17</sup>

Los secadores de tambor son adecuados para procesar suspensiones o pastas de sólidos finos, así como soluciones verdaderas.

<sup>17</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.583.

Figura 7. **Secador de tambor**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.583.

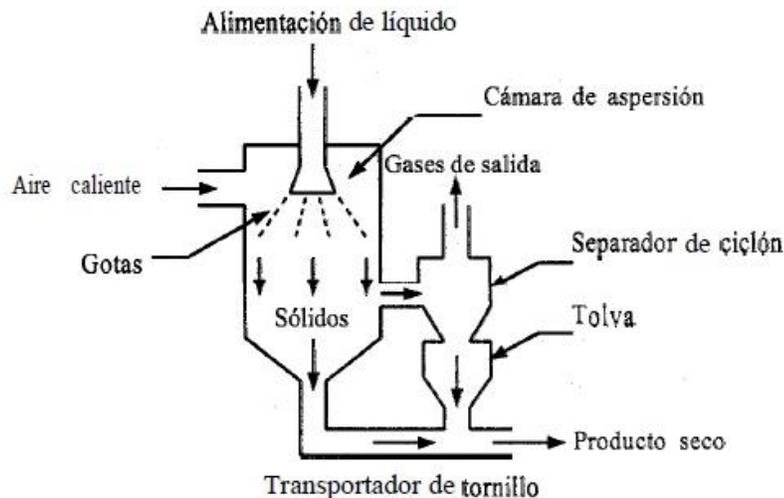
#### 2.4.7.6. **Secador de aspersion**

En un secador por aspersion, un líquido o una suspension se atomiza o se roela en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez, y se obtienen partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas. El flujo gas y de líquido de la cámara de aspersion puede ser a contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos.

Las gotas finas se forman al introducir el líquido en toberas de atomización o discos giratorios de rociado de alta velocidad en el interior de una cámara cilíndrica (Figura 7). Es necesario asegurarse de que las gotas o partículas húmedas del sólido no choquen ni se adhieran a las superficies solidas antes de que hayan secado.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.583.

Figura 8. **Diagrama de flujo para unidad de secado de aspersión**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.583.

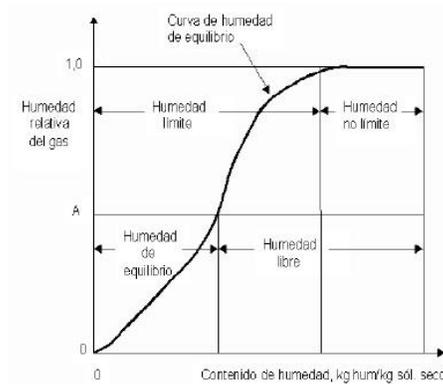
## 2.5. **Curvas de secado**

El objetivo primordial de la curva de secado es identificar condiciones y tiempos para secar un sólido y, a la vez, garantizar la seguridad del proceso. Las curvas de secado también se elaboran para garantizar la calidad del secado del producto.

### 2.5.1. **Curva cero**

Para esta se plotea en una gráfica la humedad relativa en base seca del sólido ( $X_{BS}$ ) en función de la humedad relativa del medio (%Hr). Siempre se observa en las curvas que al disminuir la humedad relativa del medio disminuye el contenido de humedad del sólido. El procedimiento para realizar esta curva lleva control del porcentaje de humedad relativa hasta obtener una masa constante del sólido, en este momento se relaciona  $X_{BS}$  y %Hr para la curva.

Figura 9. Tipos de humedades y dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire

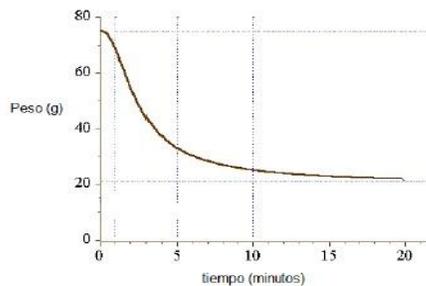


Fuente: CONTRERAS VELÁSQUEZ, Luz María. Aspectos teóricos de la operación de secado aplicación, p.9.

### 2.5.2. Curva uno

Se gráfica la masa del sólido en función del tiempo que este ha permanecido en el secador. El experimento requiere de dos muestras, una para tomar la masa en el tiempo, este experimento se lleva a cabo en un secador, y la otra muestra para hallar la masa constante, el cual se lleva a cabo en un horno.

Figura 10. Masa de la muestra en función del tiempo

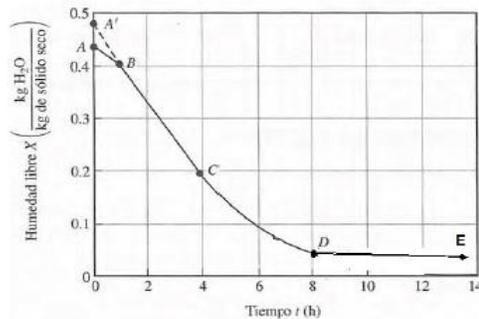


Fuente: PERRY, Robert H. James O. *Manual del Ingeniero Químico*. p.12-29.

### 2.5.3. Curva dos

Se gráfica la humedad del sólido con base seca en función del tiempo de secado. De la muestra representativa del sólido se toma una parte para determinar la masa seca o masa constante y otra parte de la muestra se utiliza para medir el avance del secado en el secador, estas pueden ser una o varias probetas que se ubican en lugares estratégicos.

Figura 11. **Humedad del sólido en función de tiempo de secado**



Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.590.

Las fases que se dan en el proceso de secado que se observan en la figura 10 son las siguientes:

- Del punto A al punto B: periodo de estabilización.
- Del punto B al punto C: velocidad de secado constante.
- Del punto C al punto D: velocidad de secado disminuida.
- Del punto D al punto E: ya no existe secado.

#### 2.5.4. Curva tres

En la curva tres, así como en la curva dos, se tratará de ver el comportamiento de secado dentro de la secadora. La ecuación básica para construir esta curva es la siguiente:

$$R = \text{velocidad de secado} = \frac{\text{masa de H}_2\text{O evaporada(Kg)}}{\text{tiempo} * \text{Area}} \text{ (ecuación 1.)}$$

Para ello se debe conocer el área de secado de la o las bandejas probetas, se toman dos pesos en dos tiempos de la curva uno y en base a los tiempos se calcula el peso en el tiempo x y el peso en el tiempo x+1 hallando la diferencia de masas y así se sustituye en la ecuación 11, de la siguiente manera.

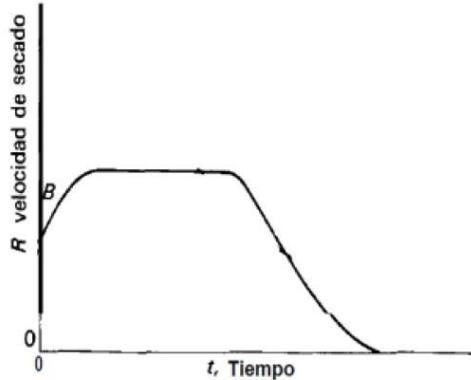
$$R = \frac{P_x - P_{x+1}}{\text{Area} * \text{tiempo}} \text{ (ecuación 2.)}$$

El tiempo que se coloca en la gráfica se calcula con la siguiente ecuación:

$$\bar{t} = \frac{t_x - t_{x+1}}{2} \text{ (ecuación 3.)}$$

Para la realización de este cálculo se debe tomar en consideración que el espesor de lecho y el área viva de secado en la bandeja deben ser uniformes.

Figura 12. **Velocidad de secado en función del tiempo**



Fuente: MCCABE, Warren L., SMITH, Julián C., HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p.845.

### 2.5.5. Curva cuatro

Curva de velocidad de secado (R) en función de la humedad del sólido ( $X_{BS}$ ). Para construir esta gráfica se toman de la curva dos  $X_{BS}$  a un tiempo uno ( $t_1$ ) y  $X_{BS}$  a un tiempo dos ( $t_2$ ).

Para este se calcula la humedad promedio con base seca en la siguiente ecuación:

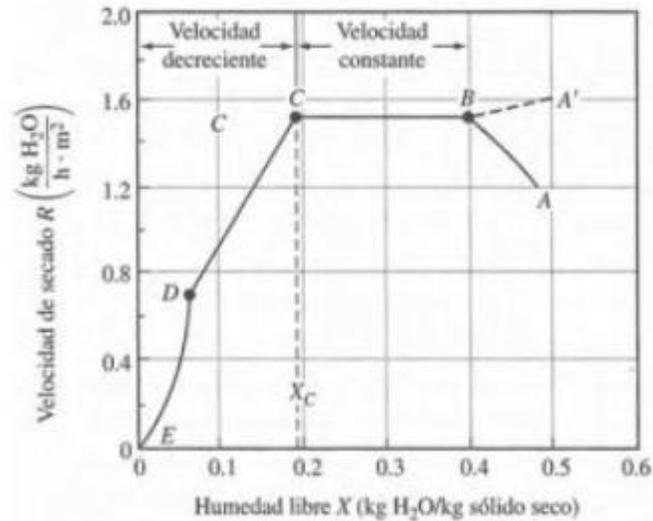
$$X_{BS} = \frac{X_{BS1} + X_{BS2}}{2} \text{ (ecuación 4.)}$$

Se calcula el tiempo promedio

$$\bar{t} = \frac{t_x - t_{x+1}}{2} \text{ (ecuación 5.)}$$

A este tiempo promedio se calcula R, o se lee de la curva tres, y con estos datos se construirá la gráfica.

Figura 13. **Velocidad de secado en función de la humedad del sólido**



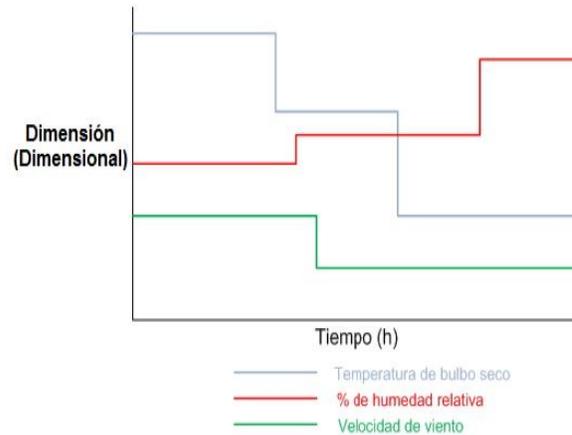
Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p.590.

En esta curva se puede estimar que, cuando la pendiente del punto D al punto C es muy pronunciada, es un sólido inorgánico.

### 2.5.6. Curva cinco

Curva que también es llamada protocolo de secado, pues indica que variable modificar y en qué tiempo debe hacerse para lograr los requerimientos del proceso de secado. Esta gráfica se construye para sólidos muy sensibles, que son exigentes con su proceso de secado.

Figura 14. **Protocolo de secado**



Fuente: GIRÓN HERNÁNDEZ, Lenyn Ubaldo, *Evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (moringa oleífera Lam) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional*. p.124.

## 2.6. Molienda

Operación unitaria basada en la pulverización y dispersión del material sólido. La molienda reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

### 2.6.1. Característica del material

Se debe tomar en cuenta que, para tener un secado eficiente, hay ciertos factores relacionados con las características físicas del material, como a continuación se describen los efectos que tienen las características de un sólido de tamaño de partícula pequeña.

- **Efecto de la morfología del sólido**

Generalmente, los sólidos cristalinos son más duros y abrasivos, pero su fragmentación es más regular y dan fases salientes más homogéneas. Los amorfos dan fases heterogéneas y si son fibrosos o pegajosos traban los equipos.

- **Efecto del tamaño de partícula en la entrada**

Es importante que al entrar a molienda el tamaño de los sólidos sea homogéneo para evitar pérdidas de energía, sobre todo en molienda de polvos finos. En general, moler sólidos grandes es más fácil que moler sólidos finos; los finos consumen mucha más energía por unidad de masa procesada.

- **Efecto de la dureza y friabilidad**

Un sólido duro consume más energía que uno friable al momento de la moliendo, pero un friable presenta el inconveniente de pasarse del tamaño reducido deseable, se hace pequeño y acaba volviéndose fino, con derroche energético innecesario.

- **Efecto de la higroscopicidad**

En la mayoría de los casos, que un sólido sea higroscópico afecta, ya que el sólido va perdiendo su tendencia a fluir. Cuando están exageradamente humedecidos, pueden formar lodos, siendo esto deseable bajo ciertas condiciones y otras veces no.

- **Efectos de la termolabilidad**

Dado el frotamiento que se presenta en la molienda hay mucha liberación de calor y este puede elevar la temperatura del sólido arriba de su índice de seguridad termolábil, arruinándolo. Incluso, si el molino no tiene un adecuado ventilador enchaquetado de enfriamiento y hay formación de chispas, algunos sólidos pueden explotar.

- **Efecto de la electrostaticidad**

Al frotarse en un solo sentido se genera estática y esa carga eléctrica puede generar chispazos y, si se está trabajando con polvos en suspensión y en un ambiente muy seco, pueden provocar explosiones.

## **2.6.2. Equipo de molienda**

La maquinaria utilizada para la molienda se elige según las propiedades de cada alimento. El equipo más adecuado es aquel que no lo degrade, es decir que no provoque la pérdida de sus propiedades.

- **Molino de discos o pulverizador**

El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos, las cuales tienen una convergencia radial, o sea, están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos.

Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Reciben, generalmente, partículas de 1 centímetro o menos

pueden producir hasta polvos de 200 mesh. Producen un polvo muy homogéneo y pueden llegar a reducir veinte veces el tamaño de entrada de la partícula.

- **Molino de martillos**

Es el más versátil y tiene el más amplio rango de razón de reducción de tamaño, dado que puede trabajar como quebrantador primario para partículas gruesas hasta recibir partículas finas, de pocos milímetros, logrando reducciones hasta partículas muy finas o intermedias. Reduce hasta quince veces el tamaño de partícula de alimentación. Se utiliza para sólidos no muy abrasivos y preferiblemente friables.

- **Molino de rodillos**

Típicos de las industrias harineras, se trabajan en series de hasta 5 y 7 unidades sucesivas, cada cual más estrecha, logrando producir hasta un *mesh* 200. Estos molinos reciben partículas de tamaño grano (10 a 1 milímetro) y las reducen hasta 4 veces el tamaño de alimentación.

## **2.7. Tamizado**

El tamizado se realiza una separación de tamaño o forma de uno o más sólidos. La separación mide la partícula y, al mismo tiempo, las separa de acuerdo con su tamaño por lo cual propician la clasificación. Existen tamices planos, fijos o vibrantes, algunos con grandes cedazos cilíndricos que estando inclinados rotan, y en lugar de tener una pila de tamices de mayor a menor, tienen una variedad de secciones en serie, de diferente tamaño de apertura de malla (*mesh*).

Por su simplicidad y versatilidad, el equipo utilizado para tamizado de harinas es el separador de tamices.

## **2.8. Análisis importantes**

Los análisis a que se consideran para la aplicación de una detección para ver si el producto alimenticio tiene o no un alto contenido nutricional el cual determinará su contenido como un buen suplemento alimenticio para la población en general. Los cuales se pueden: destacar lo que se presentan a continuación

### **2.8.1. Análisis bromatológico**

Los análisis bromatológicos son la evaluación química de la materia que compone a los nutrientes. Etimológicamente, bromatología es una palabra compuesta por Broma, 'alimento', y logos, 'tratado o estudio', es decir, que la bromatología es la ciencia que estudia los alimentos, sus características, valor nutricional y adulteraciones.

En un mercado globalizado, la importancia de conocer la composición química de los alimentos radica en el precio de estos, pues los fabricantes venden y los productores pagan de acuerdo con la cantidad de proteína cruda (PC), grasa, minerales, etc.

Así, el conocimiento de esta composición química de los alimentos permite su utilización de forma racional, con lo que se pueden evitar deficiencias o excesos de nutrimentos.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> LAVET, *análisis bromatológico*. [en línea]. <http://www.lavet.com.mx/analizando-alimentos-analisis-bromatologicos/>. [consulta 10 de julio 2018]

## **2.8.2. Análisis de cromatografía**

La cromatografía es un método de separación con alta resolución. Es un método físico de separación, donde los componentes se distribuyen en dos fases: una fase estacionaria y una fase móvil, que se va moviendo y transporta a los componentes a distintas velocidades por el lecho estacionario. Los procesos de retención se deben a continuas adsorciones y desorciones de los componentes de la muestra a lo largo de las fases estacionario.<sup>20</sup>

Existen varios tipos de cromatografía. Los más importantes son:

### **2.8.2.1. Cromatografía líquida (HPLC)**

En la cromatografía líquida, los componentes que se separarán se añaden de forma soluble por la parte superior de la columna, quedando retenidos en la misma. Posteriormente, los componentes se desplazan arrastrados por una fase móvil líquida. Dependiendo de la adsorción selectiva de cada uno de ellos por la fase estacionaria se desplazan a distintas velocidades, efectuándose la separación. Para alcanzar una alta resolución, sería necesario emplear columnas excesivamente largas o empaquetamientos muy compactos, lo que se traduce en un desarrollo lento. Estos inconvenientes se han resuelto en la cromatografía de alta presión (HPLC), en la que se trabaja con pequeñas columnas muy empaquetadas y forzando el paso de la fase móvil mediante elevadas presiones. Al final, tiene un sistema de registro gráfico (Cromatograma), que es un registro de picos donde para cada componente el área del pico es proporcional a la concentración.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> GRUPO ANALIZA CALIDAD, *Técnicas de análisis fisicoquímico de alimentos*. [en línea]. <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>. [consulta 10 de julio 2018]

Este tipo de cromatografía tiene muchas aplicaciones, por ejemplo, para determinar aditivos, colorantes, vitaminas.

### **2.8.2.2. Cromatografía de gases**

Se basa en la separación de los componentes de una muestra entre la fase móvil y la estacionaria. La separación se logra gracias a diferencias de solubilidad en la fase estacionaria y a diferencias de volatilidad. La fase móvil es inerte, solo arrastra moléculas a través del sistema. La separación se debe solamente a las interacciones entre la muestra y la fase estacionaria.

### **2.8.3. Análisis microbiológico**

Se basa en cultivos de cepas de microorganismos cuyo desarrollo depende específicamente de una determinada vitamina. Se usan básicamente en vitaminas hidrosolubles. El medio de cultivo donde se siembra carece de la vitamina en cuestión y esta es aportada por extractos del alimento donde se desea evaluar la vitamina. Paralelamente se hace un control donde sembramos el microorganismo sin vitaminas y también se siembra el microorganismo sin vitaminas y también se siembra el microorganismo en diversos medios con contenido vitamínico diverso. Se compara el crecimiento.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> GRUPO ANALIZA CALIDAD, *Técnicas de análisis fisicoquímico de alimentos*. [en línea]. <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>. [consulta 10 de julio 2018]

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Localización**

La fase experimental de la investigación se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente en los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), sección de Química Industrial, Centro de Investigación de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Las áreas de obtención de la semilla de amaranto están en el departamento de San Marcos en los Municipios de Sipacapa, Tejutla y Comitancillo.

#### **3.2. Variables**

Se determinaron las variables que se modificaron para observar y cuantificar el efecto que tuvieron sobre los resultados obtenidos, así mismo los factores que durante el proceso permanecieron de forma constante.

Tabla IV. **Definición operacional de las variables, para el proceso elaboración de harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus* L.)**

No.	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			constante	variable	controlables	No controlables
<b>Elaboración de harina de Amaranto</b>						
1	Temperatura de secado	Grados Celsius	X		X	
2.	Tiempo de secado	Minutos		X	X	
3.	Peso de muestra	Gramos	X		X	
4.	Porcentaje de humedad	Porcentaje	X		X	
5.	Tamaño de partícula de harina	Escala mesh	X		X	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1. Variables independientes

Se definen como las que no dependen de la operación. El marco metodológico debió adaptarse a las influencias que las variables independientes que dieron sobre los resultados.

Tabla V. **Definición y descripción de las variables independientes**

Variable	Dimensional de medición	Descripción
<b>Elaboración de harina de amaranto</b>		
Tiempo de secado del amaranto	Minutos	Es el tiempo requerido para que el amaranto se seque.
Tamaño de partícula de harina	Escala mesh 80	Tamaño de partícula de harina que se obtendrá después de la molienda y el tamizado de esta.
<b>Determinación de minerales por el método de cenizas totales</b>		
Peso de la muestra	Gramos	Es la cantidad en masa d muestra a la cual se realizará la determinación de minerales por el método de cenizas totales.

Continuación Tabla V.

Tiempo de calcinación e la mufla	Horas	Es el tiempo que la muestra estará dentro de la mufla, para la determinación del contenido de minerales.
<b>Determinación de proteínas cruda por el método de Kjeldahl</b>		
Peso de la muestra	Gramos	Es la cantidad de muestra a la cual se realizará la determinación de proteínas.
Tiempo de análisis por método de Kjeldahl	Minutos	Es el tiempo que tarda el método de Kjeldahl, que comprende las etapas de digestión, destilación y titulación.
<b>Determinación de fibra cruda por el método de fenol- sulfúrico</b>		
Peso de la muestra	Gramos	Es la cantidad de muestra a la cual se realizará la determinación de carbohidratos totales por el método de fenol sulfúrico.
Temperatura del ambiente	Grados Celsius	Es la temperatura del ambiente a la cual se realizará el análisis.
Tiempo de análisis por método de fenol-sulfúrico	Minutos	Es el tiempo de análisis que tarda el método de fenol-sulfúrico en realizarse.
<b>Determinación de extracto libre de nitrógeno</b>		
Peso de la muestra	Gramos	Es la cantidad de muestra a la cual se realizará la determinación de carbohidratos solubles totales por la medición del índice de refracción.
<b>Análisis de extracto etéreo por el método de Soxhlet</b>		
Peso de la muestra	Gramos	Es la cantidad de muestra a la cual se realizará la determinación de lípidos por el método de Soxhlet.
Tiempo de extracción en equipo Soxhlet	Minutos	Es el tiempo que la muestra permanecerá dentro del equipo de extracción Soxhlet mientras se realiza la extracción.

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Variables dependientes

Son las que dependieron de las operaciones realizadas en todo el transcurso del marco metodológico. Estas se adaptaron de acuerdo con las necesidades que exigieron los resultados del estudio de investigación.

Tabla VI. **Definición y descripción de las variables dependientes**

Variable	Dimensional de medición	Descripción
<b>Elaboración de harina de amaranto</b>		
Peso de la muestra durante el proceso de secado	Gramos	Es el peso de la muestra de amaranto dentro del secador durante el proceso.
Porcentaje de humedad de la muestra	Porcentaje	Es la cantidad de humedad que posee la muestra de amaranto durante el proceso de secado.
<b>Determinación de minerales por el método de cenizas totales</b>		
Porcentaje de minerales de la muestra	Porcentaje	Cantidad de minerales presentes en la muestra
<b>Análisis de extracto etéreo por el método de Soxhlet</b>		
Éter etílico	Mililitros	Usado como solvente para la extracción de lípidos en el método de Soxhlet
Porcentaje de lípidos de la muestra	Porcentaje	Cantidad de lípidos presentes en la muestra.
<b>Determinación de proteínas cruda por el método de Kjeldahl</b>		
Ácido clorhídrico	Mililitros	Cantidad de ácido clorhídrico a usarse en el análisis de proteínas en el método de Kjeldahl
Rojo de metilo	Gotas	Cantidad de rojo de metilo a usarse en el análisis de proteínas en el método de Kjeldahl.
Ácido bórico	Mililitros	Cantidad de ácido bórico a usarse en el análisis de proteínas en el método de Kjeldahl.
Agua	Mililitros	Cantidad de agua a utilizar en el análisis de proteínas del método de Kjeldahl.

Continuación Tabla VI.

Hidróxido de sodio	Gramos	Cantidad de hidróxido de sodio a utilizar en el análisis del método de Kjeldahl.
Porcentaje de proteínas de la muestra	Porcentaje	Cantidad de proteínas presentes en la muestra.
<b>Determinación de fibra cruda por el método de fenol- sulfúrico</b>		
Concentración de solución de muestra inicial	Microgramo / mililitro	Es la concentración de la solución de la muestra a analizar por el método de fenol – sulfúrico.
Intensidad de color naranja medida con colorímetro	-	Es el color de la solución de la muestra original obtenido al realizar el análisis de carbohidratos totales.
Porcentaje de carbohidratos totales de la muestra	Porcentaje	Cantidad de carbohidratos totales presentes en la muestra.
<b>Determinación de extracto libre de nitrógeno</b>		
Concentración de solución de muestra inicial	Gramos / mililitro	Es la concentración de la solución de la muestra que se analizara por la medición del índice de refracción.
Índice de refracción	Adimensional	Es la medida que da un refractómetro que medirá los carbohidratos solubles totales.
Porcentaje de carbohidratos solubles totales	Porcentaje	Cantidad de carbohidratos solubles totales presentes en la muestra.

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Delimitación del campo de estudio

Este trabajo de investigación se circunscribe al área alimenticia. Se enfoca en el uso de cualquier producto como un suplemento alimenticio, partiendo de la semilla de amaranto (*Amaranthus retroflexus L.*). La investigación se llevó a cabo en los municipios de Sipacapa, Tejutla y Comitancillo del departamento de San Marcos, Guatemala.

- Área de trabajo: área alimenticia.
- Industria: industria de producción alimenticia.

- Proceso: evaluación y caracterización de las propiedades fisicoquímicas en el proceso de elaboración de harina de amaranto (*Amaranthus retroflexus L.*) como suplemento alimenticio.
- Ubicación: la semilla de amaranto se obtendrá en el occidente de Guatemala. Se trabajó la semilla de amaranto de la especie *Amaranthus retroflexus L.* En el mercado guatemalteco se obtiene de la cosecha de la planta de bleado.
- Clima: el amaranto (*Amaranthus retroflexus L.*) puede crecer y desarrollarse en terrenos con temperaturas tropicales y bajas que va desde 7 hasta los 27 grados Celsius.

#### **3.4. Recursos humanos disponibles**

El recurso humano se refiere a las personas que intervienen en la realización del proyecto de investigación. En este caso se contó con un investigador que se encargó de la realización del marco metodológico y la redacción del informe final, también una asesora que brindo apoyo al investigador.

Investigador: Br. Josué Daniel Fuentes Orozco

Asesora: Inga. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini

#### **3.5. Recursos materiales disponibles**

Los recursos materiales comprenden los equipos electrónicos y mecánicos que se utilizaron durante el desarrollo de la investigación. Se incluyen, también, el equipo de laboratorio como cristalería, reactivos químicos y materia prima secundaria.

### 3.5.1. Equipo

Consiste en equipos electrónicos y mecánicos con los que se realizaron las tareas descritas en el marco metodológico de esta investigación.

Tabla VII. **Equipos utilizados durante la investigación**

<b>Etapas del proceso de investigación</b>	<b>Equipos utilizados</b>
Elaboración de harina de amaranto ( <i>Amaranthus retroflexus</i> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Secador de bandejas de flujo transversal</li><li>• Molino / licuadora industrial</li><li>• Tamizador</li></ul>
Determinación de minerales por método de cenizas totales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza digital</li><li>• Mechero bunsen</li><li>• Mufla</li><li>• Desecador</li></ul>
Determinación de extracto etéreo por el método de Soxhlet	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipo de extracción Soxhlet</li><li>• Balanza digital</li><li>• Plancha de calentamiento</li><li>• Estufa</li><li>• Desecador</li></ul>
Determinación de proteínas cruda por el método de Kjeldahl	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza digital</li><li>• Destilador Büchi</li><li>• Equipo de digestión Kjeldahl</li><li>• Equipo de neutralización y extracción Kjeldahl</li></ul>
Determinación de fibra cruda método de fenol-sulfúrico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza digital</li><li>• Colorímetro</li></ul>
Determinación de extracto libre de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza digital</li><li>• Refractómetro</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Cristalería

La cristalería que se utilizó en la realización del estudio de investigación consiste en instrumentos de vidrio como contenedores tubos de ensayo y pipetas.

- Agitador magnético
- Balón aforado de 150 mL

- Balón de bola con fondo plano de 250 mL
- Bureta de 25 mL
- Crisol de porcelana
- Cuchara
- Espátula
- Embudo de vidrio
- Gotero
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Papel filtro Whatman N° 1
- Perlas de ebullición
- Pipeta serológica de 10 mL
- Pipeta serológica de 1 mL
- Pipeta serológica de 5 mL
- Pipeta volumétrica de 1 mL
- Pipeta volumétrica de 5 mL
- Pinzas para crisol
- Tubo de ensayo
- Tubo de Kjeldahl
- Varilla de agitación
- Vidrio de reloj

### **3.5.3. Reactivos químicos**

Los reactivos químicos que se utilizaron durante el desarrollo de esta investigación deben ser manejados y manipulados con precaución y usando el equipo de protección personal necesaria como bata de laboratorio, guantes y lentes de seguridad para evitar accidentes.

- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico
- Ácido sulfúrico
- Agua destilada
- Cobre metálico
- Éter etílico
- Fenol
- Hidróxido de sodio
- Rojo de metilo
- Sulfato de cobre pentahidratado
- Sulfato de potasio

### **3.5.4. Materia prima**

Se utilizaron 25 lb de semilla de amaranto (*Amaranthus retroflexus L.*), la cual se utiliza para cultivar el bleado en el occidente de Guatemala.

### **3.6. Técnica cuantitativa**

Para esta investigación se realizaron diferentes técnicas que serán desarrolladas por el investigador. Se inició por la elaboración de la harina de

amaranto, como también el análisis bromatológico, análisis de cromatografía HPLC y análisis microbiológico.

### **3.6.1. Punto de muestreo**

Los resultados del análisis bromatológico, análisis de cromatografía HPLC y análisis microbiológico fueron los puntos de muestreo para realizar la comparación de las medias utilizando un análisis estadístico.

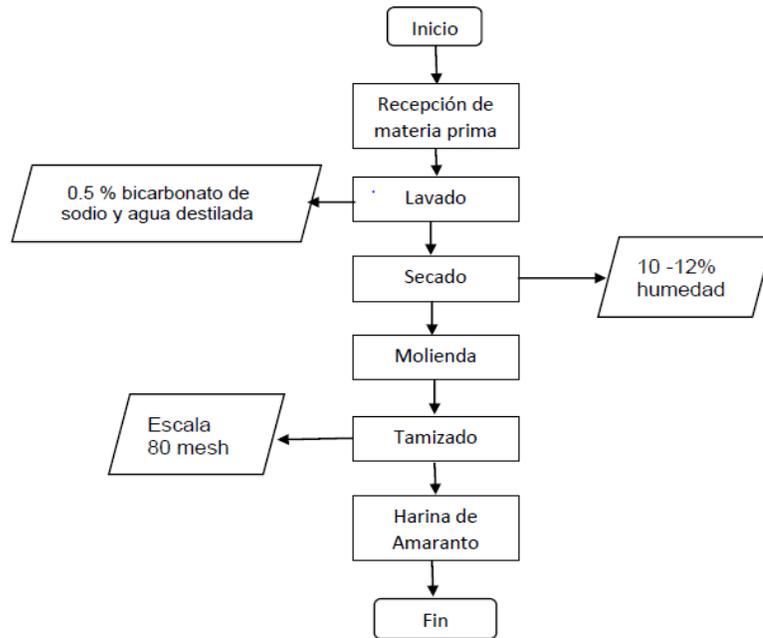
### **3.6.2. Obtención de la información en el procedimiento**

El proceso para la elaboración y la caracterización fisicoquímica de las propiedades del amaranto comprendieron las siguientes etapas:

#### **3.6.2.1. Elaboración de la harina de amaranto**

Se utilizó un secador de bandejas de flujo transversal, un molino y un tamizador para obtener la harina de amaranto. En este punto se obtuvo el peso inicial de la semilla de amaranto y su peso final, con lo cual se determinó el rendimiento de la materia prima como los datos para las curvas de secado.

Figura 15. Diagrama de proceso de la elaboración de harina de amaranto



Fuente: elaboración propia.

### 3.6.2.2. Análisis bromatológico

La información que se obtuvo al realizar el análisis bromatológico a las muestras de harina de amaranto fueron el porcentaje de los compuestos orgánicos: minerales, lípidos, proteínas, carbohidratos, extracto libre de nitrógeno, para la obtención de los datos se registró a los métodos de análisis oficiales de la norma AOAC.

### 3.6.2.3. Análisis de cromatografía HPLC

Por medio del análisis de cromatografía HPLC se identificaron las vitaminas presentes, como vitamina A y vitamina C.

### 3.6.2.4. Análisis de microbiológico

Del análisis microbiológico a las muestras de harina de amaranto se obtuvo el recuento de aeróbico total, moho y levaduras, de coliformes totales, Escherichia coli y Salmonella ssp.

## 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección debe hacerse de manera secuencial y ordenada para evitar confusiones en los datos originales, se usaron tablas de recolección de datos para evitar estos inconvenientes.

Tabla VIII. **Recolección de datos para la etapa de elaboración de harina de amaranto correspondiente al secado**

No. Muestra	Tiempo de secado (hrs.)	Peso inicial de la muestra (g)	Peso final de la muestra (g)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Recolección de datos para la etapa del análisis bromatológico**

<b>Tipo de análisis bromatológico</b>	<b>Muestra No. 1</b>	<b>Muestra No. 2</b>	<b>Muestra No. 3</b>
Porcentaje de proteínas crudas			
Porcentaje de lípidos (extracto etéreo)			
Porcentaje de fibra cruda			
Porcentaje de extracto libre de nitrógeno			

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Recolección de datos para la etapa del análisis de cromatografía HPLC**

<b>Tipo de vitamina presente</b>	<b>Muestra No. 1</b>	<b>Muestra No. 2</b>	<b>Muestra No. 3</b>
Vitamina A			
Vitamina C			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Recolección de datos para la etapa del análisis microbiológico**

<b>Tipo de análisis microbiológico</b>	<b>Muestra No. 1</b>	<b>Muestra No. 2</b>	<b>Muestra No. 3</b>
Recuento de aeróbico total			
Recuento de mohos y levaduras			
Recuento de coliformes totales y Escherichia colí			
Salmonella ssp.			

Fuente: elaboración propia.

### **3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

Los primeros datos que se obtuvieron y procesaron en esta investigación fueron los pesos de la materia prima antes y después del secado, y su peso después de la molienda y el tamizado. El resto de la información obtenida, tabulada, ordenada y procesada se realizó por medio de las siguientes tablas:



Tabla XIV. **Tabulación de datos para la etapa del análisis de cromatografía HPLC**

Tipo de vitamina presente	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3	$\bar{X}$	$\sigma$
Vitamina A					
Vitamina C					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Tabulación de datos para la etapa del análisis microbiológico**

Tipo de análisis microbiológico	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3	$\bar{X}$	$\sigma$
Recuento de aeróbico total					
Recuento de mohos y levaduras					
Recuento de coliformes totales y Escherichia coli					
Salmonella ssp.					

Fuente: elaboración propia.

### 3.9. Análisis estadístico

Consistió en un análisis que mediante los modelos respectivos ayudaron a confirmar cada una de las hipótesis.

#### 3.9.1. Promedio o media de la muestra

Dadas las observaciones de una muestra  $x_1, x_2, \dots, x_n$  la media de la muestra denotada con  $\bar{x}$  es:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \text{ (ecuación 6.)}$$

### 3.9.2. Varianza y desviación estándar

Dadas las observaciones de una muestra  $x_1, x_2, \dots, x_n$  y media  $\bar{x}$ , la varianza de la muestra denotada con  $S^2$  esta dada por:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \text{ (ecuación 7.)}$$

La desviación estándar de la muestra denotada con  $S$ , es la raíz cuadrada positiva de  $S^2$ .

$$S = \sqrt{S^2} \text{ (ecuación 8.)}$$

Los grados de libertad asociados con la varianza estimada son  $n-1$ .

### 3.9.3. Intervalo de confianza de la media con desviación estándar desconocida

Para los promedios de las poblaciones se utilizó un intervalo de confianza de 95 por ciento. La ecuación utilizada con desviación poblacional desconocida es la siguiente:

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}} < \mu > \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}} \text{ (ecuación 9.)}$$

Donde:

$t_{\frac{\alpha}{2}}$  = valor de  $t$  con  $v = n-1$  grados de libertad que deja un área de  $\frac{\alpha}{2}$  a la derecha.

$\bar{x}$  = media muestral

$\mu$  = media poblacional

$S$  = desviación muestral

$n$  = número de muestras

### **3.9.4. Prueba de hipótesis para la comparación de medias de las propiedades fisicoquímicas de la harina de amaranto respecto a la procedencia de la semilla**

Para dicha prueba se utilizó la prueba de hipótesis para la media de una población. La ecuación por utilizar con desviación poblacional desconocida es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \text{ (ecuación 10.)}$$

Donde:

t = valor t student

$\mu$  = media poblacional

$\bar{x}$  = media muestral

S = desviación muestral

n = número de muestras

### **3.10. Plan de análisis de los resultados**

Se elaboró un plan para el tratamiento de los datos obtenidos en el marco experimental, con los cuales se obtuvieron los resultados de la investigación. Se utilizaron diferentes métodos que fueron analizados usando una hoja de cálculo electrónica.

#### **3.10.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variable**

El conocimiento de que métodos que se utilizaron y los datos que se obtuvieron ayudaron a tener un mejor control de los resultados, asimismo en que programas se utilizó para procesar la información que se obtuvo.

Tabla XVI. **Métodos y modelos de datos**

<b>Método</b>	<b>Modelo de los datos</b>
Obtención de la harina de amaranto	Datos de peso con respecto al tiempo
Análisis bromatológico	Porcentaje en peso
Análisis de cromatografía	Porcentaje en peso
Análisis de microbiología	Porcentaje en peso

Fuente: elaboración propia.

### **3.10.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

Los programas a utilizados para el estudio de investigación ayudaron a facilitar la obtención de los resultados dicho programas que se utilizaron son:

- Qtiplot
- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013

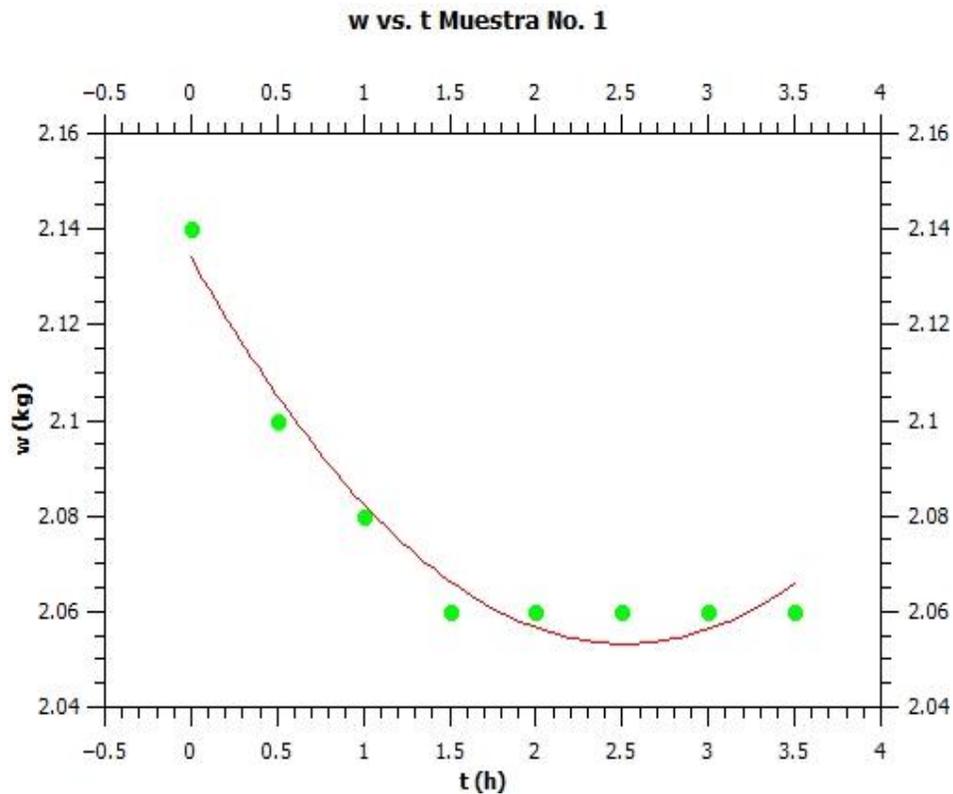
## 4. RESULTADOS

Tabla XVII. Rendimientos de la elaboración de la harina de Amaranto

Muestra No. 1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
90,08 %	94,50 %	91,80 %

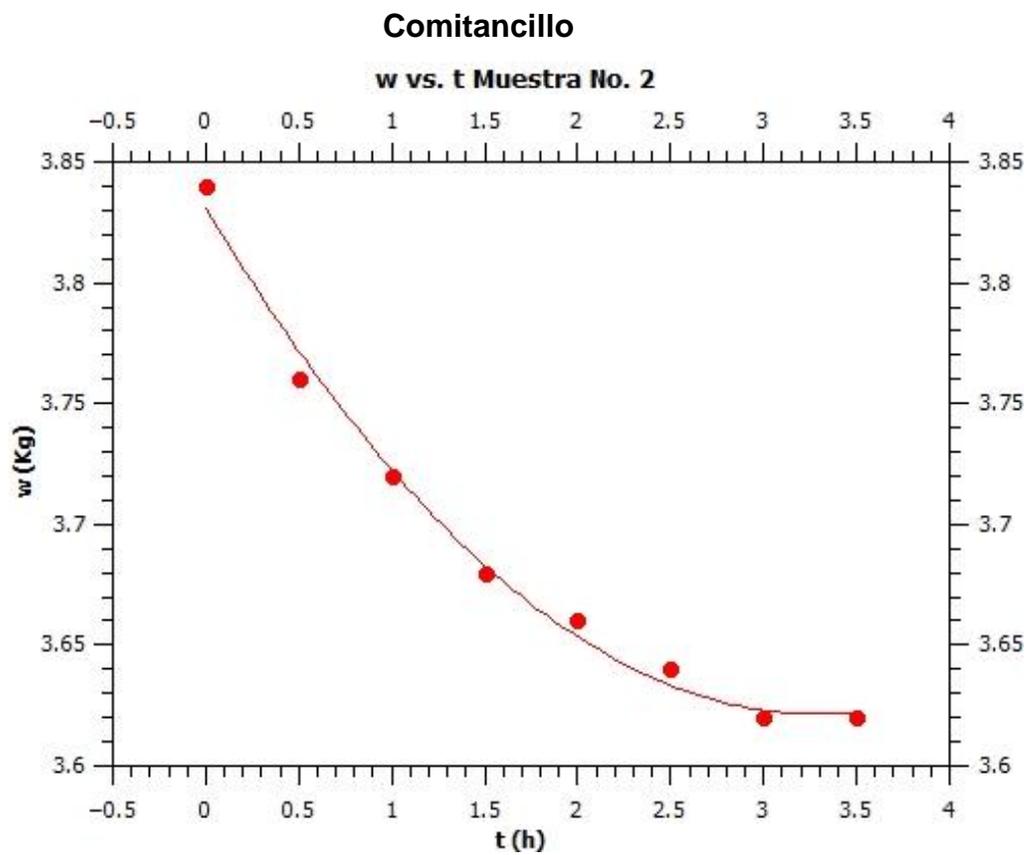
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 1  
Sipacapa



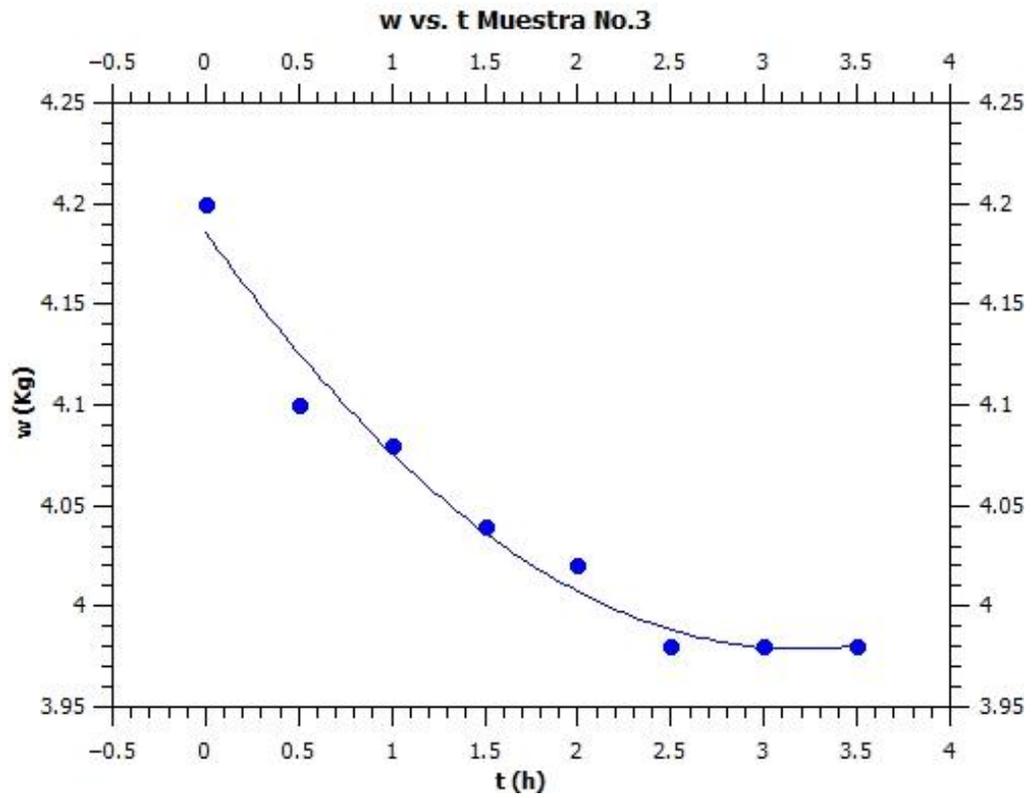
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 17. **Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 2**



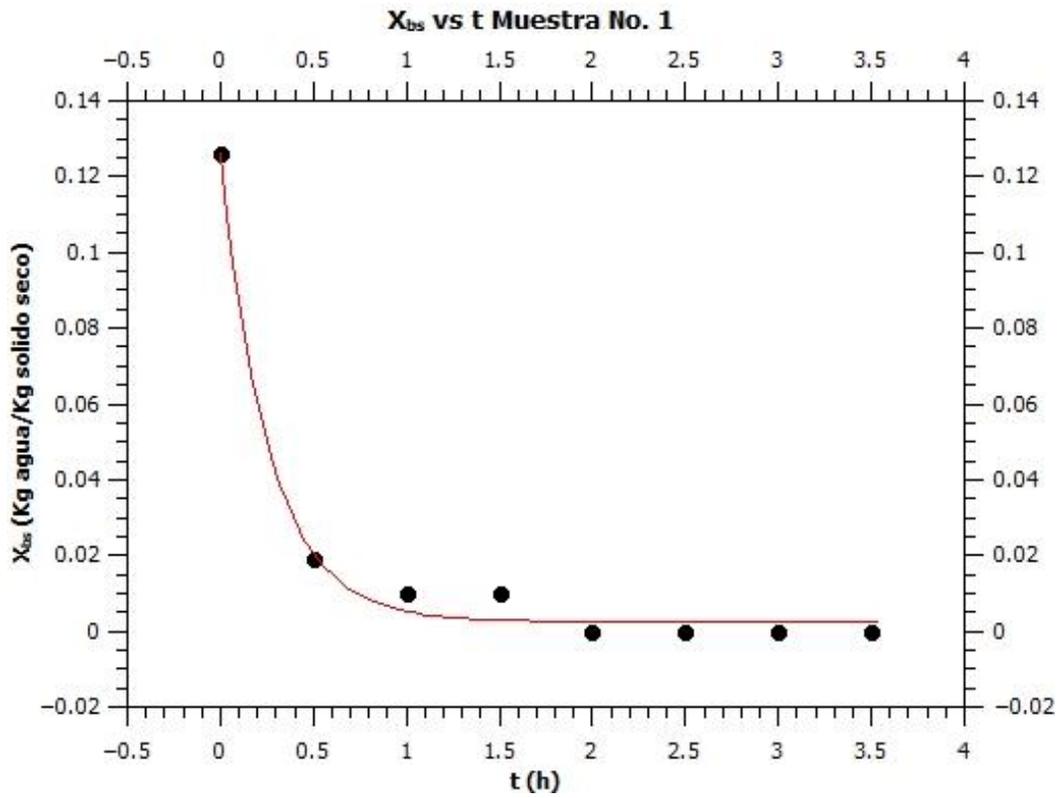
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 18. **Curva peso en función del tiempo para la muestra No. 3**  
**Tejutla**



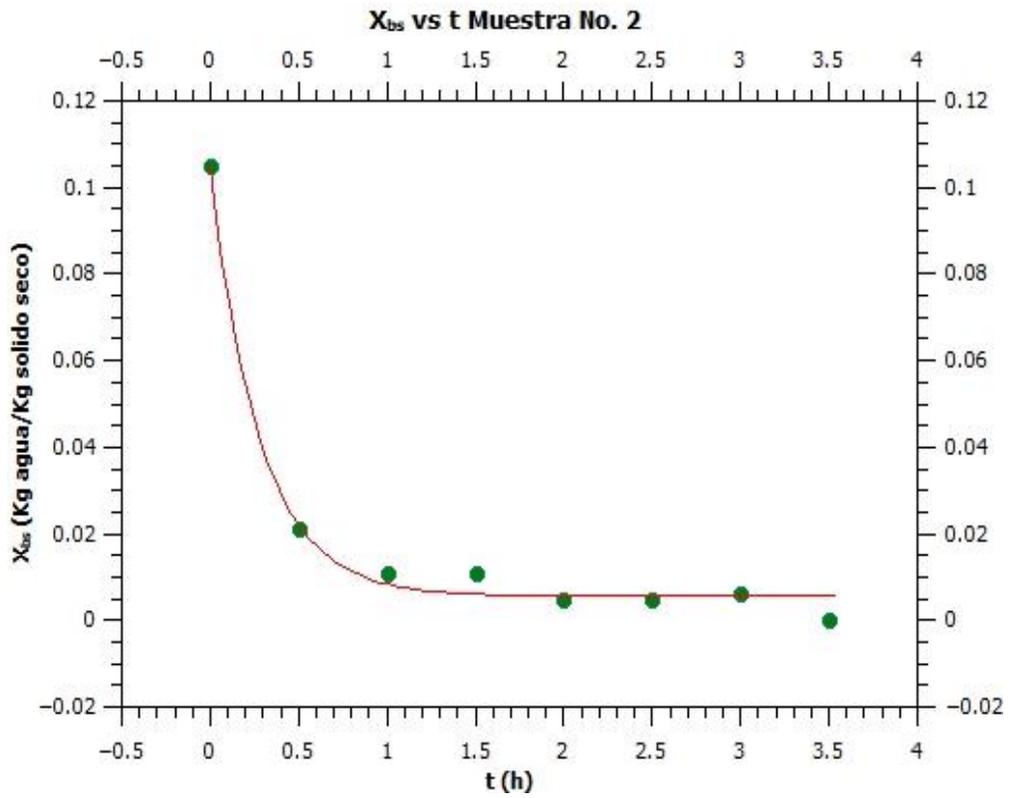
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 19. **Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 1 Sipacapa**



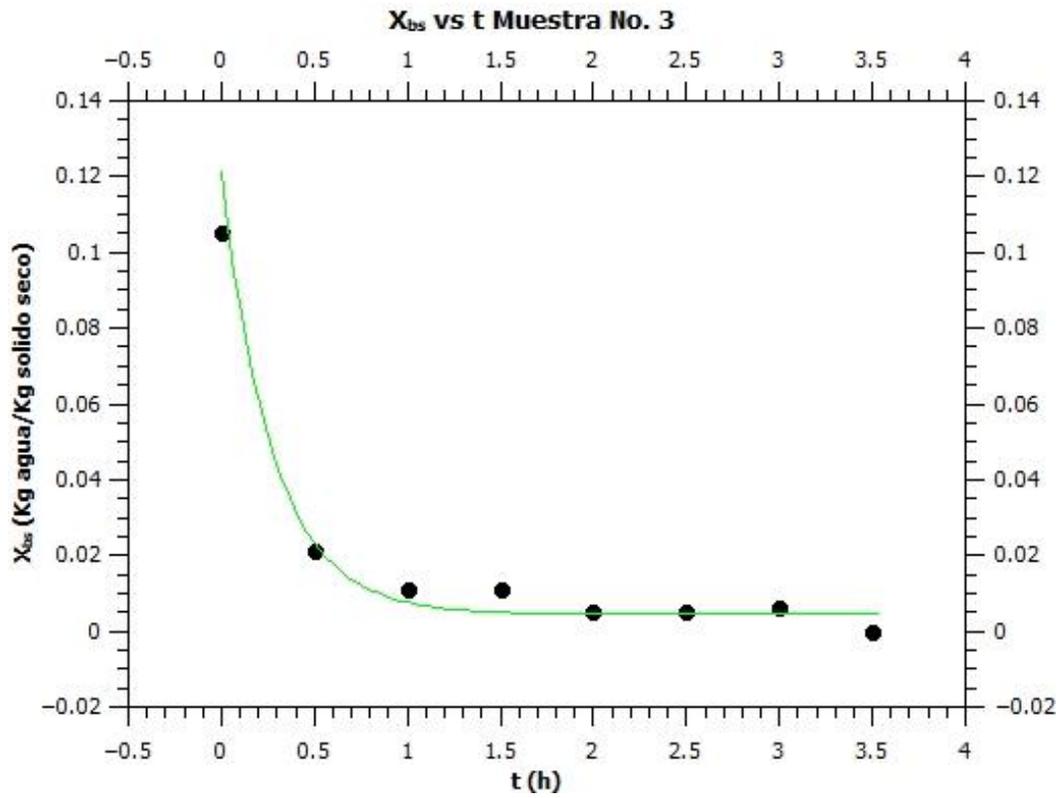
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 20. **Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 2 Comitancillo**



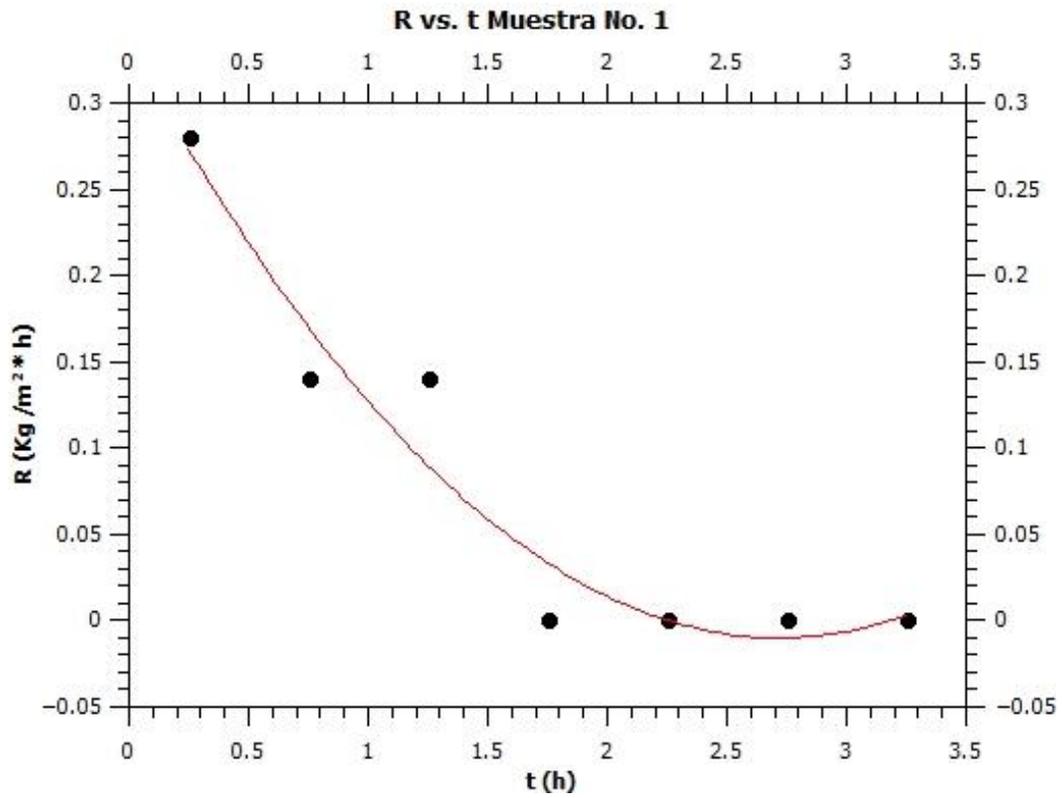
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 21. **Curva humedad del sólido en función del tiempo para la muestra No. 3 Tejutla**



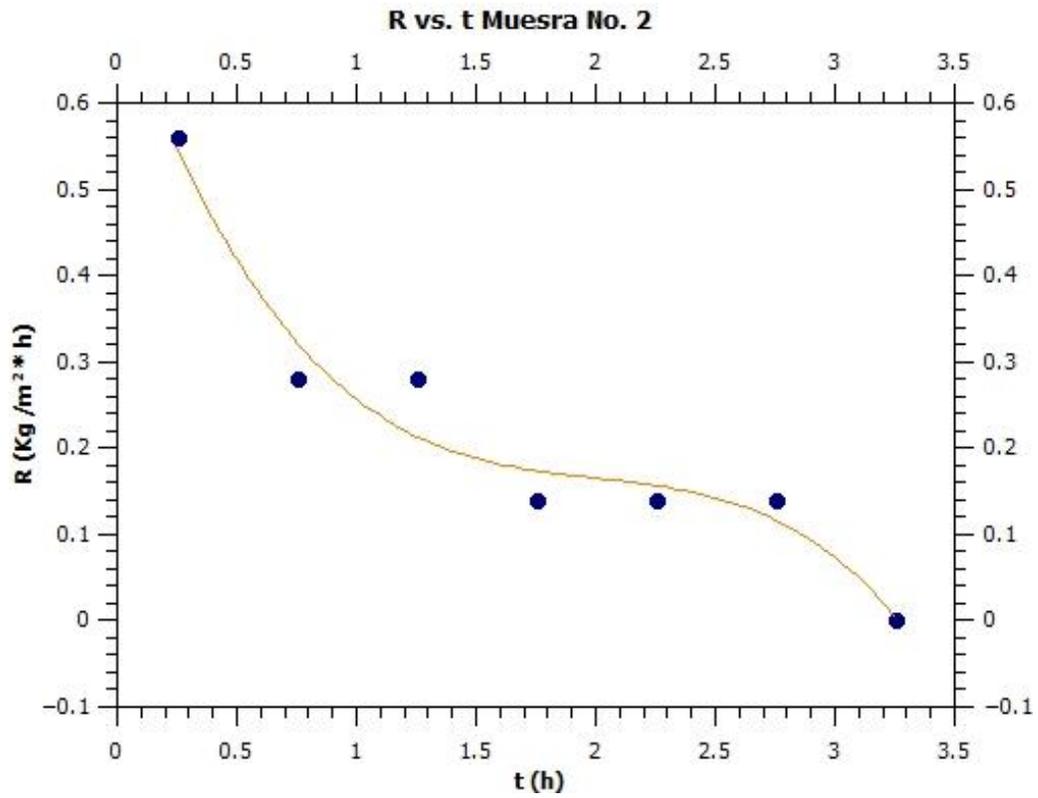
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 22. **Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 1 Sipacapa**



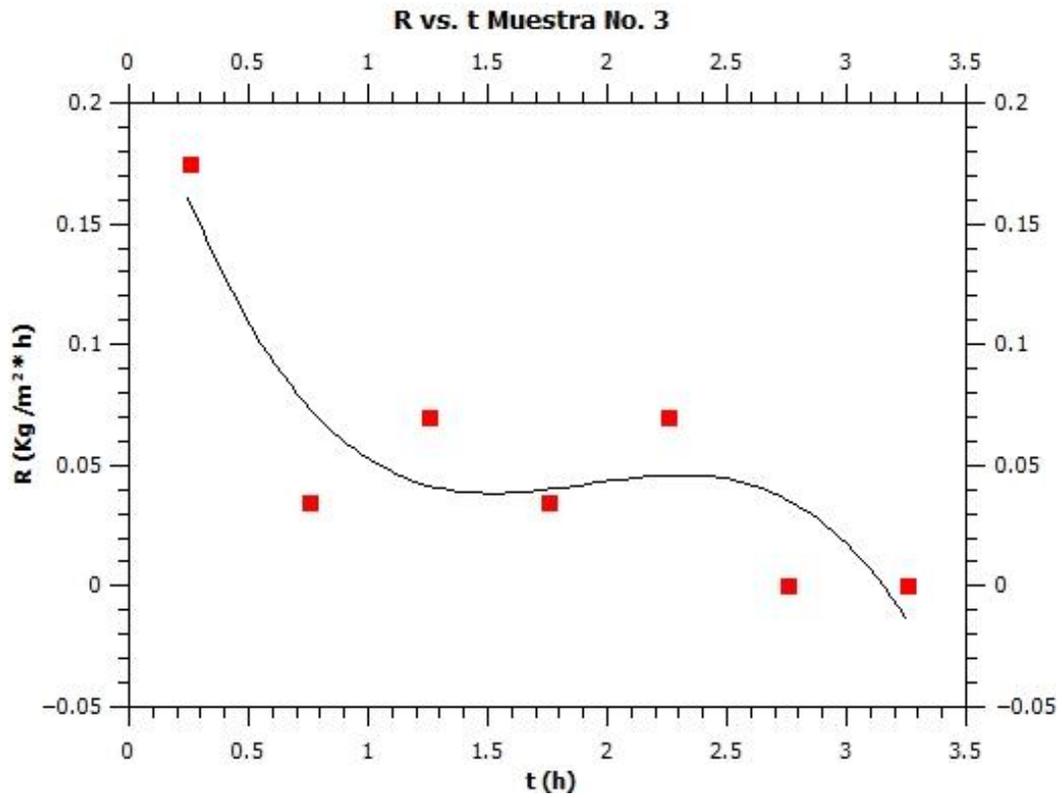
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 23. **Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 2 Comitancillo**



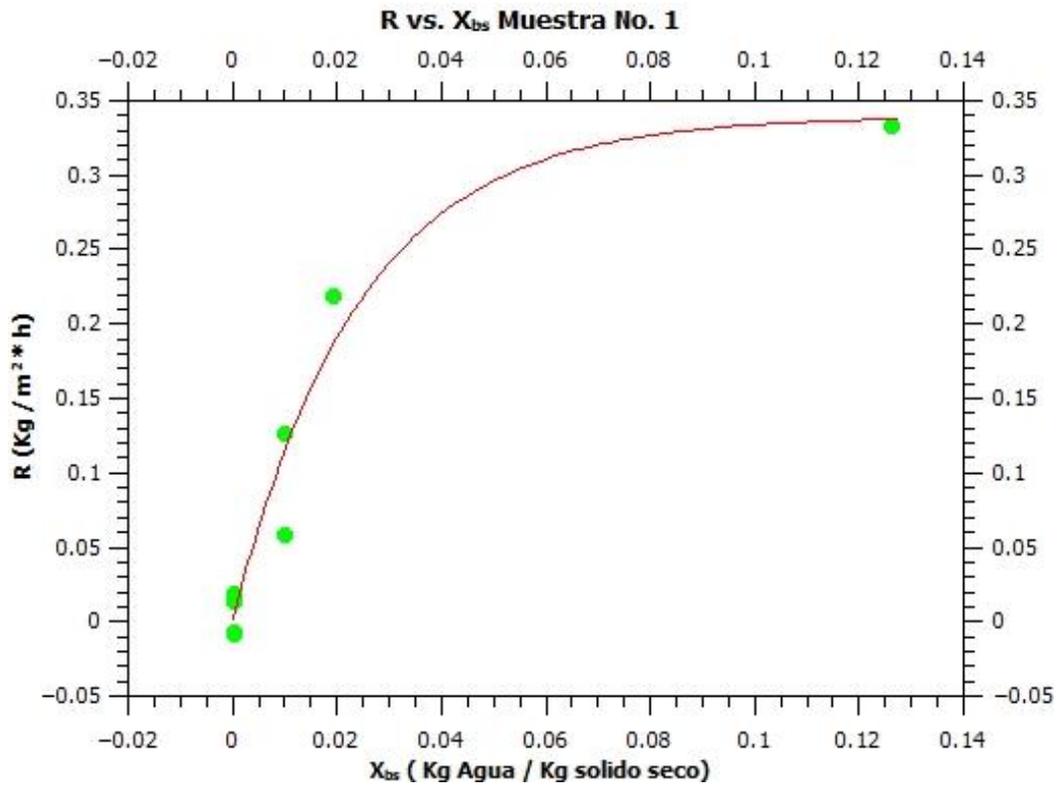
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 24. **Curva velocidad de secado en función del tiempo para la muestra No. 3 Tejutla**



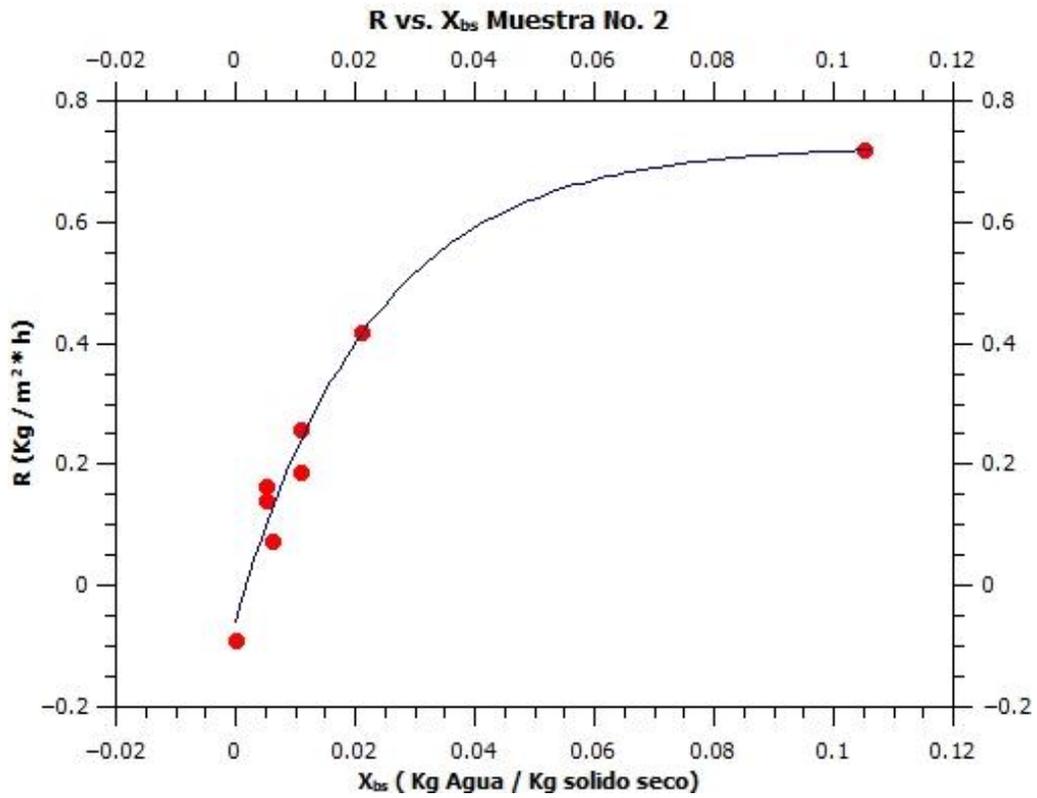
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 25. **Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido para la muestra No. 1 Sipacapa**



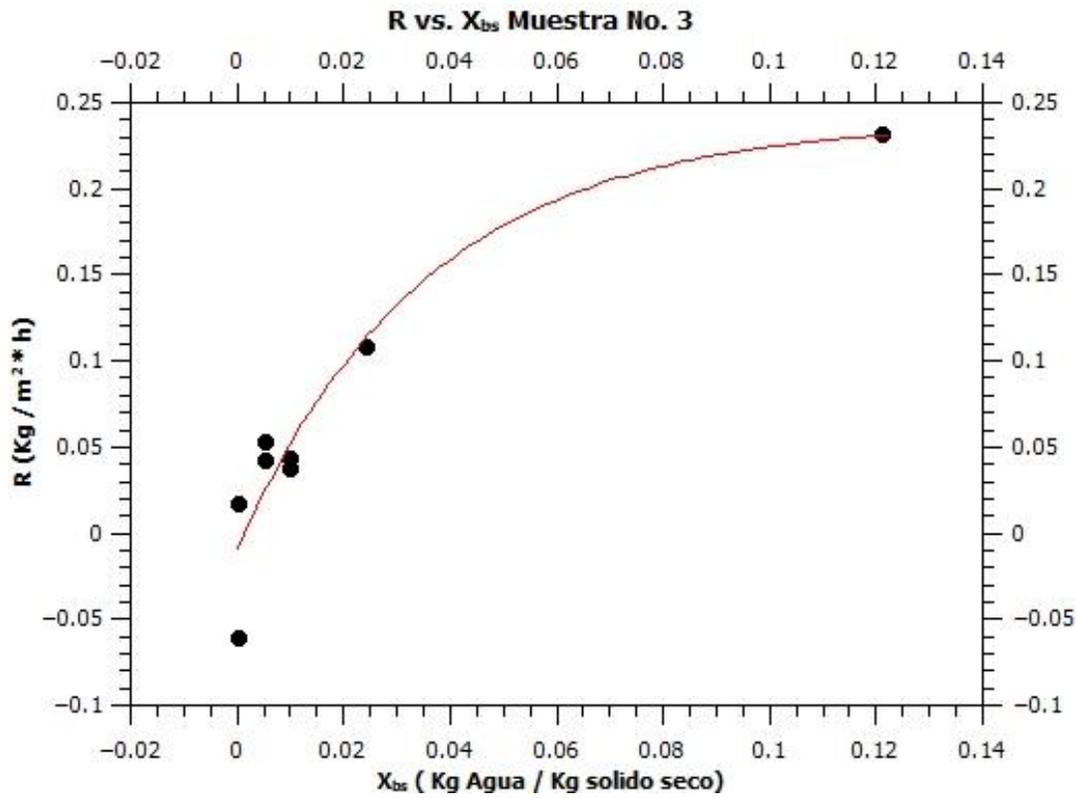
Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 26. **Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido para la muestra No. 2 Comitancillo**



Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Figura 27. **Curva velocidad de secado en función de la humedad del sólido muestra No. 3 Tejutla**



Fuente: elaboración propia, empleando Qtiplot y Excel.

Tabla XVIII. **Análisis bromatológico para la harina de amaranto**

Tipo de Análisis	Muestra No. 1 Sipacapa		Muestra No. 2 Comitancillo		Muestra No. 3 Tejutla	
	Seca	Como alimento	Seca	Como alimento	Seca	Como alimento
Agua %	10,90		10,31		10,35	
Masa seca total %	89,10		89,69		89,65	
Extracto eterero %	6,72	5,99	7,02	6,29	6,74	6,04
Fibra cruda %	3,74	3,33	2,98	2,67	2,84	2,55
Proteína %	17,16	15,29	17,05	15,29	11,13	9,98
Ceniza %	3,54	3,16	3,40	3,05	3,28	2,94
Extracto libre de nitrógeno %	68,84		69,56		76,01	

Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia USAC.

Tabla XIX. **Análisis de cromatografía para la harina de amaranto**

Tipo de Vitamina	Muestra No. 1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
Vitamina A (µg)	11.2627	29,5819	32,0408
Vitamina C	NSE	NSE	NSE

(NSE = no se evidencio)

Fuente: MYCOTOX LAB y Universidad Del Valle de Guatemala Programa Invest-alimentos.

Tabla XX. **Análisis Microbiológicos para la harina de amaranto**

Tipo de análisis	Muestra No. 1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
Recuento de aerobios mesófilos	5,8x10 <sup>4</sup> UFC/g	1,8x10 <sup>5</sup> UFC/g	6,0x10 <sup>4</sup> UFC/g
Recuento total de mohos y levaduras	25 UFC/g	25 UFC/g	25 UFC/g
Escherichia coli	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g
Salmonella ssp/25g	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Laboratorio de Microbiología LAMIR, Facultad de CC. QQ. Y Farmacia USAC.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La materia prima para realizar este estudio como trabajo de graduación se colectó en los municipios de Sipacapa, Comitancillo y Tejutla del departamento de San Marcos, Guatemala. En estos tres municipios el clima es templado e ideal para obtener la semilla de amaranto.

Para conocer el rendimiento de la elaboración de la harina de amaranto, se llevó a cabo el proceso de secado de la semilla. Para ello, se distribuyeron las muestras de semilla en las bandejas del secador y se tomaron los pesos correspondientes antes de iniciar el secado. Esta operación se trabajó a una temperatura de 40°C y duró 3,5 horas. Posteriormente, se realizó la molienda de cada una de las muestras y, finalmente, se tamizó con un mesh No.80. Después de obtener la cantidad de harina recolectada de cada muestra se determinó el rendimiento de la harina de amaranto. El mayor porcentaje de rendimiento, de 94,50 % lo obtuvo la muestra de Comitancillo, asimismo las otras dos muestras obtuvieron un buen porcentaje de rendimiento, la muestra de Sipacapa de 90,08 % y la de Tejutla de 91,80 %.

Con la elaboración de la harina de amaranto se obtuvieron los datos para realizar las curvas de secado. En las figuras 16, 17 y 18 se puede observar la curva de peso en función del tiempo. Esta curva describe cómo la materia prima se deshidrata conforme pasa el tiempo hasta obtener un peso constante, lo cual significa que el producto ya no puede disminuir más su humedad. Este peso constante se alcanzó en un tiempo de 3,5 horas.

Las figuras 19, 20 y 21 son curvas que describen la humedad del sólido en función del tiempo, dichas curvas indican como va disminuyendo el contenido de humedad de la semilla de amaranto en lo que va transcurriendo el tiempo de secado. Se puede observar que para las tres muestras el contenido de humedad se encuentre en un rango promedio de 0 a 0,02 kg de agua/ kg sólido seco, dicho rango nos indica que se llegó a un equilibrio operativo.

En las figuras 22, 23 y 24 se caracterizaron las curvas de velocidad de secado en función del tiempo. Se puede observar que en el periodo inicial de las curvas predomina la salida capilar del agua que hay en exceso en el sólido, después al ir disminuyendo el valor de la velocidad de secado, comienza el pistoneo y, finalmente, se da la difusión, por tanto, esta curva indica con claridad lo que dura cada periodo de desecación para la semilla amaranto.

En las figuras 25, 26 y 27 se observa la velocidad de secado en función de la humedad del sólido. En ellas, se observa cómo al inicio, existe una porción constante. En la gráfica esto representa un periodo de calentamiento en el sólido. Después inicia el periodo de decaimiento, en cuyo inicio existe un punto que se denomina punto de saturación de la fibra donde desaparece el agua no ligada del sólido. En la disminución de la curva el vapor de agua se va difundiendo a través del sólido, debido a que en el sólido se establecen gradientes de temperatura y la temperatura de la superficie del sólido se acerca a la temperatura de humedad del aire.

Los resultados del análisis de bromatología realizado a las muestras de harina de amaranto se pueden observar en la tabla XVIII. Según dichos resultados el lugar de procedencia de la semilla de amaranto tiene repercusión en la elaboración de harina. Se puede resaltar que el contenido final de agua en las muestras se encuentra en un valor a de 10,90 %, 10,31 % y 10,35 % para

cada una de las muestras, dichos porcentajes cumplen con los valores establecidos para la harina. Asimismo, la muestra que presentó mayor porcentaje de extracto etéreo es la muestra de Comitancillo con un valor de 6,29 %, esto indica la cantidad de lípidos libres o grasa neutra que se encuentra en la harina de Amaranto. Las muestras de Sipacapa y Tejutla dan un porcentaje del 5,99 % y 6,04 % respectivamente, estos valores permiten estimar el tiempo de almacenamiento que puede tener la harina de amaranto.

Lo porcentajes obtenidos de fibra cruda se presentan en la Tabla XVIII. El porcentaje es bajo en las tres muestras, esto indica que la harina contiene un alto valor alimenticio. El porcentaje de proteína obtenido en la harina es satisfactorio para este tipo de producto, debido a que si se compara con la harina de trigo, que es la más utilizada, posee valores más altos, por lo que nutricionalmente beneficia al consumidor. Asimismo, se puede resaltar el resultado del extracto libre de nitrógeno que tiene porcentajes entre 68 % y 76 %, estos porcentajes indican que la harina también posee almidón y azúcares, este parámetro es de suma importancia ya que da conocer el valor nutricional que ofrece la harina de Amaranto para el consumo alimenticio.

Los resultados de la Tabla XIX se obtuvieron por estudios de cromatografía HPLC. En la identificación de vitamina A se puede observar que la muestra procedente de Tejutla tuvo mayor presencia de esta vitamina. Este tipo de vitamina tiene altos beneficios nutricionales ya se utiliza como un antioxidante natural por lo que como alimento es de alto beneficio. De la misma manera se realizaron los estudios de Vitamina C donde se observó que la harina de amaranto no presenta evidencia de esta vitamina, esto se debe a que la vitamina C es hidrosoluble y por el bajo contenido de agua en la harina no presento este tipo de nutriente.

También se realizaron pruebas microbiológicas a las muestras de harina de amaranto ya que por ser un producto con fines alimenticios fue necesario determinar si, durante su almacenamiento se mostraba el crecimiento de algún tipo de bacteria que pueda dañar la salud del consumidor. Por lo tanto, como se observa en la tabla XX las tres muestras cumplen con los criterios microbiológicos designados para los alimentos según el RTCA 67.04.50:08. Los resultados de *Escherichia coli* y *Salmonella* son de prioridad para este tipo de producto, el parámetro de comparación para la *Escherichia coli* tiene que ser < 3 NMP/g y en efecto está debajo de ese parámetro para todas las muestras, de la misma forma, la ausencia de *Salmonella* permite utilizar la harina de amaranto como alimento. Estos resultados fueron satisfactorios dado que durante el proceso de elaboración de la harina se tomaron medidas de higiene exigentes.

## CONCLUSIONES

1. Los rendimientos obtenidos para la harina de amaranto son: 90,08 % para la semilla de Sipacapa; 94,50 % para la de Comitancillo; 91,80 % para la de Tejutla.
2. Las curvas de secado para la elaboración de la harina de amaranto cumplen con las tendencias que se dan durante el proceso de operación.
3. Según los resultados del análisis de bromatología, la harina de amaranto posee altas características nutricionales no importando la procedencia de esta.
4. Se evidencio la presencia de Vitamina A en la harina de amaranto, no así de Vitamina C.
5. Según los resultados microbiológicos y en base al RTCA de Alimentos la harina de amaranto cumple con las normas establecidas para ser considerada de uso alimenticio.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios que detecten si existe presencia de otras vitaminas y minerales en la harina de amaranto.
2. Implementar un producto derivado de la harina de amaranto para ver si el contenido nutricional varía después de crear el producto.
3. Evaluar si la semilla de amaranto puede contener aceites esenciales.
4. Realizar pruebas organolépticas a un producto alimenticio creado en base a la harina de amaranto.
5. Evaluar el contenido nutricional de la harina de amaranto realizando mezclas con harinas ya establecidas como lo son la de trigo y la de maíz.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CRIOLLO MINCHALO, Priscila Guadalupe. *Valor nutritivo y funcional de la harina de Amarantho (Amaranthus hybridus) en la preparación de galletas*. Cuenca Ecuador: Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, 2010. 125p.
2. DÍAZ, Sandra, *AgroHuerto*. [en línea].  
<<https://www.agrohuerto.com/amaranto-como-cultivarlo/>>.  
[Consulta: 13 de abril 2017].
3. FAO, *Secado de diversos granos*. [en línea].  
<<http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S0e.htm>>. [Consulta: 20 de abril 2017].
4. GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: CECSA, 1998. 1 024p.
5. GRUPO ANALIZA CALIDAD, *Técnica de Análisis Fisicoquímico de alimentos*. [en línea].  
<<http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>>.  
[Consulta 11 de abril 2017].
6. HERNÁNDEZ GIRÓN, Lenyn (2010). *Evaluación del proceso de elaboración de harina de Moringa (moringa oleífera Lam) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional*. Trabajo de graduación,

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería,  
Guatemala. 125p.

7. IVONNE SOTO, Clara (2014). *Proceso de fabricación de harina de Coco (Cocos nucifera) para la obtención de un producto de panificación para personas celíacas*. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala. 160p.
8. LAVET, *Análisis Bromatológicos*. [en línea].  
<<http://www.lavet.com.mx/analizando-alimentos-analisis-bromatologicos/>>. [Consulta: 21 de abril 2017].
9. MISSOURI BOTANICAL GARDEN, *The plant a working list all plant species*. [en línea].  
<<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Amaranthus>>.  
[Consulta: 12 de abril 2017].
10. PUENTE A LA SALUD COMUNITARIA, A.C. *Manual para la Producción de Amaranto*. [en línea].  
<<http://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manualecoamarantofinal.pdf>>. [Consulta: 13 de abril 2017].
11. UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA. *Herbario de la Universidad Pública de Navarra*. [en línea].  
<[http://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar\\_retr.htm](http://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar_retr.htm)>. [Consulta: 13 de abril 2017].

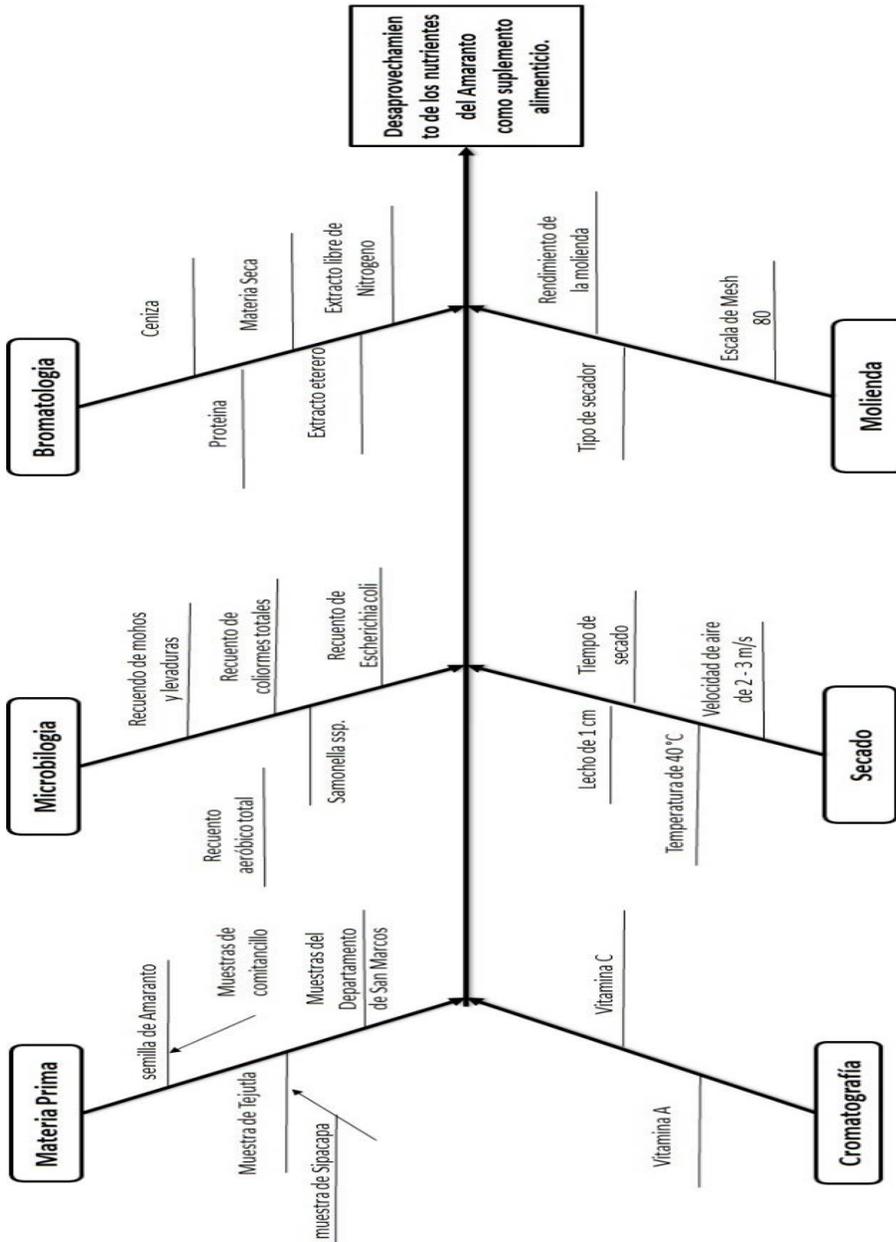
## APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

	Área	Curso	Tema
Ingeniería química	Química	Química 3	Métodos analíticos clásicos o estequiométrica
		Química orgánica 1	Principios de nomenclatura o identificación
		Química orgánica 2	Compuestos orgánicos más complejos
		Bioquímica	Moléculas biológicas
	Operaciones unitarias	Transferencia de masa IQ-4	Difusividad del agua en el secado
		Transferencia de masa en unidades continuas IQ-5	Curvas de secado
	Especialización	Extracciones industriales	Molienda
		Tecnología de los alimentos	Secado y Contenido nutricional de los alimentos
	Ciencias básicas y complementarias	Estadística 2	Análisis de estadístico
		Técnicas de estudio e investigación	Método de investigación
		Programación de computadoras 1	Uso de programas de computación Word y Excel.

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos calculados**

Apéndice 4. **Datos finales de los pesos en el secado de la semilla de amaranto**

Tiempo (horas)	Peso (Kg)		
	Muestra No.1 SIPACAPA	Muestra No.2 COMINTANCILLO	Muestra No.3 TEJUTLA
0	2,14	3,84	4,20
0,5	2,10	3,76	4,10
1	2,08	3,72	4,08
1,5	2,06	3,68	4,04
2	2,06	3,66	4,02
2,5	2,06	3,64	3,98
3	2,06	3,62	3,98
3,5	2,06	3,62	3,98

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Datos del área de la bandeja del secador**

Área (m <sup>2</sup> )
0,286

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos para la determinación del rendimiento de la harina de amaranto**

	Muestra No. 1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
<b>Peso Grano (Kg)</b>	2,14	3,84	4,2
<b>Peso Harina (Kg)</b>	1,93	3,63	3,86
<b>Rendimiento</b>	90,08%	94,50%	91,80%

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 7. Caracterización de la curva uno para la semilla de amaranto**

Tiempo (h)	Peso (Kg)		
	Muestra No.1 Sipacapa	Muestra No.2 Comitancillo	Muestra No.3 Tejutla
0	2,14	3,84	4,2
0,5	2,1	3,76	4,1
1	2,08	3,72	4,08
1,5	2,06	3,68	4,04
2	2,06	3,66	4,02
2,5	2,06	3,64	3,98
3	2,06	3,62	3,98
3,5	2,06	3,62	3,98

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 8. Caracterización de la curva dos de secado para la semilla de amaranto**

Tiempo (horas)	Xbs (kg agua / kg de sólido seco)		
	Muestra No. 1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
0	0,126	0,105	0,121
0,5	0,019	0,021	0,024
1	0,010	0,011	0,005
1,5	0,010	0,011	0,010
2	0,000	0,005	0,005
2,5	0,000	0,005	0,010
3	0,000	0,006	0,000
3,5	0,000	0,000	0,000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Caracterización de la curva tres de secado para la semilla de amaranto**

Tiempo (h)	R (kg/m <sup>2</sup> *h)		
	Muestra No.1 Sipacapa	Muestra No.2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla.
0,25	0,280	0,559	0,175
0,75	0,140	0,280	0,035
1,,25	0,140	0,280	0,070
1,75	0,000	0,140	0,035
2,25	0,000	0,140	0,070
2,75	0,000	0,140	0,000
3,25	0,000	0,000	0,000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Caracterización de la curva cuatro de secado para la semilla de amaranto**

Xbs (kg agua/ kg de solido seco)			R (kg/m <sup>2</sup> *h)		
Muestra No.1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla	Muestra No.1 Sipacapa	Muestra No. 2 Comitancillo	Muestra No. 3 Tejutla
0,12550	0,10540	0,12100	0,33375	0,72014	0,23177
0,01905	0,02128	0,02439	0,21875	0,41867	0,10927
0,00962	0,01075	0,00490	0,12709	0,25665	0,05261
0,00971	0,01087	0,00990	0,05875	0,18760	0,03844
0,00000	0,00546	0,00498	0,01375	0,16500	0,04344
0,00000	0,00549	0,01005	-0,00791	0,14237	0,04427
0,00000	0,00552	0,00000	-0,00625	0,07319	0,01760
0,00000	0,00000	0,00000	0,01875	-0,08903	-0,05990

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 11. Datos originales del secado obtenidos por el secador de bandejas**

Tiempo (h)	No. Bandeja / Peso (Kg)													
	Muestra No. 1 Sipacapa			Muestra No. 2 Comitancillo					Muestra No. 3 Tejutla					
	1 / (kg)	2 / (kg)	4 / (kg)	5 / (kg)	6 / (kg)	7 / (kg)	8 / (kg)	9 / (kg)	10 / (kg)	11 / (kg)	12 / (kg)	13 / (kg)	14 / (kg)	
0	0,70	0,76	0,68	0,54	0,84	0,88	0,72	0,86	0,92	0,92	0,82	0,82	0,72	
0,5	0,70	0,74	0,66	0,52	0,84	0,84	0,72	0,84	0,92	0,90	0,80	0,80	0,68	
1	0,70	0,74	0,64	0,52	0,82	0,84	0,70	0,84	0,90	0,90	0,80	0,80	0,68	
1,5	0,68	0,74	0,64	0,50	0,82	0,82	0,70	0,84	0,88	0,90	0,80	0,78	0,68	
2	0,68	0,74	0,64	0,50	0,82	0,82	0,70	0,82	0,88	0,88	0,80	0,78	0,68	
2,5	0,68	0,74	0,64	0,50	0,80	0,82	0,70	0,82	0,88	0,88	0,78	0,78	0,66	
3	0,68	0,74	0,64	0,50	0,80	0,82	0,68	0,82	0,88	0,88	0,78	0,78	0,66	
3,5	0,68	0,74	0,64	0,50	0,80	0,82	0,68	0,82	0,88	0,88	0,78	0,78	0,66	

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 12. Análisis estadístico

En este análisis se utilizó la prueba de t-student para comparar las medias de las muestras que se analizaron. Para esta prueba se tomó en cuenta un nivel de significancia de 0,05.

La prueba de hipótesis se evaluó con el criterio siguiente si  $P < \text{nivel de significancia}$ , se rechaza la hipótesis nula; si  $P > \text{nivel de significancia}$ , se acepta la hipótesis nula. Por lo que los resultados de dichas pruebas se presentan a continuación:

### Apéndice 13. Análisis estadístico entre las medias de la Muestra No. 1 y la muestra No. 2

	Variable 1	Variable 2
Media	2,0775	3,6925
Varianza	0,00085	0,00593571
Observaciones	8	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	-55,4523219	
P(T<=t) una cola	5,0742E-13	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311293	
P(T<=t) dos colas	1,0148E-12	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Según los datos del análisis, y de acuerdo con el resultado, se acepta la hipótesis alternativa por lo que se concluye que sí existe diferencia significativa en las medias de los pesos en el tratamiento de secado.

Apéndice 14. **Análisis estadístico entre las medias de la Muestra No.1 y la muestra No. 3**

	Variable 1	Variable 2
Media	2,0775	4,0475
Varianza	0,00085	0,00593571
Observaciones	8	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	-67,6415319	
P(T<=t) una cola	8,5198E-14	
Valor crítico de t (una cola)	1,83311293	
P(T<=t) dos colas	1,704E-13	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26215716	

Fuente: elaboración propia, emplenado Excel.

Según los datos del análisis, y de acuerdo con el resultado, se acepta la hipótesis alternativa por lo que se concluye que si existe diferencia significativa en las medias de los pesos en el tratamiento de secado.

Apéndice 15. **Análisis estadístico entre las medias de la Muestra No.2 y la muestra No. 3.**

	Variable 1	Variable 2
Media	3,6925	4,0475
Varianza	0,00593571	0,00593571
Observaciones	8	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-9,21556262	
P(T<=t) una cola	1,2722E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131014	
P(T<=t) dos colas	2,5444E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,14478669	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Según los datos de análisis y con relación al resultado se acepta la hipótesis alternativa por lo que se concluye que si existe diferencia significativa en las medias de los pesos en el tratamiento de secado.



# ANEXOS

## Anexo 1. Resultado de la prueba de Vitamina A muestra No. 1 Sipacapa

**MYCOTOX LAB.**  
Análisis Alimentos  
Micotoxinas y Otros

**INFORME RESULTADOS LABORATORIO**

Solicitud No. 8225

**Empresa:** SR . JOSUE DANIEL FUENTES OROZCO.  
**Remitido por:** Sr. Josue Daniel Fuentes Orozco.  
**Dirección :** 6a. Avenida 17-17, Residenciales Eureka, zona 21  
**Tel.** 4709-6770  
**Fecha ingreso:** 10/09/2018  
**Fecha entrega:** 26/09/2018  
**Análisis solicitado:** **Vitamina "A"**  
**MUESTRA:** **HARINA DE AMARANTO (Tesis)**  
**MUESTRA No. 1 SIPACAPA**

**Número de muestras enviadas:** -1-  
**Resultados:**

Unidad de contenido	Cada gramo		
Análisis	Resultado	Dimensional	Especificación
VITAMINA "A" (En forma de Palmitato)	11.2627	microgramos	No se cuenta con especificaciones para el producto

**Metodología:**  
Vitamina A Palmitato: Cuantificación de Vitamina A por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

  
**Dra. Sunny Morataya A.**  
Mycotox Lab

**MYCOTOX LAB.**  
Análisis Alimentos  
Micotoxinas y Otros  
2a. Avenida 33-00, Zona 12  
Col. El Carmen, Cond. El Carmen  
Casa # 4, Tel.: 2485-7128  
Tels.: 5206-7173, 2442-1240  
2219-8555

**Condiciones Generales:**  
Los resultados del presente informe se refieren solo a la o las muestras tal y como fueron recibidas en Mycotox Lab.  
Se prohíbe la reproducción parcial, total o cualquier alteración de este informe.  
Mycotox Lab No se responsabiliza ni garantiza la procedencia u origen de la o las muestras ingresadas a este laboratorio, así como cualquier aspecto relacionado con la identificación otorgada por el cliente, ya que el cliente es responsable de la toma e identificación de la muestra.  
Mycotox Lab respeta la identificación de la muestra otorgada por el cliente para efectos de emisión de resultados únicamente.  
Mycotox Lab No se responsabiliza por el uso posterior de estos informes otorgados.  
cc/Archivo.

www.mycotoxlab.com

Fuente: Laboratorio MYCOTOX.

Anexo 2. **Resultado de la prueba de Vitamina A muestra No. 2  
Comitancillo**



**MYCOTOX LAB.**  
Análisis Alimentos  
Micotoxinas y Otros

**INFORME RESULTADOS LABORATORIO**

**Solicitud No. 8226**

**Empresa:** SR . JOSUE DANIEL FUENTES OROZCO.  
**Remitido por:** Sr. Josue Daniel Fuentes Orozco.  
**Dirección :** 6a. Avenida 17-17, Residenciales Eureka, zona 21  
**Tel.** 4709-6770  
**Fecha ingreso:** 10/09/2018  
**Fecha entrega:** 26/09/2018  
**Análisis solicitado:** **Vitamina "A"**  
**MUESTRA:** **HARINA DE AMARANTO (Tesis)**  
**MUESTRA No. 2 COMITANCILLO.**

**Número de muestras enviadas:** -1-  
**Resultados:**

Unidad de contenido	Cada gramo		
Análisis	Resultado	Dimensional	Especificación
VITAMINA "A" (En forma de Palmitato)	29.5819	microgramos	No se cuenta con especificaciones para el producto

**Metodología:**  
 Vitamina A Palmitato: Cuantificación de Vitamina A por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)



**Dra. Sunny Morataya A.**  
Mycotox Lab



**MYCOTOX LAB.**  
Análisis Alimentos  
Micotoxinas y Otros  
2a. Avenida 33-00, Zona 12  
Col. El Carmen, Cond. El Carmen  
Casa # 4, Tel.: 2485-7128  
Tels.: 5206-7173, 2442-1240  
2219-8555

**Condiciones Generales:**  
 Los resultados del presente informe se refieren solo a la o las muestras tal y como fueron recibidas en Mycotox Lab.  
 Se prohíbe la reproducción parcial, total o cualquier alteración de este informe.  
 Mycotox Lab No se responsabiliza ni garantiza la procedencia u origen de la o las muestras ingresadas a este laboratorio, así como cualquier aspecto relacionado con la identificación otorgada por el cliente, ya que el cliente es responsable de la toma e identificación de la muestra.  
 Mycotox Lab respeta la identificación de la muestra otorgada por el cliente para efectos de emisión de resultados unicamente.  
 Mycotox Lab No se responsabiliza por el uso posterior de estos informes otorgados.  
 cc/Archivo.

[www.mycotoxlab.com](http://www.mycotoxlab.com)

Fuente: Laboratorio MYCOTOX.

Anexo 3. **Resultado de la prueba de Vitamina A muestra No. 3 Tejutla**



**MYCOTOX LAB.**  
Análisis Alimentos  
Micotoxinas y Otros

**INFORME RESULTADOS LABORATORIO**

**Solicitud No. 8227**

**Empresa:** SR . JOSUE DANIEL FUENTES OROZCO.  
**Remitido por:** Sr. Josue Daniel Fuentes Orozco.  
**Dirección :** 6a. Avenida 17-17, Residenciales Eureka, zona 21  
**Tel.** 4709-6770  
**Fecha ingreso:** 10/09/2018  
**Fecha entrega:** 26/09/2018  
**Análisis solicitado:** **Vitamina "A"**  
**MUESTRA:** **HARINA DE AMARANTO (Tesis)**  
**MUESTRA No. 3 TEJUTLA**

**Número de muestras enviadas:** -1-  
**Resultados:**

Unidad de contenido	Cada gramo		
Análisis	Resultado	Dimensional	Especificación
VITAMINA "A" (En forma de Palmitato)	32.0408	microgramos	No se cuenta con especificaciones para el producto

**Metodología:**  
 Vitamina A Palmitato: Cuantificación de Vitamina A por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

  
**Dra. Sunny Morataya A.**  
 Mycotox Lab

**Condiciones Generales:**  
 Los resultados del presente informe se refieren solo a la o las muestras tal y como fueron recibidas en Mycotox Lab.  
 Se prohíbe la reproducción parcial, total o cualquier alteración de este informe.  
 Mycotox Lab No se responsabiliza ni garantiza la procedencia u origen de la o las muestras ingresadas a este laboratorio, así como cualquier aspecto relacionado con la identificación otorgada por el cliente, ya que el cliente es responsable de la toma e identificación de la muestra.  
 Mycotox Lab respeta la identificación de la muestra otorgada por el cliente para efectos de emisión de resultados únicamente.  
 Mycotox Lab No se responsabiliza por el uso posterior de estos informes otorgados.  
 cc/Archivo.

www.mycotoxlab.com

Fuente: Laboratorio MYCOTOX.

## Anexo 4. Resultados de los análisis de Vitamina C



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
18 Ave. 11-95, Zona 15, V.H. III  
Apartado Postal No. 82, 01901  
Guatemala, Guatemala, C.A.

PBX. 23600791 al 95  
Directo 23688319  
Tel. 23640336 al 40  
Fax (502) 23640212

Guatemala, 24 Septiembre 2018

Señor Daniel Fuentes

Estimado Señor Fuentes, las muestras de Harina no evidenciaron presencia de vitamina C, por lo que no se pudo determinar la misma. El método utilizado fue el oficial del AOAC(1984), número de método (43.064 y 43.065) con 2,6-diclorofenol-indofenol y la técnica de titulación.

Atentamente,

Licda. Patricia Palacios de Palomo

Programa Invest-Alimentos

CEAA

Fuente: Laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala.

Anexo 5. **Resultados del análisis bromatológico para la muestra No.1**  
**Sipacapa**



Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
 Escuela de Zootecnia  
 Facultad de Alimentación Animal

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**

JOSUÉ DANIEL FUENTES,  
 Dirección

29-08-2018. Fecha de realización:  
 DEL 03 AL 07-09-2018.



Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria  
 Ciudad de Guatemala  
 Teléfax: 24188307 Teléfono: 241882  
 E-mail: bromatolo00@yahoo.es

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %	E.B. Kcal/kg	
602	MUESTRA No. 1, SIPACAPA HARINA DE AMARILLO	SECA	10.90	89.10	6.72	3.74	17.16	3.54	68.84										
	COMO ALIMENTO				5.99	3.33	15.29	3.16											
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
	SECA																		
	COMO ALIMENTO																		
<p>OBSERVACIONES:                  Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.</p>																			

**T. L. Hañs A. Moya R.**  
 Laboratorista

Resultados 2018/447  
 07/09/18

**Lic. Miguel Angel Rodenas**  
 Jefe Laboratorio de Bromatología



Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria y Zootecnia USAC.

Anexo 6.

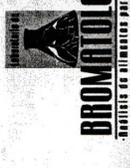
## Resultados del análisis bromatológico para la muestra No.2

### Comitancillo



# FORMULARIO BROMATO 7

## INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
 Facultad de Zootecnia  
 Unidad de Alimentación Animal

Solicitado por: JOSUÉ DANIEL FUENTES, No. 448  
 CIUDAD, GUATEMALA, DEL 03 AL 07-09-2018.  
 Dirección: Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria, Ciudad de Guatemala  
 Teléfono: 24188307  
 E-mail: bromato2000@yahoo.es

Fecha de realización: 29-08-2018.  
 Fecha de recibida la muestra: DEL 03 AL 07-09-2018.

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Centizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %	E.B. Kcal/kg
603	MUESTRA No. 2, COMITANCILLO, HARINA DE AMARANTO	SECA	10.31	89.69	7.02	2.98	17.05	3.40	69.56									
		COMO ALIMENTO			6.29	2.67	15.29	3.05										
		SECA																
		COMO ALIMENTO																
		SECA																
		COMO ALIMENTO																
		SECA																
		COMO ALIMENTO																
<p>OBSERVACIONES: Otros resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.</p> <p style="text-align: right;">TOTAL DE MUESTRAS REGISTRADAS EN ESTA HOJA 1</p>																		

**T. L. Hans A. Moya R.**  
Laboratorista

**Lic. Miguel Angel Rodenas**  
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2018/448  
07/09/18



Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria y Zootecnia USAC.

Anexo 7. Resultados del análisis bromatológico para la muestra No.3

Tejulia



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal

**FORMULARIO BROMATO 7**  
**INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS**



Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Univers  
Ciudad de Guatemala  
Teléfac: 24188307 Teléfono: 24188  
E-mail: bromato2000@yahoo.es

Solicitado por: **JOSUÉ DANIEL FUENTES,** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA,** No. 449

Fecha de recibida la muestra: **29-08-2018,** Fecha de realización: **DEL 03 AL 07-09-2018,**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	EE. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Ligmina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %	E.B. Kcal/Kg	
604	MUESTRA No. 3, TEJULIA HARINA DE AMARANTO	SECA	10.35	89.65	6.74	2.84	11.13	3.28	76.01										
		COMO ALIMENTO			6.04	2.55	9.88	2.84											
		SECA																	
		COMO ALIMENTO																	
		SECA																	
		COMO ALIMENTO																	
		SECA																	
		COMO ALIMENTO																	

TOTAL DE MUESTRAS PROYECTADAS EN ESTA HOJA: 1

OBSERVACIONES:  
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

**T. L. Hans A. Moya R.**  
Laboratorista

Resultados 2018/449  
07/09/18

**Lic. Miguel Ángel Reddenas**  
Jefe Laboratorio de Bromatología



Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria y Zootecnia USAC.

Anexo 8. **Resultados de análisis microbiológico muestra No. 1**  
**Sipacapa**





página 1 de 1

Fecha: 18 de septiembre de 2018

**INFORME DE RESULTADOS No. 234 -18**

**I. Información general**

**Nombre del cliente:** Josué Daniel Fuentes Orozco

**Institución:** Lab. LIXVE

**Dirección:** USAC

**Análisis solicitado:** Recuento de aerobios mesófilos, Recuento total de mohos y levaduras, *Escherichia coli*, *Salmonella* ssp.

**Tipo de muestra:** Alimento

**Descripción de la muestra:** Harina de amaranto muestra No. 1 Sipacapa

**Fecha y hora del muestreo:\*\*** 24 de agosto de 2018 18:00

**Responsable del muestreo:** Cliente

**Fecha y hora de recepción de la muestra:** 29 de agosto de 2018 14:22

**Fecha de inicio de análisis:** 04 de septiembre de 2018

**II. Resultados**

Parámetro	Resultado <sup>1</sup>	Límite Máximo permitido <sup>2</sup>
Recuento de aerobios mesófilos	5.8x10 <sup>3</sup> UFC/g	N/A
Recuento total de mohos y levaduras	25 UFC/g	N/A
<i>Escherichia coli</i>	<3 NMP/g	<3 NMP/g
<i>Salmonella</i> ssp/25g	Ausencia	Ausencia

\*\* datos proporcionados por el cliente

<sup>1</sup> UFC/g = Unidades Formadoras de Colonia por gramo de muestra.

<sup>2</sup> Reglamento Técnico Centroamericano RTCA-67.04.20.08 ALIMENTOS. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS PARA LA INCLUSIÓN DE ALIMENTOS. Grupo 4.0 Frutas y hortalizas. Subgrupo 4.2 Frutas y hortalizas procesadas; 4.2.2 Frutas y hortalizas desecadas o deshidratadas.

**III. Conclusiones**

La muestra **Cumple** con los criterios microbiológicos para registro analizados, establecidos en el RTCA 67.04.20.08 ALIMENTOS. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS PARA LA INCLUSIÓN DE ALIMENTOS. Grupo 4.0 Frutas y hortalizas. Subgrupo 4.2 Frutas y hortalizas procesadas; 4.2.2 Frutas y hortalizas desecadas o deshidratadas.

Nota aclaratoria: el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR- no se hace responsable por el uso que se dé al presente resultado.

*"Id y Enseñan a Todos"*




M.Sc. Sergio A. Lizaro  
 Químico Biólogo Col. 2239  
 Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-

Prohibida la reproducción parcial de los resultados sin previa autorización del laboratorio

Edificio 1-12 de la Universidad de San Carlos y Farmacia Esc. de Farmacia, Carrera 13-100, Ciudad de Guatemala, Guatemala, C.A. Tel: 502-2339-2000 ext: 200-  
 Correo electrónico: laboratoriolamir@usac.edu.gt; laboratoriolamir@gmail.com  
[http://sitio.usac.edu.gt/ws\\_lamir/?cat=1](http://sitio.usac.edu.gt/ws_lamir/?cat=1)

Fuente: Laboratorio de Microbiología – LAMIR, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
 USAC.

Anexo 9. **Resultados de análisis microbiológico muestra No. 2  
Comitancillo**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Centenaria**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS Y FARMACIA



**Lamir**  
Laboratorio Microbiológico de Referencia  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

PÁG. 1 DE 1

Fecha: 18 de septiembre de 2018

**INFORME DE RESULTADOS No. 225 -18**

**I. Información general**

**Nombre del cliente:** Josué Daniel Fuentea Orozco

**Institución:** Lab. I IFXVF

**Dirección:** USAC

**Análisis solicitado:** Recuento de aerobios mesófilos, Recuento total de mohos y levaduras, Escherichia coli, Salmonella ssp.

**Tipo de muestra:** Alimento

**Descripción de la muestra:** Harina de amaranto Muestra No. 2 Comitancillo

**Fecha y hora del muestreo:\*\*** 24 de agosto de 2018 15:10

**Responsable del muestreo:** Cliente

**Fecha y hora de recepción de la muestra:** 29 de agosto de 2018 14:22

**Fecha de inicio de análisis:** 04 de septiembre de 2018

**II. Resultados**

Parámetro	Resultado <sup>1</sup>	Límite Máximo permitido <sup>2</sup>
Recuento de aerobios mesófilos	1.8x10 <sup>5</sup> UFC/g	N/A
Recuento total de mohos y levaduras	25 UFC/g	N/A
Escherichia coli	<3 NMP/g	<3 NMP/g
Salmonella ssp/25g	Ausencia	Ausencia

\*\* datos proporcionados por el cliente

<sup>1</sup> UFC/g = Unidades Formadoras de Colonia por gramo de muestra.

<sup>2</sup> Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50.06 ALIMENTOS. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS PARA LA INOCUIDAD DE ALIMENTOS.

**III. Conclusiones**

La muestra **Cumple** con los **criterios microbiológicos para registro analizados**, establecidos en el RTCA 67.04.50.06 ALIMENTOS. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS PARA LA INOCUIDAD DE ALIMENTOS. Grupo 4.0 Frutas y hortalizas. Subgrupo 4.2 Frutas y hortalizas procesadas; 4.2.2 Frutas y hortalizas desecadas o deshidratadas.

**Nota aclaratoria:** el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR- no se hace responsable por el uso que se dé al presente resultado.

**"M y Enseñanza a Todos"**



M.Sc. Sergio A. López  
Químico Biólogo C02239  
**Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-**

Prohibida la reproducción parcial de los resultados sin previa autorización del laboratorio

Edificio C-13, Av. Universidad 67-13013, Comitancillo, Guatemala. **ULTIMA LINEA** para el departamento de Guatemala. Tel. 2444444 ext. 308  
Correo electrónico: laboratoriolamir@usac.edu.gt, laboratoriolamir@gmail.com  
[http://sitios.usac.edu.gt/wp\\_lamir/?cat=1](http://sitios.usac.edu.gt/wp_lamir/?cat=1)

Fuente: Laboratorio de Microbiología – LAMIR, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia  
USAC.



Anexo 11. **Materia prima lista para la realización del secado**



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales – LIEXVE, Facultad de Ingeniería USAC.

Anexo 12. **Molino utilizado para la realización de la molienda**



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales – LIEXVE, Facultad de Ingeniería USAC.

Anexo 13. **Empaque de las muestras para los análisis**



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales – LIEXVE, Facultad de Ingeniería USAC.