

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

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (*Brosimum alicastrum*)

#### **Magda Sucely Hernández Morales**

Asesorada por el Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, octubre de 2013

#### UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (*Brosimum alicastrum*)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

# PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR

#### MAGDA SUCELY HERNÁNDEZ MORALES

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA** 

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

### UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA



#### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing Hugo Humberto Rivera Pérez

## TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

#### 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 DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (*Brosimum alicastrum*)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha abril de 2013.

Magda Sucely Nernández Morales

## UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ÁDEA INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGIO

ÁREA INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN (INDETEC)

Guatemala, 17 de septiembre de 2013

Ing. Víctor Manuel Monzón

Director Escuela de Ingeniería Química

Presente:

Le saludo cordialmente esperando todo éxito en sus labores, el motivo de la presente es para hacerle de su conocimiento que la estudiante de la carrera de Ingeniería Química quien se identifica con carné 2007-15325 a nombre de Magda Sucely Hernández Morales siendo asesorada por mi persona apruebo el Informe Final de Trabajo de Graduación "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (*Brosimum alicastrum*)".

Sin otro particular, gracias por la atención prestada.

César Alfonso García Guerra

Ingeniero Químico

Colegiado No. 145

Asesor

César Alfonso García Guerra INGENIERO QUIMICO COLEGIADO NO. 145

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA ACREDITADO POR

Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería Período 2009 - 2015





#### UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 09 de octubre de 2013 Ref. EIQ.TG-IF.066.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-038-2013-IF 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

Solicitado por la estudiante universitaria: Magda Sucely Hernández Morales.

Identificada con número de carné: 2007-15325.

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.

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 DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (Brosimum alicastrum)

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: César Alfonso García Guerra.

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"

Ing. Otto Raul de León de Paz COORDINADOR DE TERNA Tribunal de Povisión

Tribunal de Revisión Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA ACREDITADO POR

Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería Período 2009 - 2015







#### UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.313.2013

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 de la estudiante, MAGDA SUCELY HERNÁNDEZ MORALES titulado: "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (BROSIMUM ALICASTRUM)". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuél Monzón Valde

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, octubre 2013

Cc: Archivo VMMV/ale



#### Universidad de San Carlos De Guatemala



Ref. DTG.771.2013

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, al trabajo de graduación titulado: EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FÉCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE RAMÓN (Brosimum alicastrum), presentado por la estudiante universitaria: Magda Sucely Hernández Morales, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Rec

₿ecano

Guatemala, octubre de 2013

/cc

#### **ACTO QUE DEDICO A:**

Dios Por la vida, la familia y por todas las

bendiciones que ha derramado en mi vida.

Virgen María Por cuidarme en todo momento y estar siempre

a mi lado.

Mis padres Juan Hernández y Magdalena Morales de

Hernández, por todo su amor, entrega y

ejemplo de lucha constante.

Mis abuelos Pablo Hernández. Paula de Hernández.

Salvador Morales, María Magdalena de Morales, por la vida de mis padres, por su

abnegación hacia ellos y hacia sus nietos

(q.e.p.d.).

Mis hermanos Erick y Cristian Hernández Morales, por todo su

amor y todos los momentos compartidos a lo

largo de mi vida.

#### **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios** Por la vida, sabiduría y el entendimiento; y por

todos los seres queridos que han formado parte

de mi vida.

**Virgen María** Por ser un ejemplo espiritual.

Mis padres Por todo su amor, dedicación y esfuerzo, con

entrega total hacia sus hijos.

Mis abuelos Por sus sabios consejos y momentos

compartidos (q.e.p.d.).

Mis hermanos Por todo su amor, apoyo y amistad

incondicional a lo largo de mi carrera.

Universidad de San

Carlos de Guatemala

Por ser mi casa de estudios y el centro de

todos mis conocimientos profesionales.

Facultad de Ingeniería Ing. Murphy Paiz, Decano, por brindar los

medios y el apoyo para la formación de nuevos

profesionales.

Mi asesor Ing. Qco. César Alfonso García Guerra, por su

apoyo y cariño en la realización de mi trabajo de

graduación.

Mi Co-asesor Ing. Qco. Adrián Soberanis, por su apoyo y

amistad brindada.

Mis amigos Por todos los momentos compartidos con

amistad y cariño.

## **ÍNDICE GENERAL**

ÍND	ICE DE IL	_USTRACIONES	V
LIS	TA DE SÍI	MBOLOS	IX
GLO	OSARIO		XI
RES	SUMEN		XV
OB	JETIVOS.		XVII
	Hipóte	sis	XVIII
INT	RODUCC	CIÓN	XIX
1.	ANTE	CEDENTES	1
2.	MARC	O TEÓRICO	3
	2.1.	Descripción	3
	2.2.	Taxonomía	5
	2.3.	Distribución geográfica	8
	2.4.	Flores	9
	2.5.	Fruto y semilla	10
	2.6.	Ecología	12
	2.7.	Madera	12
	2.8.	Usos	12
	2.9.	Proceso de nixtamalización	13
		2.9.1. Nixtamal	14
	2.10.	Proceso de secado	14
	2.11.	Clasificación de los equipos de secado	17
		2.11.1. Método de transferencia de calor	17
	2.12.	Tipos de secadores	17

		2.12.1.	Secadores de lecho estatico	. 17
			2.12.1.1. Secador de bandejas	. 18
		2.12.2.	Humedad Relativa (HR)	.21
		2.12.3.	Humedad absoluta	.21
		2.12.4.	Punto de rocío	.21
		2.12.5.	Carta psicrométrica	.22
	2.13.	Reducció	n de tamaño de partícula	.24
	2.14.	Valor nutr	icional	. 26
	2.15.	Análisis p	roximal	.28
		2.15.1.	Muestreo del producto	.28
		2.15.2.	Mezclado	.28
	2.16.	Almidón d	lañado	.29
		2.16.1.	Aplicaciones	.29
			2.16.1.1. En la fabricación de harinas	.30
			2.16.1.2. En las industrias de panificación	.30
		2.16.2.	Ventajas	.31
	2.17.	Actividad	enzimática	.31
	2.18.	Farinogra	ma	.33
		2.18.1.	Absorción de agua	.35
		2.18.2.	Estabilidad	.35
		2.18.3.	Índice de tolerancia	.35
3.	DISEÑO	) METODOLÓGICO		
	3.1.	Definición operacional de las variables		
		3.1.1.	Variables de control	.39
		3.1.2.	Variables independientes y dependientes	
		3.1.3.	Variables de medición	
	3.2.		ón del campo de estudio	
	3.3.	Recursos	humanos disponibles	.45

3.4.	Recurso	os materiales	s disponibles	45		
	3.4.1.	Equipo		45		
		3.4.1.1.	Equipo de medición	46		
		3.4.1.2.	Equipo auxiliar	46		
	3.4.2.	Cristalería	a	47		
	3.4.3.	Reactivos	s y materia prima	47		
3.5.	Técnica	cualitativa y	cuantitativa	47		
	3.5.1.	Técnica c	cualitativa	48		
	3.5.2.	Técnica c	cuantitativa	48		
	3.5.3.	Diseño pi	eliminar	48		
	3.5.4.	•				
		harina de	semilla del árbol de Ramón	49		
		3.5.4.1.	Método de análisis	51		
3.6.	Recoled	Recolección y ordenamiento de información				
	3.6.1.	Elección	del diseño experimental	51		
		3.6.1.1.	Diseño de tratamientos	51		
		3.6.1.2.	Muestreo	52		
		3.6.1.3.	Diseño de control de error	53		
		3.6.1.4.	Diseño de observaciones	53		
3.7.	Tabulac	ción, ordenar	niento y procesamiento de información	54		
	3.7.1.	Determin	ación de las curvas de secado	57		
		3.7.1.1.	Masa de agua total	57		
		3.7.1.2.	Humedad del sólido	58		
		3.7.1.3.	Curvas de secado	58		
		3.7.1.4.	Velocidad de secado	59		
	3.7.2.	Análisis p	oroximal	59		
	3.7.3.	Análisis c	le almidón dañado	59		
	3.7.4.	Análisis c	le actividad enzimática	60		
	3.7.5.	Análisis d	le farinograma	60		

	3.8.	Análisis estadístico			60
		3.8.1.	Dato prom	nedio estadístico	60
		3.8.2.	Desviació	n estándar	61
		3.8.3.	Análisis d	e varianza	61
			3.8.3.1.	Análisis de varianza de un factor	62
4.	RESUL	TADOS			63
5.	INTERF	PRETACIÓ	N DE RESU	JLTADOS	81
CON	CLUSION	NES			89
REC	OMENDA	CIONES .			93
BIBL	IOGRAFÍ	A			95
∧р́Е́і	VIDICE				00

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

#### **FIGURAS**

1.	visualización de la parte baja del arbol de Ramon ( <i>Brosimum</i>	
	alicastrum)	6
2.	Visualización de la parte alta del árbol de Ramón (Brosimum	
	alicastrum)	7
3.	Visualización de la semilla del árbol de Ramón (Brosimum	
	alicastrum)	7
4.	Distribución geográfica del árbol del Ramón (Brosimum alicastrum)	9
5.	Descripción del árbol del Ramón (Brosimum alicastrum)	11
6.	Comportamiento del secado de un sólido en función del tiempo	16
7.	Comportamiento del secado de un sólido en función del tiempo a	
	diferentes temperaturas	16
8.	Esquema general de un secador de bandejas (arriba: secador a	
	nivel industrial, abajo: secador a nivel laboratorio)	19
9.	Esquema general de visualización de carta psicrométrica o carta de	
	humedad	22
10.	Calentamiento o enfriamiento sensible	23
11.	Variaciones latentes	24
12.	Formas de reducción de tamaño de partículas	25
13.	Esquema del farinógrafo de Brabender	34
14.	Modelo de farinograma para la interpretación de cada zona	36
15.	Esquema del diseño preliminar	49
16.	Curva de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y	
	15 minutos)	64

17.	Velocidad de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)	65
18.	Curva de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	
19.	Velocidad de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	
20.	Curva de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	68
21.	Velocidad de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	69
22.	Curva de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	70
23.	Velocidad de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	71
24.	Farinograma de harina dura	75
25.	Farinograma de harina dura con adición de 5% de harina de	
	semilla del árbol de ramón, tratamiento aplicado 1% cal	77
26.	Farinograma de harina dura con adición de 5% de harina de	
	semilla del árbol de ramón, tratamiento aplicado 3% cal	79
	TABLAS	
I.	Valor nutricional de la semilla seca del árbol del Ramón (contenido macronutrientes, energía, humedad y fibra en 100 g)	
II.	Clasificación de la aptitud de una harina para la panificación	37
III.	Variables de control involucradas en el proceso	40
IV.	Variables independientes involucradas	41
V.	Variables dependientes involucradas	42
VI.	Variables de medición involucradas	43

VII.	Acomodamiento de variables53
VIII.	Datos experimentales del proceso de nixtamalización de la semilla
	del árbol de Ramón54
IX.	Datos experimentales del proceso de secado de la semilla del árbol
	de Ramón nixtamalizada55
X.	Datos experimentales del análisis proximal de la harina obtenida. 55
XI.	Datos experimentales del análisis de almidón dañado de la harina
	obtenida 56
XII.	Datos experimentales del análisis de actividad enzimática de la
	harina obtenida 56
XIII.	Datos experimentales del análisis de farinograma de la harina
	obtenida 57
XIV.	Datos de la figura 1664
XV.	Datos de regresión de la figura 1765
XVI.	Datos de los períodos de regresión de la figura 17 65
XVII.	Datos de la figura 1866
XVIII.	Datos de regresión de la figura 1967
XIX.	Datos de los períodos de regresión de la figura 19 67
XX.	Datos de la figura 20
XXI.	Datos de regresión de la figura 2169
XXII.	Datos de los períodos de regresión de la figura 21 69
XXIII.	Datos de la figura 2270
XXIV.	Datos de regresión de la figura 2371
XXV.	Datos de los períodos de regresión de la figura 2371
XXVI.	Comparación de los datos obtenidos del análisis proximal realizado72
XXVII.	Datos obtenidos del análisis de almidón dañado realizado 73
XXVIII.	Datos obtenidos del análisis de actividad enzimática realizado 74
XXIX.	Datos de la figura 22
XXX	Datos de la figura 23

XXXI.	Datos de la figura 24	8	C

#### **LISTA DE SÍMBOLOS**

**Significado** Símbolo Centímetros cm ° C Grados Celsius o centígrados Gramos g HR **Humedad Relativa** hrs Horas kg Kilogramos Mililitros mL min Minutos NR No reportado % Porcentaje Potencial de hidrógeno рΗ Potencial de hidrógeno inicial  $pH_i$ Potencial de hidrógeno final  $pH_f$ •• Pulgada Temperatura bulbo húmedo Tbh Tbs Temperatura bulbo seco

UB

UF

Unidades de Brabender

Unidades Farinográficas

#### **GLOSARIO**

#### Almidón

Principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales y la principal fuente de calorías de la vida humana. Es importante como constituyente de los alimentos en los que esta presente, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico. Gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería, en sí de la industria alimenticia.

#### **Análisis proximal**

Su principal objetivo, es determinar en un alimento el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas. Este procedimiento químico revela también el valor nutritivo de un producto y como puede ser combinado de la mejor forma con otras materias primas para alcanzar el nivel deseado.

#### Anemómetro

Equipo utilizado para la medición de velocidad del aire, caudal y temperatura.

#### **Enzimas**

Son proteínas que actúan como catalizadores de las diferentes reacciones bioquímicas que constituyen el metabolismo de los seres vivos.

#### Farinógrafo

Equipo que se emplea para medir la calidad, características y aptitudes de las harinas del amasado, análisis que se conoce como farinograma.

#### Fermentación

Dicho proceso dependerá de la cantidad de azúcares que tenga la harina y de su actividad enzimática, es decir, de su aptitud fermentativa; por otro lado, también tendrá una gran influencia la cantidad y calidad del gluten, que será el encargado de retener el gas que se va a producir durante la fermentación. Durante la fermentación se produce un fenómeno de hinchamiento.

#### Gluten

Se encuentra en la semilla de muchos cereales combinada con almidón. Representa un 80% de las proteínas del trigo, se forma por hidratación de las proteínas gliadina y glutenina, de las cuales está conformada.

#### Harina

Polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. Se puede obtener harina de distintos cereales y semillas.

#### Índice de almidón dañado

El índice de almidón dañado, es muy importante en todas las industrias de panificación. Es un factor de control de la absorción de agua y de la actividad de fermentación.

#### Molienda

Operación unitaria que implica una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. Generalmente se habla de molienda, cuando se tratan de partículas de tamaños inferiores a 1 pulgada (1" = 2,54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración.

#### Número de Falling

Número adimensional, el cual esta basado en el contenido de alfa-amilasa de la harina. El valor del número de Falling, es el número de segundos que dura un test y que mide indirectamente la actividad de estas enzimas.

#### Potencial de Hidrógeno

Se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrógeno. El pH, típicamente va de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menor a 7 y básicas las que tienen un pH mayor a 7.

#### Trituración

También denominada desintegración, operación de aplicación habitual en procesos industriales de reducción de tamaño de partícula primaria. Fragmentación de partículas de tamaños superiores a 1 pulgada (1" = 2,54 cm).

#### RESUMEN

Se evaluó el proceso de producción de harina de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) a escala laboratorio, realizando una caracterización de la semilla y determinación del valor nutricional de la misma, por medio de análisis proximal. Posteriormente se evaluó el proceso de nixtamalización de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*), proceso que se lleva a cabo en la obtención de harina, realizando variaciones en el proceso de nixtamalización de las variables, tiempo de nixtamzalizado (tiempo de cocción) y concentración de álcali.

El tamaño de partícula de la semilla nixtamalizada se redujo, para llevar a cabo un proceso de secado a temperatura de 45 grados Celsius en un secador de bandeja de flujo transversal, posteriormente molienda y finalmente el tamizado para la obtención de dicha harina como producto final.

Posteriormente se realizó una caracterización de la harina obtenida y determinación del valor nutricional de la misma, por medio de análisis proximales, comparando valores para determinar las diferencias presentadas después de aplicado el proceso de nixtamalizado.

Para determinar la calidad de la misma, se realizó un análisis de actividad enzimática, el cual reflejo lectura nula debido a la carencia de amilasas.

Se llevó a cabo un análisis de almidón dañado y un ensayo de farinograma, para éste último se realizó una adición de 5 por ciento de harina de semilla del árbol de Ramón a harina comercial para llevar a cabo dicho ensayo. Presentando la adición con un tratamiento de 3 por ciento de cal, la mejor calidad a nivel industrial.

#### **OBJETIVOS**

#### General

Evaluar el proceso de nixtamalización para la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*), en función de las variaciones de álcali y tiempo de cocción.

#### **Específicos**

- 1. Evaluar la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función de las variaciones de álcali y tiempo de cocción para el proceso de nixtamalización.
- Evaluar el proceso de secado para la obtención de harina de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función de las temperaturas de secado, para cada uno de los tratamientos de nixtamalización.
- Comparar los niveles de nitrógeno total (proteína) para establecer las variaciones en el valor nutricional en función de cada uno de los tratamientos del proceso de nixtamalización, mediante análisis proximal.
- 4. Evaluar la calidad de la harina producida en el proceso de nixtamalización, en función de análisis de almidón dañado y actividad enzimática para cada uno de los tratamientos de nixtamalización.

5. Evaluar la consistencia específica y aptitud de la harina producida en el proceso de nixtamalización, criterio esencial del análisis de farinograma, para la determinación de la calidad de la harina en función del porcentaje de álcali proporcionado.

#### **Hipótesis**

Existe diferencia significativa en el valor nutricional de la harina de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función del proceso de nixtamalización.

 $\exists \ Valor \ Nutricional = \emptyset \ (Nixtamalización)$ 

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa en el valor nutricional de la harina de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función del proceso de nixtamalización.

 $\not\exists Valor\ Nutricional = \emptyset\ (Nixtamalizacón)$ 

Hipótesis alternativa:

Existe diferencia significativa en el valor nutricional de la harina de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función del proceso de secado.

 $\exists Valor Nutricional = \emptyset (Secado)$ 

#### INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, se llevó a cabo el proceso de nixtamalización para la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón y propuesta como oportunidad, como un alimento base en la alimentación, como harina en distintos usos, como por ejemplo panificación, galletas, bebidas nutricionales y calóricas.

El árbol de Ramón utilizado ampliamente en el departamento de Petén, presenta un alto grado alimenticio, dado que sus hojas y frutos se utilizan con frecuencia, tanto para consumo humano como animal. Además, su semilla es comestible, que al procesar se logra obtener una fina harina, la cual era mezclada con harinas de maíz en tiempos precolombinos. Otra de las alternativas, es utilizar únicamente la harina de Ramón para preparar una diversidad de productos alimenticios como pan integral, galletas, tortillas, café, panqueques o incluso atoles.

Las propiedades nutricionales de la semilla de Ramón, no han sido estudiadas con la amplitud debida, sin embargo, a través de diversos estudios, se ha logrado determinar que su valor nutricional manifiesta un elevado contenido de proteína, que va desde un 11 hasta un 13 por ciento superando los valores de la misma que se pueden encontrar en el maíz y el trigo (10% y 11,1 por ciento respectivamente).

A pesar de mostrar un alto contenido proteico, la semilla también se caracteriza por un alto contenido de carbohidratos, los cuales representan un 43,45 por ciento de su composición nutricional, que en conjunto con la fibra cruda, alcanzan un 65,75 por ciento de los carbohidratos totales; aunados a un bajo contenido de grasa 0,71 por ciento.

Se llevó a cabo un análisis proximal de la semilla sin aplicar tratamiento para determinar los valores proteínicos, que la caracterizan.

Según la metodología estipulada se realizó 4 tratamientos, siendo estos de una proporción de agua de 2:1, proporción de 1-3 por ciento de cal respecto del peso de la semilla y una variación de tiempo de nixtamalizado de 15 y 45 minutos, formando así las combinaciones correspondientes para los 4 tratamientos.

La semilla tratada se redujo de tamaño la partícula y se llevó a cabo el proceso de secado, el cual fue llevado a una temperatura de 45 grados Celsius en un secador de bandejas hasta obtener una humedad entre el 6-8 por ciento, una vez deshidratada la semilla, se aplicó molienda y por último un tamizaje para la obtención del producto final, harina.

Una vez obtenida la harina, se procedió a realizar análisis proximal a cada uno de los tratamientos, para determinar la variación que sufrió cada una de las propiedades de la semilla y compararlas entre sí, tomando como parámetro principal el contenido de nitrógeno total contenido y el contenido de cenizas.

La calidad de la harina en la industria de panificación, es de suma importancia para la determinación de los parámetros y mejoras de la producción, razón por la cual se llevó a un análisis de actividad enzimática, almidón dañado y un ensayo de farinograma.

La lectura nula de actividad de amilasas reportada en el análisis de activada enzimática, dio la pauta para la realización del ensayo de farinograma, ya que para la realización de este último, se llevó a cabo una adición de 5 por ciento de harina de semilla del árbol de Ramón a harina comercial. Presentando la adición con un tratamiento aplicado de 3 por ciento de cal, la mejor calidad a nivel industrial con un valor de 8,10 por ciento de almidón dañado.

#### 1. ANTECEDENTES

En 1994, Héctor Leonel Monzón Samayoa, estudiante de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: Utilización de harina de follaje del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en dietas de engorde para conejos.

En noviembre del 2010, Aura Isabel Arévalos Salguero, estudiante de Nutrición de la Universidad Rafael Landívar, Guatemala, realizó su trabajo de graduación titulado: Respuesta glicémica de la semilla del Ramón, *Brosimum alicastrum* en mujeres de 16 a 25 años de edad, residentes de la ciudad capital, Guatemala.

La investigación antropológica indica que el árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) fue uno de los principales medios de apoyo de los antiguos mayas, el cual cultivaban intensamente.

Una de las características más destacadas de esta planta, es que permanece verde durante la estación seca, siendo así la única fuente existente de forraje en muchos lugares. Las ramas, hojas, frutos y semillas se utilizan para alimentar al ganado vacuno, aves, cerdos y otros animales.

Hoy por hoy, las semillas del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*), no son utilizadas de ninguna forma en la alimentación humana, dado que se desconoce la utilidad de las mismas y no existe registro sobre el proceso de producción de dicha harina que implica el mayor aprovechamiento de dicho recurso, es decir no se ha realizado una caracterización de la semilla donde se pueda conocer realmente su valor nutricional, ya que como se mencionó anteriormente se utiliza en áreas rurales.

#### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Descripción

El nombre de *Brosimum*, viene del griego *brosimos* que significa comestible. *Brosimum alicastrum* (Ramón) es una especie botánica arbórea del género *Brosimum*, de la familia de las Moraceae. Este árbol puede alcanzar los 45 metros de altura y 1 metro de diámetro. Se dice que está en peligro de extinción.

Corteza acanalada, cilíndrica; con raíces externas de contrafuerte, dándole más soporte necesario si su sistema radicular es superficial; con savia lechosa dulce y pegajosa. Corteza externa suave, grisácea clara, madera rojiza, con sección central amarillenta.<sup>2</sup>

Los árboles dioicos de hasta 35 metros de altura, a veces con contrafuertes; látex blanco al amarillo. Ramitas con hojas 1-4 milímetros de espesor, glabras o escasamente pubérulas.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Lozano, O; Shimada A.S.; Ávila, E. Valor Alimenticio de la semilla de Ramón (BrosimumAlicastrum). Técnica Agropecuaria. México. 34:100-104, 1978.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>BassetMaguire, Chairman; Cuatrecasas, Jose; Fidalgo, Oswaldo; Ferreyra, Ramón H.; Flora Neotropica, Monograph No.7, OlmedieaeBrosimear, New York July 28, 1972. Traducido.

Hojas elípticas a oblongas, ligeramente o no desiguales, más amplia a menudo por encima, pero a veces por debajo de las medias 2-28 centímetros de largo, 1-11 centímetros de ancho, coriáceas a cartáceas, acuminado, a menudo casi aguda, a veces caudado, en la base agudos, obtusos, truncada o rara vez emarginado a subcordadas; margen entero o denticulado rara vez, por encima glabras, bajo glabros o pubérulos poco y aveces también escasamente pubescentes en la costa.

La vena ligeramente prominente al plano o, aveces un poco impresionado por encima de, prominente a casi plano por debajo de, 12 - 21 pares de nervios secundarios, sino aveces con algunas venas terciarias paralelas, pecíolos 2-14 milímetros de largo; estípulas casi totalmente amplexicaules, 3-15 milímetros o, en ocasiones más juntos, brácteas 0,2-2 milímetros de diámetro. Inflorescencias estaminadas 3-8 milímetros de diámetro, con una central, o aveces más, las flores pistiladas abortivos, numerosas flores estaminadas, perianto falta o, a veces un regalo de un minuto, estambre 1, filamentos 0,4-1,6 milímetros de largo, anteras 0,4-0,5 milímetros de largo y de 0,4-0,5 milímetros de ancho, tecas libres o fusionadas.

Inflorescencias pistiladas 2-4 milímetros de diámetro con 1 o 2 veces, o en ocasiones también muchas flores abortadas, el estilo de 1,5-8,5 milímetros de largo, a veces con algunos pelos uncinados, estigmas 0,2-8 milímetros de largo, desiguales en longitud, en ocasiones ausente. Infrutescencias (sub) globosas 1,5-2 centímetros de diámetro en la madurez de color amarillo, marrones o anaranjados, testa vascularizados. Floración, probablemente durante todo el año.

## 2.2. Taxonomía

Se emplea el término para designar a la taxonomía biológica, es la ciencia de ordenar a los organismos en un sistema de clasificación compuesto por una jerarquía de taxones anidados.

Reino: vegetal

Subreino: *embryobionta* División: *magnoliophyta* 

Clase: manoliopsida

Subclase: hamamelidae

Orden: urticales

Familia: *moraceae* Género: *brosimum* 

Especies: este género cuenta con aproximadamente 28 especies.

Standley y Steyermarck<sup>3</sup> reportan para Guatemala, 4 especies que son:

- Brosimum alicastrum Swartz
- Brosimum panamense Pittier
- Brosimum costarricanum
- Brosimum terrabanum Pittier

Árboles monoicos o dioicos. Hojas enteras, aveces dentado, con forma globosa capitado o alargado y capitados pelos pluricelulares, estípulas libres o connados, totalmente amplexicaules o no.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Rocas, Aníbal N. Brosimum alicastrum Swartz. Instituto de Ecología A.C. Veracruz, México. p. 25.

Las inflorescencias bisexuales o unisexuales, los (sub) globosos hermispherical, cornetes nasales o convexa discoide, receptáculo en un principio completamente cubierto de brácteas peltadas; flores estaminadas varias numerosos, perianto bien desarrollado y 4-3-2-lobulado de 4-3-2 se separan, vestigio o que carecen de estambres 4-1, anteras latrorse de extorse, pistillode falta, flores uno a varios, la testa con la parte gruesa, a veces, vascularizada, embrión transversal u oblicua, cotiledones iguales o desiguales.

Figura 1. Visualización de la parte baja del árbol de Ramón (Brosimum alicastrum)



Fuente: Cerro Cahui. Petén. Guatemala.

Figura 2. Visualización de la parte alta del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*)



Fuente: Cerro Cahui. Petén. Guatemala.

Figura 3. Visualización de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*)



Fuente: Flores. Petén. Guatemala.

# 2.3. Distribución geográfica

El árbol se encuentra en las regiones tropicales húmedas de Mesoamérica, en la parte norte de Guatemala, en las colinas boscosas de El Salvador y en la zona del Canal de Panamá, en Chagres y Darién. Muy pocos se encuentran en la región del pacífico.

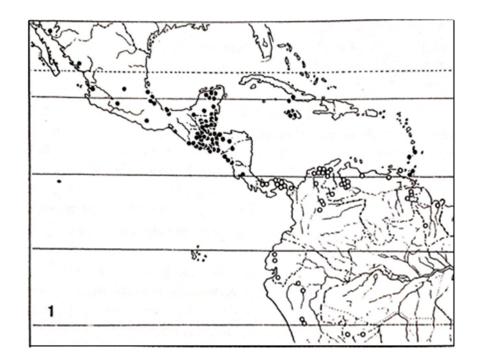
En Guatemala, estas zonas de vida son las más extensas de las 14 reportadas. Abarcan 40 700 kilómetros cuadrados, lo que representa el 37,4 por ciento de la superficie del país. Se dividen en 2 zonas: norte y sur. La zona norte del país abarca una parte del departamento de Huehuetenango, Izabal, el norte de Alta Verapaz, Quiché, el sur de Petén (Sayaxché, San Luís, Poptún y Dolores) y al norte, la Reserva de Biosfera Maya (RBM)<sup>4</sup>.

La zona sur, abarca una franja de entre 40 y 50 kilómetros de ancho, extendiéndose desde el sur de México, toda América Central, Caribe, y la parte norte de América del Sur.

8

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Rocas, Aníbal N. Brosimum alicastrum Swartz. Instituto de Ecología A.C. Veracruz, México. p. 26-27.

Figura 4. **Distribución geográfica del árbol de Ramón (Brosimum** alicastrum)



Fuente:Flora Neotropica Monograph No.7, New York, July 28, 1972.

## 2.4. Flores

Flores unisexuales, solitarias y axilares. Las flores masculinas de color amarillo, están reunidas en amentos globosos, compuestos de escamas peltadas y carecen de corola.

Las flores femeninas están reunidas en cabezuelas oblongas, ovales, con escamas más pequeñas. Esta especie es monoica consecutiva protógina: cuando el *Brosimum alicastrum*<sup>5</sup> madura sexualmente (esto es, cuando produce flores, lo que ocurre a los 5 años de nacer desde su semilla, o antes si se reproduce por estaquilla), produce flores femeninas, mientras que a partir de un cierto punto de su ciclo de vida, su sexualidad cambia produciendo flores masculinas.

## 2.5. Fruto y semilla

El fruto es una drupa de 2 a 3 centímetros de diámetro, globosa con pericarpio carnoso comestible de color verde amarillento cuando está madurando y tirando a anaranjado o rojo cuando está en sazón, de sabor y olor dulce. La drupa contiene generalmente una semilla (más raramente, hasta 3 semillas por fruto, que son las llamadas nueces mayas).

La semilla es casi esférica, de 1 a 2 centímetros de diámetro, con testa (piel) delgada de color castaño, y cotiledones verdes, gruesos y feculentos. Tostadas o cocidas tienen un sabor parecido a las castañas. Molidas sirven para hacer una harina negra con la que se hace pan o tortillas, galletas, sopas, tortitas, café y harina para panqueques y atol. Pueden prepararse pasteles de diversos sabores, flanes, helados, pizzas, manjares y platos típicos. Todas ricas en triptófano, un aminoácido esencial deficitario en dietas basadas en el maíz.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Standley, P.C. &Steyermark, J.A. 1946."Flora of Guatemala.Botany".Chicago natural history museum. v. IV. 493. p

Figura 5. Descripción del árbol de Ramón (Brosimum alicastrum)

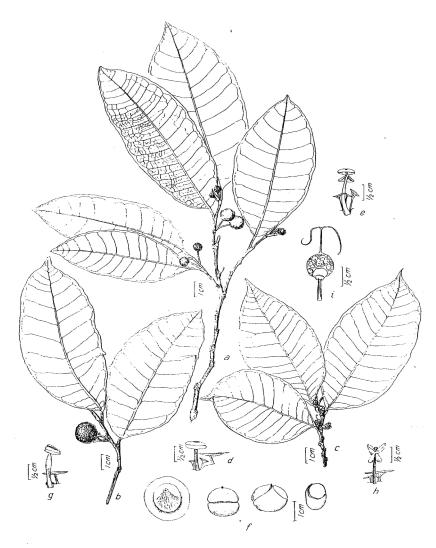


FIG 62. Brosimum alicastrum subsp alicastrum, a, leafy twig with staminate inflorescences (Broadway 7267); b, leafy twig with infructescence (Lundell 492); c, leafy twig with pistillate inflorescences, d, stamen and bracts (Schott 561); c, stamen and bracts (Calderon 2407); f, seed and embryo (Gaumer 748); Brosimum alicastrum subsp bolivarense. g, stamen and bract (Burgos 63); h, stamen and bracts (Tessmann 4523); i, pistillate inflorescence (Cooper 441).

Fuente: Flora Neotropica Monograph No.7, New York, July 28, 1972.

# 2.6. Ecología

Crece en bosques húmedos y subtropicales, entre 80 y 1 600 metros sobre nivel del mar; florece entre 21 y 25 grados Celsius. Comúnmente es utilizado como alimento. Algunas veces, bianualmente pierde su follaje, sobre todo en hábitats más áridos. En Guatemala este árbol crece en toda la costa sur y la región noroeste de Petén. En el bosque produce un buen forraje para las mulas.

#### 2.7. Madera

Tiene duramen de color amarillo blanco o gris; y el color de la albura es similar al del duramen. Peso específico: 0,6-0,7 gramos por centímetro cúbico. Madera de porosidad difusa.

#### 2.8. Usos

Este es un árbol verdaderamente multiuso, del cual todas las partes se pueden utilizar. El mismo, es uno de los árboles del cual se aprovechan todas sus partes (follaje, ramas, frutos, semillas, látex y madera). Sus usos incluyen:

- Follaje, corteza y ramas: como forraje para ganado bovino y equino.
- Fruto y semilla: para el consumo humano y animal.
- Látex: para usos medicinales.
- Madera: para construcción, chapas, contrachapas, ebanistería, muebles y leña.

### 2.9. Proceso de nixtamalización

El primer paso en la nixtamalización, consiste en poner a cocer los granos de maíz en una solución alcalina a una temperatura cerca al punto de ebullición. Tras la cocción, el maíz se deja inmerso en el caldo durante unos momentos. La duración del tiempo de cocción y remojo del maíz, varía según las tradiciones locales y el tipo de alimentos a preparar.

Se le puede dejar cociéndose desde unos minutos hasta una hora, y remojando desde unos minutos hasta alrededor de un día. Durante la cocción y el remojo, una serie de cambios químicos tienen lugar en los granos de maíz, debido a que los componentes de la membrana de los granos del maíz, entre los cuales se incluyen hemicelulosa y pectina, son altamente solubles en soluciones alcalinas, los granos se suavizan y sus pericarpios (cáscaras) se aflojan. El grano se hidrata y absorbe calcio y potasio (según los compuestos utilizados) a lo largo de todo el proceso.

Los almidones se disuelven y gelatinizan, algunos almidones se dispersan en el líquido. Se liberan ciertos productos químicos del germen que permiten que el grano cocido sea más fácil de triturar. La cocción produce cambios en la proteína principal del maíz, lo que hace las proteínas y nutrientes del endospermo del núcleo más asimilables para el cuerpo humano. Tras la cocción, el caldo alcalino, que contiene reblandecidas las cáscaras, el almidón del maíz y otras sustancias, se decanta y se descarta.

Los granos se lavan completamente para limpiarlos. El pericarpio se retira, y se deja sólo el germen (cotiledón) del grano. Esta operación se realiza a mano, de modo tradicional o en preparaciones a pequeña escala, también mecánicamente, en mayor escala o en la producción industrial.

La nixtamalización eleva la disponibilidad de niacina, con lo que se elimina el riesgo de desarrollar pelagra, atribuido equivocadamente, en otras partes del mundo (fuera de Mesoamérica), al consumo del maíz.

### 2.9.1. Nixtamal

El proceso de nixtamalizado o nixtamalización, proviene de la palabra *nixtamal*<sup>6</sup>, que tiene su origen del náhuatl *nextli* (cenizas de cal) y *tamalli* (masa de maíz cocido). El grano preparado se llama *nixtamal*. El nixtamal tiene muchos usos, algunos de origen contemporáneo y otros de origen histórico. El nixtamal puede utilizarse fresco o puede secarse para uso posterior. El nixtamal fresco molido se convierte en masa y es utilizado para hacer tortillas, tamales y arepas. Seco y molido, se le llama harina de masa o masa instantánea, que suele rehidratarse y utilizarse como masa.

#### 2.10. Proceso de secado

Consiste en la remoción de un líquido de un material por la aplicación de calor. Este se logra por la transferencia de un líquido de una superficie de un material a un gas no saturado. El proceso de secado se diferencia del proceso de evaporación, en que en este último la cantidad de líquido removido del sólido es mayor que el secado<sup>7</sup>.

14

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>Maya NutInstitute. Disponible: http://www.theequilibriumfund.org/page.cfm?pageid=2772. Consulta: 15 de mayo de 2012.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>Friedrich Kneule. El Secado. Madrid España. p. 223-225.

Un proceso de secado, involucra aporte de calor y transferencia de masa. El calor debe transferirse al material a secar para suministrar el calor latente requerido para la vaporización de la humedad. Luego la masa de agua se vuelve vapor que pasa a la corriente de aire. La velocidad total de transferencia de calor, se expresa como la suma de las velocidades de transferencia por conducción, convección, y radiación.

El producto que se seca puede soportar temperaturas elevadas o bien requiere un tratamiento suave a temperaturas bajas o moderadas. Esto da lugar a que en el mercado exista un gran número de tipos de secadores comerciales. Las diferencias residen fundamentalmente en la forma en que se mueven los sólidos a través de la zona de secado y en la forma en la que se transmite calor al producto a secar<sup>8</sup>.

Los sólidos que se secan, pueden tener formas diferentes gránulos, escamas, cristales, polvo, tablas o láminas continuas y poseer propiedades muy diferentes.

El secado de un material, se puede verificar haciendo uso de gráficos de perfiles de secado versus tiempo de secado hallado experimentalmente. La velocidad del secado de una muestra, se puede determinar haciendo por medio de una curva de contenido de humedad y tiempo de secado.

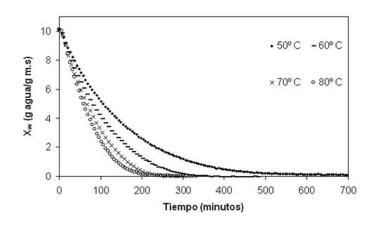
<sup>&</sup>lt;sup>8</sup>G. Nonhebel, A. A. H.; Moss. El secado de sólidos en la Industria Química. p. 293.

Figura 6. Comportamiento del secado de un sólido en función del tiempo



Fuente: Comportamiento de los sólidos durante el secado. Farmacotecnia 1, Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. docencia.udea.edu.co. Consulta: 20 de junio de 2012.

Figura 7. Comportamiento del secado de un sólido en función del tiempo a diferentes temperaturas



Fuente: Comportamiento de los sólidos durante el secado. Farmacotecnia 1, Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. docencia.udea.edu.co. Consulta: 20 de junio de 2012.

# 2.11. Clasificación de los equipos de secado

Existe una amplia variedad de diseños de secadores, para la correspondiente clasificación, primero es necesario definir el suministro del requerimiento térmico.

### 2.11.1. Método de transferencia de calor

Se dividen en 2: los de contacto directo, en el que el material se seca al exponerse a la fuente de energía (mecanismo convectivo), mientras que los de contacto indirecto, el calor es transferido de una fuente de calentamiento a una superficie o medio que contacta el producto (mecanismo conductivo). Se basa en las diferencias entre el diseño, operación y requerimientos de energía<sup>9</sup>.

## 2.12. Tipos de secadores

El equipo que se utiliza para el secado, se puede clasificar de acuerdo con el proceso de secado y desde el punto de vista de la naturaleza del material o sustancia que se desee secar.

## 2.12.1. Secadores de lecho estático

Aquí no hay movimiento relativo entre las partículas sólidas a secar, aunque puede haber movimiento total de la masa a secar. Se caracteriza porque solo una fracción de las partículas totales, se expone directamente a las fuentes de calor; la superficie de exposición puede aumentarse disminuyendo el espesor o grosor del lecho, permitiendo al aire pasar a través de él.

17

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Perry, R.H.; Green, D.W.; Maloney, J.O. Manual del Ingeniero Químico. p. 345.

# 2.12.1.1. Secador de bandejas

Son los más antiguos y aún los más utilizados. Consisten de una cabina en el que el material a secar se esparce en bandejas (4-20). Cada bandeja puede ser de forma cuadrada o rectangular, con un área que en promedio es de 1,25 metros cuadrados; se recomienda esparcir el material hasta una altura máxima de 1,5 centímetros. El secado puede durar hasta 2 días, dependiendo del tipo de material y su contenido de humedad.

El secado de este tipo, puede ser de flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar y de flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Cada lote del material se seca separadamente. Se pueden tratar lotes de tamaños desde 10 hasta 250 kilogramos. Para el secado de materiales no necesita de aditamentos especiales.

Estos equipos tienen 2 variaciones, una de secado directo, en el cual el aire caliente es forzado a circular por las bandejas. La otra de secado indirecto, donde se utiliza el aire caliente proveniente de una fuente de calor radiante dentro de la cámara de secado y una fuente de vacío o un gas circulante para que elimine la humedad del secador. Los secadores de bandejas pueden funcionar en régimen semicontínuo.

Figura 8. Esquema general de un secador de bandejas (arriba: secador a nivel industrial, abajo: secador a nivel laboratorio)



Fuente: Laboratorio de Investigación y Extracciones Vegetales -LIEXVE-, Laboratorio de Química Industrial, Edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.

Las bandejas pueden ser de fondo liso o enrejado. En estas últimas, el material se debe colocar sobre un papel, tela o fibra sintética especial, donde la circulación del aire caliente fluye sobre el material desde arriba hasta abajo. El material de soporte debe facilitar la limpieza y prevenir la contaminación del producto.

En el secador, la temperatura y el flujo deben ser muy uniformes. En general la velocidad de flujo recomendada para 100 kilogramos del material, es de 200 pies por minuto.

Los granulados obtenidos en este secador, son más densos, duros e irregulares que los obtenidos en por lecho fluidizado, ya que éstos tienden a ser más porosos, menos densos y más esféricos.

Su polivalencia y la buena calidad comercial de los productos obtenidos, los hace utilizables en la deshidratación de productos agrícolas. La desventaja de estos equipos es que algunos colorantes y ciertos fármacos solubles en agua tienden a migrar desde el centro del gránulo hasta la superficie durante el secado.

La fuente energética de estos secadores ser vapor, electricidad, o hidrocarburos como carbón, petróleo, aceite y gas. Estos 2 últimos calientan mucho más y son de bajo costo de funcionamiento, pero tienen el inconveniente de contaminar el producto y producir explosiones. Los secadores que funcionan con vapor son más baratos que los eléctricos y se aconsejan para equipos grandes.

Los rendimientos térmicos de este tipo de secador, suelen estar comprendido entre el 20 y el 50 por ciento.

# 2.12.2. Humedad Relativa (HR)

La Humedad Relativa (HR), es un término utilizado para expresar la cantidad de humedad en una muestra dada de aire, en comparación con la cantidad de humedad que el aire tendría, estando totalmente saturado y a la misma temperatura de la muestra. La humedad relativa se expresa en porcentaje, tal como 50, 75, 30 por ciento.

### 2.12.3. Humedad absoluta

La humedad absoluta<sup>10</sup>, o también llamada contenido de humedad, es el peso de vapor de agua en kilogramos por kilogramo de aire seco (kg H<sub>2</sub>O / kg de aire seco). La humedad absoluta, se refiere a la cantidad de humedad en peso, que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura de saturación (punto de rocío) determinada.

## 2.12.4. Punto de rocío

El punto de rocío se define como: la temperatura a la que una muestra de aire húmedo en las mismas condiciones de presión alcanza la saturación de vapor de agua<sup>11</sup>. En este punto de saturación, el vapor de agua comenzaría a condensarse en agua líquida o (si estuviera por debajo del punto de congelación) en escarcha, al continuar quitando calor.

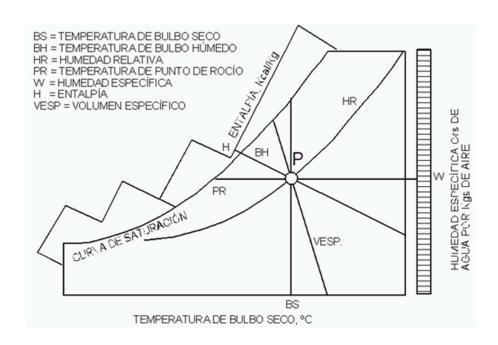
<sup>11</sup>Geankoplis, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. p. 61-70, 112-114, 435-462.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup>Perry, R.H.; Green, D.W.; Maloney, J.O. Manual del Ingeniero Químico. p. 347.

# 2.12.5. Carta psicrométrica

La carta psicrométrica o carta de humedad, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, HR, volumen, presión. Las cartas psicométricas se utilizan para determinar, cómo estas propiedades determinan la capacidad secante del aire. (diagrama de carta psicrométrica con temperaturas normales y a nivel del mar, ver apéndice).

Figura 9. Esquema general de visualización de carta psicrométrica o carta de humedad



Fuente: Carta Psicrométrica. Procesos Bio. procesosbio.wikispaces.com/Carta+Psicrométrica. Consulta: 18 de agosto de 2012.

La carta psicrométrica de humedad, puede representar procesos simples como calentamiento o enfriamiento a humedad y presión constante o los mismos procesos a humedad variable. También se pueden trazar procesos simples de humidificación adiabática y de mezclas de aire.

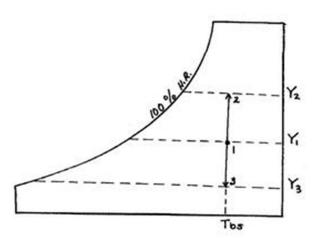
CALENTAMIENTO Y=CTE

Figura 10. Calentamiento o enfriamiento sensible

Fuente: Carta Psicrométrica. Procesos Psicrométrico. Procesos Bio. procesosbio.wikispaces.com/Carta+Psicrométrico. Consulta: 18 de agosto de 2012.

La carta también puede representar procesos con variaciones latentes, estos están representando un proceso que se caracteriza por un aumento o disminución del contenido de humedad del aire, permaneciendo constante la temperatura de bulbo seco.

Figura 11. Variaciones latentes



Fuente: Carta Psicrométrica. Procesos Psicrométrico. Procesos Bio. procesosbio.wikispaces.com/Carta+Psicrométrico. Consulta: 18 de agosto de 2012.

# 2.13. Reducción de tamaño de partícula

Es la operación unitaria en la que el tamaño medio de los sólidos es reducido. En la industria, generalmente se trabaja con sólidos, los cuales precisan de una reducción previa del tamaño de los trozos, gránulos o partículas<sup>12</sup>. La operación de disminución o reducción de tamaños, consiste en la producción de unidades de menor masa a partir de trozos mayores; para ello hay que provocar la fractura o quebrantamiento de los mismos mediante la aplicación de presiones.

1 ^

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup>Ingeniero Químico / Operaciones básicas de la Ingeniería Química, Reducción de tamaño de partícula. Disponible en: http://html.ingenieriaquimica.com/reduccion-del-tamano-de-solidos.html. Consulta: 22 de julio de 2012.

Tipos de ruptura de Impacto sólidos Frotamiento Compresión Capacidad de Operación Tamaño de partícula Operación del Equipo Eliminación del calor Consumo de Energía Reducción del Reducción Primaria Trituradoras (150 a 250 mm tamaño Reducción intermedia Molinos 6 mm a 150 mm Tipos de Equipo Reducción fina Cortadoras Ø 2 a 10 mm Reducción ultrafina Molinos finos 1 a 50 micras

Figura 12. Formas de reducción de tamaño de partículas

Fuente: Ingeniería Química, operaciones básicas. Consulta: 22 de julio de 2012.

Las técnicas de reducción de tamaño son:

- Compresión: es utilizada para la reducción gruesa de sólidos duros, genera productos gruesos, medios o finos.
- Corte: se utiliza cuando se requiere un tamaño definido de partículas.
- Frotación o rozamiento: genera productos finos a partir de materiales blandos no abrasivos.
- Impacto: esta técnica consiste en el choque de las partículas para la disminución de su tamaño.

Los fines de la reducción de tamaño son muy importantes en la industria, por las siguientes razones:

- Facilita la extracción de un constituyente deseado que se encuentre dentro de la estructura del sólido, como la obtención de harina a partir de granos y jarabe a partir de la caña de azúcar.
- Se pueden obtener partículas de tamaño determinado, cumpliendo con un requerimiento específico del alimento, como ejemplo el azúcar para helados, preparación de especies y refino del chocolate.
- Aumento de relación superficie-volumen, incrementando la velocidad de calentamiento o de enfriamiento, la velocidad de extracción de un soluto deseado.
- Si el tamaño de partículas de los productos a mezclarse es homogéneo y de tamaño más pequeño que el original, la mezcla se realiza más fácil y rápido, como sucede en la producción de formulaciones, sopas empaquetadas, mezclas dulces, entre otros.

Los requerimientos de tamaño, son diversos para cada tipo de productos, de ahí que se utilicen diferentes máquinas y procedimientos.

## 2.14. Valor nutricional

Las semillas contienen pequeñas cantidades de aceites volátiles, grasa, resina, cera, alcaloides, principios mucilaginosos, trazas de sacarosa y glucosa, dextrina, principios pépticos y albuminoides; ácido metabórico, almidón, celulosa y sales<sup>13</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup>Standley, P.C. & Steyermark, J.A. Flora of Guatemala Fieldiana: Botany. p. 493.

Es importante examinar los aspectos nutritivos, tanto de la fruta como de la semilla de Ramón. En cuanto a ésta última, se puede mencionar que existen diversas fuentes sobre el valor nutricional de la semilla de Ramón, es por ello que a continuación se muestra un cuadro resumen de los principales nutrientes contenidos en la misma, recopilados por diversos autores:

Tabla I. Valor nutricional de la semilla seca del árbol de Ramón (contenido de macronutrientes, energía, humedad y fibra en 100 gramos)

Nutriente Fuente	FAO (1961)	Peter set.al. (1982)	Leung et.al. (1961)	The Equilibrium Fund (2007)	Media	Experimental (%)
Energía (Kcal)	363	361	363	350	359	NR
Humedad (%)	6,5	40-50	6,5	10,9	28	56,55
Carbohidratos(g)	76,1	NR	76,1	76,2	76,1	43,45
Fibra Cruda (g)	6,2	4,6	6,2	19	9	6,27
Proteína (g)	11,4	12,8	11,4	9	11,2	12,55
Lípidos (g)	1,6	NR	1,6	0,44	1,2	0,44
Cenizas	NR	NR	NR	NR	NR	3,66

Fuente: la composición nutricional del Ramón se elaboró con Información no publicada, proporcionada por la ONG "The Maya NutInsitute", Guatemala diciembre 2009. Los datos experimentales fueron realizados del 19 al 23-11-2012 No.478 por el Laboratorio de Bromatología, Edificio M-6, Universidad de San Carlos, Ciudad Universitaria zona 12.

# 2.15. Análisis proximal

El propósito principal de un análisis proximal, es determinar en un alimento, el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas. Estos procedimientos químicos revelan también el valor nutritivo de un producto y como puede ser combinado de la mejor forma con otras materias primas, para alcanzar el nivel deseado de los distintos componentes de una dieta<sup>14</sup>. Es también un excelente procedimiento para realizar control de calidad y determinar si los productos terminados alcanzan los estándares establecidos por los productores y consumidores.

El producto a ser muestreado, debería ser muy bien mezclado y molido previamente al muestreo.

# 2.15.1. Muestreo del producto

Consiste en tomar varias cantidades pequeñas del producto, desde diferentes lugares del almacenamiento del alimento, para ello se debe llevar a cabo pruebas preliminares.

### 2.15.2. Mezclado

La muestra homogénea, es mezclada y molida varias veces para asegurar que una muestra de ensayo tomada en esta etapa, será una muestra representativa del producto. Usualmente, una muestra de 10 gramos se toma de esta muestra homogeneizada y sobre esta cantidad se realiza el análisis.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup>Ramírez, H.J. "Análisis Proximal". Técnica de AOAC. México. 35: 43-47. 1978.

2.16. Almidón dañado

El índice de almidón dañado, es muy importante en todas las industrias de

panificación. Es de hecho, un factor de control de la absorción de agua y de la

actividad de fermentación.

Su principio se basa en la adsorción de yodo por el almidón dañado de una

suspensión de harina diluida. La cantidad de yodo adsorbida, es medida por un

método amperométrico. La intensidad de la corriente, es inversamente

proporcional a la cantidad de almidón dañado.

Este método amperométrico, consiste en medir la cantidad de yodo

absorbido por los gránulos de almidón de una solución regulada a 35 grados

Celsius. Cuanto más débil es el valor medido, mayor resulta la tasa de almidón

dañado.

La medición del daño del almidón de harina, permite apreciar sus

capacidades en panificación con el fin de paliar los problemas que pueden

acontecer durante el proceso.

2.16.1. **Aplicaciones** 

El índice de almidón dañado, es empleado para determinar el daño

producido en los tratamientos aplicados a la materia que se ven reflejados en la

calidad de la harina producida. Entre dichas aplicaciones se tiene:

Determinar: el almidón dañado de las harinas

Controla: las calidades de las harinas

Optimizar: la fermentación de las masas

29

Corregir: los fallos de apariencia de los productos de cocción

Evaluar: los riesgos de maquinabilidad

#### 2.16.1.1. En la fabricación de harinas

En la industria de panificación el índice de almidón dañado, es un parámetro determinante en la calidad de la harina producida, de acuerdo a ello se puede establecer la mejor aplicación.

- Determinación del nivel óptimo de almidón dañado para obtener los mejores resultados en panificación, lo que proporciona la adaptación del índice de almidón dañado de las harinas industriales.
- Estimación de la absorción de agua potencial de las harinas (basándose en el contenido de proteína, humedad y almidón dañado de las harinas).
- Ajustes de los cilindros de los molinos para optimizar el consumo energético y ahorrar costos de electricidad.

# 2.16.1.2. En las industrias de panificación

El índice de almidón dañado en la calidad de la panificación, permite controlar las variable involucradas en el proceso (volumen del pan, disminución del envejecimiento y color de la corteza).

# 2.16.2. Ventajas

El análisis de almidón dañado, además de controlar los parámetros involucrados en la calidad en la industria de panificación, posee una serie de ventajas en las que destacan:

- El ensayo se realiza con una muestra de harina que pesa alrededor de 1 gramo.
- La cantidad de yodo se genera automáticamente en función de la masa de harina empleada.
- El análisis del daño del almidón, tarda menos de 10 minutos.
- El ensayo no requiere ninguna cualificación particular.

### 2.17. Actividad enzimática

Las enzimas son proteínas que actúan como catalizadores de las diferentes reacciones bioquímicas que constituyen el metabolismo de los seres vivos. Para que se produzca una determinada reacción, es necesaria la presencia de una determinada enzima, y la mayor o menor cantidad de este, suele modificar la velocidad de la reacción controlada.

Las enzimas que resultan de interés entre los cereales, son las amilasas, proteasas, hemicelulasas y lipasas. Tanto los contenidos en la harina como los adicionados en el molino o en la panadería, actúan en las diferentes partes del proceso de panificación. Su presencia en cantidades superiores o inferiores a las necesarias, afectará a la calidad del producto final, tanto a su volumen y aspecto, como a su conservación.

La actividad enzimática, depende del porcentaje de granos brotados y para medirlos se utiliza el test de número de Falling (Falling Number, número adimensional con rango de 0-500), el cual está basado en el contenido de alfa-amilasa de la harina. El valor del número de Falling, es el número de segundos que dura un test y que mide indirectamente la actividad de estas enzimas. A medida que aumenta la cantidad de granos brotados, disminuye el tiempo del test.

El número de Falling (Falling Number), tiene un impacto directo en la utilidad de operación, es un método con muchos usos en muchas industrias:

- Detecta trigo germinado, cebada y centeno
- Mide la actividad del alfa-amilasa de la harina
- Ayuda a evitar mezclar trigo sano y germinado
- Mezcla de granos para optimizar el valor del número de Falling
- Maximización de la calidad del grano

La enzima alfa-amilasa, se encuentra en poca cantidad en el trigo y abunda más en aquel que ha sido parcialmente germinado. La alfa-amilasa cataliza la hidrólisis de la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, rompiendo enlaces 1,4 interiores (endoamilasa) para formar una mezcla de dextrinas; por ello se le conoce como enzima *dextrinogénica* (mezcla de amilodextrina, eritrodextrina, acrodextrina y maltodextrina) con poca producción de maltosa<sup>15</sup>.

Existe un valor de número de Falling óptimo para cada uso de la harina. Harinas con índices de número de Falling demasiado altos, superiores a 300, dan origen a masas con dificultad para fermentar y panes con miga dura y compacta y una corteza pálida. Harinas con índices excesivamente bajos, inferiores a 150, dan origen a masas blandas, pegajosas, difíciles de trabajar con máquina, el pan se presenta aplastado, con miga gomosa y con corteza de color gris oscuro.

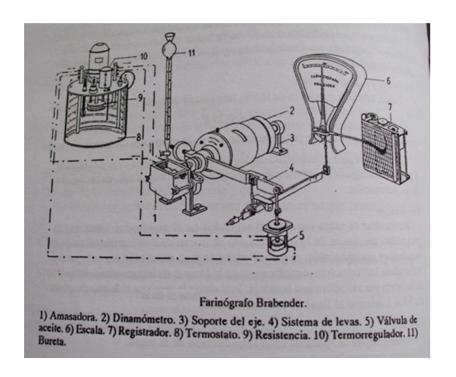
# 2.18. Farinograma

El farinógrafo, mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia. El principio de la medida, se basa en el registro de la resistencia que la masa opone a una acción mecánica constante, en unas condiciones de pruebas invariables.<sup>16</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Aplicación de preparados enzimáticos en las diferentes industrias alimentarias". Biblioteca digital de la Universidad de Chile. Sistema de servicios de información y bibliotecas. SISIB. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\_quimicas\_y\_farmaceuticas/schmidth02/parte07/01.ht ml. Consulta: 08 de mayo de 2013.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup>Quaglia, Giovanni. Ciencia y tecnología de la panificación. p. 52-55.

Figura 13. **Esquema del farinógrafo de Brabender** 



Fuente: Quaglia, Giovanni. Ciencia y tecnología de la panificación. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España.

La calidad de la harina de trigo, esta definida por la cantidad y calidad de sus proteínas funcionales: la gliadina y la glutenina. Estas proteínas, al combinarse con el agua y recibir trabajo mecánico en el amasado, forman una red elástica conocida como gluten y que es característica de cada tipo de trigo.

La resistencia de la masa, se representa sobre un diagrama de esfuerzotiempo a partir del momento de la formación de la masa y durante todo el período de la prueba. El diagrama obtenido reproduce en forma visual el conjunto de las características de calidad de la harina, al cual se le denomina farinograma.

# 2.18.1. Absorción de agua

El farinograma mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante, y también mide la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de UB.

## 2.18.2. Estabilidad

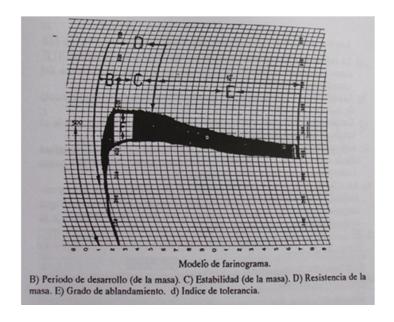
El otro parámetro a medir con un farinógrafo, es la estabilidad, que no es más que el tiempo (expresado en minutos) en que la masa mantiene su máxima consistencia (esto se ve en el pico de la curva; ver figura 14). Este valor refleja cuan fuerte es la harina para soportar el amasado.

### 2.18.3. Índice de tolerancia

La caída o debilitamiento de la masa o el grado de ablandamiento de la masa, en unidades farinográficas, representa la diferencia entre la máxima consistencia y la que se obtiene después de 10-20 minutos.

Ablandamientos elevados, indican que la red de gluten es mala o que la harina posee mucho almidón dañado; este almidón es capaz de absorber el doble de agua que un almidón intacto, de aquí que produzca mayor ablandamiento.

Figura 14. Modelo de farinograma para la interpretación de cada zona



Fuente: Quaglia, Giovanni. Ciencia y tecnología de la panificación. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España.

La aptitud de una harina para la panificación utilizando los análisis farinográficos, se puede evaluar mediante la siguiente clasificación:

Tabla II. Clasificación de la aptitud de una harina para la panificación

Calidad	Caída de la masa	Estabilidad	
Calidad óptima	Caída de la masa entre 0 y 30 UF	Superior a 10 minutos	
Calidad buena	Caída de la masa entre 30 y 50 UF	No inferior a 7 minutos	
Calidad discreta	Caída de la masa entre 50 y 70 UF	No inferior a 5 minutos	
Calidad mediocre	Caída de la masa entre 70 y 130 UF	No inferior a 3 minutos	
Calidad baja	Caída superior 130 UF	Inferior a 2 minutos	

Fuente: Quaglia, Giovanni. Ciencia y tecnología de la panificación. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. España.

# 3. DISEÑO METODOLÓGICO

# 3.1. Definición operacional de las variables

Para lograr el cumplimiento de los objetivos a través de los resultados de la revisión bibliográfica de la metodología, y para poder determinar los parámetros de evaluación del proceso de nixtamalizado para la producción de harina a partir de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*), se describen a continuación las variables que influyen en su determinación, así como las variables a medir para determinar la variable respuesta.

### 3.1.1. Variables de control

Las variables involucradas en la realización del estudio y como se definen según el diseño de investigación para la obtención de los resultados, se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla III. Variables de control involucradas en el proceso

No.	Variable	Dimensional		Factor pote	
'				Constantes	Variables
		Análisis del proc	eso		
1	Muestra de secado	Gramos	g	X	
2	Tiempo de nixtamalización	Minutos	min		Х
3	Masa de cal	Gramos (1-3% peso semilla)			Х
4	Tiempo de secado	Minutos	min		Х
5	Temperatura de secado (T <sub>bs</sub> )	Grados ° C centígrados		Х	
	Análisis externo				
6	Temperatura Ambiente	Grados centígrados	°C		Х

# 3.1.2. Variables independientes y dependientes

Dentro de las variables de control, se encuentran 2 tipos de variables; variables independientes y variables dependientes, las variables independientes se eligen para establecer agrupaciones en el estudio, las variables independientes pueden ser manipuladas por el investigador.

Tabla IV. Variables independientes involucradas

No.	Variable	Dimensional		Factor pot dise			
	'			Constantes	Variables		
	Análisis del proceso						
1	Tiempo de nixtamalización	Minutos	min		Х		
2	Tiempo de secado	Minutos	min		Х		
3	Temperatura de secado	Grados centígrados	°C	Х			
4	Velocidad de secado	Gramos por segundo	g/s		Х		
5	Caudal de aire	Metro cubico por minuto	m³/min		Х		
6	Humedad Relativa del aire (HR)	Pascales	Pa		Х		

Tabla V. Variables dependientes involucradas

No.	Variable	Dimensional		Factor potence	cial de diseño
INO.	Variable			Constantes	Variables
		Análisis del pro	ceso		
1	Muestra de harina	Gramos	g	Х	
2	Masa de cal	Gramos (1 - 3% peso semilla)	g		Х
		Análisis proxi	mal		
3	Humedad	Porcentaje	%		Х
4	Carbohidratos	Porcentaje	%		Х
5	Lípidos	Porcentaje	%		Χ
6	Fibra cruda	Porcentaje	%		Х
7	Proteína	Porcentaje	%		Χ
8	Cenizas	Porcentaje	%		Х
		Almidón daña	ado		
9	Muestra a analizar	Porcentaje	%		Х
Actividad enzimática					
10	Muestra a analizar	Número de Falling (Adimensional Rango 0-500)	_		х

## 3.1.3. Variables de medición

Pueden ser cualitativas o cuantitativas, para el estudio de las variables de medición se expresaron cuantitativamente, siendo estas variables expresadas numéricamente.

Tabla VI. Variables de medición involucradas

No.	Variable	Dimensional		
1	Tiempo de nixtamalización	Minutos	min	
2	Temperatura de ebullición	Grados	° C	
_	Tomporatara ao adameien	centígrados		
3	pH de la solución		-	
4	Tiempo de secado	Minutos	min	
5	Temperatura de secado	Grados	° C	
	remperatura de secudo	centígrados		
6	Humedad Relativa del aire	Pascales	Pa	
	(HR)		. •	
7	Humedad	Porcentaje	%	
8	Carbohidratos	Porcentaje	%	
9	Lípidos	Porcentaje	%	
10	Fibra cruda	Porcentaje	%	
11	Proteína	Porcentaje	%	
12	Cenizas	Porcentaje	%	
13	Almidón dañado	Porcentaje	%	
14	Número de Falling	Adimensional	-	

# 3.2. Delimitación del campo de estudio

Para la delimitación del campo de estudio, es importante delimitar tanto el área de investigación, los procesos que se ven involucrados como el medio en el que se llevara a cabo la realización de la investigación.

- Área de investigación: Operaciones Unitarias
- Línea de investigación: Tecnología de los Alimentos
- Proceso: obtención, caracterización y evaluación del proceso de nixtamalización para la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función de las variaciones de álcali y tiempo de cocción.

#### Ubicación:

- Laboratorio Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Edificio T-5, ciudad Universitaria zona 12, Guatemala C.A.
- Laboratorio de Investigación y Extracción de Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, edificio T-5, ciudad Universitaria zona 12, Guatemala C.A.
- o Molinos Modernos, 33 C. 25-30 zona 12, Guatemala.
- Laboratorio de Bromatología, Universidad de San Carlos, edificio
   M-6, ciudad Universitaria zona 12, Guatemala C.A.
- Clima: temperaturas que oscilan entre los 20-28 grados Celsius según la época del año y una humedad relativa entre 60-75 por ciento.

## 3.3. Recursos humanos disponibles

Una vez delimitado el campo de estudio, es indispensable llevar a cabo la cuantificación de los recursos humanos con que se cuenta para la realización de la correspondiente investigación. Lo cual se presenta a continuación:

- Investigadora: Magda Hernández
- Asesor: Ing. Qco. César Alfonso García Guerra
- Co Asesor: Ing. Qco. Adrián Soberanis
- Colaboradores: gerente de calidad: Ing. Manuel Mendoza (Molinos Modernos)

Laboratorista: José Morales (Laboratorio Bromatología)

## 3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación se detallan los recursos materiales disponibles, que serán aportados en la realización de la presente investigación para la obtención de los datos que serán procesados.

#### 3.4.1. **Equipo**

El equipo de laboratorio, está conformado por aparatos complejos construidos con componentes electrónicos que requieren saber manipularlos así como del conocimiento de su adecuado mantenimiento.

# 3.4.1.1. Equipo de medición

Estos instrumentos permiten hacer mediciones de propiedades macroscópicas, es decir que pueden ser determinadas directamente. Dichas medidas van acompañadas de unidades o dimensionales.

- Balanza analítica
- Balanza de humedad
- Potenciómetro
- Termómetro de mercurio
- Anemómetro

## 3.4.1.2. Equipo auxiliar

El trabajo en el laboratorio necesita auxiliarse de piezas de metal y porcelana, piezas de caucho, plástico y/o madera, con los cuales se complementa la experimentación en el laboratorio. Por lo tanto algunos instrumentos entran dentro de esta clasificación.

- Secador de bandejas
- Molino de cuchillas
- Plancha de calentamiento
- Tamiz no.140

#### 3.4.2. Cristalería

Toda actividad experimental requiere del conocimiento del equipo y cristalería, así como del uso correcto de los mismos. La cristalería comprende todo aquel equipo o material hecho de vidrio.

- Beackers
- Probetas
- Vidrio de reloj
- Varilla de agitación

#### 3.4.3. Reactivos y materia prima

En el mercado se comercializan varios tipos de reactivos que son utilizados en la experimentación. El reactivo a utilizar depende de la clase de investigación o experimentación que se realizara.

- Semilla de Ramón
- Hidróxido de cal ó cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>)
- Agua destilada

## 3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

La técnica de análisis dentro de un estudio, puede ser cuantitativa o cualitativa, dependiendo si las variables expresan las cualidades del objeto de estudio o si expresan en cantidades numéricas las variables.

#### 3.5.1. Técnica cualitativa

Esta técnica se desarrolló mediante la observación de los cambios en la transformación de la semilla del árbol de Ramón, hasta la obtención de la harina como producto final.

#### 3.5.2. Técnica cuantitativa

La investigación se desarrolló utilizando técnicas cuantitativas, debido a la naturaleza del fenómeno de interés, dado que los parámetros que lo caracterizan, son medibles por la Norma AOAC. Cualquier parámetro cualitativo adicional, servirá como referencia a la construcción de una interpretación y sus respectivas conclusiones, sin ser el centro de atención dentro de los resultados.

## 3.5.3. Diseño preliminar

El diseño preliminar expresa la forma en que el investigador desea llevar a cabo el estudio, determina los pasos a seguir para poder determinar el objeto del estudio.

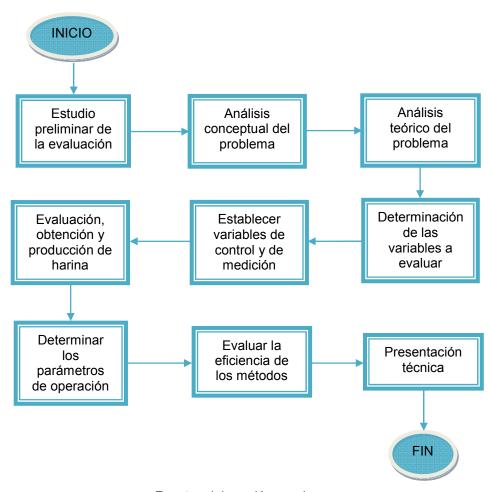


Figura 15. **Esquema del diseño preliminar** 

# 3.5.4. Procedimiento de obtención y evaluación de la harina de semilla del árbol de Ramón

Se tomaron muestras de 500 gramos de semilla de Ramón cruda, la cual se coloca en un *beacker*, a la cual se le añade agua en una proporción 2:1, asimismo se agregó 1-3 por ciento de cal, respecto del peso de la semilla.

Esta mezcla se llevó a ebullición con una variación de tiempo, midiendo la temperatura y el potencial de Hidrógeno de la solución, mezclando frecuentemente.

Seguidamente se eliminó el agua y se lavó con una lechada de cal (agua destilada y cal), para detener la cocción y de esa forma no bajar el potencial de Hidrógeno de la solución, luego se procedió a la molienda de la semilla, esta se realizó en un molino de cuchillas (se puede emplear un procesador de alimentos, si las cargas de semilla son menores a 100 gramos), hasta obtener un producto de menor tamaño de partícula.

La muestra se colocó en un secador de bandejas de flujo transversal, a una temperatura de 45 grados Celsius, para evitar el deterioro del almidón, él cual es de importancia en el estudio; llevando las cargas de semilla a una humedad entre el 6-8 por ciento. La humedad de las muestras fue monitoreada y medida por medio de una balanza de humedad, con los datos obtenidos de la variación de la humedad, respecto del tiempo, se realizaron las gráficas correspondientes de humedad versus tiempo y velocidad versus tiempo. Además de las regresiones lineales y no lineales de cada gráfico, esto con la ayuda del programa Microsoft Office Excel®.

Posteriormente se realizó nuevamente una molienda para disminuir la partícula y finalmente un tamizaje para la obtención del producto final, siendo esta la harina.

Se realizó un análisis proximal para determinar la variación en las propiedades de la semilla ya tratada, un análisis de almidón dañado, análisis de actividad enzimática y análisis de farinograma para determinar la calidad de la harina obtenida en cada tratamiento realizado.

#### 3.5.4.1. Método de análisis

Los análisis proximales en las muestras procesadas, se realizaron de acuerdo a la metodología de la Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC). Oficial Methods of Analysis. (ver apéndice, resultados Laboratorio de Bromatología).

# 3.6. Recolección y ordenamiento de información

Se estableció un procedimiento adecuado para recolección y ordenamiento de la información recabada, para cumplir así con los objetivos planteados.

## 3.6.1. Elección del diseño experimental

El diseño experimental es una técnica de investigación, que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro del estudio experimental.

En el diseño experimental se manipulan múltiples variables, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza vinculadas a una causa con el fin de medir el efecto que tienen sobre la variable de interés.

#### 3.6.1.1. Diseño de tratamientos

Los tratamientos que se realizaron para cumplir con los objetivos planteados, se trabajaron según lo indicado dentro de las normas del laboratorio.

Siendo las variables de observación: la temperatura de ebullición, tiempo de nixtamalización, tiempo de secado, caudal de aire, temperatura de secado y humedad de la muestra.

Se realizó la determinación de la variación del valor nutricional de la harina de la semilla del árbol de Ramón en el proceso de nixtamalización y la calidad de la misma como producto final.

#### 3.6.1.2. Muestreo

A partir de los datos conocidos del proceso de nixtamalización que se realiza al maíz, siendo estos estipulados como tiempo de cocción o tiempo de nixtamalizado de ½ hora después de alcanzar su punto de ebullición y concentración de cal de 2 por ciento respecto del peso de la semilla.

Se trabajó los tratamientos para la obtención de la harina de la semilla del árbol de Ramón a temperatura ambiente y presión atmosférica, con 2 variaciones de concentración de cal y 2 variaciones del tiempo de cocción o tiempo de nixtamalizado. Estableciéndose de la siguiente manera:

(2 concentraciones\*2 tiempos)\*2 repeticiones = No. de tratamientos

(2\*2 tiempos)\*2 repeticiones = No. de tratamientos

(4)\*2 repeticiones = No. de tratamientos

4\*2 = 8 tratamientos

Tabla VII. Acomodamiento de variables

TRATAMIENTO: Semilla a temperatura ambiente					
Concentración de	Tiempo de nixtamalizado				
cal	15 minutos 45minutos				
1%					
3%					

#### 3.6.1.3. Diseño de control de error

Según el número de combinaciones obtenidas, se realizaron 4 tratamientos con 2 repeticiones, realizando un total de 8 resultados de harinas producidas. Se realizaron análisis proximales, análisis de almidón dañado y actividad enzimática para determinar la variación que se produce en el valor nutricional de la harina y a su vez la calidad de la misma.

Esto con el fin de obtener el tratamiento que brinde la menor variación en las propiedades de la semilla y por ende en el valor nutricional de la harina.

#### 3.6.1.4. Diseño de observaciones

Para la realización del trabajo de investigación, se trabajó con harina obtenida de la semilla del árbol de Ramón y la variable que se quiere observar, es el valor nutricional en función de la variación de álcali (nixtamalizado) y la variación de temperatura de cocción (tiempo de nixtamalizado).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se tomarán los datos de acuerdo a tablas de ordenamiento y procesamiento de la información, las cuales se realizaron de la manera que a continuación se presentan.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

La tabulación se utiliza como un proceso posterior a la recolección de datos primarios y a partir de la tabulación se obtienen resultados concretos en su manera más pura de todo el proceso de investigación, metódicamente es ordenar los datos de manera práctica y concisa, que ver los patrones de comportamiento y las tendencias para poder obtener resultados.

Para realizar cada una de las mediciones, se realizaron diversos procedimientos, los cuales se describen a continuación.

Tabla VIII. Datos experimentales del proceso de nixtamalización de la semilla del árbol de Ramón

TRATAMIENTO: Proceso de nixtamalización						
	Tiemp	o de n	ixtamalizado			
Concentración	15 minuto	15 minutos 45 minutos				
de cal	Temperatura pH Temperatura pH					
	°C °C					
1%	A <sub>i</sub>	Bi	A <sub>i</sub>	Bi		
3%	A <sub>i</sub>	Bi	A <sub>i</sub>	Bi		

Tabla IX. Datos experimentales del proceso de secado de la semilla del árbol de Ramón nixtamalizada

TRATAMIENTO: Proceso de secado						
		Tiempo de nixtamalizado				
		15 mi	inutos	45 mi	nutos	
Concentración de cal	Temperatura de secado	Tiempo de secado	Peso de la muestra	Tiempo de secado	Peso de la muestra	
		(Minutos)	(Gramos)	(Minutos)	(Gramos)	
1%	45° C	$N_{i}$	M <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	$M_{i}$	
3%	45° C	N <sub>i</sub>	M <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	$M_{i}$	

Tabla X. Datos experimentales del análisis proximal de la harina obtenida

TRATAMIENTO: Análisis proximal						
	-	Tiempo de nixtamalizado				
Nutriente-Fuente	15 minutos		45 minutos			
Trainente i dente	Concentración de cal		Concentración de cal			
	1%	3%	1%	3%		
Humedad (%)	Xi	Yi	Xi	Yi		
Carbohidratos(g)	X <sub>i</sub>	Yi	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>		
Fibra cruda (g)	Xi	Yi	Xi	Yi		
Proteína (g)	X <sub>i</sub> Y <sub>i</sub>		Xi	Yi		
Lípidos (g)	X <sub>i</sub>	Yi	Xi	Yi		
Cenizas	X <sub>i</sub>	Yi	X <sub>i</sub>	Yi		

Tabla XI. Datos experimentales del análisis de almidón dañado de la harina obtenida

TRATAMIENTO: Análisis almidón dañado				
Concentración	Tiempo de ni	xtamalizado		
de cal	15 minutos	45 minutos		
	Análisis (%)	Análisis (%)		
1%	W <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub>		
3%	W <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub>		

Tabla XII. Datos experimentales del análisis de actividad enzimática de la harina obtenida

TRATAMIENTO: Análisis actividad enzimática				
	Tiempo de nix	rtamalizado		
Concentración de	15 minutos	45 minutos		
cal	Análisis Análisis			
	(Número de Falling) (Número de Falling)			
1%	NFi	NF <sub>ij</sub>		
3%	NFi	NF <sub>ij</sub>		

Tabla XIII. Datos experimentales del análisis de farinograma de la harina obtenida

TRATAMIENTO: Farinograma			
	Tiempo de nixtamalizado		
Concentración	15 y 45 minutos		
de cal	Análisis		
	Unidades farinográficas		
	(UF)		
1%	UF <sub>i</sub>		
3%	UF <sub>ij</sub>		

#### 3.7.1. Determinación de las curvas de secado

Para la determinación de las curvas de secado en el proceso de secado, se llevó a cabo el monitoreo y medición de humedad de la semilla del árbol de Ramón nixtamalizada en función del tiempo.

## 3.7.1.1. Masa de agua total

Para la determinación de la masa de agua total contenida en la muestra, se procederá a realizar la medición de los siguientes parámetros involucrados en la ecuación planteada.

$$M_{AT} = M_{SH} - M_{SS}$$

Donde:

 $M_{AT}$  = Masa de agua total (kg)

M<sub>SH</sub> = Masa de sólido húmedo (kg)

M<sub>SS</sub> = Masa de sólido seco (kg)

#### 3.7.1.2. Humedad del sólido

En la determinación de la humedad del sólido, se trabajara humedad en base seca, es decir de acuerdo a la peso del sólido seco luego de haber sido aplicado el proceso de deshidratado.

$$Humedad\ base\ seca = \frac{masa\ de\ agua}{masa\ de\ solido\ seco}$$

#### 3.7.1.3. Curvas de secado

Se obtienen las curvas para varias velocidades de flujo y después se plotean los puntos obtenidos en una curva, en donde se integren todas las velocidades de flujo.

Se realizaran las siguientes curvas de secado:

- Humedad base seca del sólido en función del tiempo.
- Velocidad de secado en función de la humedad base seca del sólido y del tiempo.

#### 3.7.1.4. Velocidad de secado

Para las gráficas de velocidad de secado, se grafica la masa de agua total o humedad libre en función del tiempo, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dX /dt.

Siendo la velocidad de secado:

$$R = -\frac{Ls \ dX}{A \ dt}$$

Donde:

 $R = \text{velocidad de secado (kg H}_2\text{O/min}^*\text{m}^2) R$ 

Ls = kg de sólido seco usado

A = área superficial expuesta al secado (m<sup>2</sup>)

## 3.7.2. Análisis proximal

Se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Bromatología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Edificio M-6, ciudad Universitaria zona 12, Guatemala C.A.

#### 3.7.3. Análisis de almidón dañado

Este análisis realizado en la industria de panificación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Molinos Modernos, 33 C. 25-30 zona 12, ciudad de Guatemala.

#### 3.7.4. Análisis de actividad enzimática

Este análisis realizado en la industria de panificación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Molinos Modernos, 33 C. 25-30 zona 12, ciudad de Guatemala.

#### 3.7.5. Análisis de farinograma

Este análisis realizado en la industria de panificación, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Molinos Modernos, 33 C. 25-30 zona 12, ciudad de Guatemala.

#### 3.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis que emplea técnicas estadísticas para explicar los condicionantes que determinan la ocurrencia de algún fenómeno y la interpretación de los resultados.

#### 3.8.1. Dato promedio estadístico

El promedio ( $\bar{a}$ ), permitirá obtener un dato representativo para cada variable en cada medición, de esta forma se tomará en cuenta las posibles variaciones aleatorias junto con la desviación estándar:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Donde:

ā = valor promedio

a<sub>i</sub> = valor i de cada corrida

n = número de datos

#### 3.8.2. Desviación estándar

La desviación estándar (Sa), permitirá cuantificar la dispersión de los valores para una misma medición respecto al valor promedio, lo cual representará el error aleatorio causado por diversos factores:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} (\bar{a} - a_i)^2}{n - 1}}$$

Donde:

S<sub>a</sub> = desviación estándar de la variable

ā = valor promedio

a<sub>i</sub> = valor i de cada corrida

n = número de datos

#### 3.8.3. Análisis de varianza

El análisis de varianza que se realizó, permite determinar si el error sistemático en los datos de cada variable, pueden atribuirse a factores reales y comprobables, o pueden considerarse errores aleatorios, al relacionarse entre sí.

#### 3.8.3.1. Análisis de varianza de un factor

El análisis de varianza (ANDEVA o ANOVA, por sus siglas en inglés analysis of variance) de un factor, es una prueba generalizada del contraste de medias para muestras con datos independiente.

Se comparan 3 o más muestras independientes, cuya clasificación viene dada por una variable de control, la base de este procedimiento consiste en estudiar si dicha variable de control influye sobre la variable respuesta, y la forma de hacerlo, es analizando la variación de la variable de control y la dispersión de cada dato respecto a un promedio.

## 4. **RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados obtenidos, luego del procesamiento de la información recolectada y tabulada, los cuales están en función del cumplimiento de los objetivos planteados.

Se determinaron las curvas de secado, gráficas de velocidad de secado en función del tiempo para cada uno de los tratamientos de nixtamalización estipulados. Además de los resultados de los análisis determinados, siendo estos análisis proximal, almidón dañado, actividad enzimática y farinograma.

Figura 16. Curva de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)

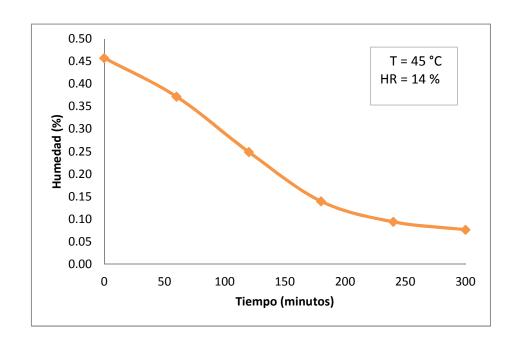


Tabla XIV. Datos de la figura 16

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal= 2E-06t <sup>3</sup> - 0,000t <sup>2</sup> - 0,131t + 45,98	0,997	t [0 - 300] minutos

Figura 17. Velocidad de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)

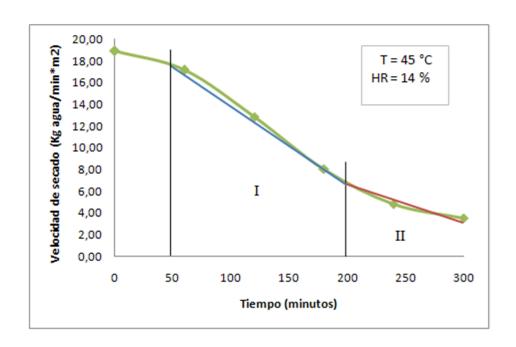


Tabla XV. Datos de regresión de la figura 17

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Vs = 9E-07t <sup>3</sup> - 0,000t <sup>2</sup> - 0.034t + 20.27	0,999	t [0 - 300] minutos

Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla XVI. Datos de los períodos de regresión de la figura 17

Color	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Vs = -0,061t + 19,74	0.964	Período I, velocidad de
	VS = -0,001( + 19,74	0,904	secado constante
	Vs = -0,037t + 14,45	0.943	Período II, velocidad de
	VS = -0,03/( + 14,45	0,943	secado no constante

Figura 18. Curva de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)

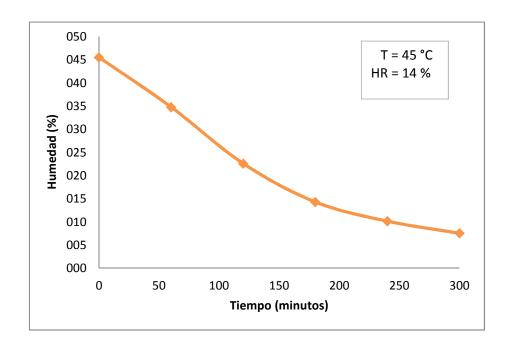


Tabla XVII. Datos de la figura 18

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal = $7E-07t^3 + 6E-05t^2$	0.998	t [0 200] minutos
	- 0,205t + 45,84	0,990	t [0 - 300] minutos

Figura 19. Velocidad de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)

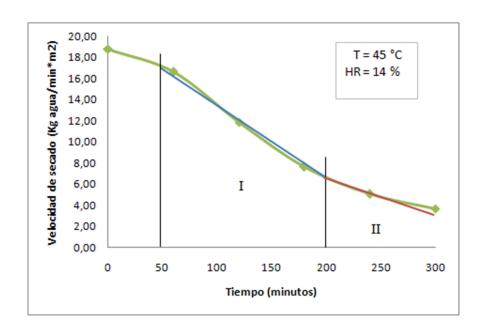


Tabla XVIII. Datos de regresión de la figura 19

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 3E-07t^3 + 3E-05t^2$	0.999	t [0 200] minutes
	- 0,092t + 22,00	0,999	t [0 - 300] minutos

Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla XIX. Datos de los períodos de regresión de la figura 19

Color	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Vs = -0,063t + 19,47	0,980	Período I, velocidad de secado constante
	Vs = -0,033t + 13,38	0,971	Período II, velocidad de secado no constante

Figura 20. Curva de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)

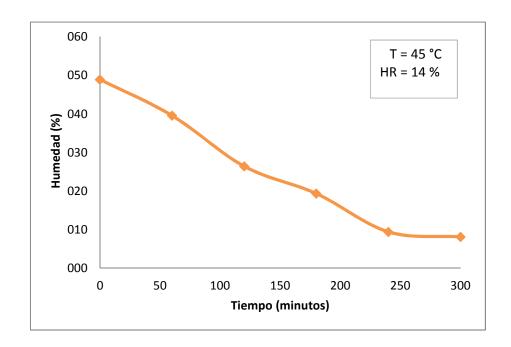


Tabla XX. Datos de la figura 20

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal = 2E-06t <sup>3</sup> - 0,000t <sup>2</sup> - 0,148t + 48,99	0,995	t [0 - 300] minutos

Figura 21. Velocidad de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)

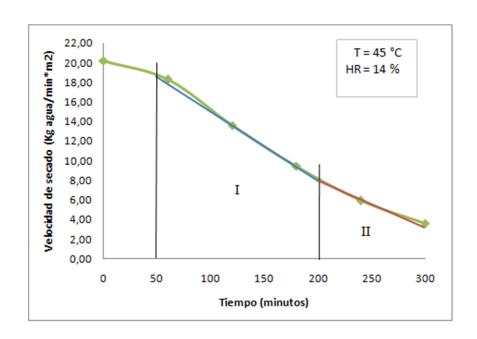


Tabla XXI. Datos de regresión de la figura 21

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 3E-07t^3 - 4E-05t^2$	1.00	t [0 200] minutos
	- 0,076t + 22,94	1,00	t [0 - 300] minutos

Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla XXII. Datos de los períodos de regresión de la figura 21

Color	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Vs = -0,061t + 20,92	0.974	Período I, velocidad de
	VS = -0,001( + 20,92	0,974	secado constante
	Vs = -0,048t + 18,00	0,986	Período II, velocidad de secado no constante

Figura 22. Curva de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)

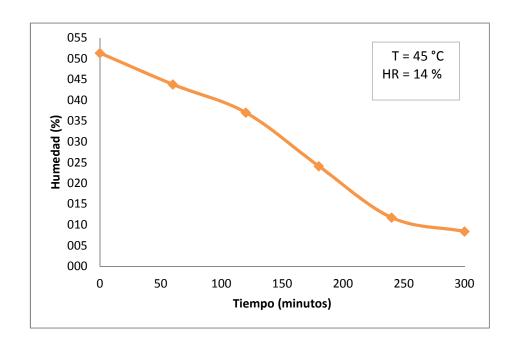


Tabla XXIII. Datos de la figura 22

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal = 3E-06t <sup>3</sup> - 0,001t <sup>2</sup> - 0,022t + 50,70	0,994	t [0 - 300] minutos

Figura 23. Velocidad de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)

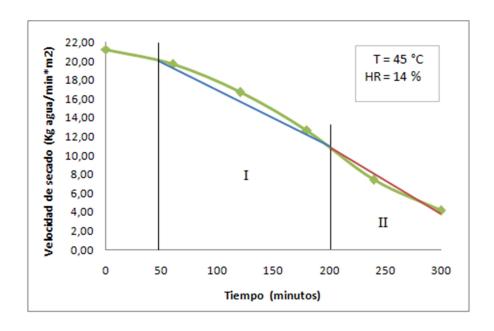


Tabla XXIV. Datos de regresión de la figura 23

Color	Regresión no lineal	$R^2$	Intervalo de validez
	$Vs = 1E-06t^3 - 0,000t^2 + 0,046t + 18,99$	0,999	t [0 - 300] minutos

Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla XXV. Datos de los períodos de regresión de la figura 23

Color	Regresión lineal	$R^2$	Intervalo de validez
	Vs = -0.047t + 21.83	0.963	Período I, velocidad de
	VS = -0,047( + 21,63	0,903	secado constante
	Vs = -0,070t + 24,98	0.982	Período II, velocidad de
	VS = -0,070t + 24,98	0,962	secado no constante

Tabla XXVI. Comparación de los datos obtenidos del análisis proximal realizado

		Análisis	Análisis proximal			
		Concer	Concentración	Compet	Concentración	
		de co	de cal 1%	o ep	de cal 3%	
		Tiem	Tiempo de	шө <u>ш</u>	Tiempo de	
Nutriente	Experimental	nixtam	nixtamalizado	nixtam	nixtamalizado	Especificaciones
Fuerte	tratamiento)	15 minutos	45 minutos	15 minutos	45 minutos	harina de trigo
		Muestra No. 1	Muestra	Muestra Np.3	Muestra	
Humedad (%)	56,55	3,97	4,10	3,28	3,46	
Carbohidratos (%)	43,45	68,63	68,92	70,00	72,34	60,00 – 68,00
Fibra cruda (%)	6,27	7,84	8,37	2,98	5,88	-
Proteína (N*6,25)	2,14	2,14	2,00	2,30	1,93	N*5,7
Lípidos (%)	0,44	96,0	0,32	0,34	0,13	1,00-2,00
Cerizas (%)	3,66	5,85	5,77	6,03	6,10	1,50-2,00

<sup>\*</sup> Especificaciones, Quaglia, Giovanni, Ciencia y tecnología de la panificación, Facultad de Farmacia, Universidad, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.

Tabla XXVII. Datos obtenidos del análisis de almidón dañado realizado

No.	Tratamiento	Porcentaje de almidón dañado
I	Tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)	6,2 %
II	Tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	7,3 %
III	Tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	7,9 %
IV	Tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	8,1 %

Tabla XXVIII. Datos obtenidos del análisis de actividad enzimática realizado

Tratamiento	Actividad enzimática
Tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	No existió lectura

0000 œ 

Figura 24. Farinograma de harina dura

Tabla XXIX. Datos de la figura 22

E Evaluation			×
Evaluation of: harina Fuerte			
Date: 22/09/2013 10 05:24 a.m.	Method:	BRABENDER / ICC / BIPEA	
Operator:			
Mixer: 300 g Speed:	63	63 1/min	
Moisture of Ilour. 132 %			
Consistency 504FU with waterabzorption:	amplian	61.2 %	
Waterabsorption	86.18	61.3 %  conected for 500 FU)	
Waterabsorption:	50.4 %	corrected to 14.0%	
Development time:	7.3 min		
Stabilig:	17.6 min		
Degree of softening	已多		
Degree of softening (ICC):	38 FU		
Fainograph quality number:	路		
Remarks Herna Fuerte			
CTESSE			

Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

Figura 25. Farinograma de harina dura con adición de 5% de harina de semilla del árbol de ramón, tratamiento aplicado 1% cal

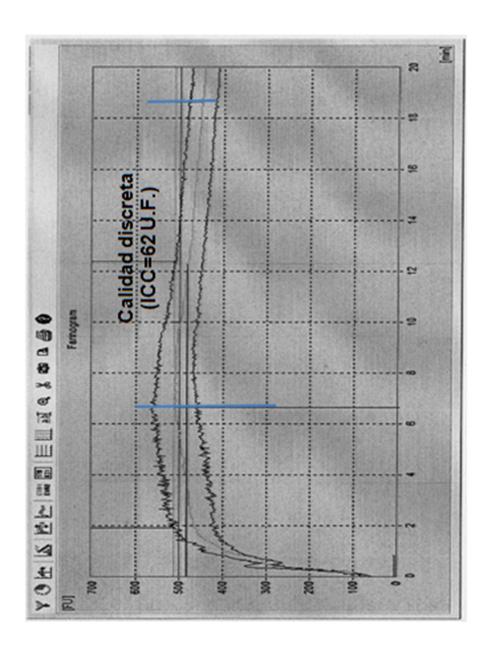


Tabla XXX. Datos de la figura 23

E Evaluation	
Evaluation of: Harina Fuer	Harina Fuerte +5% (Muestra Cal 1%)
Date: 22/08/2013 11:23:14 a.m.	Method: BRABENDER / ICC / BIPEA
Operator:	
Mixer: 300 g Speed:	63 1/min
Moisture of flour: 13.1 %	
Consistency: 511 FU with waterabsorption:	corption: 62.2 %
Waterabsorption:	62.5 % (corrected for 500 FU)
Waterabsorption:	61.4 % (corrected to 14.0%)
Development time:	6.7 min
Stability:	10.5 min
Degree of softening:	14 FU
Degree of softening (ICC):	公元
Farinograph quality number:	123
Remarks: Harina Fuerte	
Copy Copy	

Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

Figura 26. Farinograma de harina dura con adición de 5% de harina de semilla del árbol de ramón, tratamiento aplicado 3% cal

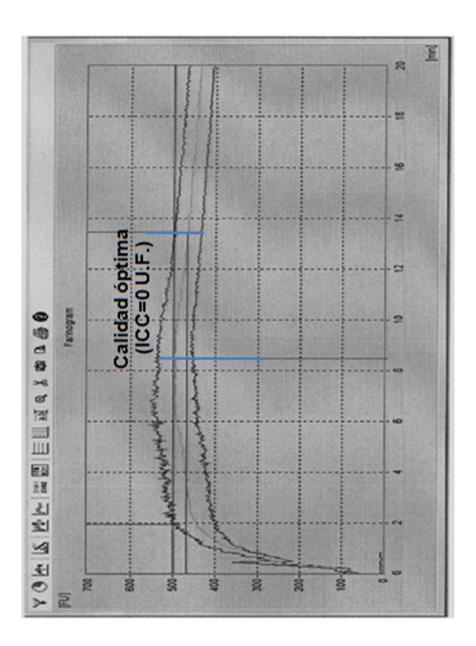


Tabla XXXI. Datos de la figura 24

E Evaluation	Image: Control of the
Evaluation of: Harina Fuerte +5% (Muestra Cal 3%)	
Date: 22/08/2013 10:52:48 a.m. Method: BRABENDER / ICC / BIPEA	
Operator:	
Mixer: 300 g Speed: 63 1/min	
Moisture of flour: 13.0 %	
Consistency: 497 FU with waterabsorption: 62.3 %	
Waterabsorption: 62.2 % (corrected for 500 FU)	
Waterabsorption: 61.0 % (corrected to 14.0%)	
Development time: 8.5 min	
Stability: 11.5 min	
Degree of softening: 8 FU	
Degree of softening (ICC): 0 FU	
Farinograph quality number: 135	
Remarks: Harina Fuerte	
<u>Close</u> <u>Copy</u>	

Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

# 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La obtención de la harina, se basa en el proceso de nixtamalizado, el cual toma como pauta los parámetros utilizados en el nixtamalizado del maíz, estableciendo 2 por ciento de cal (Hidróxido de Calcio Ca(OH)<sub>2</sub>) respecto del peso, 30 minutos de cocción (tiempo de nixtamalizado) y una proporción de 2:1 para la hidratación de la semilla, para lo cual se realizó una variación en dichos parámetros, los cuales dieron un acomodamiento de variables para tener 4 tratamientos distintos, quedando de la siguiente manera: tratamiento no. 1: 1 por ciento cal y 15 minutos de cocción, tratamiento no. 2: 1 por ciento cal y 45 minutos de cocción, tratamiento no. 4: 3 por ciento cal y 45 minutos de cocción.

La harina obtenida de la semilla del árbol de Ramón, es utilizada ampliamente en el área de El Petén, Guatemala actualmente realiza una variedad de productos que van desde pan, galletas, bebidas energéticas (atoles) y bebidas rehidratantes (frescos), hasta yogurt.

Inicialmente se realizó un análisis proximal a la semilla sin ser tratada, para determinar las propiedades que posee antes de ser sometida a cualquier tipo de tratamiento, en la tabla XXVI, se puede observar el acomodamiento de los 4 tratamientos y los resultados obtenidos del análisis proximal realizados, junto con las especificaciones requeridas para cada parámetro.

Entre las principales propiedades, están los carbohidratos, la proteína como fuente de energía y las cenizas como determinantes de la calidad de la harina. Para los carbohidratos en los 4 tratamientos, se puede observar un aumento considerable, ver tabla XXVI, la semilla sin tratamiento posee un 43,45 por ciento, mientras que luego de aplicar el proceso de nixtamalizado, se incrementa en un rango de 68,63 a 72,34 por ciento.

Para el caso de la proteína, la semilla se trabajó con el nivel de nitrógeno total, ya que no se puede establecer que todo es proteína, debido al tratamiento térmico al cual se somete la semilla, existe pérdida del germen, en donde se considera existe la mayor fuente de nitrógeno (N).

Se realizó la evaluación de nitrógeno total con un factor de conversión de 6,25 de acuerdo a Laboratorio de Bromatología, siendo este el valor empleado para el maíz, mientras que el valor especificado para el trigo, es de 5,7 según referencia. La semilla sin tratamiento posee un 2,14 de nitrógeno, para la muestra no. 1 (1% cal y 15 minutos) y la muestra no. 3 (3% cal y 15 minutos), se observa un incremento en dicho valor, siendo este 2,20 y 2,30 respectivamente; mientras que en el caso de la muestra no. 2 (1% cal y 45 minutos) y la muestra no. 4 (3% cal y 45 minutos), muestran una reducción en su valor.

El tiempo de nixtamalizado es un factor importante que determina el nivel de nitrógeno contenido en la harina, cuanto mayor sea éste tiempo, se presenta una reducción en el nivel de nitrógeno, ya que se encuentra expuesto un tiempo mayor a temperatura de ebullición por el tratamiento térmico al cual se ve sometido; mientras que la proporción del hidróxido de calcio (cal hidratada Ca(OH)<sub>2</sub>), determina el incremento del nivel de nitrógeno contenido, sin tomar en cuenta la proporción adicionada del álcali.

En el análisis proximal, el porcentaje de cenizas de la muestra sin tratamiento fue de 3,66 por ciento, la harina obtenida presentó valores que oscilan en un rango de 5,53 a 6,10 por ciento; ver tabla XXVI. A medida que aumenta el porcentaje de cenizas, disminuye la calidad de la harina, lo que la calidad de la harina se ve afectada al momento de aplicar un tratamiento, sin embargo el incremento del porcentaje de ceniza, no es elevado, lo cual no afecta la calidad en un alto nivel que afecte considerablemente la harina producida.

El proceso de secado fue llevado a cabo en un secador de bandejas y en un tiempo no mayor a 4 horas, lo cual es una ventaja que presenta a la producción de la misma. El procedimiento de secado establecido y de acuerdo a las curvas de secado realizadas, se determinó que no hubo diferencia en la evolución de la deshidratación de la semilla del árbol de Ramón por efecto de las variaciones de tiempo y concentraciones de álcali.

Se evaluó el proceso de secado por medio de las gráficas realizadas de la velocidad de secado en función del tiempo, Se realizó una media de las regresiones lineales presentadas para cada tratamiento. La ecuación de regresión lineal para la zona de velocidad constante en el deshidratado de la semilla de Ramón, es expresada Vs = -0,058t + 20,49.

El almidón está formado por la fracción amilosa de cadena recta de moléculas de glucosa, unidas por enlaces glucosídicos alfa-1,4; en tanto que la fracción amilopectina, además de la cadena recta, presenta ramificaciones con enlaces glucosídicos 1,6. Aunque no existe referencia de la proporción amilosa/amilopectina en la semilla de Ramón.

Los valores obtenidos en el análisis de almidón dañado para la harina producida, no superan más del 10 por ciento (ver tabla XXVII) al no ser elevado el porcentaje de almidón dañado, indica que durante el proceso de nixtamalizado, el proceso de secado y el proceso de molienda a los cuales fueron sometidas las semillas para la obtención de dicha harina, no sufrió un alto daño el almidón, ya que estos procesos son los causantes del deterioro del almidón. Factor que se ve reflejado en el incremento de las cenizas, ya que entre mayor nivel de cenizas, mayor almidón dañado y menor calidad de harina. Presentando el mejor resultado el tratamiento I, 1 por ciento cal y 15 minutos con el menor porcentaje de almidón dañado reportado.

En la tabla XXVIII, se observa el reporte del análisis de actividad enzimática realizado en las instalaciones de Molinos Modernos S.A., los cuales dieron lectura nula, reflejo de la carencia de actividad enzimática de amilasas. El equipo está adaptado para harina de cereales, por lo que el motivo de no obtener lectura, es debido a que la harina del Ramón no posee actividad de alfa-amilasa y que puede ser perdido en la nixtamalización.

La enzima alfa-amilasa, cataliza la hidrólisis de la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, rompiendo enlaces alfa 1,4 interiores (endoamilasa) para formar una mezcla de dextrinas. Por ello se la conoce como enzima dextrinogénica (mezcla de amilodextrina, eritrodextrina, acrodextrina y maltodextrina) con poca producción de maltosa. La enzima es resistente al calor a 70 grados Celsius conserva un 70 por ciento de su actividad. Actúa sobre almidones crudos y gelatinizados.

La alfa-amilasa se presenta en medios ácidos, con pH=5 y en condiciones óptimas pH=7. La adición de álcali en el proceso de nixtamalizado, aumenta en gran proporción el potencial de Hidrógeno de la solución, llegando hasta un pH=14, factor que se ve reflejado en la carencia de dicha enzima.

Se procedió a realizar un farinograma con harina dura y una adición de 5 por ciento peso/peso de harina de semilla de árbol de Ramón, ya que para realizar un farinograma, se requiere 1 kilogramo de muestra. Tomando en cuenta solamente el porcentaje de álcali adicionado en el proceso de nixtamalizado de la semilla para la obtención de la harina, sin tomar el factor, tiempo de nixtamalizado como un determinante en los análisis.

El gluten es una glicoproteína que se encuentra en la semilla de muchos cereales combinada con almidón. Representa un 80 por ciento de las proteínas del trigo y esta compuesta de gliadina y glutenina. El gluten es el responsable de que la harina sea panificable, las gluteninas le aportan elasticidad a la masa de pan, de modo que cuando se estira, tiende a recuperar su forma original y las gliadinas se estabilizan por enlaces intramoleculares y le proporcionan pegajosidad a la masa, al mismo tiempo que son responsables de que se extiende sin llegar a romperse.

La calidad de la harina viene determinada por un farinograma que mide 3 parámetros importantes, ya que las proteínas de glutenina y gliadina, al combinarse con el agua y recibir trabajo mecánico en el amasado, forman una red conocida como gluten.

Entre los parámetros se tiene la absorción de agua, que mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y también mide la absorción de agua necesaria para alcanzar dicha consistencia. El segundo parámetro es la estabilidad, valor que refleja cuan fuerte es la harina para soportar el amasado y viene dado en minutos

Y por último, el índice de tolerancia, que es el grado de ablandamiento de la masa. Se expresa en unidades Brabender (por la marca del equipo utilizado), los ablandamientos elevados, indican que la red de gluten es mala o que la harina posee mucho almidón dañado; ya que este almidón puede absorber el doble de agua que un almidón intacto. De aquí que produzca mayor ablandamiento. Ver tabla XXVII, en donde se observan los resultados de almidón dañado, los cuales están dentro del 5 y 8 por ciento, rango establecido como adecuado por la American Association of Cereal Chemicals por sus siglas en inglés, Asociación Americana de Químicos Cerealistas (AACC).

Como ya se estableció, la harina carece de gluten, el proceso de obtención de la harina de la semilla del árbol de Ramón no requiere de inversión alta, es un producto de cocimiento y se puede utilizar como un sucedáneo, un sustituto equivalente de harina que solamente estimula sensorialmente el paladar.

La harina sin gluten obtenida, puede ser empleada como aditivo en las harinas comercialmente utilizadas (harina de trigo, el cual debe importarse aumentando el costo de producción) por lo que su uso se verá reflejado en la reducción de costos y a la vez como aditivo enriquecedor de valor proteínico de dichas harinas, elevando el valor nutricional de los productos que se pueden derivar de la misma.

En las figuras 24, 25 y 26, se puede observar los farinogramas realizados en donde se observan los distintos comportamientos presentados durante el ensayo. Se marca el rango en donde se determina la calidad de la harina, la harina dura sin adición de harina de semilla de Ramón presenta un ICC=30 UF, lo cual la caracteriza como una harina de calidad óptima y buena.

En el caso de la harina con adición de 1 por ciento de cal, como anteriormente se mencionó que posee un bajo nivel de almidón dañado, sin embargo en el farinograma presenta un ICC=62 UF con calidad discreta, reduciendo su capacidad de soportar la acción mecánica a la cual será sometida en el amasado. Por lo que esta adición produce una reducción en la calidad de la harina dura.

Para el caso de la harina con adición de 3 por ciento de cal, con un ICC=0 UF presenta una calidad óptima, a pesar de presentar un porcentaje de almidón dañado de 8,10 por ciento ver tabla XXVII. Sobrepasando un 0,1 el rango estipulado por la AACC, no reduce la calidad de la harina dura y mantiene las capacidades de la harina. Sin tomar en cuenta el factor tiempo de nixtamalizado, se puede determinar que la harina con una adición de 5 por ciento de harina de semilla del árbol de Ramón con tratamiento aplicado de 3 por ciento de cal, presenta la mejor calidad a nivel industrial.

## **CONCLUSIONES**

- 1. Se evaluó el proceso de nixtamalización para la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*) en función de las variaciones de álcali y tiempo de cocción.
- 2. El tiempo de nixtamalizado (tiempo de cocción) fue determinante en la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón para diferenciar los resultados del proceso de nixtamalización que se ven reflejados en el porcentaje de almidón dañado y el ensayo de farinograma.
- 3. Se evaluó la obtención de fécula (harina) de la semilla del árbol de Ramón, en función de las variaciones de álcali y tiempo de cocción, en donde el mayor tiempo de nixtamalizado (tiempo de cocción) y el mayor contenido de álcali en el proyecto, determinaron el mayor porcentaje de almidón dañado.
- 4. El procedimiento de secado establecido, determinó que no hubo diferencia en la evolución de la deshidratación de la semilla del árbol de Ramón por efecto de las variaciones de tiempo y concentraciones de álcali.
- 5. La ecuación de regresión lineal para la zona de velocidad constante en el deshidratado de la semilla de Ramón, es expresada así Vs = -0,058t + 20,49.

- 6. El porcentaje de almidón dañado se encuentra entre 5-8 por ciento, por lo que la harina producida es de un nivel de calidad, ya que no fue tan dañado en gran proporción el almidón y solamente se produjo un incremento de 1 por ciento de los valores reportados de cenizas; ya que ambos valores son proporcionales a mayor almidón dañado, mayor valor de cenizas y por ende menor calidad de harina.
- 7. En los análisis de actividad enzimática realizados a la harina producida, se reportó lectura nula, reflejo de la carencia de actividad enzimática de amilasas.
- 8. En la harina final producida, no se puede determinar si existe presencia de la enzima alfa-amilasa y amilopectina, debido a los tratamientos térmicos y molienda a los cuales se sometió la semilla en el proceso de nixtamalizado y deshidratado respectivamente.
- 9. La harina como tal, no produce gelación, producto de las proteínas gliadinas y glutetinas, que al combinarse con agua y recibir trabajo mecánico producen lo que se conoce como gluten, por lo que deber ser combinada con harina de uso comercial.
- 10. Al presentarse una carencia de gluten, no se permite un proceso de fermentación de la harina de semilla del árbol de Ramón, factor importante en la industria de panificación, ya que no generará lo que comúnmente se conoce como migajón, siendo solamente un producto de cocimiento.

- 11. Sin tomar en cuenta el factor tiempo de nixtamalizado, se puede determinar que la harina con una adición de 5 por ciento de harina de semilla del árbol de Ramón con tratamiento aplicado de 3 por ciento de cal presenta la mejor calidad a nivel industrial con un ICC=0 UF, presentando una calidad óptima, a pesar de presentar un porcentaje de almidón dañado de 8,10 por ciento.
- 12. El ensayo de farinograma demuestra que la harina de semilla de Ramón obtenida puede adicionarse en proporciones que incrementan el valor proteínico de las harinas de trigo comercialmente utilizadas.

#### **RECOMENDACIONES**

- Para el proceso de deshidratado, realizar variaciones en la temperatura de secado, para verificar si existe un cambio o deterioro de la semilla que sea cuantificado por medio de los análisis estipulados, y obtener distintas curvas de secado, las cuales ayudarán a determinar la temperatura idónea de secado.
- Realizar harina de Ramón sin la aplicación del proceso de nixtamalizado como se realiza en el trigo para la realización de análisis de actividad enzimática, así optar por una posibilidad de obtener lectura en los análisis y verificar la actividad de enzimas que posee.
- Variar el tipo de álcali que se puede aplicar a la semilla para la obtención de la harina de semilla del árbol de Ramón en el proceso de nixtamalizado.
- 4. Llevar a cabo el proceso de nixtamalizado (porcentaje de cal y tiempo de cocción) en un sistema cerrado, en donde se trabaje con un sistema a reflujo para evitar la pérdida de calor y reducción de la pérdida de aqua del proceso de nixtamalizado.
- 5. Realizar análisis de farinograma, tomando en cuenta el factor tiempo de nixtamalizado y porcentaje de cal, para determinar si existe un cambio sustancial en la calidad de la harina.

- 6. Incrementar el porcentaje de adición de harina de semilla de Ramón a las harinas comerciales de trigo, para verificar si existe cambio significativo en las características de la harina.
- 7. Llevar a cabo un análisis de azúcares reductores a la harina producida, ya que la cantidad de azúcares fermentables que contienen las harinas son como consecuencia de la acción enzimática.
- 8. Realizar un panel organoléptico y evaluación por medio de una escala hedónica para la aceptación de la harina producida para los tratamientos de nixtamalización con las variaciones de tiempo de nixtamalizado y concentración de álcali.

# **BIBLIOGRAFÍA**

- ARÉVALOS SALGUERO, Aura Isabel. Respuesta Glicémica de la semilla del Ramón, brosimum alicastrum en mujeres de 16 a 25 años de edad, residentes de la ciudad capital. Trabajo de graduación de Licda. en Nutrición. Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2010. 75 p.
- 2. ARMSTRONG, Frank Bradley; BENNETT, Thomas Peter. *Bioquímica*. Barcelona, España: Reverté 1982. 545 p.
- 3. Association of Oficial Analytical Chemists. *Oficial Methods of Analysis*. 16 edición. Washington, D.C. The association. 1995. 90 p.
- BASSET MAGUIRE, Chairman; Cuatrecasas, Jose; Fidalgo, Oswaldo;
   Ferreyra, Ramón H. *Flora Neotropica*. Monograph No.7.
   Olmedieae Brosimear. New York July 28, 1972. 170 p.
- 5. Bioversity International. *New World Fruit Database*. En línea: <a href="http://www.bioversityinternational.org/Information\_Sources/Species\_Databases/New\_World\_Fruits\_Database/qryall3.asp?intIDSpecies=751">http://www.bioversityinternational.org/Information\_Sources/Species\_Databases/New\_World\_Fruits\_Database/qryall3.asp?intIDSpecies=751</a>. [Consulta: 13 de febrero de 2012].
- Comportamiento de los sólidos durante el secado. En línea: <Farmacotecnia 1, Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia. docencia.udea.edu.co>. [Consulta: 20 de junio de 2012].

- 7. FRIEDRICH KNEULE. *El Secado*. 2a. ed. Madrid, España: Urmo 1981. 256 p.
- 8. G. NONHEBEL, A. A. H. Moss. *El secado de sólidos en la industria química*. Barcelona, España: Reverté 1979. 293 p.
- 9. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 2a. ed. México: Continental 1995. 749 p.
- 10. Ingeniero Químico / Operaciones básicas de la Ingeniería Química, Reducción de tamaño de partícula. En línea: <a href="http://html.ingenieriaquimica.com/reduccion-del-tamano-de-solidos.html">http://html.ingenieriaquimica.com/reduccion-del-tamano-de-solidos.html</a>>. [Consulta: 22 de julio de 2012].
- 11. La harina. Investigación sobre los nuevos conceptos para su aplicación.
  En línea: <a href="http://www.csicsif.es/andalucia/modules/mod\_ense/revista/pdf/Numero\_11/FRANCISCO\_LOPEZ\_1.pdf">http://www.csicsif.es/andalucia/modules/mod\_ense/revista/pdf/Numero\_11/FRANCISCO\_LOPEZ\_1.pdf</a>.
  [Consulta: 20 de septiembre de 2012].
- 12. LOZANO, O; Shimada A.S. y Ávila, E. *Valor Alimenticio de la semilla de Ramón (Brosimum Alicastrum)*. Técnica Agropecuaria. México, 1978. 145 p.
- 13. Maya Nut Institute. En línea: <a href="http://www.theequilibriumfund.org/page">http://www.theequilibriumfund.org/page</a>. cfm?pageid=2772>. [Consulta: 30 de enero de 2012].

- 14. MONZÓN SAMAYOA, Héctor Leonel. *Utilización de harina de follaje del Árbol de ramón (Brosimum alicastrum) en dietas de engorde para conejos.* Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1994. 45 p.
- 15. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Valor Nutritivo y Usos en la Alimentación Humana de algunos cultivos Autóctonos Sub-explotados de Mesoamérica.

  Capítulo I: Frutales. En línea: <a href="http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro11/cap1.htm">http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro11/cap1.htm</a>. [Consulta: 02 de febrero de 2012].
- PARDO-TEJEDA E., Sánchez M. C. Brosimun alicastrum (ramón, capomo, ojite, ojoche) Recurso silvestre tropical desaprovechado.
   Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos.
   Xalapa, Veracruz, 1980. 185 p.
- 17. PERRY, R.H.; Green, D.W.; Maloney, J.O. *Manual del Ingeniero Químico.* 6a. ed. Editorial: McGraw-Hill, México, 1997. vol 2-209 p.
- QUAGLIA, Giovanni. Ciencia y tecnología de la panificación. Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla. Zaragoza, España: Acribia 1991. 485 p.

- RAMÍREZ, H.J. Análisis Proximal. Técnica de AOAC. México, 1978.
   110 p.
- 21. ROCAS, Aníbal N. *Brosimum alicastrum Swartz*. Instituto de Ecología A.C. Veracruz, México, 1990. 133 p.
- 22. SDmatic. Almidón Dañado-Damaged Starch. En línea: <a href="http://www.concereal.es/sdmatic">http://www.concereal.es/sdmatic</a>. [Consulta: 23 de octubre de 2012].
- 23. SPIEGEL, Murray R. *Estadística*. 2a. ed. Editorial McGraw-Hill. España, 1991. 369 p.
- 24. STANDLEY, P.C. & Steyermark, J.A.*Flora of Guatemala. Botany*. Chicago natural history museum. 1946. vol 4-493 p.
- 25. TREYBAL, Robert. *Operaciones de Transferencia de Masa.* 2a. ed. McGraw-Hill, México, 1988. 822 p.
- 26. USDA, ARS, *National Genetic Resources Program*. GRIN. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. En línea: <a href="http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?7895">http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?7895</a>. [Consulta: 17 de febrero de 2012].

# **APÉNDICE**

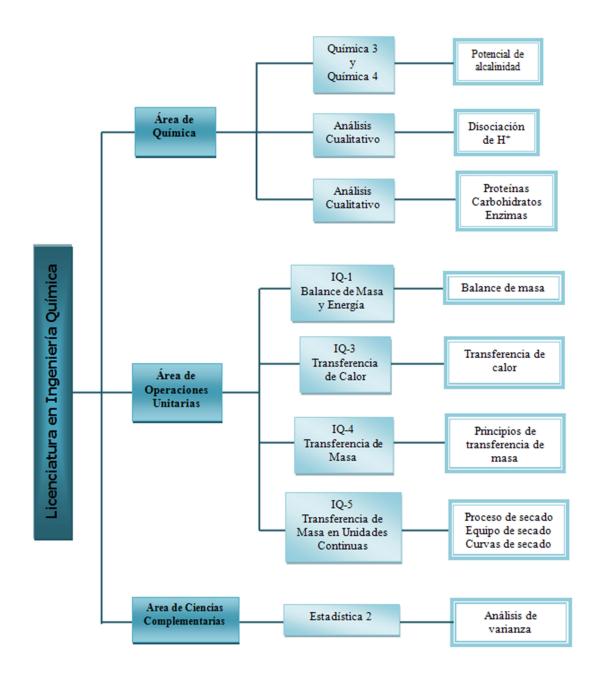
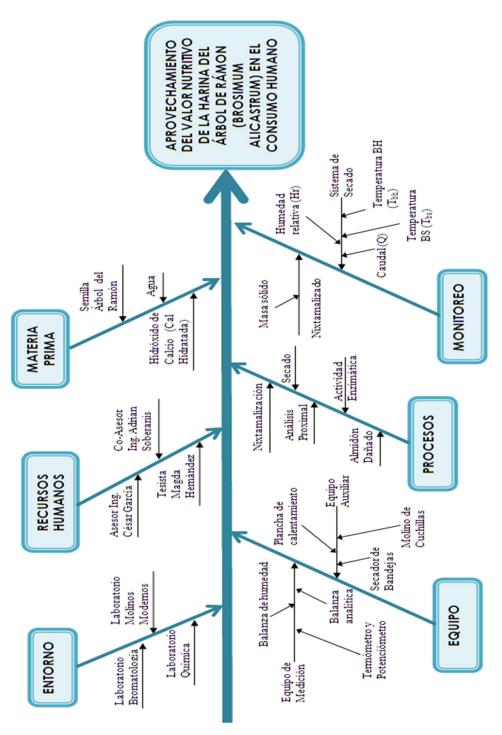


Figura 27. Requisitos académicos

Figura 28. **Diagrama de Ishikawa** 



INICIO Análisis Pesar la muestra proximal de semilla Añadir 1-3% de cal Medición de Llevar a ebullición temperatura y pH Lavar con agua fría + cal Reducción de tamaño de partícula (molino de cuchillas) Granulometría Secar la muestra, a un intervalo de 45 °C (Tratamiento No. 1, 2, 3 y 4) Actividad enzimática Tamizaje de la muestra Análisis proximal (Tratamiento No. 1, 2, 3 y 4) Almidón dañado Farinograma FIN

Figura 29. Diagrama de flujo del proceso

Tabla XXXII. Datos originales, muestra no.1: 1% cal y 15 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	5	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	12,07	
pHf	12,86	

Tiempo	Temperatura
(minutos)	(°C)
Punto de ebullición	75
5	81
10	85
15	86

Tabla XXXIII. Datos originales, muestra no.2: 1% cal y 45 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	5	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	12,00	
pHf	12,70	

Tiempo	Temperatura
(minutos)	(°C)
Punto de	74
ebullición	7 -
5	82
10	88
15	90
20	93
25	94
30	94
35	94
40	94
45	94

Tabla XXXIV. Datos originales, muestra no.3: 3% cal y 15 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	15	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
рНі	14,00	
pHf	14,00	

Tiempo	Temperatura
(minutos)	(°C)
Punto de ebullición	71
5	79
10	84
15	91

Tabla XXXV. Datos originales, muestra no.4: 3% cal y 45 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	15	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	13,85	
pHf	14,00	

Tiempo	Temperatura
(minutos)	(°C)
Punto de	72
ebullición	12
5	82
10	84
15	87
20	90
25	92
30	94
35	94
40	94
45	94

Tabla XXXVI. Datos originales, muestra A: 1% cal y 15 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	5	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	12,00	
pHf	12,50	

Tiempo	Temperatura		
(minutos)	(°C)		
Punto de ebullición	75		
5	83		
10	87		
15	91		

Tabla XXXVII. Datos originales, muestra B: 1% cal y 45 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	5	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	12,00	
pHf	12,00	

Tiempo Temperatu		
(minutos)	(°C)	
Punto de	75	
ebullición	73	
5	82	
10	88	
15	91	
20	93	
25	93	
30	94	
35	94	
40	94	
45	94	

Tabla XXXVIII. Datos originales, muestra C: 3% cal y 15 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	15	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
pHi	13,00	
pHf	13,25	

Tiempo	Temperatura		
(minutos)	(°C)		
Punto de ebullición	71		
5	82		
10	88		
15	90		

Tabla XXXIX. Datos originales, muestra D: 3% cal y 45 minutos

peso semilla:	500	g
% cal/peso:	15	g
proporción		
de agua:	1 000	mL
рНі	13,50	
pHf	14,00	

Tiempo	Temperatura	
(minutos)	(°C)	
Punto de ebullición	72	
5	84	
10	88	
15	90	
20	91	
25	93	
30	94	
35	94	
40	94	
45	94	

Tabla XL. Datos de secado

Muestra	Peso húmedo	Peso seco	Velocidad	Tbs	Tbh
	(kg)	(kg)	(m/s)	(°C)	(°C)
1	0,786	0,427	2,42	36,4	17,0
2	0,775	0,432	2,42	36,4	17,0
3	0,828	0,430	2,42	36,4	17,0
4	0,872	0,426	2,42	36,4	17,0

Tabla XLI. Datos de secado

Muestra	Peso humedo	Peso seco	Velocidad	Tbs	Tbh
	(kg)	(kg)	(m/s)	(°C)	(°C)
Α	0,262	0,170	2,42	36,4	17,0
В	0,310	0,170	2,42	36,4	17,0
С	0,240	0,161	2,42	36,4	17,0
D	0,300	0,170	2,42	36,4	17,0

## Muestra de cálculo

#### Curvas de secado

- Humedad base seca del sólido en función del tiempo.
- Velocidad de secado en función de la humedad base seca del sólido y del tiempo.

Se obtienen las curvas para varias velocidades de flujo y después se plotean los puntos obtenidos en una curva en donde se integren todas las velocidades de flujo.

#### Velocidad de secado

- Se grafica la masa de agua total o humedad libre en función del tiempo t, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de dX /dt.
- La velocidad de secado es:

$$R = -\frac{Ls \ dX}{A \ dt}$$

(Ecuación 1, Referencia 9)

#### Donde:

R = velocidad de secado (kg H<sub>2</sub>O/h\*m<sup>2</sup>) R

Ls = kg de sólido seco usado

A = área superficial expuesta al secado  $(m^2)$ 

Dato promedio estadístico

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

(Ecuación 2, Referencia 23)

Donde:

ā = valor promedio

a<sub>i</sub> = valor i de cada corrida

n = número de datos

## Ejemplo:

Sustituyendo datos para la pendiente de ecuación lineal del periodo I de las gráficas de velocidad de secado.

$$\bar{a} = \frac{0,061 + 0,063 + 0,061 + 0,047}{4}$$
$$\bar{a} = 0,058$$

Desviación estándar

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\bar{a} - a_i)^2}{n - 1}}$$

(Ecuación 3, Referencia 23)

Donde:

S<sub>a</sub> = desviación estándar de la variable

ā = valor promedio

a<sub>i</sub> = valor i de cada corrida

n = número de datos

## Ejemplo:

Sustituyendo datos para la pendiente de ecuación lineal del periodo I de las gráficas de velocidad de secado.

$$S_{\alpha} = \sqrt{\frac{(0,058 - 0,061)^{2} + (0,058 - 0,063)^{2} + (0,058 - 0,061)^{2} + (0,058 - 0,047)^{2}}{4 - 1}}$$

$$S_{\alpha} = 0,00739$$

Análisis de varianza de un factor

El análisis de varianza (ANDEVA o ANOVA, por sus siglas en inglés analysis of variance) de un factor es una prueba generalizada del contraste de medias para muestras con datos independiente.

Se realizó con el programa Excel 2007.

Tabla XLII. Datos calculados, muestra no. 1: 1% cal y 15 minutos

Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	% Humedad	На	Ha media	Velocidad
0	0	45,71	107,05	107,05	18,89
1	60	37,16	87,03	97,04	17,12
2	120	24,89	58,29	72,66	12,82
3	180	13,95	32,67	45,48	8,02
4	240	9,41	22,04	27,35	4,83
5	300	7,66	17,94	19,99	3,53

Tabla XLIII. Datos calculados, muestra no. 2: 1% cal y 45 minutos

Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	% Humedad	На	Ha media	Velocidad
0	0	45,55	105,44	105,44	18,82
1	60	34,80	80,56	93,00	16,60
2	120	22,60	52,31	66,44	11,86
3	180	14,30	33,10	42,71	7,62
4	240	10,15	23,50	28,30	5,05
5	300	7,54	17,45	20,47	3,65

Tabla XLIV. Datos calculados, muestra no. 3: 3% cal y 15 minutos

Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	% Humedad	На	Ha media	Velocidad
0	0	48,90	113,72	113,72	20,21
1	60	39,55	91,98	102,85	18,27
2	120	26,40	61,40	76,69	13,63
3	180	19,34	44,98	53,19	9,45
4	240	9,41	21,88	33,43	5,94
5	300	8,10	18,84	20,36	3,62

Tabla XLV. Datos calculados, muestra no. 4: 3% cal y 45 minutos

Tiempo (hrs)	Tiempo (min)	% Humedad	На	Ha media	Velocidad
0	0	51,30	120,42	120,42	21,20
1	60	43,75	102,70	111,56	19,64
2	120	36,97	86,78	94,74	16,68
3	180	24,08	56,53	71,65	12,61
4	240	11,70	27,46	42,00	7,39
5	300	8,38	19,67	23,57	4,15

Tabla XLVI. Datos de las ecuaciones lineales del período I de la velocidad de secado

Ecuación lineal	pendiente m	Intersección b
Vs = -0.061x + 19.74	0,061	19,74
Vs = -0.063x + 19.47	0,063	19,47
Vs = -0.061x + 20.92	0,061	20,92
Vs = -0.047x + 21.83	0,047	21,83
Promedio	0,058	20,49
Desviación estándar	0,00739	1,09292

Figura 30. Curva de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)

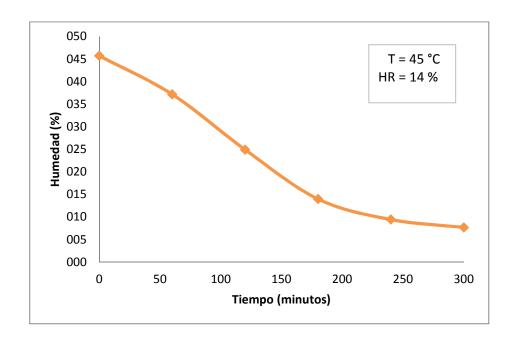
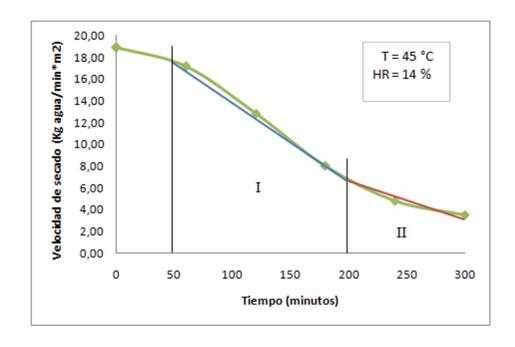


Tabla XLVII. Datos de la figura 30

С	olor	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
		Htotal = 2E-06t <sup>3</sup> - 0,000t <sup>2</sup> - 0,131t + 45,98	0,997	t [0 - 300] minutos

Figura 31. Velocidad de secado para el tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)



Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Datos de regresión de la figura 31

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 9E-07t^3 - 0,000t^2 - 0.034t + 20.27$	0,999	t [0 - 300] minutos

Tabla XLIX. Datos de los períodos de regresión de la figura 31

Color	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez	
	Vs = -0,061t + 19,74	0.964	Período I, velocidad de	
	VS = -0,001( + 19,74   0,904	0,904	0,904	secado constante
	Vs = -0,037t + 14,45	0.043	Período II, velocidad de	
	VS = -0,037( + 14,45	0,943	secado no constante	

Figura 32. Curva de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)

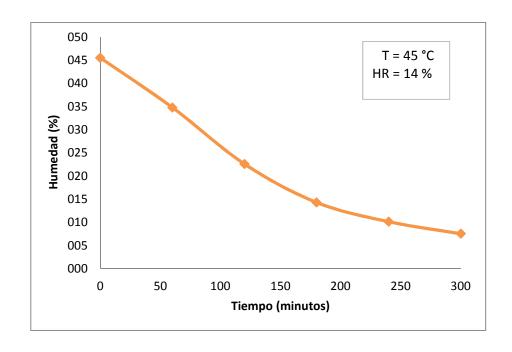
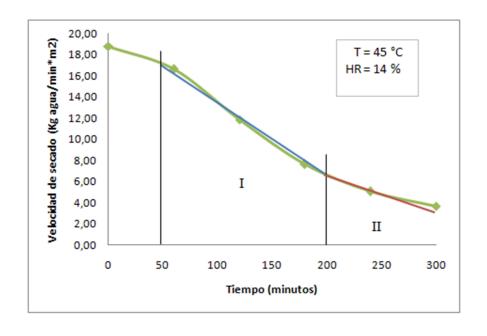


Tabla L. Datos de la figura 32

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal = $7E-07t^3 + 6E-05t^2$	0,998	t [0 200] minutos
	- 0,205t + 45,84	0,990	t [0 - 300] minutos

Figura 33. Velocidad de secado para el tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)



Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla Ll. Datos de regresión de la figura 33

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 3E-07t^3 + 3E-05t^2 - 0.092t + 22.00$	0,999	t [0 - 300] minutos

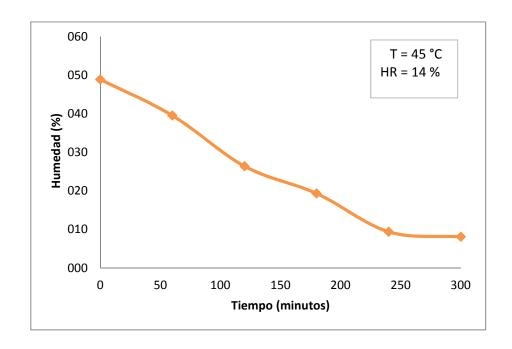
Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla LII. Datos de los períodos de regresión de regresión de la figura 33

Color	Regresión lineal	$R^2$	Intervalo de validez
	Vs = -0,063t + 19,47	0.980	Período I, velocidad de
	0,0000 10,17	0,000	secado constante
	Vs = -0,033t + 13,38	0.971	Período II, velocidad de
	VS = -0,033( 1 13,38	0,971	secado no constante

Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Figura 34. Curva de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)

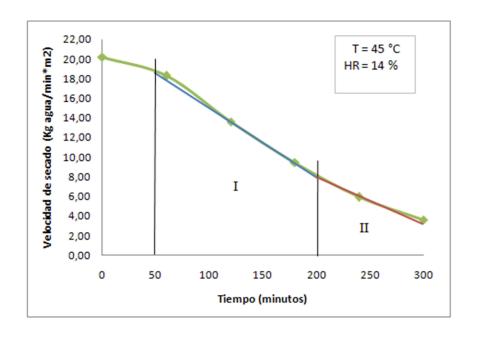


Fuente: elaboración propia, datos calculados.

Tabla LIII. Datos de la figura 34

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	Htotal = 2E-06t <sup>3</sup> - 0,000t <sup>2</sup>	0.995	t [0 200] minutos
	- 0,148t + 48,99	0,990	t [0 - 300] minutos

Figura 35. Velocidad de secado para el tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)



Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. Datos de regresión de la figura 35

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 3E-07t^3 - 4E-05t^2$	1,00	t [0 - 300] minutos
	- 0,076t + 22,94	1,00	t [0 - 300] minutos

Tabla LV. Datos de los períodos de regresión de regresión de la figura 35

Color	Regresión lineal	$R^2$	Intervalo de validez
	Vs = -0,061t + 20,92	0,974	Período I, velocidad de secado constante
	Vs = -0,048t + 18,00	0,986	Período II, velocidad de secado no constante

Figura 36. Curva de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)

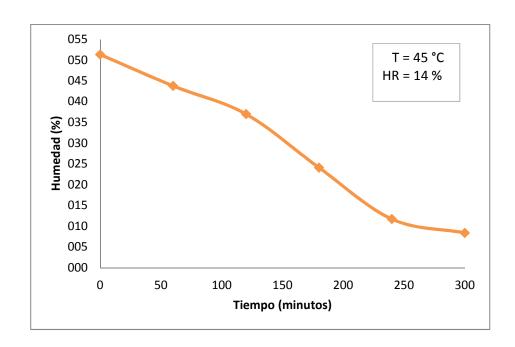
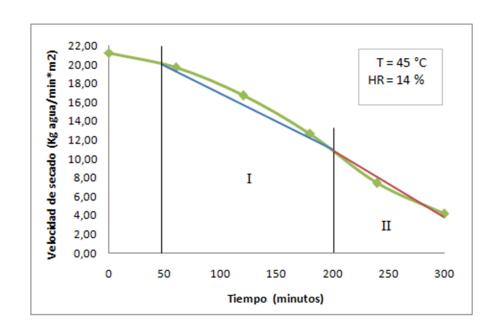


Tabla LVI. Datos de la figura 36

Co	lor	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
		Htotal = $3E-06t^3 - 0,001t^2$ - $0,022t + 50,70$	0,994	t [0 - 300] minutos

Figura 37. Velocidad de secado para el tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. Datos de regresión de la figura 37

Color	Regresión no lineal	R <sup>2</sup>	Intervalo de validez
	$Vs = 1E-06t^3 - 0,000t^2 + 0,046t + 18,99$	0,999	t [0 - 300] minutos

Tabla LVIII. Datos de los períodos de regresión de la figura 37

Color	Regresión lineal	$R^2$	Intervalo de validez
	Vs = -0,047t + 21,83	0.963	Período I, velocidad de
	10 0,0 2.,00	0,000	secado constante
	Vs = -0,070t + 24,98	0.982	Período II, velocidad de
		0,302	secado no constante

Tabla LIX. Comparación de los datos obtenidos del análisis proximal realizado

		Análisis	Análisis proximal			
		Concer	Concentración	Concer	Concentración	
		න e c	de cal 1%	dec	de cal 3%	
	- -	Tiem	Tiempo de	Tiem	Tiempo de	
Nutriente	Experimental (comillo ciro	nixtam	nixtamalizado	nixtam	nixtamalizado	Especificaciones
Fuerte	tratamiento)	15 minifos	45 minifos	15 min fos	45 min fos	harina de trigo
		Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	
		No.1	No.2	No.3	No.4	
Humedad (%)	56,55	3,97	4,10	3,28	3,46	
Carbohidratos (%)	43,45	68,63	68,92	70,00	72,34	60,00 – 68,00
Fibra cruda (%)	6,27	7,84	8,37	5,98	5,88	
Proteína (N*6,25)	2,14	2,14	2,00	2,30	1,93	N* 5,7
Lípidos (%)	0,44	0,36	0,32	0,34	0,13	1,00-2,00
Cerizas (%)	3,66	5,85	5,77	6,03	6,10	1,50-2,00

<sup>\*</sup> Especificaciones, Quaglia, Giovanni, Ciencia y tecnología de la panificación, Facultad de Farmacia, Universidad, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.

Tabla LX. Datos obtenidos del análisis de almidón dañado realizado

No.	Tratamiento	Porcentaje de almidón dañado
I	Tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)	6,2 %
II	Tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	7,3 %
III	Tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	7,9 %
IV	Tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	8,1 %

Fuente: elaboración propia, laboratorios Molinos Modernos.

Tabla LXI. Datos obtenidos del análisis de actividad enzimática realizado

Tratamiento	Actividad enzimática
Tratamiento no. 1 (muestra no. 1, 1% cal y 15 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 2 (muestra no. 2, 1% cal y 45 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 3 (muestra no. 3, 3% cal y 15 minutos)	No existió lectura
Tratamiento no. 4 (muestra no. 4, 3% cal y 45 minutos)	No existió lectura

Fuente: elaboración propia, laboratorio Molinos Modernos.

Figura 38. Análisis estadístico: análisis de variable de un factor (ANDEVA)

l Valor crítico

710,0925433

4 25

17752,31358

Dentro de los grupos

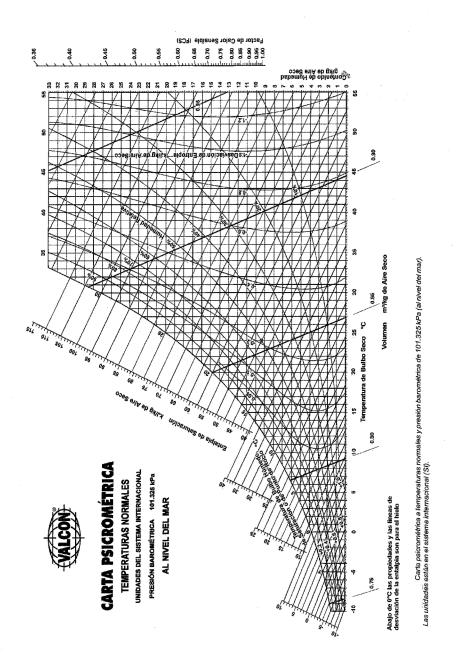
17825,51435

Total

Análisis de varianza de un factor

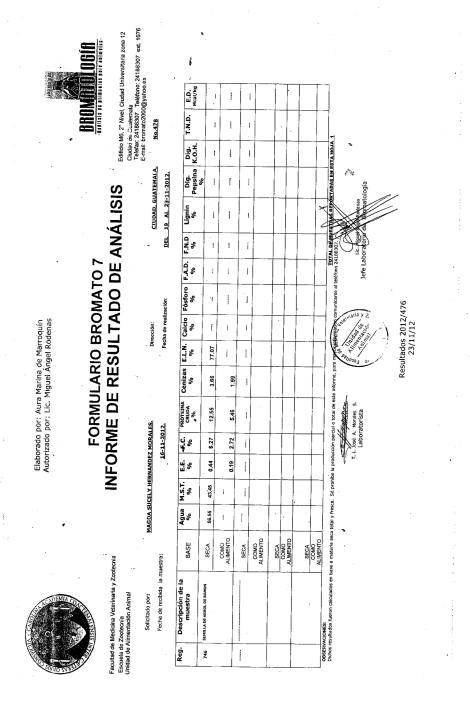
	Suma Promedio Varianza	112,51 18,75166667 606,7073367	89,29 14,88166667 700,7906167	89,48 14,91333333 707,9567067	87,93 14,655 739,93423	89,84 14,97333333 795,0738267		Grados de Promedio de los F Probabilidad	libertad cuadrados	
	Cuenta	9	9	9	9	9		Suma de	cuadrados	
RESUMEN	Grupos	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	ANÁLISIS DE VARIANZA	Origen de las	variaciones	

Figura 39. Carta psicrométrica



Fuente: Carta psicrométrica. Disponible en: www.efrainpuerto.files.wordpress.com.

Figura 40. Resultados de análisis proximales, Laboratorio de Bromatología



-	Heins rastroios v rascarillas
2.	Forrales verdes
ά	Ensilados
4	Alimentos concentrados (menos del 15% de humedad)
S.	Frutas ý verduras de consumo humano
9	Carnes y subproductos cárnicos
7.	Leches y subproductos lácteos
∞	Plantas con otros fines diferentes de la alimentación humana o animal
9.	Suelos
10	10. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

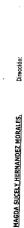
INCERTIDUMBRE							-			**
RANGO	85 A 100	1 a 85	20 a 85	1 a 300	1 a 60	0 A 60	0 8 90	0 a 100	0 a 100	0 a 100
UNIDADES	*	×	×	ж	3¢	*	æ	*	*	×
APLICABLE	4,8,9	1,2,5,6	m	1,2,3,4,5,6,9	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,8	1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10	1,2,3,4,5,6
MÉTODO DE REFERENCIA	A0AC: 930.15	Bateman 6.111	AOAC: 925.04	AOAC: 976.05 Tecator: Manual del Kjettec Auto 1030 Analyzer	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I AOAC: 962.09 Bateman	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I	Tecator: Manual dei 1010/1021 Fibertec System I	Bateman 9.110	Aoac: 942.05	Bateman: 10.200
PRUEBA	Materia Seca	Materia Seca	Materia Seca	Proteína Cruda	Fibra Cruda	Fibra Acido Detergente	Fibra Neutro Detergente	Extracto Eterero	Cenizas	Extracto Libre de Nitrogeno

Edificio M6, 2º Nivel, Ciudad Universitaria zona 12



# Elaborado por: Aura Marina de Marroquín Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

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



31-05-2013.

Fecha de recibida la muestra:

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

Fecha de realización

Cenizas E.L.N.

, E.

Descripción de la muestra

CIUDAD, GUATEMALA. DEL 03 AL 07-06-2013.

Ciudaŭ de Cuatemala Telefax: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 1676 E-mail: bromatoz000@yahoo.es No.166

1 Dig. K.O.H. 1 ſ 1 Fósforo F.A.D. i

71.73

6.04

0.37

96.03

3.97

SECA

SEMILLA DE RAMON # 1

267

COMO ALIMENTO

1

ì

ĺ

5.77 5.80

0.32

95.90

4.10

SECA

SEMILLA DE RAMON # 2

268

COMO ALIMENTO

5.53 6.03

12.01

8.02

0.30

13.90

5.79

0.33

COMO

SECA

SEMILLA DE RAMON#3

269

0.13

96.54

3.46

SENTILA DE RAMON # 4

1

1

1

I

ı

I



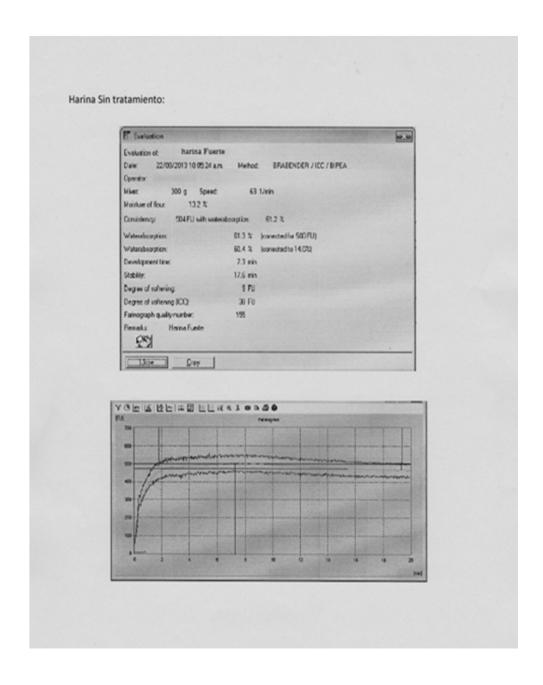
F.M.V.Z. Resultados 2013/166

<del>L</del> i	1. Henos, rastrojos y cascarillas
7	Forrajes verdes
3,	3.º Ensilados
4.	Alimentos concentrados (menos del 15% de humedad)
S.	5. Frutas ý verduras de consumo humano
9	6. Carnes y subproductos cárnicos
7.	Leches y subproductos lácteos
∞i	Plantas con otros fines diferentes de la alimentación humana o animal
6	9. Suelos
10	10. Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

		$\Box$			1			r	_	
INCENTIDUMBRE							-			**
RANGO	85 A 100	1 a 85	20 a 85	1 a 300	1a60	0 A 60	0 a 90	0 a 100	0a 100	0a 100
UNIDADES	*	×	*	%	×	*	ж	%	*	×
APLICABLE	4,8,9	1,2,5,6	m	1,2,3,4,5,6,9	1,2,3,4,5,6,7,8	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4,5,6,8	1,2,3,4,5,6,7,8,	1,2,3,4,5,6
MÉTODO DE REFERENCIA	AOAC: 930.15	Bateman 6.111	AOAC: 925.04	AOAC: 976.05 Tecator: Manual dei Kjeitec Auto 1030 Analyzer	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I AOAC: 962.09 8ateman	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I	Bateman 9.110	Aoac: 942.05	Bateman: 10.200
PRUEBA	Materia Seca	Materia Seca	Materia Seca	Proteína Cruda	Fibra Cruda	Fibra Acido Detergente	Fibra Neutro Detergente	Extracto	Cenizas	Extracto Libre de Nitrogeno

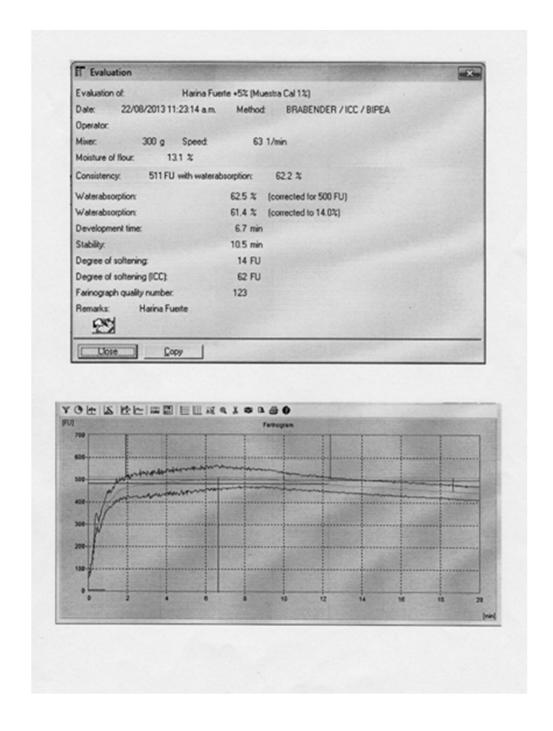
Fuente: laboratorio Bromatología

Figura 41. Resultados de análisis del farinógrafo, muestra de harina dura



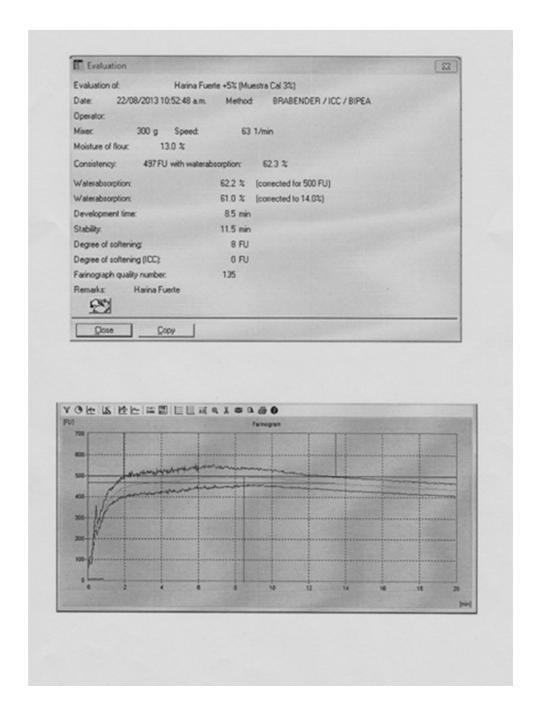
Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

Figura 42. Resultados de análisis del farinógrafo, muestra de harina dura con adición de harina de ramón tratamiento 1% cal



Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

Figura 43. Resultados de análisis del farinógrafo, muestra de harina dura con adición de harina de ramón tratamiento 3% cal



Fuente: laboratorio Molinos Modernos.

Figura 44. Fotografías

# Preparación y limpieza de semilla de árbol de Ramón







Preparación de los materiales para el proceso de nixtamalización





Proceso nixtamalización (tratamiento térmico, adición de calor)



Semilla de árbol de Ramón nixtamalizada



Trituración de semilla de árbol de Ramón nixtamalizada para reducción de partícula para el proceso de deshidratado





Proceso de secado (deshidratado de la semilla nixtamalizada)









Semilla de Ramón tratada, deshidratada y sellada al vacío

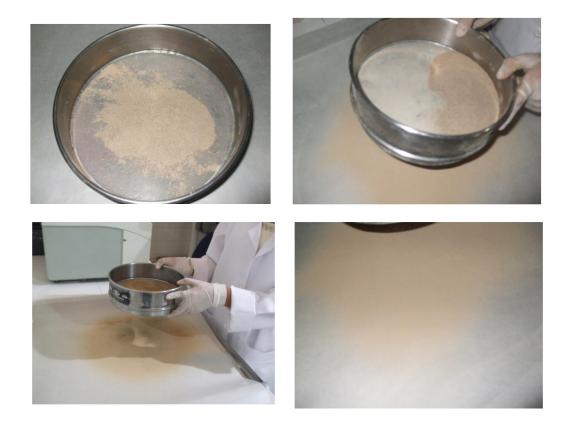


Aplicación de proceso de molienda de semilla de Ramón nixtamalizada, deshidratada para la preparación de la misma para el tamizaje con molino de cuchillas





Tamizaje de la molienda realizada de la semilla de árbol de Ramón nixtamalizada y deshidratada



Fuente: Laboratorio de Investigación y Extracciones Vegetales -LIEXVE-, Laboratorio de Química Industrial, Edificio T-5, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.



#### CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No. 31784 No. Informe LIEXVE-QI 23-2013

Interesado:

Magda Sucely Hernández Morales, Carné: 2007-15325

Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería

Química

Proyecto:

Trabajo de graduación a nivel de Tesis "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA A PARTIR DE LA SEMILLA DE ÁRBOL DE RAMÓN

(Brosimun alicastrum)".

Fecha:

Guatemala, 20 de agostodel 2013

A continuación se presentan los resultados de deshidratación de la semilla de árbol de Ramón (*Brosimun alicastrum*), utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y los valores de porcentaje de humedad reportados a través de balanza de humedad.

**Tabla No. 1.**Resultados de deshidratación de la semilla de árbol de ramón a temperatura de 45°C.

Muestra*	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
1	45.71	7.66
2	45.55	7.54
3	48.90	8.10
4	51.30	8.30
5	34.93	7.50
6	45.05	7.80
7	36.00	8.10
8	45.28	8.38

<sup>\*</sup>Muestra proporcionada por el interesado

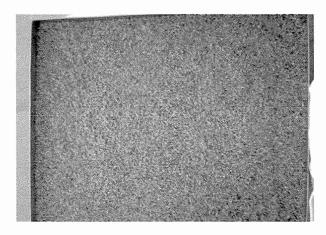


### CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



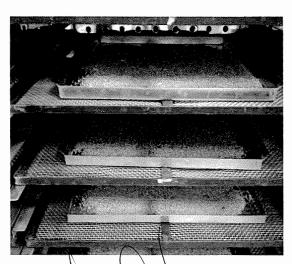
#### **ANEXOS**

#### Proceso de deshidratación de la semilla de ramón









Ing Odo, Mario Jose Mérida Mexé/ Coordinador torio de Investigación de Extractos Vegetales -LIEXVE-Sección Química Industrial CII/USAC

Ing. Qco. Cesar Alfonso Garcia Guerra Jefe

Sección Química Industrial

Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC

SECCION REPORTED AND USAC LANDUSTRIAL OF Guatemata.

Vo. Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
CENTRO DE INVESTIGACIONES DIRECTORA

DE INGENIERIA Centro de Investigaciones de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala

DIRECCION