



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

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL

Lenyn Ubaldo Girón Hernández

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales
e Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, noviembre 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LENYN UBALDO GIRÓN HERNÁNDEZ

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
E ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

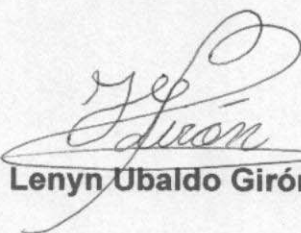
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de septiembre de 2012.



Lenyn Ubaldo Girón Hernández



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



Guatemala, 30 de Julio de 2014

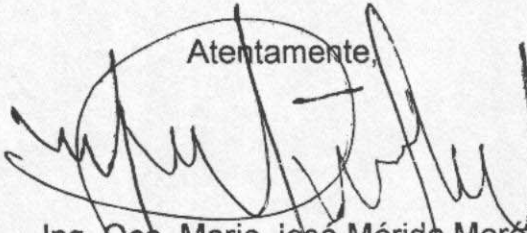
Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:


Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación titulado "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (*Moringa oleífera* Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL", del estudiante de Ingeniería Química Lenyn Ubaldo Girón Hernández quien se identifica con el carné número 2009-15573.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales -LIEXVE-
Asesor




Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII
Asesora



Guatemala, 10 de septiembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.036.2014

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **057-2012** 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 el estudiante universitario: **Lenyn Ubaldo Girón Hernández**.
Identificado con número de carné: **2009-15573**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


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

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA
(*Moringa oleífera* Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA
DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

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. Williams Guillermo Álvarez Mejía
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.236.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LENYN UBALDO GIRÓN HERNÁNDEZ** titulado: "**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (MORINGA OLEÍFERA LAM) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 596 .2014

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 ELABORACIÓN DE HARINA DE MORINGA (Moringa oleífera Lam) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE HARINA DE MAÍZ FORTIFICADA PARA INCREMENTAR SU VALOR NUTRICIONAL**, presentado por el estudiante universitario **Lenyn Ubaldo Girón Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, 3 de noviembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Jehová, porque me ha permitido alcanzar esta meta, único merecedor de toda honra y gloria, por su completa fidelidad, infinitas bendiciones y misericordias. Jesús, porque por medio de él todas las cosas son hechas.

Mi padre

Cornelio Girón, por haberme instruido con toda palabra de sabiduría y ser un pilar importante en mi vida.

Mi madre

Matías Hernández, por haberme instruido con toda palabra de sabiduría y ser un pilar importante en mi vida, porque sus consejos siempre los tengo presentes.

Mi abuela

Josefina Martir, tú fuiste una madre para mí, tus palabras y dichos los tengo siempre presentes en mi mente y corazón, siempre vivirás.

Mis hermanos

Maynor, Hiuber, Patricia, Rudy y Henry Girón, por ser parte muy importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por crear el plan de felicidad que me permite vivir eternamente con mi familia, por guiarme, inspirarme y fortalecerme durante estos años de estudio.
Mi padre	Cornelio Girón, por darme su amor y la herencia de ser un profesional y por haberme instruido con toda palabra de sabiduría.
Mi madre	Matías Hernández, por todos los cuidados, la dedicación y el amor que siempre me ha demostrado.
Mi abuela	Josefina Martir, porque en vida me llenaste de buenos consejos que siempre tendré presentes en mi corazón.
Mis hermanos	Maynor, Hiuber, Patricia, Rudy y Henry Girón, por el apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y de mi vida.
Mis cuñadas	Miriam Reyes, Julisa Calel y Vilda Azurdia, por ser personas de buen corazón, que me han apoyado en muchas ocasiones.
Fernando Prera	Por haber sido mí maestro, que fundó las bases en mi vida profesional.

Karla Franco

Por ser una persona muy importante en mi vida, haberme apoyado y compartido conmigo en la etapa final de mi carrera.

David García

Por haberme apoyado y compartido buenos y malos momentos, desde el inicio en mi estancia universitaria, también eres como un hermano para mí.

Mis amigos

Gerald Argueta, Kevin Hernández, Damián Ochoa, Nolberto Lux, Fernando del Valle, María Navarro, por haberme apoyado, compartido ideas, tristezas, alegrías, buenos y malos momentos.

Ing. Mario Mérida

Por su asesoría, colaboración y apoyo en la realización de este proyecto.

Ing. Telma Cano

Por su asesoría, colaboración y apoyo en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XXI
GLOSARIO	XXV
RESUMEN	XXXIII
OBJETIVOS	XXXV
Hipótesis	XXXVI
INTRODUCCIÓN	XXXIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Moringa (<i>Moringa oleífera</i> , Lam)	5
2.1.1. Origen de la moringa	5
2.1.2. Especies	5
2.1.3. Taxonomía	6
2.1.4. Aspectos generales de la moringa	7
2.2. Nutrición	7
2.2.1. Nutrientes	8
2.2.2. Contenidos nutricionales	9
2.2.3. Deshidratación	14
2.2.4. Usos en alimentación humana	15
2.3. Producción de biomasa de las plantaciones de moringa	15
2.4. Requerimiento agronómico de la moringa	16
2.5. Maíz	16
2.5.1. Clasificación botánica	16

2.5.2.	Características morfofotónica	17
2.5.3.	Valor nutricional.....	17
2.5.3.1.	Composición ponderal de las principales partes del grano de maíz.....	19
2.5.3.2.	Composición ponderal de las principales partes del grano de maíz.....	22
2.5.3.3.	Composición química general de maíz.....	23
2.5.3.4.	Almidón.....	25
2.5.3.5.	Proteínas	26
2.5.3.6.	Aceite y ácidos grasos.....	28
2.5.3.7.	Fibra dietética	30
2.5.3.8.	Otros hidratos de carbono	32
2.5.3.9.	Minerales	32
2.5.3.10.	Vitaminas liposolubles	34
2.5.3.11.	Vitaminas hidrosolubles.....	35
2.5.3.12.	Cambios en la composición química y el valor nutritivo durante el desarrollo del grano	36
2.5.3.13.	Valor nutritivo de maíz.....	37
2.6.	Contenido de aminoácidos de la moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) y del maíz (<i>Zea mays, L</i>)	40
2.6.1.	Aminoácidos esenciales	48
2.6.2.	Deficiencia de aminoácidos esenciales	48
2.7.	El secado como operación unitaria de ingeniería química	49
2.7.1.	Definición.....	49
2.7.2.	Objetivos que se persiguen con el secado	50
2.7.3.	Fenómenos involucrados.....	50
2.7.4.	Factores físicos involucrados	51
2.7.5.	Factores controlantes	51

2.7.6.	Donde se lleva a cabo el secado	52
2.7.7.	Secadores.....	52
2.7.7.1.	Secadores directos	52
2.7.7.2.	Secadores indirectos	53
2.7.7.3.	Secador de túnel rotatorio.....	53
2.7.7.4.	Secador de bandeja.....	53
2.7.7.4.1.	Manejo de un secador de bandejas	54
2.7.7.5.	Condiciones deseables de un secador	55
2.7.7.6.	Presentación de los secadores	55
2.7.7.7.	Equipo mínimo para el control de las variables en un secador.....	56
2.7.8.	El sólido	56
2.7.8.1.	Cómo se calienta al sólido	58
2.7.9.	Calidad del agua del sólido	58
2.7.10.	Sustentación	59
2.7.11.	Contenido de humedad de un sólido	59
2.7.11.1.	Humedad en base húmeda (X_{BH}).....	60
2.7.11.2.	Base seca (X_{BS}).....	60
2.7.12.	El medio.....	61
2.7.12.1.	Objetivos del medio	61
2.7.13.	Tiempo de secado	62
2.7.13.1.	Tiempo óptimo de secado.....	62
2.7.14.	Leyes de secado.....	62
2.7.14.1.	Diámetro de partícula y/o espesor de lecho	62
2.7.14.2.	Temperatura de bulbo seco (T_{BS}).....	63
2.7.14.3.	Porcentaje de humedad relativa (%Hr)	63
2.7.14.4.	Velocidad de viento.....	63

2.7.14.5.	Presión	64
2.7.15.	Cómo calentar al medio.....	64
2.7.16.	Cómo mover al medio.....	64
2.7.17.	Cómo secar al medio.....	64
2.7.18.	Fijando protocolo	65
2.7.19.	Curvas de secado.....	65
2.7.19.1.	Curva cero	65
2.7.19.2.	Curva uno	67
2.7.19.3.	Curva dos	68
2.7.19.4.	Curva tres	70
2.7.19.5.	Curva cuatro	72
2.7.19.6.	Curva cinco.....	73
2.7.20.	Balance de masa y balance de calor en un proceso de secado	73
2.7.21.	Partidas de calor en un secador	77
2.8.	Porcentaje de rendimiento en masa	81
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	83
3.1.	Localización.....	83
3.2.	Variables	83
3.2.1.	Factores constantes	84
3.3.	Delimitación del campo de estudio	84
3.4.	Obtención de la muestra	85
3.5.	Recursos	85
3.5.1.	Recurso humano	86
3.5.2.	Recursos materiales disponibles	86
3.5.3.	Materia prima.....	86
3.5.4.	Cristalería, reactivos y equipo	87
3.6.	Técnica cuantitativa.....	88

3.6.1.	Desarrollo de la harina de maíz fortificada.....	88
3.6.2.	Realización de ensayo de humedad de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>).....	91
3.6.3.	Elaboración de las curvas de secado	91
3.6.4.	Elaboración de la harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	92
3.6.5.	Tamizado de la harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	92
3.6.6.	Formulación de la harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>) fortificada con moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>).....	93
3.6.7.	Determinación del contenido nutricional de las diferentes mezclas realizadas de harina de maíz y harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>).....	93
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información	94
3.7.1.	Curvas de secado de hoja de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>).....	94
3.7.2.	Datos originales del tiempo total de secado de los lotes de hojas de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>).....	111
3.7.3.	Datos originales de la elaboración de harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	111
3.7.4.	Datos originales de la granulometría de la harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	113

3.7.5.	Datos originales de las formulaciones de harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>).....	114
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	114
3.8.1.	Curvas de secado de hoja de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>)	115
3.8.2.	Análisis estadístico del efecto de los factores sobre el tiempo total de secado.....	143
3.8.3.	Granulometría de la harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>).....	144
3.8.4.	Formulaciones de harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	146
3.8.5.	Análisis estadístico del efecto del contenido de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>), sobre el contenido de nutrientes de la harina nutritiva	146
3.9.	Análisis estadístico	149
3.9.1.	Promedio o media de la muestra.....	149
3.9.2.	Varianza y desviación estándar.....	149
3.9.3.	Número de repeticiones.....	150
3.9.4.	Intervalo de confianza de la media con desviación estándar desconocida.....	151
3.9.5.	Prueba de hipótesis para la comparación de medias de las propiedades nutricionales de cada mezcla fortificada, respecto de las propiedades nutricionales de la harina de maíz	151
3.9.6.	Análisis de varianza.....	152

3.9.6.1.	Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo	153
3.9.6.2.	Modelo para cada observación	154
3.9.6.3.	Hipótesis estadísticas de prueba	155
3.9.6.4.	Identidad de la suma de cuadrados	155
3.9.6.5.	Formación de los cuadrados medios	156
3.9.6.6.	Cálculo del estadístico de prueba	157
3.9.7.	Comparación múltiple de medias.....	158
3.9.7.1.	Comparación múltiple de medias: prueba de Duncan	158
3.9.7.1.1.	Rango de menor significancia	158
4.	RESULTADOS	159
4.1.	Curvas de secado de hoja de moringa (<i>Moringa oleífera</i> <i>Lam</i>).....	159
4.2.	Tiempo total de secado de los lotes de hojas de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>).....	186
4.3.	Contenido nutricional de las mezclas de harina de moringa (<i>Moringa oleífera Lam</i>), y harina de maíz (<i>Zea</i> <i>mays, L</i>).....	187
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	189
	CONCLUSIONES	195
	RECOMENDACIONES.....	197
	BIBLIOGRAFÍA.....	199
	APÉNDICES	205
	ANEXOS	217

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Frutos de moringa oleífera.	11
2.	Mecanismos de secado.....	51
3.	Tipos de humedades y dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire	66
4.	Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire	67
5.	Masa de la muestra en función del tiempo masa muestra	68
6.	Humedad del sólido <i>versus</i> tiempo de secado.....	69
7.	Gráfica de velocidad de secado en función del tiempo.	71
8.	Velocidad de secado <i>versus</i> humedad del sólido	72
9.	Protocolo de secado.....	73
10.	Sistema genérico de secado	74
11.	Diagrama general del proceso de producción de la harina nutritiva.....	90
12.	Gráfica de interacción de las variables velocidad de viento y espesor de lecho sobre el tiempo total de secado	144
13.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s	162
14.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s	164

15.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	166
16.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	168
17.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	170
18.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	172
19.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	174
20.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	176
21.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	178
22.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	180
23.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	182

24.	Porcentaje de humedad con base húmeda (%H _{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	184
25.	Gráfica comparativa de las curvas de secado bajo condiciones de espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s	185

TABLAS

I.	Taxonomía de la moringa	7
II.	Tabla comparativa del contenido nutritivo de las hojas de <i>Moringa oleífera</i> con otros alimentos (por cada 100 gramos de parte comestible, hojas frescas)	8
III.	Análisis bromatológico moringa oleífera de 54 días, deshidratada y molida (porcentaje)	9
IV.	Análisis bromatológico en plantas jóvenes y árboles de seis años de edad (porcentaje).....	10
V.	Niveles nutricionales en hoja de moringa, base seca	12
VI.	Análisis del polvo de las hojas de moringa (por cada 100 gramos comestibles).....	13
VII.	Taxonomía del maíz	17
VIII.	Valor nutricional de la semilla de maíz dulce por cada 100 gramos.....	18
IX.	Distribución ponderal de las principales partes del grano de maíz.....	19
X.	Distribución ponderal y del nitrógeno entre las distintas partes del grano de maíz	21
XI.	Distribución del peso y del nitrógeno de partes de granos de maíz común y opaco-2	21

XII.	Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (porcentaje)	22
XIII.	Composición química general de distintos tipos de maíz (porcentaje).....	24
XIV.	Proteínas netas del grano entero, germen y el endospermo de variedades de maíz guatemaltecos	25
XV.	Distribución de las fracciones de proteína en las variedades blanco dentado-1 MPC y Tuxpeño-1 (grano entero).....	28
XVI.	Contenido de ácidos grasos del aceite de diversas variedades de maíz guatemalteco y MPC Nutricia (porcentaje).....	29
XVII.	Fibra soluble e insoluble del maíz común y del MPC (porcentaje).....	31
XVIII.	Fibra neutra (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz (porcentaje).....	31
XIX.	Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras).....	33
XX.	Calidad de las proteínas del maíz y otros cereales.....	37
XXI.	Contenido de aminoácidos (mg/100 g) en hojas, flores y tallos de <i>M. oleífera</i> Guatemala, 2002.....	41
XXII.	Contenido de humedad y proteína cruda de hojas, tallos y flores de <i>M. oleífera</i> Guatemala, 2002.....	42
XXIII.	Contenido de aminoácidos (mg/g de proteína) en hojas, flores y tallos de <i>M. oleífera</i> Guatemala, 2002	42
XXIV.	Composición de aminoácidos de <i>M. oleífera</i>	44
XXV.	Contenido de aminoácidos del maíz y del teosinte (porcentaje)....	45
XXVI.	Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.....	46

XXVII.	Comparación de aminoácidos esenciales reportados, con el contenido de aminoácido del maíz y la moringa.....	47
XXVIII.	Aminoácidos esenciales y no esenciales en humanos.....	48
XXIX.	Mezclas de harina de maíz con harina de moringa (<i>Moringa oleífera</i> , Lam)	93
XXX.	Porcentaje de humedad inicial de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	95
XXXI.	Porcentaje de humedad final, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	96
XXXII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s	98
XXXIII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s	99
XXXIV.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s	100
XXXV.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s	101
XXXVI.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s	102
XXXVII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s	103
XXXVIII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s	104
XXXIX.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s	105
XL.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s	106

XLI.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	108
XLII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	109
XLIII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	110
XLIV.	Tiempo total de secado, para las condiciones de secado de espesor de lecho 1 a 3 cm y velocidad de viento 1 a 4 m/s.....	111
XLV.	Elaboración de la harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>)	112
XLVI.	Elaboración de harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	112
XLVII.	Tamizado de harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>)	113
XLVIII.	Tamizado de harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	113
XLIX.	Datos originales para la formulación de harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>)	114
L.	Humedad inicial, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	115
LI.	Análisis estadístico de la humedad inicial, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	117
LII.	Humedad final real de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	117
LIII.	Análisis estadístico de la humedad final real, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento.....	119
LIV.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	120

L.V.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	121
L.VI.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	122
L.VII.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	123
L.VIII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	124
L.IX.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	125
L.X.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	125
L.XI.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	126
L.XII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	127
L.XIII.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	128
L.XIV.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	129
L.XV.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	130

LXVI.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s	131
LXVII.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de; espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s	132
LXVIII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s	133
LXIX.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s	134
LXX.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s	135
LXXI.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s	136
LXXII.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s	137
LXXIII.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s	138
LXXIV.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s	139
LXXV.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s	140
LXXVI.	Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s	141

LXXVII.	Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	142
LXXVIII.	Análisis de varianza para el tiempo total de secado	143
LXXIX.	Porcentaje en masa de harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) que pasa el tamiz respectivo	145
LXXX.	Porcentaje en masa de harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>) que pasa el tamiz respectivo	145
LXXXI.	Masa en gramos de harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>) y harina de maíz (<i>Zea mays, L</i>) para la formulación de 200 gramos de harina, y porcentaje (%) en masa de moringa de cada formulación	146
LXXXII.	Comparación múltiple de medias, prueba de Duncan, determinación de rangos de menor significancia.....	147
LXXXIII.	Comparación de rangos de menor significancia con las diferencias de medias ordenadas	148
LXXXIV.	Experimento de dos factores con una sola réplica	153
LXXXV.	Porcentaje de humedad inicial, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento	159
LXXXVI.	Porcentaje de humedad final real, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento	160
LXXXVII.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	161
LXXXVIII.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 13	162

LXXXIX.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s	163
XC.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 14.....	164
XCI.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s	165
XCII.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 15.....	166
XCIII.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s	167
XCIV.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 16.....	168
XCV.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s	169
XCVI.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 17.....	170
XCVII.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s	171
XCVIII.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 18.....	172
XCIX.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s	173

C.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 19	174
CI.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	175
CII.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 20	176
CIII.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s.....	177
CIV.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 21	178
CV.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s.....	179
CVI.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 22	180
CVII.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s.....	181
CVIII.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 23	182
CIX.	Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s.....	183
CX.	Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 24	184

CXI.	Tiempo total de secado, para las condiciones de secado de; espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s.....	186
CXII.	Contenido nutricional de la harina de maíz (<i>Zea mays</i> , L) fortificada con moringa (<i>Moringa oleífera</i> , Lam), en base seca	187
CXIII.	Contenido nutricional de la harina de maíz (<i>Zea mays</i> , L) fortificada con moringa (<i>Moringa oleífera</i> , Lam), como alimento ...	188

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
xG	Cantidad de masa de harina de moringa que se mezcla con harina de maíz para hacer la masa total formulada.
ε_{Ln}	Espesor del lecho de las hojas de moringa sobre las bandejas.
$\%H_{BH}$	Humedad base húmeda promedio
$\%H_{BH,n}$	Humedad en base húmeda de la muestra ingresada a la balanza de humedad en la corrida n.
$\%H_n$	Humedad promedio de la muestra en el tiempo n
$P_{f,n}$	Masa constante de la muestra ingresada a la balanza de humedad en la corrida n.
M_{Tn}	Masa de harina de moringa o harina de maíz que pasa el tamiz número n.
$P_{n,i}$	Masa de la muestra en el tiempo n y la corrida i
$M_{maíz}$	Masa final de harina de maíz que sale del molino de discos.

$m_{i,n}$	Masa final de harina de moringa que sale del molino
P_f	Masa final promedio
$M_{i,n}$	Masa inicial de hojas secas de moringa que ingresan al molino.
$P_{i,n}$	Masa inicial de la muestra ingresada a la balanza de humedad en la corrida n.
$M_{maíz0}$	Masa inicial de masa seca de maíz que ingresan al molino de discos.
P_i	Masa inicial promedio
P_n	Masa promedio de las muestras en el tiempo n
G	Masa total en gramos de la harina formulada
C_i	Número de corridas por tratamiento o combinaciones de tratamientos.
$\%H_{n,i}$	Porcentaje de humedad de la muestra en el tiempo n y corrida i.
M_{MT}	Tamaño de la muestra en gramos de harina de moringa o harina de maíz tamizada.

t_n	Tiempo establecido en minutos en el que se tomará la masa de las muestras puestas en el secador.
T_s	Tiempo total de secado en el ensayo de humedad
v_{vn}	Velocidad de viento en la tubería de salida del secador

GLOSARIO

Ácidos grasos	Son ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas largas (de 4 a 24 átomos de carbono) no ramificadas.
Albúminas	Son proteínas que se encuentran en gran proporción en el plasma sanguíneo, siendo la principal proteína de la sangre, y una de las más abundantes en el ser humano. Es sintetizada en el hígado.
Almidón	Es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, constituido por amilosa y amilopectina.
Amilopectina	Molécula del almidón que tiene ramificaciones y está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí.
Amilosa	Molécula lineal de almidón que está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas que no tienen ramificaciones.
Aminoácidos	Es una molécula orgánica con un grupo amino (NH ₂) y un grupo carboxilo (COOH). Los aminoácidos son compuestos orgánicos que se combinan para formar proteínas.

Aminoácidos aromáticos	Aminoácidos que en cuya cadena lateral poseen un anillo aromático, estos son: fenilalanina, tirosina y triptófano.
Aminoácidos azufrados	Aminoácidos que en cuyas cadenas laterales poseen átomos de azufre, estos son: cisteína y metionina.
Área viva de secado	Es el área que cubre el material a secar sobre la bandeja de un secador, que queda expuesta directamente al contacto con el aire de secado.
Batch	Es un proceso por lotes, en los que se opera sobre una cantidad de material a la que se llama "bachada", transformándola en sucesivas operaciones hasta obtener el producto final.
Calor latente de vaporización	Es la cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa (kilogramo, mol) de una sustancia que se encuentre en equilibrio con su propio vapor a una presión de una atmósfera, pase completamente del estado líquido al estado gaseoso.
Capacidad calorífica	Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta.
Celulosa	Es un polímero de glucosa unida en posición β 1-4, sin cadenas laterales.

Cenizas	Sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales.
Coadyuvante	Es el medio o sustancia que permite la realización del proceso de secado.
Comparsa	Fluido en un intercambiador de calor que recibe o sede calor al fluido de interés.
Cubiertas seminales	Varias capas de células con distinta estructura y función que cubren el grano de cereal.
Degradabilidad	Capacidad de descomposición química o biológica por acción del metabolismo de los microorganismos, o factores medioambientales.
Endospermo	Tejido que rodea al embrión, en las plantas con semillas, y sirve como almacén de nutrientes durante la germinación y primeras etapas de la vida.
Extracto etéreo	Composición de los lípidos en bruto. Se refiere al conjunto de las sustancias extraídas que incluyen, además de los esteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolípidos, las lecitinas, los esteroides, las ceras, los ácidos grasos libres, los carotenos, las clorofilas y otros pigmentos.

Extracto libre de nitrógeno	Concepto del análisis bromatológico, que agrupa a los carbohidratos digeribles, vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados.
Factor	Es el elemento o circunstancia que contribuye, junto con otras cosas a producir un resultado.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization.
Fibra ácido detergente	Indica el contenido de fibra de un alimento, referente al contenido de celulosa y lignina.
Fibra cruda	Residuo libre de ceniza, insoluble en solución de álcali y solución de ácido, que queda luego de ser sometido a ebullición en cada una de dichas soluciones; incluye celulosa, hemicelulosa y lignina.
Fibra dietética	Macromoléculas no digeribles por el ser humano, hidratos de carbono que forman parte de las paredes celulares vegetales como la celulosa, hemicelulosa, pectinas y otros polisacáridos de origen vegetal y de algas, como las gomas o los mucílagos; la inulina, lignina, ceras, cutina, y diversos polifenoles.
Fibra neutro detergente	Indica el contenido de fibra de un alimento, referente al contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina.

Germen	Es la parte reproductiva que germina para crecer en una planta, ¹ es el embrión ² de la semilla.
Globulinas	Es la proteína vegetal y animal que se encuentra en el suero sanguíneo e interviene en la coagulación.
Glutelina	Proteínas que tiene un elevado contenido de prolina y ácido glutámico, y están presentes en las semillas de los cereales.
Grasa cruda	Extracto etéreo, comprende los aceites, grasas ésteres de los ácidos grasos con el glicerol, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres, carotenos, clorofilas y otros pigmentos.
Hemicelulosa	Son polímeros de pentosas y hexosas, con cadenas laterales en las que se presentan diferentes azúcares y ácidos glucurónicos (existen alrededor de 250 diferentes tipos de hemicelulosas).
Hidratos de carbono	Aldehidos o cetonas polihidroxidados. Sus principales funciones en los seres vivos es prestar energía inmediata y funciones estructurales.
Humedad absoluta	Es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire, medido en gramos de agua.

Humedad de equilibrio	Es la humedad constante que alcanza un sólido, cuando se pone en contacto por un tiempo prolongado, con una corriente de aire con un cierto contenido de humedad y temperatura constante.
Humedad relativa	Es la relación entre el contenido de vapor de agua del aire y la cantidad de vapor de agua que el aire puede retener a esa temperatura.
Inercia térmica	Es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe.
Lecho	Capa, estrato o porción de algún material que esta o se pone extendido horizontalmente sobre otro, encima del cual se puede poner otro.
Lignina	Envoltura que protege a la celulosa y hemicelulosa de los ataques bacterianos, tampoco es atacada por la micro flora del colon, que tiene como base estructural al fenilpropano, con varios enlaces al anillo bencénico de grupos hidroxílicos y metoxílicos.
Materia seca	Es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

Nitrógeno proteico	no	Péptidos de cadena inferior a 6 aminoácidos, aminoácidos libres, purinas y pirimidinas, aminas, amidas y otros compuestos y sales de amonio.
Pedicelo		Estructura que une a la flor o al fruto con la rama que la sostiene o con otra estructura más compleja.
Pericarpio		Parte exterior del fruto de las plantas, que cubre y protegen las semillas.
Pilorriza		Estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga.
Prolaminas		Son un grupo de proteínas de diversas plantas con un alto contenido de prolina y se encuentra en las semillas de cereales: gliadinas en el trigo, hordeína en la cebada, secalina en el centeno, zeína en el maíz y la avenina de la avena. Se caracterizan por un alto contenido en glutamina y prolina.
Proteína cruda		Cantidad total de proteína presente, calculada a partir del nitrógeno total ($N \times 6,25$).
Proteínas		Son los principales compuestos nitrogenados que existen en los alimentos. Son moléculas complejas constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y, a veces también otros elementos como: azufre, hierro, cobre, fósforo y cinc.

Temperatura de bulbo húmedo	Es la temperatura de entrada en estado estacionario y no de equilibrio que se alcanza cuando se pone en contacto una pequeña cantidad de agua con una corriente continua de gas en condiciones adiabáticas.
Temperatura de bulbo seco	Es la temperatura que indica el bulbo seco de un termómetro al colocarlo dentro de una corriente gaseosa, o al medir la temperatura de un medio o sustancia en general.
Tratamiento	Procedimientos y acción de someter una sustancia o materia a un proceso para obtener determinado resultado.
Valor biológico	Es la medida de la absorción y síntesis en el cuerpo de la proteína procedente de la ingesta de alimentos. El valor biológico es la fracción de nitrógeno absorbido y retenido por el organismo y representa la capacidad máxima de utilización de una proteína. Suele ser llamada calidad de las proteínas.
Zeínas	Representan la principal proteína de reserva en el grano de maíz, se clasifican dentro de las prolaminas.

RESUMEN

Con el fin de incrementar el valor nutricional de la harina de maíz (*Zea mays*, L) se elaboró un estudio del proceso de secado y elaboración de harina de moringa (*Moringa oleífera* Lam), para luego mezclarla con harina de maíz (*Zea mays*, L) en diferentes proporciones en masa y determinar el valor nutricional de cada mezcla y así poder evaluar la mezcla que mejor se adecue para un alimento nutricionalmente mejorado.

En la realización de un proceso de secado, es necesario conocer el comportamiento del producto a secar, bajo variables de proceso fijadas, tales como el diámetro de partícula, humedad del medio, velocidad de viento, espesor del lecho, temperatura de bulbo seco, presión y porcentaje de llenado del secador.

Para realizar las curvas de secado de hojas de moringa, fue necesario realizar un ensayo de humedad inicial, que permitió determinar la humedad de equilibrio inicial de las muestras ingresadas al secador. También se efectuó un ensayo de humedad final, que permitió determinar la humedad final real de las muestras secas que salen del secador. Los ensayos de humedad se llevaron a cabo en un una balanza de humedad a 105 grados Celsius, la cual devuelve la humedad con base húmeda de la muestra.

En la elaboración de las curvas de secado se utilizó un horno eléctrico, de bandejas, de flujo transversal, en el cual se colocaron las muestras y se midió la masa de las mismas en el tiempo. También se midió el tiempo total de secado, que es el tiempo en el cual la humedad de las muestras ingresadas al secador

permanece constante. Se evaluaron 3 espesores de lecho (1, 2 y 3 cm) y 4 velocidades de viento (1, 2, 3, y 4 m/s). El secado se efectuó a 85 326 kilo Pascales y a 40 grados Celsius.

Se elaboró la harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), y la harina de maíz (*Zea mays*, L), moliendo el material seco en un molino de discos, posteriormente se tamizó en tamices número 4, 12, 20, 40, 70, 100. La harina de maíz (*Zea mays*, L), se elaboró a partir de maíz común nixtamalizándolo y deshidratado, moliéndolo para obtener la masa y finalmente secándolo.

En la formulación de harina de maíz (*Zea mays*, L) fortificada para incrementar su valor nutricional, se elaboraron 5 mezclas de harina de maíz y harina de moringa en porcentajes (100:0, 30:70, 50:50, 70:30 y 0:100) en masa, a las cuales se le determinó su contenido nutricional.

La investigación requirió trabajo de campo para la recolección de las hojas frescas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), en el departamento de Escuintla, para la elaboración de las curvas de secado, harinas y tamizado de las mismas en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE), Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC; y finalmente los análisis del valor nutricional de las mezclas de harinas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bromatología, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

OBJETIVOS

General

Evaluar el proceso de elaboración de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), para su aplicación en la formulación de harina de maíz (*Zea mays, L*) fortificada para incrementar su valor nutricional.

Específicos

1. Elaborar curvas de secado de la hoja de moringa (*Moringa oleífera Lam*).
2. Determinar el espesor de lecho en el secador que optimice el tiempo de secado, sin dañar las propiedades nutritivas de las hojas de moringa (*Moringa oleífera Lam*).
3. Determinar la velocidad de viento en el secador que optimice el tiempo de secado, sin dañar las propiedades nutritivas de las hojas de moringa (*Moringa oleífera Lam*).
4. Elaborar harina a partir de las hojas de moringa (*Moringa oleífera Lam*), a nivel planta piloto
5. Elaborar mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera*) y harina de maíz (*Zea mays, L*) en proporciones (100:0, 30:70, 50:50, 70:30 y 0:100) en masa respectivamente y determinar su contenido nutricional.

Hipótesis

Hipótesis científica

1. Es posible elaborar las curvas de un proceso de secado de hojas de moringa (*Moringa oleífera* Lam), para determinar el espesor de lecho y la velocidad de viento en el secador que optimice el tiempo de secado, sin dañar las propiedades nutritivas de las mismas.
2. Es posible elaborar harina de las hojas de moringa (*Moringa oleífera* Lam) a nivel planta piloto.
3. Es posible elaborar mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera* Lam) y harina de maíz (*Zea mays*, L) en proporciones (100:0, 30:70, 50:50, 70:30 y 0:100) en masa respectivamente y determinar su contenido nutricional.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula

1. No existe variación en el tiempo de secado de moringa (*Moringa oleífera* Lam) al cambiar el espesor de lecho en las bandejas del secador.

2. No existe variación en el tiempo de secado de moringa (*Moringa oleífera Lam*) al cambiar la velocidad de viento en el interior del secador.
3. No existe diferencia entre la cantidad de nutrientes que contiene la harina de maíz (*Zea mays*, L) y la harina nutritiva fortificada con moringa (*Moringa oleífera Lam*).

$$N_h = N_m$$

Donde:

N_h = contenido de nutrientes de la harina nutritiva.

N_m = contenido de nutrientes de la harina de maíz (*Zea mays*, L).

Hipótesis alterna

1. Existe variación en el tiempo de secado de moringa (*Moringa oleífera Lam*) al cambiar el espesor de lecho en las bandejas del secador.
2. Existe variación en el tiempo de secado de moringa (*Moringa oleífera Lam*) al cambiar la velocidad de viento en el interior del secador.
3. El contenido de nutrientes de la harina nutritiva fortificada con moringa (*Moringa oleífera Lam*) es diferente que el contenido de nutrientes de la harina de maíz (*Zea mays*, L).

$$N_h \neq N_m$$

Donde:

N_h = contenido de nutrientes de la harina nutritiva.

N_m = contenido de nutrientes de la harina de maíz (*Zea mays*, L).

INTRODUCCIÓN

La importancia que ha adquirido el tema de la nutrición en el discurso del desarrollo se fundamenta en los resultados de muchos estudios, realizados por INCAP en Guatemala, y otros realizados, por un sinnúmero de investigadores y centros de investigación en el mundo, todos demostrando los efectos que tiene el mejoramiento de la nutrición y la salud, desde la concepción hasta los tres años, en el potencial de crecimiento y desarrollo del ser humano, incluyendo el desarrollo intelectual, la personalidad y la conducta social, así como la productividad física e intelectual en el adulto².

En la actualidad se busca que los alimentos contengan alto contenido de nutrientes que beneficien la salud de los consumidores. La finalidad del proyecto de investigación a nivel de trabajo de graduación es obtener un producto con alto valor nutricional, a partir de un alimento autóctono como el maíz (*Zea mays*, L) y un alimento no tradicional, la moringa (*Moringa oleífera*, Lam).

El estudio se derivó del conocimiento de la elevada cantidad de nutrientes que contiene la planta de moringa (*Moringa oleífera* Lam), y que ayudará a complementar los aminoácidos esenciales del maíz (*Zea mays*, L), así como proporcionar otros nutrientes, como calcio, vitamina A, vitamina C, a la harina nutritiva a producir.

² PALMIERI SANTIESTEBAN, Mireya., DELGADO VALENZUELA, Hernán. *Análisis situacional de la malnutrición en Guatemala: sus causas y abordaje*. p. 9.

La elaboración de la harina nutritiva a partir de harina de maíz y de moringa, fue estructurada basada en un diagrama de flujo que esquematizó el proceso en general, que permite establecer la clase y las especificaciones del equipo a utilizar.

Para la elaboración de la harina de moringa fue necesario recolectar la materia prima en diferentes plantaciones existentes en Guatemala, desinfectar la materia prima y realizar las operaciones unitarias de secado, molido y tamizado.

Después de obtenida la harina de moringa se elaboraron diferentes mezclas con harina de maíz (*Zea mays*, L) y harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), para determinar la mezcla con mayor contenido nutricional.

1. ANTECEDENTES

En varios países se han desarrollado investigaciones sobre las propiedades del árbol de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), se cuenta con bastante información sobre las propiedades nutritivas del mismo, sin embargo se han desarrollado pocas aplicaciones de la moringa en alimentos.

- En Guatemala el primer estudio a nivel de tesis que se desarrolló para conocer las propiedades del árbol de moringa, fue realizado por la estudiante Karol Beatriz Sanchinelli Pezzarossi titulado *Contenido de proteína y aminoácidos y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala*, el cual se llevó a cabo en marzo de 2004, este trabajo se llevó a cabo en la Universidad de San Carlos de Guatemala en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia³.

El trabajo de graduación pretendía caracterizar las proteínas y aminoácidos de la planta de moringa, analizando y comparando los contenidos de tallos, hojas y flores. Se analizaron muestras de diferentes regiones de Guatemala para evaluar el contenido nutricional en base a las características edafológicas y climáticas de la región y al manejo agronómico del cultivo. Uno de los resultados más importantes de este estudio fue la determinación de la calidad nutritiva de la planta, estableciendo que no contiene ningún compuesto tóxico para el ser humano.

³ RUIZ FUNES, Luis. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional*. p. 1.

- En enero de 2008 fue publicado en Guatemala el informe final realizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT) y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), titulado *Rendimiento y uso potencial del Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario–nutricional de Guatemala*, teniendo como investigadora principal a Norma Carolina Alfaro.

En este proyecto se determinaron las condiciones agroecológicas que requiere la planta de (*Moringa oleífera, Lam*), su rendimiento en materia verde y su uso posterior como materia prima para la elaboración de alimentos de alto valor nutricional, en 4 municipios de alta vulnerabilidad alimentario–nutricional. Para ello se identificaron características agronómicas del cultivo y se realizaron análisis fisicoquímicos y nutricionales de hojas y frutos de moringa para determinar su contenido de macro y micronutrientes, poniendo énfasis en la determinación de energía, proteína, fibra, vitaminas A y C, hierro y potasio.

En este estudio se determinó que la planta presenta hasta un 30 por ciento de proteínas en materia seca, un alto contenido de carotenos y energía. Las hojas presentan mayor cantidad de nutrientes que las vainas. Los frutos verdes presentan mejor proporción de nutrientes que las vainas maduras. Las hojas más sazonas (parte media de la planta) presentan mejor contenido nutricional que las hojas tiernas.

- En marzo de 2008 fue publicado en Guatemala un informe realizado por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), titulado *Uso potencial de la moringa (Moringa oleífera Lam) para la producción*

de alimentos nutricionalmente mejorados con el propósito de socializar algunos resultados generados en el proyecto: rendimiento y uso potencial de moringa oleífera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala Proyecto FODECYT No. 26-2006. Financiado por el CONCYT, teniendo como investigadores a la licenciada Norma Carolina Alfaro Villatoro y el ingeniero Walfer Wilfredo Martínez, con esta publicación se espera sea de motivación y guía a interesados y a la industria alimentaria para usar este cultivo en el desarrollo de alimentos nutricionalmente mejorados, aprovechando todas sus potencialidades; a desarrollar, adaptar y validar tecnologías para su procesamiento y promover su utilización en pequeñas empresas rurales.

- En noviembre de 2011 fue publicado en Guatemala, por parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la Facultad de Ingeniería, un trabajo de graduación titulado *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional*, realizado por el estudiante Luis Ernesto Ruiz Funes, en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz, Puerto Real, España. Este es el primer estudio registrado en Guatemala con una aplicación tecnológica de la moringa en alimentos. En este estudio se evaluó una serie de mezclas que comprendía harina de trigo y polvo de la hoja de moringa (*Moringa oleífera Lam*) en distintas proporciones (100:0, 70:30, 50:50, 30:70 y 0:100) en masa. Se realizaron análisis químico de cada mezcla, donde se determinó lípidos, ácidos grasos, fibra alimentaria, proteínas, azúcares totales y reductores, y se realizaron pruebas de aceptación del producto final. Se estableció que existen diferencias significativas entre la cantidad de nutrientes de la harina de

trigo y la harina de trigo enriquecida con *Moringa oleífera*. La mezcla con 30 por ciento de harina de trigo y 70 por ciento de polvo de hoja de *Moringa oleífera*, es la que contiene alta composición en ácidos grasos insaturados (30,01% de ácido linolénico y 19,34% de ácido linoleico), fibra alimentaria (26,23% de celulosa, 27,13% de hemicelulosa, 13,15% de lignina y 7,28% de gomas, mucilagos y sustancias pépticas), un porcentaje de proteínas del 19,06 %, una concentración de 583,22 mg/L de azúcares totales y 98,55 mg/L de azúcares reductores. Esta mezcla tiene una aceptabilidad de 8,30 en la escala hedónica de 9 puntos, lo que equivale a “me gusta mucho”.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

Un arbusto grande o árbol pequeño y frondoso, rara vez de 10 metros de altura, la corteza blanquecina, el tronco generalmente es espeso e irregular en tamaño y forma la corona pequeña y densa⁴.

2.1.1. Origen de la moringa

La moringa (*Moringa oleífera* Lam) se cree es nativa de África y quizás de las Indias Orientales⁵. La especie más popular es *Moringa oleífera*, un árbol originario de Kerala, un estado de la India, es comúnmente conocido como moringa. Esta variedad se cultiva en los trópicos⁶.

2.1.2. Especies

“Moringa es el único género de la familia *Moringaceae*. Este género comprende trece especies, estas son árboles de climas tropicales y subtropicales”⁷.

⁴ RUIZ FUNES, Luis. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional*. p. 11.

⁵ ALFARO, Norma Carolina y MARTÍNEZ, Walter. *Uso potencial de la Moringa (Moringa oleífera, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados*. p. 5.

⁶ Moringa. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Moringa>.

⁷ *Ibíd.*

- *Moringa arborea*
- *Moringa borziana*
- *Moringa concanensis*
- *Moringa drouhardii*
- *Moringa hildebrandtii*
- *Moringa longituba*
- *Moringa oleífera*
- *Moringa ovalifolia*
- *Moringa peregrina*
- *Moringa pygmaea*
- *Moringa rivae*
- *Moringa ruspoliana*
- *Moringa stenopetala*

2.1.3. Taxonomía

La moringa (*Moringa oleífera Lam*) es una planta originaria de la India, pero cultivada ampliamente a través de todo el mundo. Alcanza hasta 6 metros de altura o más y presenta un crecimiento arbóreo o arbustivo, según el tipo de manejo al que se someta.

La clasificación taxonómica de la moringa (*Moringa oleífera, Lam*), se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Taxonomía de la moringa**

Reino	Plantae
División	Embryophyta
Sub-división	Diplodialia
Clase	Dicotiledoneae
Sub-clase	Archichlamydeae
Orden	Rhoeadales
Familia	Moringaceae
Género	Moringa
Especie	Moringa oleífera

Fuente: RUIZ FUNES, Luis. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional.* p. 9.

2.1.4. Aspectos generales de la moringa

La moringa es comúnmente utilizada como alimento humano, alimento animal y purificador de aguas. Tiene propiedades especiales que ayuda a la recuperación de niños desnutridos⁸.

2.2. Nutrición

La calidad de la proteína es similar a la del huevo, al comparar el contenido nutritivo de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) con otros alimentos se observa que las hojas frescas de la planta de moringa presenta cuatro veces más vitamina A que la zanahoria, siete veces más vitamina C que la naranja, cuatro veces más calcio que la leche, tres veces más potasio que los bananos, y dos veces más proteínas que el yogur o la leche de vaca.

⁸ CORNEJO, Vanessa; PAREDES, Sandra. *Evaluación de bloques multinutricionales con tres niveles de follaje de terebinto (Moringa oleífera) como fuente proteica, en el desempeño reproductivo de conejas de la raza neozelandés blanco.* p. 83.

Tabla II. **Tabla comparativa del contenido nutritivo de las hojas de *Moringa oleífera* con otros alimentos (por cada 100 gramos de parte comestible, hojas frescas)**

Nutriente	Moringa	Otros alimentos
Vitamina A (mg)	6,80	Zanahorias: 1,8
Vitamina C (mg)	220,00	Naranjas: 30
Calcio (mg)	440,00	Leche de vaca: 120
Potasio(mg)	259,00	Bananos: 88
Hierro (mg)	0,85	Espinaca: 1.14
Proteínas(mg)	6,70	Leche de vaca: 3,2

Fuente: C. Gopalan et al. (1994), *Nutritive Value of Indian Foods*, Instituto Nacional de Nutrición, India.

2.2.1. Nutrientes

“Las hojas y tallos de moringa a los treinta días de la siembra ofrecen hasta un 30 por ciento de proteína, 6 por ciento de grasa y 15 por ciento de fibra, además de vitaminas y minerales por encima de muchos otros productos de consumo humano”⁹.

La producción de biomasa de la moringa (*Moringa oleífera*, Lam) es alta a los cuarenta y cinco días, se ha estimado que se pueden alcanzar producciones de hasta 80 toneladas/hectárea por corte, se pueden hacer hasta ocho cortes al año; con una producción promedio de treinta toneladas/hectárea por corte, en buenas tierras con abono orgánico suficiente¹⁰.

⁹ URÍAS GARAVITO. *Moringa Oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel*. sp.

¹⁰ *Ibíd.*

2.2.2. Contenidos nutricionales

A los cincuenta y cuatro días de siembra, equivalente a 45 días de su germinación las plantas tienen una altura promedio de aproximadamente 1,40 metros. Los análisis realizados a las plantas de esta edad muestra un contenido de 21,52 por ciento de proteína, 5,29 por ciento de grasa y el 26.49 por ciento de fibra¹¹.

Tabla III. **Análisis bromatológico moringa oleífera de 54 días, deshidratada y molida (porcentaje)**

Análisis bromatológico	Hojas	Tallos	Hojas y tallos
Materia seca	89,60	88,87	89,66
Proteína (Nx6.25)	24,99	11,22	21,00
Extracto etéreo (grasa)	4,62	2,05	4,05
Fibra cruda	23,60	41,90	33,52
Cenizas	10,42	11,38	10,18
Extracto no nitrogenado	36,37	33,45	31,25
Tdn (calculado)	63,72	45,17	55,12
Energía digestible (d.e.)	2,81	1,99	2,43
Energía metabolizable	2,30	1,63	1,99

Fuente: URÍAS GARAVITO. *Moringa oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. sp.*

El contraste entre el análisis bromatológico en plantas jóvenes y árboles de seis años de edad muestra que en las primeras el contenido de nutrientes aprovechable es mayor.

¹¹ *Ibíd.*

Tabla IV. **Análisis bromatológico en plantas jóvenes y árboles de seis años de edad (porcentaje)**

Análisis bromatológico	Hojas y tallos jóvenes	Hojas y tallos desarrollados
Materia seca	66,86	34,90
Proteína	21,59	26,74
Extracto etéreo	3,73	3,80
Fibra cruda	13,63	3,06
Cenizas	9,83	10,63
Extracto no nitrogenado	51,13	45,79
Nutrientes digestibles totales	67,92	66,38
Energía digestible	2,99	2,93

Fuente: URÍAS GARAVITO. *Moringa oleífera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. sp.

Los frutos del árbol de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), son vainas de unos cincuenta centímetros de longitud y dos o tres centímetros de diámetros; de color verde cuando están tiernos y café verdoso cuando están sazones. En condiciones naturales, los frutos maduran, se secan, y se abren al ambiente dejando caer las semillas, que son llevadas por el viento hasta caer en tierra, donde con ayuda de la humedad y las condiciones climáticas germinan, como parte del ciclo de reproducción y propagación de la planta.

Figura 1. **Frutos de moringa oleífera**



Fuente: URÍAS GARAVITO. *Moringa oleífera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. sp.

Los niveles nutricionales en hojas de moringa revelan que, contienen 29 por ciento de proteína cruda, 19 por ciento de fibra cruda y que la degradabilidad de las proteínas es del 45 por ciento. Se observa un contenido de aminoácidos en las proteínas, tales como lisina, leucina, metionina y triptófano, contiene minerales entre ellos hierro, calcio, potasio, fósforo, magnesio, sodio, manganeso, zinc, cobre; así como el contenido de energía metabolizable, de alrededor de 9,5 megajulios por kilogramo.

Tabla V. Niveles nutricionales en hoja de moringa, base seca

Nutriente	%	Valores de referencia FAO
Proteína cruda	29,00	
Fibra cruda	19,00	
Degradabilidad de proteína	45,00	
Acido oleico semillas	70,00	
Proteína torta	60,00	
Digestibilidad de la mat. Orgánica	74,10	
Nitrógeno no proteico	4,70	
Aminoácidos	g/100 g de proteína	g/100 g de proteína
Lisina	6,61	5,8 FAO
Leucina	9,86	6,6 FAO
Metionina	2,06	2,5 FAO
Triptófano	2,13	ND
Minerales	g/kg de materia seca	
Hierro en hojas gr/kg ms	175/582	
Calcio	14/26	
Potasio	20,00	
Fosforo	1,30	
Magnesio	0,11	
Sodio	1,16/2,73	
Manganeso	47/114	
Zinc	13,5/24,2	
Cobre	7,1/11,02	
Vitaminas	g/kg de materia seca	
Vitamina C gr/Kg ms	9,67	
Energía metabolizable MJ/Kg	9,50	
Carotenoides totales mg/Kg ms	1,51	

Fuente: URÍAS GARAVITO. *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. sp.

Otros datos que revelan las propiedades de la moringa (*Moringa oleifera*, Lam), cuando se analizó polvo de hojas de moringa (harina), son el contenido de aminoácidos, entre ellos arginina, histidina, fenilalanina, metionina, treonina e isoleucina; variedad de vitaminas y minerales.

Tabla VI. **Análisis del polvo de las hojas de moringa (por cada 100 gramos comestibles)**

Contenido	Cantidad
Humedad (%)	7,50
Calorías	205,00
Proteínas (g)	27,10
Grasa (g)	2,30
Carbohidratos (g)	8,20
Fibra (g)	19,20
Calcio (mg)	2 003,00
Magnesio (mg)	368,00
Fósforo (mg)	204,00
Potasio (mg)	1324,00
Cobre (mg)	0,60
Hierro (mg)	8,20
Azufre (mg)	870,00
Aminoácidos	
Contenido	%
Arginina (g/16 g N)	1,33
Histidina (g/16 g N)	0,61
Triptófano (g/16 g N)	0,43
Lisina (g/16g N)	1,32

Continuación de la tabla VI.

Carbohidratos (g)	8,20
Fenilalanina (g/16 g N)	1,39
Metionina (g/16 g N)	0,35
Treonina (g/16 g N)	1,19
Leucina (g/16 g N)	1,95
Isoleucina (g/16 g N)	0,83
Vitaminas	
Contenido	Miligramos
Vitamina A, B caroteno	16,30
Vitamina B1, Tiamina	2,60
Vitamina B2, riboflavina	20,50
Vitamina B3, Ácido nicotínico	8,20
Vitamina C, Ácido Ascórbico	17,30
Vitamina E, Acetato Tocophero	113,00

Fuente: URIAS GARAVITO. Propiedades de moringa. *Análisis del polvo de las hojas de moringa. sp.*

2.2.3. Deshidratación

“Hay que tener en cuenta que las cifras de los análisis bromatológicos siempre se expresan en relación con la materia seca (MS). Si la proteína corresponde al 21 por ciento en MS del 89,66 por ciento, en forraje fresco la proteína será solamente del 18,83 por ciento. Si la fibra corresponde al 33,52 por ciento en MS, en forraje fresco será solamente del 30,05 por ciento”¹².

¹² URIAS GARAVITO. *Moringa oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. sp.*

2.2.4. Usos en alimentación humana

Frutos, o vainas verdes, inmaduros: se consumen cocidos. Las vainas tiernas son comestibles y se usan en sopa, o se preparan a manera de espárrago. Las raíces tienen sabor picante como el rábano rústico y se usan como condimento en lugar de éste, las semillas maduras se tuestan y consumen como nueces, siendo su sabor dulce, ligeramente amargo y agradable; las almendras son oleaginosas, las hojas se comen como verdura o ensalada¹³.

“Las flores cocinadas con huevo resultan un platillo exquisito, el uso del aceite con calidad similar al aceite de oliva, es empleado para el aliño de ensaladas (AGRODESIERTO, 2006). La actividad de coagulación de la leche por medio del extracto acuoso de las semillas, ha mostrado evidencias para sugerir que podría utilizarse para la preparación de quesos (Dalsot, 1985). Puede además utilizarse en la clarificación de la miel y jugo de caña de azúcar¹⁴.”

2.3. Producción de biomasa de las plantaciones de moringa

Entre sus características agronómicas se encuentran su rápido crecimiento, lo cual le permite alcanzar hasta 2 metros de altura a los 8 meses, una elevada resistencia a la sequía, favorable respuesta en suelos ácidos y alcalinos, elevada producción de biomasa y alta resistencia a la poda.

Al deshidratar el producto de cuarenta y cinco días, las hojas representaron un 63,03 por ciento y los tallos 36,97 por ciento del total de la biomasa producida.

¹³ CARIÑO, Conrad M. *Usos de la moringa*. sp.

¹⁴ *Ibíd.*

2.4. Requerimiento agronómico de la moringa

Generalmente florece una vez al año. Los frutos son cápsulas de color café lineares y de 3 lados con surcos longitudinales de 20 a 30 centímetros de largo y de 2 a 2,5 centímetros de ancho. Las semillas son de color pardo oscuro, globulares de 1 centímetro de diámetro con alas, y con una consistencia papiráceae.

Lo más adecuado es sembrar 1 000 000 semillas/hectárea para evitar la competencia, que pueda atrofiar el buen desarrollo de las plántula.

2.5. Maíz

El maíz (*Zea mays*, L) es un cereal que pertenece a la familia *Poaceae*. Se originó gracias a procesos de domesticación del teocintle, que llevaron a cabo habitantes de Mesoamérica.

2.5.1. Clasificación botánica

El maíz (*Zea mays*, L) alcanza generalmente de 2 a 4 metros de altura, raíz fibrosa, tallo cilíndrico, angostado y ligeramente aplanado en la extremidad, con entrenudos de unos 15 a 20 centímetros de largo, de superficie estriada longitudinalmente verde, lisa y brillante.

La clasificación botánica del maíz es la siguiente:

Tabla VII. **Taxonomía del maíz**

Reino	Planta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Genero	Zea
Especie	Mays

Fuente: Maíz. <http://www.ecured.cu/index.php/Ma%C3%ADz>. Consulta: 30 de octubre de 2012.

2.5.2. Características morfológicas

Es una planta monoica con las flores masculinas en la extremidad del tallo y las femeninas en diferentes nudos protegidos por las vainas. Las flores masculinas aparecen antes que las femeninas y por su manera de agruparse constituyen una inflorescencia que se considera un racimo de espigas.

“La planta del maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual”¹⁵. Se caracteriza por poseer tallos en forma de caña.

2.5.3. Valor nutricional

“La composición química del grano de maíz se ve afectada por el genotipo, medioambiente y condiciones de siembra. En promedio, el contenido

¹⁵ Maíz. <http://www.ecured.cu/index.php/Ma%C3%ADz>. Consulta: 30 de octubre de 2012.

de proteína es de 10 por ciento y más de 60 por ciento son prolaminas y se conocen como zeínas”¹⁶.

“Presentan muy bajo contenido de aminoácidos esenciales, como lisina, triptófano e isoleucina, lo que provoca que el valor biológico de la proteína sea bajo y de pobre calidad nutricional.”¹⁷.

Tabla VIII. **Valor nutricional de la semilla de maíz dulce por cada 100 gramos**

Energía 90 kcal 360 kJ	
Carbohidratos	19,0 g
Azúcares	3,2 g
Grasas	1,2 g
Proteínas	3,2 g
Vitamina A	10,0 µg (1%)
Tiamina (Vit. B1)	0,2 mg (15%)
Niacina (Vit. B3)	1,7 mg (11%)
Ácido fólico (Vit. B9)	46,0 µg (12%)
Vitamina C	7,0 mg (12%)
Hierro	0,5 mg (4%)
Magnesio	37,0 mg (10%)
Potasio	270,0 mg (6%)
% CDR diaria para adultos.	
Fuente: Base de datos de nutrientes de USDA.	

Fuente: Zea mays. http://es.wikipedia.org/?title=Zea_mays#cite_note-5. Consulta: 30 de octubre de 2012.

¹⁶ Maíz. <http://www.ecured.cu/index.php/Ma%C3%ADz>. Consulta: 30 de octubre de 2012.

¹⁷ Ibíd.

Múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética, del número relativamente elevado de variedades, en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas¹⁸.

2.5.3.1. Composición ponderal de las principales partes del grano de maíz

“Al endospermo, la parte de mayor tamaño, corresponde cerca del 83 por ciento del peso del grano, en tanto que el germen equivale por término medio al 11 por ciento y el pericarpio al 5 por ciento. El resto está constituido por la piloriza, estructura cónica que junto con el pedicelo une el grano a la espiga”¹⁹.

Tabla IX. **Distribución ponderal de las principales partes del grano de maíz**

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

En la tabla X, se muestra la distribución ponderal y del nitrógeno entre las partes anatómicas de variedades de granos comunes y seleccionados, como el maíz con elevado contenido de aceite y con elevado contenido de proteínas así

¹⁸ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

¹⁹ *Ibíd.*

como de tres variedades seleccionadas del cereal con proteínas de elevada calidad (MPC). La diferencia principal de la variedad con elevado contenido de aceite es el tamaño del germen, el cual es aproximadamente tres veces mayor que el del maíz común, con una disminución de peso del endospermo. El germen de las variedades con elevado contenido de proteínas es mayor que el de maíz común, pero su tamaño es aproximadamente la mitad del de las variedades con elevado contenido de aceite. También hay diferencias en el peso de las cubiertas seminales²⁰.

En el teosinte, el peso de sus semillas es mucho menor que el de las semillas de maíz y el endospermo pesa aproximadamente la mitad de la del maíz. Las tres selecciones de MPC son similares al maíz en peso por semilla y en peso de la cubierta seminal, el endospermo y el germen. En la tabla XI, se resumen los datos correspondientes a dos variedades comunes y a una de maíz opaco-2 como se menciona en Landry y Moureaux, 1980.

Las dos muestras de maíz común presentan las mismas características generales que las anteriormente mencionadas; ahora bien, el germen de la muestra de maíz opaco-2 es mayor y suministra más nitrógeno que el del MPC de la tabla X²¹.

²⁰ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

²¹ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

Tabla X. **Distribución ponderal y del nitrógeno entre las distintas partes del grano de maíz**

Muestra de maíz	Peso de 20 semillas (g)	Distribución ponderal (%)			Total N (%)	Distribución del nitrógeno (%)		
		Cubierta seminal ^a	Endospermo	Germen		Cubierta Seminal	Endospermo	Germen
EE.UU.4251	5,62	6,3	86,3	7,4	1,31	3,3	81,2	15,5
EE.UU. Contenido elevado de aceite (HO)	5,72	6,4	71,2	22,4	1,99	2,4	68,4	29,2
EE.UU. Contenido elevado de proteínas (H5)	4,32	6,9	82,7	10,4	2,24	2,2	83,2	14,6
EE.UU. Contenido elevado de proteínas (HP)	4,97	7,4	78,9	13,7	2,14	2,7	78,2	19,1
EE.UU. Normal-Sh1 PT	4,38	6,7	79,6	13,7	2,14	2,7	78,2	19,1
EE.UU. Normal mutante-Sh1 PT	2,50	10,7	70,6	18,7	2,21	6,1	64,6	29,3
Tiquisate (TGY)(Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8	75,2	22,0
San Sebastián (SSD) (Guatemala)	8,24	4,9	83,9	11,2	1,37	2,8	75,2	22,0
Guatemalteco 142-48	6,91	6,9	82,1	11,0	1,83	2,6	81,0	16,4
Guatemalteco Cuyuta	5,95	5,7	82,5	11,8	1,28	2,9	72,4	24,7
Teosinte guatemalteco	1,56	55,6 ^b	44,4	—	1,81 ^a	8,2	91,8 ^d	—
MPC Nutricia	5,91	5,7	82,7	11,6	1,42	1,7	72,8	25,5
MPC amarillo	6,49	5,9	81,6	12,5	1,48	2,4	73,4	24,2
MPC blanco	5,31	5,9	82,4	11,6	1,36	1,4	72,8	25,7

^aComprende el pericarpio y la piloriza.

^bComprende la cubierta seminal (13 por ciento) y la cáscara (54.3 por ciento).

^cLa cáscara contenía 0,26 por ciento de nitrógeno. El teosinte descascarado contenía 3,81 por ciento de nitrógeno.

^dComprende el germen.

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

Tabla XI. **Distribución del peso y del nitrógeno de partes de granos de maíz común y opaco-2**

Parte del grano	Materia seca (%)			Nitrógeno (%)		
	Normal	Normal	Opaco-2	Normal	Normal	Opaco-2
Germen	13,5	8,1	35	20,1	14,9	35,1
Endospermo	80,0	84,0	61	76,5	80,5	60,7
Cubierta seminal	6,5	7,9	4	3,4	4,6	4,2

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

2.5.3.2. Composición química de las partes del grano de maíz

“Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) como se menciona en Burga y Duensing, 1989. El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo²².”

Tabla XII. **Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (porcentaje)**

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,70	8,00	18,4
Extracto etéreo	1,00	0,80	33,2
Fibra cruda	86,70	2,70	8,8
Cenizas	0,80	0,30	10,5
Almidón	7,30	87,60	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

El germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado

²² FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Según la distribución del nitrógeno en el grano de maíz, el endospermo aporta la mayor parte, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta sólo cantidades reducidas; mientras que en el teosinte cerca del 92 por ciento de las proteínas proceden del endospermo²³.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. Hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas²⁴.

“El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Bressani et al., 1990; Wéber, 1987)”²⁵.

2.5.3.3. Composición química general del maíz

En la tabla XIII se muestra la composición química de distintos tipos de maíz. La variabilidad observada es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara de los granos²⁶.

²³ FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

²⁴ *Ibíd.*

²⁵ *Ibíd.*

²⁶ *Ibíd.*

Tabla XIII. **Composición química general de distintos tipos de maíz (porcentaje)**

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbón
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristalino	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Harinoso	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amiláceo	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Dulce	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Reventador	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66,0
Negro	12,3	1,2	5,2	1,0	4,4	75,9

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

La calidad superior de las proteínas del germen en comparación con las del endospermo de diversas muestras de maíz se pone de manifiesto en la tabla XIV, en el que se compara la calidad de ambas partes, en forma de porcentajes de la proteína de referencia, en este caso, caseína.

Las variedades del cereal estudiadas comprenden: tres de maíz común y una de maíz con proteínas de elevada calidad (MPC). En todos los casos, la calidad de las proteínas del germen es muy elevada en comparación con la de las del endospermo y aparentemente superior a la calidad proteínica del grano entero. La calidad de las proteínas del endospermo es inferior a la del grano entero, a causa de la mayor aportación de proteínas del germen. Los datos muestran también una diferencia menor de calidad de las proteínas del germen y del endospermo en la variedad del MPC.

Además, el endospermo del MPC y la calidad del grano entero son notablemente superiores a la calidad del endospermo y del grano entero de las

otras muestras. Estos datos son también importantes para las modalidades de elaboración del maíz para el consumo y por sus consecuencias para el estado nutricional de los consumidores. La calidad superior del endospermo del MPC también tiene importancia para las poblaciones que consumen maíz degerminado²⁷.

Tabla XIV. **Proteínas netas del grano entero, germen y el endospermo de variedades de maíz guatemalteco**

Muestra	Amarillo	Azotea	Cuarenteño	Opaco-2
Grano entero	42,5	44,3	65,4	81,4
Germen	65,7	80,4	90,6	85,0
Endospermo	40,9	42,0	46,4	77,0

En porcentaje de caseína al 100%.

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

2.5.3.4. Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 por ciento del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 por ciento del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 por ciento del almidón.

El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 por ciento del almidón. La

²⁷ FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina.

Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 por ciento y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer y Shannon, 1987)²⁸.

2.5.3.5. Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18 por ciento del total de nitrógeno, con proporciones del 7 por ciento, 5 por ciento y 6 por ciento, respectivamente.

La fracción de prolamina soluble en isopropanol al 55 por ciento y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52 por ciento del nitrógeno

²⁸ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

del grano; de éstas la prolamina I o zeína I soluble en isopropanol al 55 por ciento representa aproximadamente el 42 por ciento, y el restante 10 por ciento es prolamina 2 o zeína 2.

Una solución alcalina con pH 10 y con 0,6 por ciento de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8 por ciento, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0,5 por ciento, en cantidades del 17 por ciento dando un contenido total de globulina del 25 por ciento de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5 por ciento, está constituida por nitrógeno residual²⁹.

En la tabla XV, se resumen los datos de Ortega, Villegas y Vasal (1986) sobre el fraccionamiento de las proteínas de un maíz común (Tuxpeño-1) y un MPC (Blanco dentado- I), las fracciones II y III son zeína I y zeína II, de las que la zeína I (fracción II) es considerablemente superior en la variedad Tuxpeño- 1 en comparación con la MPC, resultado que coincide con los de otros investigadores. Las cantidades de proteínas solubles en alcohol son bajas en el maíz verde y aumentan a medida que el grano madura. Analizadas dichas fracciones para averiguar su contenido de aminoácidos, la fracción de zeína resultó tener un contenido muy bajo de lisina y carecer de triptófano. Como esas fracciones de zeína constituyen más del 50 por ciento de las proteínas del grano, se desprende que ambos aminoácidos tienen también un porcentaje bajo de proteínas. En cambio las fracciones de albúmina, globulina y glutelina contienen niveles relativamente elevados de lisina y triptófano. Otra característica importante de las fracciones de zeína es su elevadísimo

²⁹ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

contenido de leucina, aminoácido relacionado con la deficiencia de isoleucina (Patterson et al., 1980)³⁰.

El MPC se diferencia del maíz común por la distribución ponderal de las cinco fracciones de proteína mencionadas anteriormente, como se ve la tabla XV. La amplitud del cambio varía y en ella influyen el genotipo y las condiciones de cultivo. Ahora bien, se ha determinado que el gen opaco-2 disminuye la concentración de zeína en cerca del 30 por ciento, por lo que el contenido de lisina y triptófano es mayor en las variedades de MPC que en el maíz común³¹.

Tabla XV. **Distribución de las fracciones de proteína en las variedades blanco dentado-1 MPC y Tuxpeño-1 (grano entero)**

Fracción de proteína	Blanco Dentado-1 MPC		Tuxpeño-1	
	(mg)	(%)	(mg)	(%)
I	6,65	31,5	3,21	16,0
II	1,25	5,9	6,18	30,8
III	1,98	9,4	2,74	13,7
IV	3,72	17,6	2,39	12,0
V	5,74	27,2	4,08	20,4
Residuos	1,76	8,3	1,44	7,1

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

2.5.3.6. Aceite y ácidos grasos

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18 por ciento. La

³⁰ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

³¹ *Ibíd*

composición media de ácidos grasos del aceite de variedades seleccionadas de Guatemala se indica en la tabla XVI³².

Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 por ciento y el 2 por ciento, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 por ciento. Sólo se han encontrado cantidades reducidísimas de ácidos linolénico y araquidónico³³.

Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0,7 por ciento) y niveles elevados de antioxidantes naturales. El aceite de maíz goza de gran reputación a causa de la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácidos oleicos y linoleico. A ese respecto, quienes consumen maíz degerminado obtienen menos aceite y ácidos grasos que quienes consumen el grano entero³⁴.

Tabla XVI. **Contenido de ácidos grasos del aceite de diversavarietades de maíz guatemalteco y MPC Nutricia (porcentaje)**

Variedad le maíz	C16:0 Palmítico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico	C18:3 Linolénico
MPC Nutricia	15,71	3,12	36,45	43,83	0,42
Azotea	12,89	2,62	35,63	48,85	—
Xetzac	11,75	3,54	40,07	44,65	—

³² FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

³³ *Ibíd.*

³⁴ *Ibíd.*

Continuación de la tabla XVI.

Blanco tropical	15,49	2,40	34,64	47,47	—
Santa Apolonia	11,45	3,12	38,02	47,44	—

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

2.5.3.7. Fibra dietética

“Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores”³⁵.

Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen³⁶.

El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se indica en la tabla XVII. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble, aunque el MPC Nutricia tiene niveles más elevados de fibra total que el maíz común, fundamentalmente por tener más fibra insoluble³⁷.

³⁵ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

³⁶ *Ibíd.*

³⁷ *Ibíd.*

Tabla XVII. **Fibra soluble e insoluble del maíz común y del MPC (porcentaje)**

Tipo de maíz	Fibra dietética		
	Insoluble	Soluble	Total
De sierra	10,94 ± 1,26	1,25 ± 0,41	12,19 ± 1,30
De tierras bajas	11,15 ± 1,08	1,64 ± 0,73	12,80 ± 1,47
MPC Nutricia	13,77	1,14	14,91

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

En la tabla XVIII, se muestran los valores de fibra expresados en forma de fibra ácido y neutro detergente, hemicelulosa y lignina en el maíz completo. Los valores indicados en la tabla, son similares a los determinados por Sandstead et al. (1978) y Van Soest, Fadel y Sniffen (1979). Sandstead et al. Hallaron que el salvado de maíz está formado por un 75 por ciento de hemicelulosa, un 25 por ciento de celulosa y 0,1 por ciento de lignina, en peso en seco. El contenido de fibra dietética de los granos descascarados será evidentemente menor que el de los granos enteros³⁸.

Tabla XVIII. **Fibra neutra (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz (porcentaje)**

Muestra de maíz N ^a	FND	FAD	Hemicelulosa	Lignina	Paredes celulares
1	8,21	3,23	4,98	0,14	9,1
2	10,84	2,79	8,05	0,12	10,8
3	9,33	3,08	6,25	0,13	12,0
4	11,40	2,17	9,23	0,12	13,1
5	14,17	2,68	11,44	0,14	14,2
Promedio	10,79 ± 2,27	2,79 ± 0,44	8,00 ± 2,54	0,13 ± 0,01	11,8 ± 2,0

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

³⁸ FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

2.5.3.8. Otros hidratos de carbono

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre 1 y 3 por ciento, y la sucrosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Doce días después de la polinización, el contenido de azúcar es relativamente elevado, mientras que el de almidón es bajo. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón³⁹.

Así, por ejemplo se ha determinado que, en granos de 16 días de vida, los azúcares alcanzan un nivel del 9,4 por ciento del peso en seco del grano, pero que su nivel disminuye considerablemente con el paso del tiempo. La concentración de sucrosa a los 15-18 días de la polinización asciende a una cantidad situada entre el 4 y el 8 por ciento del peso en seco del grano⁴⁰.

2.5.3.9. Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1,3 por ciento, solo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El contenido de minerales de algunas muestras de Guatemala se indica en la Tabla XIX. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido⁴¹.

³⁹ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁴⁰ *Ibíd.*

⁴¹ *Ibíd.*

Tabla XIX. **Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras)**

Mineral	Concentración (mg/100 g)
P	299,6 ± 57,8
K	324,8 ± 33,9
Ca	48,3 ± 12,3
Mg	107,9 ± 9,4
Na	59,2 ± 4,1
Fe	4,8 ± 1,9
Cu	1,3 ± 0,2
Mn	1,0 ± 0,2
Zn	4,6 ± 1,2

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11 por ciento, frente a menos del 1 por ciento en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78 por ciento de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0,90 por ciento en el maíz común y cerca del 0,92 por ciento en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos⁴².

⁴² FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

2.5.3.10. Vitaminas liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen.

El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada, pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. Squibb, Bressani y Scrimshaw (1957) determinaron que el beta-caroteno equivalía aproximadamente al 22 por ciento del total de carotenoides (ó 4-11,3 $\mu\text{g/g}$) de tres muestras de maíz amarillo. El contenido de criptoxantina equivalía al 51 por ciento del total de carotenoides.

La proporción de vitamina A variaba de 1,5 a 2,6 $\mu\text{g/g}$. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; Watson (1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4,8 mg/kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1,0 mg/kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A⁴³. La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el tocoferol-alfa; aunque el tocoferol-gamma es probablemente más activo como antioxidante⁴⁴.

⁴³ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁴⁴ *Ibíd.*

2.5.3.11. Vitaminas hidrosolubles

“Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal pues, como se expondrá más adelante, la elaboración da lugar a pérdidas considerables de vitaminas”⁴⁵.

“Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, o pelagra, fenómeno muy difundido en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz (Christianson et al., 1968)”⁴⁶.

“Al igual que sucede con otras vitaminas, el contenido de niacina es distinto según las variedades, con valores medios de aproximadamente 20 µg/g. Una característica propia de la niacina es que está ligada y por lo tanto, el organismo animal no la puede asimilar; sin embargo existen algunas técnicas de elaboración que hidrolizan la niacina, permitiendo su asimilación. La asociación de la ingesta de maíz con la pelagra se debe a los bajos niveles de niacina del grano, aunque se ha demostrado experimentalmente que también son importantes los desequilibrios de aminoácidos, por ejemplo la proporción entre la leucina y la isoleucina, y la cantidad de triptófano asimilable (Gopalan y Rao, 1975; Patterson et al., 1980)”⁴⁷.

⁴⁵ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁴⁶ *Ibíd.*

⁴⁷ *Ibíd.*

“El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades -en caso de que las haya- de ácido ascórbico. Yen, Jensen y Baker (1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2,69 mg/kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñísimas”⁴⁸.

2.5.3.12. Cambios en la composición química y el valor nutritivo durante el desarrollo del grano

“Durante la maduración del maíz se modifica considerablemente la composición química. Todos los estudios al respecto (p. ej., Ingle, Bietz y Hageman, 1965) han puesto de manifiesto que disminuyen el nitrógeno, la fibra cruda y la ceniza, con respecto al peso en seco, y que aumentan el almidón y el extracto etéreo”⁴⁹.

Las proteínas solubles en alcohol aumentan velozmente a medida que madura el grano, al tiempo que disminuyen las solubles en soluciones ácidas y alcalinas. Durante este proceso bioquímico, aumentan la arginina, la isoleucina, la leucina y la fenilalanina, expresadas en mg por g de N, mientras que en el curso de la maduración disminuyen la lisina, la metionina y el triptófano. Gómez-Brenes, Elías y Bressani (1968) han demostrado además que disminuye la calidad de las proteínas, entendiendo por tal el índice de eficiencia proteínica (PER). Por tanto, se debería fomentar el empleo del maíz verde en la fase de destete o para la nutrición infantil⁵⁰.

⁴⁸ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁴⁹ *Ibíd.*

⁵⁰ *Ibíd.*

2.5.3.13. Valor nutritivo del maíz

Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales, sobre todo lisina. Un hecho mucho menos conocido es que algunos cereales contienen un exceso de ciertos aminoácidos esenciales que influye en la eficiencia de la asimilación de las proteínas. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales, pero menos evidentes⁵¹.

En la tabla XX, se compara el valor nutritivo o calidad de las proteínas del maíz con la de ocho cereales, expresado en porcentajes de caseína. A excepción del arroz, la riqueza de proteínas del maíz común es similar a la de los demás cereales. Tanto el maíz opaco-2 como el MPC de endospermo duro (Nutricia), tienen un contenido de proteínas no solamente superior al del maíz común, sino también considerablemente superior al de los demás cereales⁵².

Tabla XX. **Calidad de las proteínas del maíz y otros cereales**

Cereal	Calidad de las proteínas (% de caseína)
Maíz común	32,1
Maíz opaco-2	96,8
MPC	82,1
Arroz	79,3
Trigo	38,7
Avena	59,0
Sorgo	32,5
Cebada	58,0
Mijo perla	46,4
Mijo africano o coracán	35,7
Tef	56,2
Centeno	64,8

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

⁵¹ FAO. *El maíz en la nutrición humana. sp.*

⁵² *Ibíd.*

“Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8 por ciento con un 0,25 por ciento de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores como se menciona en Howe. Janson y Gilfillan, 1965, en tanto que otros así como Bressani, Elías y Braham, 1968 han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo mejora levemente la calidad de las proteínas”⁵³.

Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las variedades de maíz. Los estudios al respecto llevaron al descubrimiento por parte de Mertz, Bates y Nelson (1964) del maíz con elevado contenido de lisina denominado opaco-2⁵⁴. Según algunos investigadores (Hagan et al., 1955), es el triptófano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina o para productos de maíz que hayan sido sometidos a algún tipo de elaboración.

Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptófano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales⁵⁵. La mejora de calidad obtenida a raíz de la adición de lisina y triptófano ha sido pequeña en algunos estudios y más elevada en otros, tras la adición de otros aminoácidos. Al parecer, el aminoácido limitante de las proteínas de más importancia, después de la lisina y del triptófano, es la isoleucina, según se ha determinado en experimentos de alimentación animal (Benton, Harper y Elvehjem, 1955).

⁵³ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁵⁴ *Ibíd.*

⁵⁵ *Ibíd.*

“La mayoría de los investigadores que han indicado esos resultados señalan que el efecto de la adición de isoleucina se debe a un exceso de leucina que obstaculiza la absorción y la utilización de la isoleucina (Harper, Benton y Elvehjem, 1955; Benton et al., 1956). Se ha informado que la elevada ingesta de leucina consumida con las proteínas del maíz aumenta las necesidades de niacina y que este aminoácido podría ser, parcialmente, el causante de la pelagra”⁵⁶.

Cuando se ha observado una respuesta a la adición de treonina, se ha interpretado como un efecto de este aminoácido para corregir los desequilibrios de aminoácidos ocasionados por la adición de metionina. Cabe atribuir una función similar a la isoleucina en los casos en que su adición ha dado lugar a una mejora de los resultados. De igual modo, la adición de valina, que hace disminuir la calidad de las proteínas, se puede contrarrestar añadiendo isoleucina o treonina⁵⁷.

“La isoleucina parece ser, en cualquier caso, más eficaz que la treonina, pues produce resultados más coherentes, los que quizá se deban a que el maíz no es deficiente ni en isoleucina ni en treonina; sin embargo, algunas muestras pueden contener cantidades mayores de leucina, metionina y valina, y necesitan que se les agregue isoleucina y treonina, además de lisina y triptófano, para mejorar la calidad de las proteínas. Sea como fuere, la adición de 0,30 por ciento de L-lisina y de 0,10 por ciento de L-triptófano aumenta fácilmente la calidad de las proteínas del maíz en un 150 por ciento (Bressani, Elías y Braham, 1968)”⁵⁸.

⁵⁶ FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁵⁷ *Ibíd.*

⁵⁸ *Ibíd.*

Muchos de los efectos de los aminoácidos limitantes sobre las proteínas del maíz varían según el nivel de proteínas del maíz. Como se indicó anteriormente, el contenido de proteínas del maíz es un rasgo genético en el que influye el abono nitrogenado. El aumento del contenido de proteínas observado guarda estrecha correlación con la zeína, o proteína soluble en alcohol, que es baja en lisina y triptófano y contiene cantidades excesivas de leucina. Frey (1951) halló una correlación elevada entre el contenido de proteínas y la zeína del maíz, hecho que han confirmado otros autores⁵⁹.

Utilizando distintas especies animales, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que la calidad de las proteínas del maíz con bajo contenido de proteínas es superior a la del maíz con alto contenido, si las proteínas de las dietas examinadas son las mismas; por otro lado, comparando pesos iguales, el maíz con elevado contenido de proteínas tiene una calidad de éstas ligeramente superior a la del maíz con bajo contenido de proteínas. En consecuencia, el nivel de proteínas de la dieta influye en la respuesta observada a una dieta suplementada con aminoácidos como lisina y triptófano, pero también a dietas complementadas con otros elementos, como isoleucina y treonina⁶⁰.

2.6. Contenido de aminoácidos de la moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y del maíz (*Zea mays*, L)

Según Karol Sanchinelli las hojas flores y tallos de la moringa, que constituyen las partes comestibles de la planta, contienen los siguientes aminoácidos: fenilamina, tirosina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, valina, ácido aspártico y cisteína, ácido glutámico y glutamina, serina,

⁶⁰FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

glicina y alanina. Con la única excepción de la metionina que no pudo ser cuantificada en los tallos. Además según la metodología propuesta no se pudo determinar triptófano, sin embargo se sabe que la moringa si contiene este aminoácido⁶¹.

Tabla XXI. **Contenido de aminoácidos (mg/100 g) en hojas, flores y tallos de *M. oleífera* Guatemala, 2002**

Aminoácidos	Hojas		Flores	Tallos
	Deshidratadas	Frescas	Frescas	Frescos
Fenilamina *	936	182	67	35
Tirosina*	942	183	57	25
Histidina*	720	140	45	17
Isoleucina*	1096	214	93	29
Leucina*	1384	270	122	37
Lisina*	98	20	81	45
Metionina*	462	90	23	NC
Treonina*	1112	216	78	11
Valina*	1328	258	47	13
Ácido Aspártico + Cisteína	3352	652	214	85
Ácido Glutámico + Glutamina	4462	868	274	85
Serina	550	107	98	25
Glicina	1200	234	68	20
Alanina	1140	222	96	46

* Aminoácido esencial
NC = no cuantificado

Fuente: , Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) SANCHINELLI PEZZAROSSO cultivada en Guatemala.* p. 34.

Para calcular el contenido de aminoácidos en miligramos por gramos de proteína se debe conocer el contenido de proteína cruda de la moringa. A continuación se presenta el contenido de humedad y proteína cruda para las partes comestibles de la moringa.

⁶¹ SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala.* Pág. 34.

Tabla XXII. **Contenido de humedad y proteína cruda de hojas, tallos y flores de *M. oleífera* Guatemala, 2002**

Parte comestible	g/100 g de alimento	
	Humedad	Proteína
Hojas		
Base fresca	80,56	4,62
Base deshidratada	6,55	23,81
Flores (base fresca)	85,25	2,44
Tallos (base fresca)	82,61	1,30

Fuente: SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala.* p. 33.

En la siguiente tabla se muestra el contenido de aminoácidos en miligramos por cien gramos de proteínas de la moringa, datos para la moringa en Guatemala, en el 2002.

Tabla XXIII. **Contenido de aminoácidos (mg/g de proteína) en hojas, flores y tallos de *M. oleífera* Guatemala, 2002**

Aminoácidos	Hojas	Flores	Tallos
Fenilalanina	39,3	27,5	26,9
Tirosina	39,6	23,4	19,2
Histidina	30,2	18,4	13,1
Isoleucina	46,0	38,1	22,3
Leucina	58,1	50,0	28,5
Lisina	4,1	33,2	34,6

Continuación de la tabla XXIII.

Metionina	19,4	9,4	NC
Treonina	46,8	32,0	8,5
Valina	55,8	19,3	10,0
Ácido Aspártico+ Cisteína	140,8	87,7	65,4
Ácido Glutámico+ Glutamina	187,4	112,3	94,6
Serina	23,1	40,2	19,2
Glicina	50,4	27,9	15,4
Alanina	47,9	39,3	35,5

Fuente: SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala.* p. 36.

A continuación se presenta el contenido de aminoácidos de la moringa, dados por Foild N., et al., Beacker., et al., y Fuglie.

Tabla XXIV. **Composición de aminoácidos de *M. oleífera***

Aminoácidos	Proteína de la FAO, niños de 2-5 años (g/16 g N) a	Contenido de aminoácidos de la moringa, reportados por diversas fuentes g/16 g N										
		Extracto de hojas			Materia seca			Hojas no extraídas			Hojas	Polvo de hojas (g/Kg)
		a	b		a	b		b				
											c	c
Lisina	5,80	6,40	6,61	23,00	26,77	5,60	14,06	4,30	13,20			
Leucina	6,60	9,00	9,86	32,40	42,89	8,70	21,84	9,30	19,50			
Isoleucina	2,80	4,70	5,18	16,90	22,53	4,50	11,30	6,30	8,30			
Metionina	2,50	1,50	2,06	5,30	8,96	1,98	4,97	2,00	3,50			
Cystina	2,50	0,50	1,19	1,90	5,18	1,35	3,39	-	-			
Fenilalanina	6,30	6,00	6,24	21,40	27,14	6,18	15,51	6,40	13,90			
Tirosina	6,30	4,10	4,34	14,80	18,88	3,87	9,71	-	-			
Valina	3,50	5,40	6,34	19,40	27,58	5,68	14,26	7,10	10,60			
Histidina	1,90	2,10	3,12	8,60	13,57	2,99	7,50	2,10	6,10			
Treonina	3,40	4,50	5,05	16,30	21,97	4,66	11,70	4,90	11,90			
Serina	-	4,60	4,78	15,70	20,79	4,12	10,34	-	-			
A. Glutámico	-	12,00	11,69	43,20	50,85	10,22	25,65	-	-			
A. Aspártico	-	9,20	10,60	333,10	46,11	8,83	22,16	-	-			
Prolina	-	4,60	5,92	16,50	25,75	5,43	13,63	-	-			
Glicina	-	4,60	6,12	16,70	26,62	5,47	13,73	-	-			
Alanina	-	5,30	6,59	29,20	28,67	7,32	18,37	-	-			
Arginina	1,10	6,00	6,96	21,60	30,28	6,23	15,64	6,00	13,30			
Triptófano	-	0,60	62,13	2,30	9,26	2,10	5,27	1,90	4,30			

a = FOILD.N., SUCHER & HOLZER. UNI. 2001. Nicaragua. biomasa@ibw.com.ni

b = BECKER.et.al.biomasa@ibw.com.ni

c = FUGLIE.L.J. 1999. The miracle Tree: Moringa oleifera, Natural Nutrition for Tropics. Church WorldService.Dakar, Senegal.

Fuente: SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala.* p. 62.

Tabla XXV.

Contenido de aminoácidos del maíz y del teosinte (porcentaje)

Aminoácidos	Guatemalteco				EE. UU				Teosinte	MPC duro	MPC blando	Modelo FAO/OMS
	Cuyuta (blanco)	SSD (blanco)	TGY (amarillo)	142-48 (amarillo)	4251 (hibrido)	HO (blanco)	H5 (amarillo)	HP (blanco)				
(Nitrógeno)	1,28	1,37	1,57	1,83	1,31	1,99	2,24	2,91	3,81b	1,74 ^c	1,71 ^d	-
Acido aspártico	6,50	5,80	6,10	6,00	6,20	6,00	6,80	6,10	5,30	8,70	8,90	-
Acido glutámico	15,40	14,00	13,50	15,00	14,60	13,90	12,40	12,80	19,90	19,80	19,20	-
Alanina	7,50 ^a	12,50	10,30	8,60	8,90	6,40	10,80	9,90	8,50	-	-	-
Arginina	3,50	3,60	4,10	2,90	3,90	4,60	3,60	3,90	2,90	6,30	6,70	-
Cistina	1,40	1,40	1,40	1,60	1,60	1,50	1,20	1,40	1,10	2,20	1,90	-
Glicina	3,10	2,80	2,90	2,60	3,30	3,40	2,60	2,80	2,20	4,60	4,60	-
Histidina	2,10	2,00	2,20	2,10	2,80	2,30	2,00	2,20	1,90	3,70	3,60	-
Isoleucina	2,60	2,70	3,40	3,00	3,30	3,50	3,70	4,00	4,70	3,50	3,50	4,00
Leucina	10,50	12,00	12,20	13,40	12,20	7,80	13,60	15,20	16,80	9,10	8,70	7,00
Lisina	2,80	2,10	2,60	2,30	2,90	3,20	2,10	2,00	1,30	4,50	4,40	5,40
Metionina	1,30	1,20	1,00	1,00	1,60	1,20	1,70	1,10	1,20	1,70	1,80	3,50C
Prolina	8,10	7,40	6,60	9,60	10,30	9,30	8,30	6,80	9,60	8,40	8,10	-
Serina	4,50	4,20	4,60	4,50	4,60	4,80	5,00	5,50	5,20	4,30	4,50	-
Tirosina	2,90	3,00	3,00	3,30	3,40	3,50	3,60	4,10	4,40	3,70	3,70	-
Treonina	3,10	2,90	3,10	3,00	3,30	3,20	3,10	3,30	3,00	3,60	3,70	4,00
Triptofano	0,63	0,470	0,51	0,44	0,49	0,56	0,43	0,44	0,38	0,90	1,00	1,40
Valina	4,10	4,10	4,30	4,00	4,60	2,10	4,30	4,60	4,80	5,40	5,30	5,00

HO: maíz con elevado contenido de aceite.
H5: maíz con elevado contenido de proteínas.
a Porcentaje de proteínas crudas (N x 6,25), g/16 g N.

b Descascarado.
c Total de aminoácidos azufrados.
d Total de aminoácidos aromáticos.

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

El contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. En la tabla XVII, los aminoácidos esenciales se expresan en forma de porcentaje de mg por peso y

de mg por g de N. Si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano.

El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano (véase la tabla XVII, donde también figura el modelo de referencia de aminoácidos esenciales PAO/OMS). La deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1971)⁶².

Tabla XXVI. **Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz**

Aminoácido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a1, 26 por ciento de N.
^b2, 32 por ciento de N

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp.

⁶² FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp

La comparación de aminoácidos esenciales del maíz (*Zea mays*, L) y los de la moringa (*Moringa oleífera*, Lam), muestra que los aminoácidos que no contiene el maíz como el caso de la arginina y la histidina, la moringa si los contiene.

Tabla XXVII. **Comparación de aminoácidos esenciales reportados, con el contenido de aminoácido del maíz y la moringa**

Aminoácidos esenciales	Aminoácidos del maíz	mg/100 g	Aminoácidos de la moringa	mg/100 g deshidratada
Arginina (Arg)			Arginina	1330
Fenilalanina (Phe)	Fenilalanina	600	Fenilalanina	936
Histidina (His)			Histidina	720
Isoleucina (Ile)	Isoleucina	250	Isoleucina	1096
Leucina (Leu)	Leucina	440	Leucina	1950
Lisina (Lys)	Lisina	340	Lisina	98
Metionina (Met)	Metionina		Metionina	462
Treonina (Thr)	Treonina	250	Treonina	1112
Triptófano (Try)	Triptófano	60	Triptófano	430
Valina (Val)	Valina	310	Valina	1328
	Tirosina	380	Tirosina	942
			Cisteína	3352
			Glutamina	4462
			Serina	550
			Glicina	1200
			Alanina	1140
			Aspartato (Asp)	2216
			Glutamato (Glu)	2565
			Prolina	1363
■ Esenciales				

Fuente: FAO. *El maíz en la nutrición humana*. sp. Y SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala*. p. 62.

2.6.1. Aminoácidos esenciales

“Los aminoácidos esenciales son aquellos que el propio organismo no puede sintetizar por sí mismo. Esto implica que la única fuente de estos aminoácidos en esos organismos es la ingesta directa a través de la dieta”⁶³.

Tabla XXVIII. **Aminoácidos esenciales y no esenciales en humanos**

Esenciales	No esenciales
Fenilalanina	Alanina
Histidina	Tirosina*
Isoleucina	Asparagina*
Leucina	Aspartato
Lisina	Cisteína*
Metionina	Glicina*
Arginina*	Glutamato
Treonina	Glutamina*
Triptófano	Prolina*
Valina	Serina*
 <p>Esenciales Esenciales Condicionales No Esenciales</p>	
(*) Esencial solo en determinadas condiciones.	

Fuente: Instituto Nacional de la Salud. *Proteína en la dieta*.

2.6.2. Deficiencia de aminoácidos esenciales

Los aminoácidos que son esenciales en la dieta humana fueron establecidos en una serie de experimentos liderados por William Cumming Rose. Estos experimentos involucraron dietas elementales a estudiantes graduados saludables. Estas dietas consistieron en almidón de maíz, sacarosa, mantequilla sin proteína, aceite de maíz, sales inorgánicas, las vitaminas

⁶³ Aminoácidos esenciales. http://es.wikipedia.org/wiki/Amino%C3%A1cidos_esenciales. Consulta: 22 de octubre de 2012.

conocidas, un “caramelo” hecho con extracto de hígado saborizado con aceite de menta (para suplir una deficiencia de cualquier vitamina desconocida), y mezclas de aminoácidos individuales altamente purificados. El Dr. Rose notó síntomas de nerviosismo, fatiga y mareos en mayor o menor grado cuando los sujetos eran privados de un aminoácido esencial⁶⁴. La deficiencia de aminoácidos esenciales debe ser distinguida de la malnutrición por deficiencia de proteínas, la cual puede manifestarse como marasmo o síndrome de kwashiorkor⁶⁵.

2.7. El secado como operación unitaria de ingeniería química

El objetivo del secado es reducir el contenido de humedad a un nivel adecuado para el almacenamiento. Cuanto más bajo es el contenido de humedad y temperatura, el grano puede ser almacenado por más tiempo.

El secado es una técnica muy antigua de hace 15 000 años o más, que se ha desarrollado más como un “arte” que como ciencia.

2.7.1. Definición

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

⁶⁴ Aminoácidos esenciales. http://es.wikipedia.org/wiki/Amino%C3%A1cidos_esenciales.
Consulta: 22 de octubre de 2012.

⁶⁵ *Ibíd.*

2.7.2. Objetivos que se persiguen con el secado

La semilla cosechada no debe contener excesiva humedad, pues esta ejerce una influencia decisiva sobre el almacenamiento de la misma. Con un contenido demasiado alto de humedad se calentará y se deteriorará, por esta razón hay que secar la semilla inmediatamente después de haber sido cosechada.

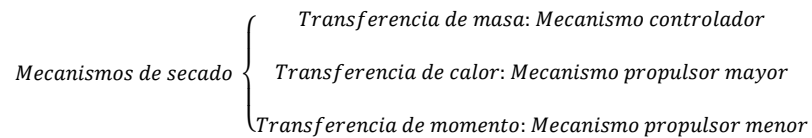
- Preservación biológica de un material generalmente vivo. Por lo general con eliminación de agua del material, lo cual disminuye el contenido microbiano del mismo.
- Reducir el peso de un material, mejorando el manejo. Típicamente se reduce el peso de 3 a 1 unidad.
- Concentrar los principios activos de un material.
- Reducir volumen de un material, mejorando el manejo del mismo. Típicamente se reduce el volumen de 1,5 a 1 unidad.
- Necesidad específica del proceso, que por lo general depende de la cultura que genera ciertos requerimientos de los productos para el consumidor.

2.7.3. Fenómenos involucrados

El secado es un proceso de transferencia en el cual la humedad es removida y absorbida de la superficie de la semilla en forma de vapor por el aire que la rodea.

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

Figura 2. **Mecanismos de secado**



Fuente: elaboración propia, basado en GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*.

2.7.4. Factores físicos involucrados

La temperatura ideal del secado de la semilla varía dependiendo de la humedad del grano y condiciones ambientales. Mientras más alto es el contenido de humedad, más alta es la susceptibilidad de la semilla al secarse.

- Sólido
- Agua contenida en el sólido
- Medio (coadyuvante gaseoso generalmente aire)

2.7.5. Factores controlantes

Para que la semilla del maíz (*Zea mays*, L) no sea dañada durante el proceso, es recomendable secarlas a temperaturas menores a 40 grados Celsius.

- Tamaño de partícula
- Temperatura de bulbo seco del medio
- Presión del medio
- Humedad del medio

- Leyes de secado
- Configuración de las partículas del medio
- Velocidad del medio

2.7.6. Donde se lleva a cabo el secado

El secado se lleva a cabo en equipos especializados llamados secadores, los cuales deben ser adaptables al producto, deben optimizar la producción, no deben ser muy caros y de alto rendimiento energético y económico.

2.7.7. Secadores

Existen diversos métodos para reducir el contenido de humedad de la semilla. Unos se adaptan mejor que otros y a las necesidades específicas ya sean económicas o técnicas.

Los secadores son equipos utilizados en el proceso de secado, pueden haber de varias clases, en forma general se clasifican en directos e indirectos.

2.7.7.1. Secadores directos

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

Calientan el medio y este calienta el sólido lo realiza básicamente por medios convectivos.

2.7.7.2. Secadores indirectos

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

Calienta al sólido, no al medio, pueden ser conductivos o radioactivos.

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

2.7.7.3. Secador de túnel rotatorio

En este secador los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente gaseosa que se mueve lentamente, con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas del gas.

2.7.7.4. Secador de bandeja

En este secador el gas circula sobre la superficie de un lecho o lámina de sólidos; el cual se llama secado con circulación longitudinal; o bien sobre una o ambas caras de una lámina o película continua, en este caso se llama secado con circulación transversal. Es un secador tipo batch e inestable, es el más versátil por productos, pero ocasiona avance heterogéneo debido a la necesidad de cambiar la posición de las bandejas y mezclar el producto para homogeneizarlo.

Las bandejas pueden ser de fondo sólido o de malla, solo que en estas últimas por lo general se pega el producto. La profundidad de las bandejas

debe ser entre 1 a 4 centímetros y deben estar separadas de fondo a fondo unos 10 centímetros. Las bandejas no deben ser muy grandes si la extracción es manual, de unos 3 por 2 pies estaría bien, pero si existe carrito no importa. El porcentaje de llenado debe ser de 5 a 8 por ciento del volumen bruto. La velocidad del aire en el interior del secador típicamente se encuentra entre los rangos de 1 a 8 metros por segundo, y el porcentaje de reflujo del 5 al 10 por ciento del batido.

2.7.7.4.1. Manejo de un secador de bandejas

Está formado por un cubículo metálico rectangular, contiene soportes móviles, los cuales sostienen a los bastidores encargados de llevar un cierto número de bandejas sobre la otra, distanciadas a cierta medida donde se coloca el grano.

- Si se necesita aumentar la temperatura de bulbo seco se aumenta la potencia del calentador.
- Para disminuir la temperatura de bulbo seco se debe alimentar más aire fresco al secador.
- Para aumentar la humedad relativa del aire se puede inyectar vapor.
- Si se requiere disminuir la humedad relativa del aire, se puede calentar el mismo o se ingresa más aire fresco.
- Para controlar la velocidad de viento se deben aumentar las revoluciones por minuto del ventilador de batido, o mover el dámper del secador.
- Para analizar la calidad del secado, o la calidad del secador se analizan las muestras que se estén secando.

2.7.7.5. Condiciones deseables de un secador

Para la conservación apropiada de los granos de maíz (*Zea mays*, L) se toma en cuenta factores económicos, tecnológicos y ambientales que garanticen el correcto almacenamiento del mismo.

- Que tenga contacto total con el sólido, mayor superficie, rodeo ágil.
- Hermético, impermeable, e isotérmico, no inflamable, de baja inercia térmica, con dobles o triples puertas.
- Las puertas, pisos, techos y paredes deben tener aislante térmico.
- Blindaje contra humedad no deseada.
- Para diseñar un secador se deben tomar en cuenta las condiciones ambientales más extremas de un año (hay que sobre diseñarlo), además se debe tomar en cuenta el volumen del lote.
- El índice de diseño está entre el 1,25 y 2,25 del diseño original.

2.7.7.6. Presentación de los secadores

En el mercado se encuentra desde un modelo sencillo hasta una estructura muy compleja de acuerdo a la aplicación y los recursos que se disponga.

- De lechos fijos, uno o dos flujos longitudinales.
- De lecho permeado, con flujo cruzado o transversal.
- Secado cayente.
- Medio agitado.

2.7.7.7. Equipo mínimo para el control de las variables en un secador

Con las operaciones a las que se someten los granos de maíz (recolección, el secado, acondicionamiento y almacenamiento), se procura mejorar su calidad y minimizar las pérdidas, por lo tanto se requiere que un secador cuente con las siguientes condiciones:

- Termómetros, para medir temperatura.
- Higrómetros, para medir la humedad
- Anemómetros, para medir velocidad de viento.
- Balanza, para control de la masa del sólido a secar.
- Horno, para el cálculo de masa constante.

2.7.8. El sólido

El material sólido a granel no entra en contacto directo con el medio de calentamiento durante el proceso. Como resultado, se conserva la integridad del material de los sólidos a granel, en este caso los granos de maíz.

El principal actor en el secado es el sólido y este posee ciertas características:

- Tamaño: grano, trozos, partículas. Mientras más pequeñas sean las partículas hay mayor relación Área/Volumen lo cual mejora el proceso de secado, que equivale a decir que entre más pequeña una partícula es más fácil de secar. Las partículas deben ser de igual tamaño para homogenizar el tiempo de secado.

- El espesor del lecho en una bandeja se relaciona de forma cuadrática con el tiempo de secado, mientras más grande sea el espesor más lento es el secado; así si el tiempo de secado con un espesor de lecho de 1 centímetro es 1 hora con un espesor de lecho de 2 centímetros será aproximadamente 4 horas.
- También es importante el porcentaje de humedad del sólido, así si se homogeniza el contenido de humedad se homogeniza el tiempo de secado. Para homogenizar se puede utilizar un lecho fluidizado donde se van al fondo las más húmedas y las más secas suben.
- Estructura interna: poros y cavidades. Cuando las partículas poseen agua en la superficie se llama “agua externa”, la cual es fácil de remover, debido a que se encuentra pegada al sólido por adsorción. La forma del poro es un factor crítico en el proceso de secado, y mientras más recto y ancho sea este será más fácil el secado del mismo. La orientación del poro se puede modificar y ayudar al proceso de secado. La primera agua que sale de un poro es la más exterior al sólido, la cual sale por capilaridad; a su vez si calentamos se pierde la capilaridad lo que hace que no fluya el agua. Una opción para eliminar el agua es capilarizarla por medio de una brisa de aire caliente y que calienta el agua del sólido y se forma vapor el cual sale del sólido y se transfiere al aire. Por medio de un proceso conocido como pistoneo de vapor se extrae el agua residual que queda pegada a las paredes del poro. Finalmente el agua residual del sólido, se extrae por difusión desde el sólido hacia el aire caliente, por diferencias de concentración. También se puede calentar el sólido o hacer vacío para extraer el agua del sólido.

- En las cavidad cerradas del sólido el agua puede pasar si el sólido es permeable (sólidos polares) pero va a tomar mucho tiempo. Si el sólido es impermeable se quiebra, se corta o se funde el sólido para poder secarlo.

2.7.8.1. Cómo se calienta al sólido

Los sólidos a granel se calientan indirectamente haciendo pasar el agua a través de una serie de placas de intercambio de calor. Puesto que no se utiliza aire directamente para calentar los sólidos, el material no entra en contacto directo con el medio de calentamiento.

- De adentro hacia afuera: el mejor ejemplo es cuando se utiliza un microondas.
- De afuera hacia dentro: el ejemplo típico es cuando se utiliza un medio gaseoso para calentarlo.

2.7.9. Calidad del agua del sólido

En el sólido se puede tener agua pura, pero por lo general siempre irá acompañada de sales, azúcares, proteínas, grasas, entre otros. El proceso de encoframiento se produce cuando el agua tapa los poros del sólido y forma grietas para salir, esto generalmente se produce por una evaporación muy rápida, por lo que se recomienda secar lentamente para que al evaporarse el agua, también salgan las sales del sólido juntamente con el agua

2.7.10. Sustentación

Es de suma importancia las características y parámetros del secado del grano de maíz, ya que se establecen relaciones y propiedades que son trasladados a un equipo industrial para obtener un secado eficaz.

Se entiende por sustentación la forma en que se dispone el sólido a secar, que puede ser en monocapa o multicapa.

El secado en multicapa es más lento, pero resulta más barato. El secado en monocapa generalmente se realiza cuando el espesor de la bandeja limita un secado en multicapa. La cantidad de sólido secado depende del espesor de la bandeja, lo cual establece la cantidad máxima de sólido que se puede colocar en ella. El secado en monocapa es mejor que el multicapa, pero el primero es más caro, por lo que se debe hacer un análisis de la economía del proceso para establecer la mejor opción de sustentación y espesor de lecho.

2.7.11. Contenido de humedad de un sólido

El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda, pero en el secado de sólidos es más conveniente referir la humedad sobre base seca.

La humedad es el contenido de líquidos que posee una sustancia, generalmente se refiere al contenido de agua presente en un sólido.

2.7.11.1. Humedad con base húmeda (X_{BH})

La relación entre el peso de la cantidad de agua y el total del grano, se expresa como el contenido de humedad con base húmeda, que es el término usual en la comercialización.

Esta se calcula con la siguiente ecuación:

$$X_{BH} = \frac{\text{gramos de agua}}{100 \text{ gramos de materia húmeda inicial}}$$

Ecuación 1.

2.7.11.2. Base seca (X_{BS})

En el trabajo técnico y científico se prefiere usar la humedad con base seca, que es la relación entre el peso de la masa de agua y el de la materia seca que permanece constante en el proceso.

Esta se calcula con la siguiente ecuación:

$$X_{BS} = \frac{\text{gramos de agua}}{100 \text{ gramos de materia seca}}$$

Ecuación 2.

Para los cálculos del proceso de secado se utiliza la humedad con base seca.

2.7.12. El medio

Secar los granos de maíz consiste en eliminar de manera parcial la humedad, se define como intercambio y transferencia de calor y masa entre un agente secante y el material a secar.

El medio gaseoso en el proceso de secado conviene esté seco, caliente y moviéndose y a baja presión.

2.7.12.1. Objetivos del medio

El proceso de secado está destinado a reducir la cantidad de agua hasta niveles adecuados para su conservación y almacenamiento. Es utilizado tanto en el ámbito doméstico como en el industrial.

- Remover y alejar la humedad de la superficie del sólido, mantener vivo el proceso de secado.
- Suministrar calor, aunque no siempre es así.
- Intensificar los coeficientes convectivos, conductivos y difusivos de transferencia de calor y transferencia de masa.
- Controlar el proceso de secado.

2.7.13. Tiempo de secado

Los pequeños agricultores lo hacen en forma natural y en las fábricas se realiza con métodos artificiales para hacer esta operación en menor tiempo, ya que son grandes cantidades de materia prima a secar. El tiempo de secado es el tiempo que el sólido tarda en llegar a la humedad requerida para el mismo, según los requerimientos del producto.

2.7.13.1. Tiempo óptimo de secado

Al secar un sólido de acuerdo a distintos valores de las condiciones de secado, tales como, diámetro de partícula, espesor de lecho, temperatura de bulbo seco, porcentaje de humedad relativa, velocidad de viento y presión, se obtienen distintos tiempos de secado, pero aquel que sea el de menor duración y no perjudique la calidad del producto será el “tiempo óptimo de secado” (Topsec). El “Topsec” es la recomendación de mayor valor técnico en el secado.

2.7.14. Leyes de secado

Las leyes de secado son enunciados, que muestran la relación de las variables de secado sobre el tiempo de secado como variable de respuesta o independiente.

2.7.14.1. Diámetro de partícula y/o espesor de lecho

Si el diámetro de partícula aumenta o el espesor del lecho aumenta el tiempo de secado aumenta, aproximadamente en relación cuadrática. Por ello

el tiempo de secado depende de la morfología del sólido, si los sólidos son más pequeños menor tiempo de secado.

2.7.14.2. Temperatura de bulbo seco (T_{BS})

Si la temperatura de bulbo seco aumenta el tiempo de secado disminuye. La limitante es la temperatura de termolabilidad y temperatura de corrupción. Esta se considera una variable de control ya que es la que más pesa en el proceso de secado.

2.7.14.3. Porcentaje de humedad relativa (%Hr)

Si la humedad relativa desciende el tiempo de secado disminuye, ya que el medio no se encuentra saturado y es posible transferir agua desde el sólido al medio. Las limitantes para una baja humedad relativa son los fenómenos de enconframiento del agua por sales, que se presentan a bajas humedades relativas. Los valores típicos van de 60 a 20 por ciento y valores extremos de 100 a 10 por ciento, y esto por lo general depende de los requerimientos del producto. Es una variable muy buena para el control de proceso, ya que tiene gran influencia en este.

2.7.14.4. Velocidad de viento

Si la velocidad de viento aumenta, el tiempo de secado disminuye. Las limitantes son las voladuras del sólido y la presión elevada. Los valores de referencia son de 1 a 4 metros por segundo y valores extremos de 0 a 8 metros por segundo.

2.7.14.5. Presión

Para que el grano de maíz pase por el proceso de secado, es de vital importancia tomar en cuenta ciertos factores. En este caso la presión en la que es sometido el grano, influye en su almacenamiento y tiempo de vida.

Si la presión del sistema disminuye el tiempo de secado disminuye, los factores limitantes en el proceso son la hermeticidad del sistema y el costo del vacío.

2.7.15. Cómo calentar al medio

Con un intercambiador de calor que utilice como comparsa vapor de agua, fluidos, gases de combustión, mezclas de gases de combustión. Existen mezclas que son sensibles al aroma. También con resistencia eléctricas. Se debe tener cuidado con la temperatura ya que puede dañar la tubería.

2.7.16. Cómo mover al medio

Los pequeños agricultores utilizan diferentes técnicas para el secado natural, pero para secar mayores cantidades de granos de maíz, se utiliza maquinas que funcionan mediante ventiladores o sopladores.

2.7.17. Cómo secar al medio

Mediante el enfriamiento del aire se escarcha el agua y luego se calienta el aire nuevamente. Sales para desecar que sean higroscópicas. Campos magnéticos, por la polaridad puede mover al agua.

2.7.18. Fijando protocolo

Para obtener un secado más eficaz y asegurarse que el producto tendrá el tiempo de vida deseado, es importante tomar en cuenta algunas características del secador que se desea utilizar.

- Tipo de secador: rotatorio o de bandeja.
- Tamaño de la carga: densidad de carga, cantidad de materia colocada, espesor de lecho y área viva de secado.
- Curvas de secado: válidas las homologías del secador de planta piloto con el secador industrial.
- Escalada: se recomienda una escalada de 1/60 hasta 1/100.

2.7.19. Curvas de secado

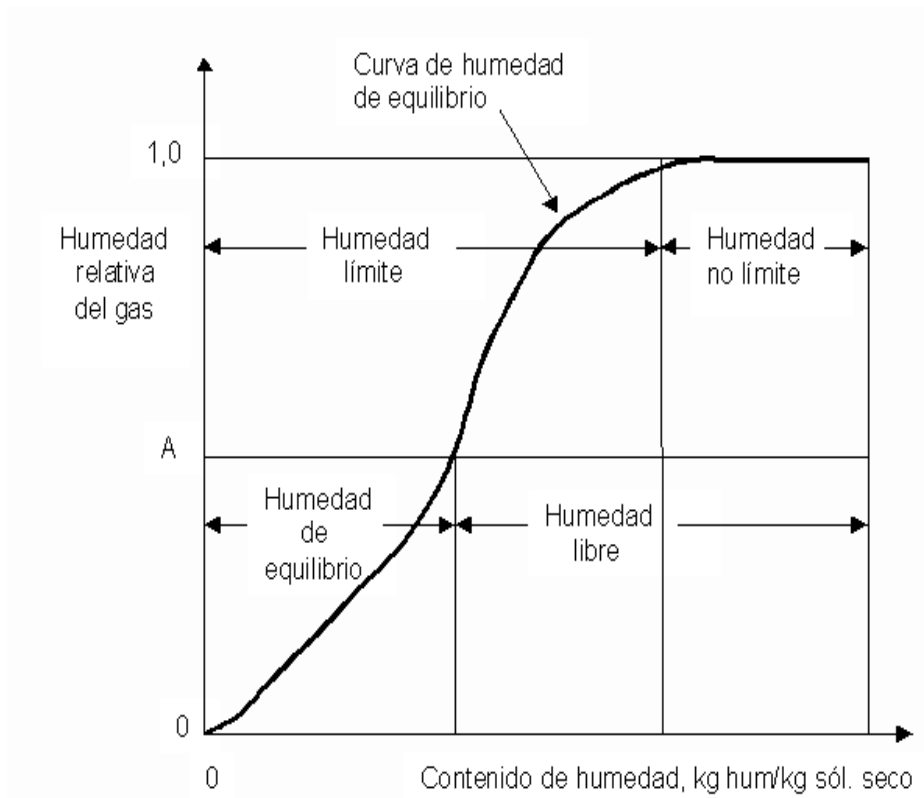
El objetivo de la curva de secado es identificar un conjunto de condiciones y tiempos para secar bien un sólido y a la vez poder garantizar que se podrá replicar el proceso con seguridad. Las curvas de secado también se elaboran para garantizar la calidad del secado del producto.

2.7.19.1. Curva cero

Se plotea en una gráfica la humedad relativa en base seca del sólido (X_{BS}) en función de la humedad relativa del medio (%Hr). Siempre se observa en las curvas que al disminuir la humedad relativa del medio disminuye el contenido de humedad del sólido. El procedimiento para realizar esta curva, lleva control

del porcentaje de humedad relativa hasta obtener una masa constante del sólido, en este momento se relaciona X_{BS} y %Hr para la curva.

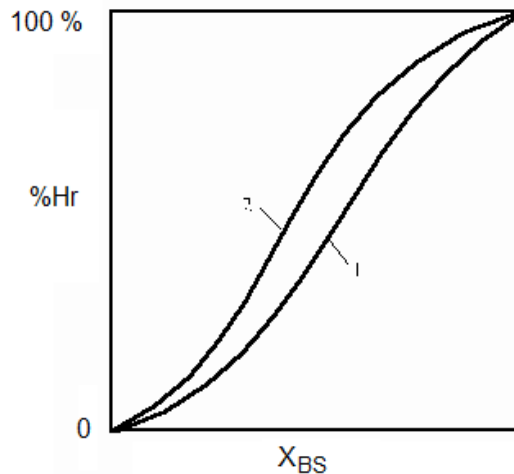
Figura 3. **Tipos de humedades y dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire**



Fuente: CONTRERAS VELÁSQUEZ, Luz Maria. *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos. sp.*

En la siguiente figura se ve la dependencia de la humedad de equilibrio del sólido y la humedad relativa del medio para dos sólidos diferentes, donde el sólido 1 (curva inferior) se seca a un ritmo mucho mayor que el sólido 2.

Figura 4. Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire

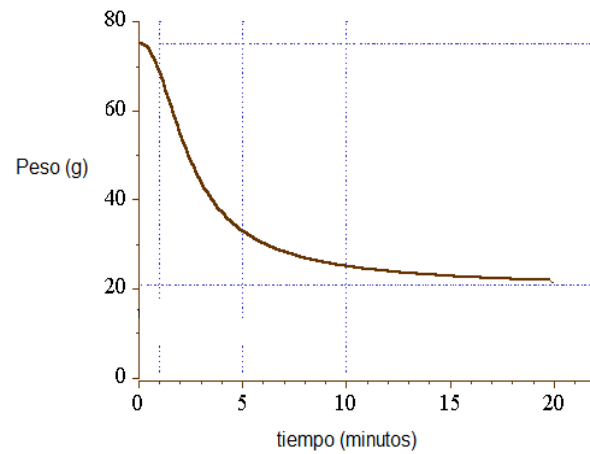


Fuente: CONTRERAS VELÁSQUEZ, Luz Maria. *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos*. sp.

2.7.19.2. Curva uno

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

Figura 5. **Masa de la muestra en función del tiempo masa muestra**



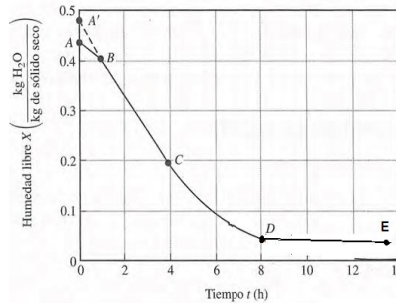
Fuente: PERRY, Robert H., GREEN, Don W., MALONEY, James O. *Manual del Ingeniero Químico*. p. 12-29.

Se pueden graficar varias curvas a diferentes condiciones del proceso.

2.7.19.3. Curva dos

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

Figura 6. **Humedad del sólido versus tiempo de secado**



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

Fases del proceso de secado que se observan en la figura 6.

Del punto A al punto B: período de estabilización

Del punto B al punto C: velocidad de secado contante

Del punto C al punto D: velocidad de secado disminuida

Del punto D al punto E: ya no hay secado.

Para decidir si las masas secas son homólogas se puede utilizar la siguiente regla.

$$X_{BS}(\text{Secador}) = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}}$$

Ecuación 3

Donde:

X_{BS} = humedad con base seca

Se aplica la siguiente regla:

$$X_{BS}(\text{Horno}) = X_{BS}(\text{Secador})$$

Ecuación 4

Donde:

X_{BS} = humedad con base seca

Ejemplo.

Masa inicial en el horno = 1 lb

Masa inicial en el secador = 10 lb

Si peso seco horno = 0,3 lb

El peso seco en secador es el siguiente:

$$\frac{1}{0,3} = \frac{10}{X}$$
$$X = 3 \text{ lb}$$

El peso seco en el secador debe ser de 3 libras.

2.7.19.4. Curva tres

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

$$R = \text{Velocidad de secado} = \frac{\text{masa de H}_2\text{O evaporada (Kg)}}{\text{tiempo} \times \text{Área}}$$

Ecuación 5

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

$$R = \frac{P_x - P_{x+1}}{\text{Área} \times \Delta\text{tiempo}}$$

Ecuación 6

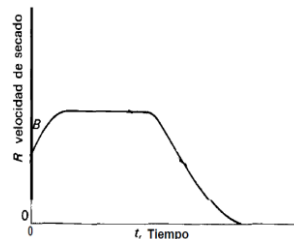
El tiempo que se coloca en la gráfica se calcula con la siguiente ecuación:

$$\bar{t} = \frac{t_x + t_{x+1}}{2}$$

Ecuación 7

Para este cálculo el espesor de lecho y el área viva de secado en la bandeja deben ser uniformes.

Figura 7. **Gráfica de velocidad de secado en función del tiempo**



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

2.7.19.5. Curva cuatro

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

Se calcula humedad promedio con base seca en la siguiente ecuación:

$$X_{BS} = \frac{X_{BS1} + X_{BS2}}{2}$$

Ecuación 8

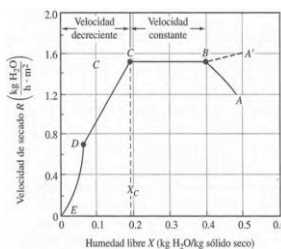
Se calcula un tiempo promedio:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Ecuación 9

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

Figura 8. **Velocidad de secado versus humedad del sólido**



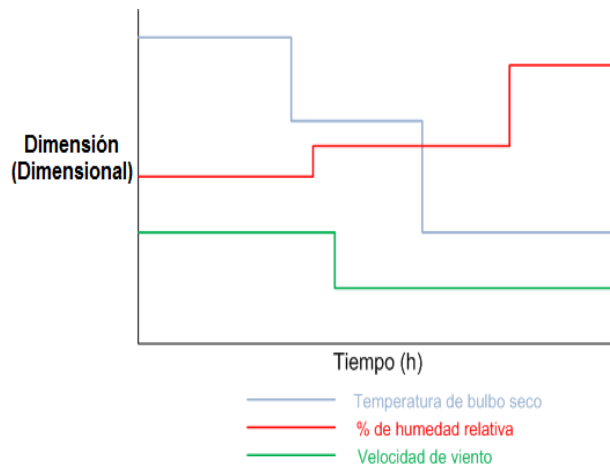
Fuente: GEANKOPLIS, Christie John. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p. 590.

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

2.7.19.6. Curva cinco

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

Figura 9. Protocolo de secado



Fuente: elaboración propia.

2.7.20. Balance de masa y balance de calor en un proceso de secado

El balance de masa en un proceso de secado comprende los flujos másicos de aire estequiométrico para extraer el agua requerida de un sólido húmedo. Para calcular el flujo de aire estequiométrico se necesitan conocer las

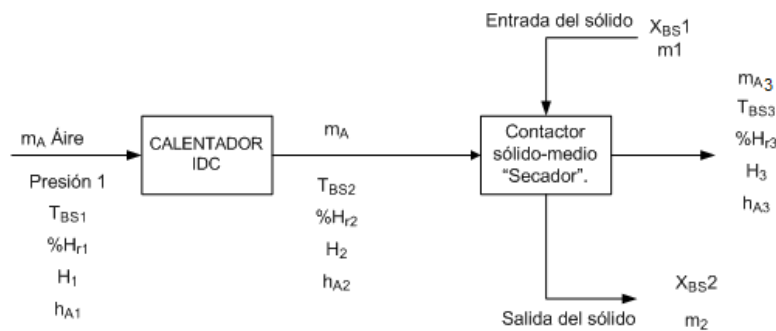
humedades absolutas del aire a la entrada y salida del secador, y las humedades en base húmeda del solido a la entrada y a la salida del secador.

El balance de calor se realiza basado en las entalpías del aire a la entrada y salida del secador; así como la cantidad de agua removida y la entalpía de vaporización del agua. Las entalpías del aire a la entrada y salida del secador se pueden calcular en base a las propiedades de humedad del aire o temperaturas de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo.

El aire requerido para un proceso de secado es mayor en 1,1 a 1,6 veces del aire estequiométrico.

En la siguiente figura se muestran las variables implicadas en un balance de masa y calor en los procesos de secado.

Figura 10. Sistema genérico de secado



Donde:
 T_{BS} = Temperatura de bulbo seco
 $\%Hr$ = porcentaje de humedad relativa
 H = Humedad absoluta
 h_A = entalpía
 m_A = masa de aire
 m = masa de sólido
 X_{BS} = humedad del sólido base seca

Fuente: elaboración propia.

Balance de calor ideal

$$\dot{m}_A \times (h_3 - h_2) = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)\lambda = 0$$

Ecuación 10

Donde:

\dot{m}_A = flujo másico de aire a la entrada del secador (kg/s)

h_3 = entalpía del aire en la salida del secador (kJ/kg)

h_2 = entalpía del aire de alimentación al secador (kJ/kg)

\dot{m}_1 = flujo másico del sólido a la entrada del secador (kg/s)

\dot{m}_2 = flujo másico del sólido a la salida del secador (kg/s)

λ = calor latente de vaporización (kJ/kg)

Agua removida

$$\dot{m}_1 \frac{(X_{BH1} - X_{BH2})}{100} = \dot{m}_w$$

Ecuación 11

Donde:

X_{BH1} = humedad del sólido, base húmeda, a la entrada del secador
(adimensional)

X_{BH2} = humedad del sólido, base húmeda, a la salida del secador
(adimensional)

\dot{m}_1 = flujo másico del sólido a la entrada del secador (kg/s)

\dot{m}_w = flujo másico de agua removida (kg/s)

Balance del medio (estequiométrico)

$$\dot{m}_A(H_3 - H_2) = \dot{m}_1 \frac{(X_{BH1} - X_{BH2})}{100}$$

Ecuación 12

Donde:

\dot{m}_A = flujo másico de aire a la entrada del secador (kg/s)

H_3 = humedad absoluta del aire a la salida del secador (adimensional)

H_2 = humedad absoluta del aire a la entrada del secador (adimensional)

\dot{m}_1 = flujo másico del sólido a la entrada del secador (kg/s)

X_{BH1} = humedad del sólido, base húmeda, a la entrada del secador (adimensional)

X_{BH2} = humedad del sólido, base húmeda, a la salida del secador (adimensional)

$$G_m = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_2}$$

Ecuación 13

Donde:

G_m = relación de flujo gaseoso estequiométrico (kg/s)

\dot{m}_A = flujo másico de aire a la entrada del secador (kg/s)

\dot{m}_2 = flujo másico del sólido a la salida del secador (kg/s)

Los valores de G_m típicamente se encuentran entre los valores $\left(\frac{8}{1} \text{ a } \frac{20}{1}\right)$, estos valores no cumplen con el balance de calor.

$$\dot{m}_m < \dot{m}_{Ar}(\text{Áire recomendada})$$

Ecuación 14

Donde:

\dot{m}_m = flujo gaseoso estequiométrico (kg/s)

\dot{m}_{Ar} = flujo gaseoso recomendado (kg/s)

El aire recomendado típicamente es 1,1 a 1,6 veces mayor que el aire estequiométrico.

$$m_{Ar} \times C_{p \text{ aire}} \times \Delta T_{\text{aire}} = \frac{(\dot{m}_1 - \dot{m}_2)\lambda}{\eta}$$

Ecuación 15

Donde:

m_{Ar} = flujo gaseoso recomendado (kg/s)

$C_{p \text{ aire}}$ = capacidad calorífica del aire (kJ/K)

ΔT_{aire} = potencial de calentamiento, diferencia de temperatura (K)

\dot{m}_1 = flujo másico del sólido a la entrada del secador (kg/s)

\dot{m}_2 = flujo másico del sólido a la salida del secador (kg/s)

η = eficiencia del (30 al 70%)

λ = calor latente de vaporización (kJ/kg)

El reciclaje máximo de aire es alrededor del 80 al 95 por ciento máximo, típicamente en unas 5 vueltas.

2.7.21. Partidas de calor en un secador

Las partidas de calor en un secador son el calor requerido en cada etapa o sección de un secador para llevar a cabo un proceso de secado. Las partidas de calor se expresan mediante balances de calor.

- Calor útil: Empleado en vaporizar agua (el agua que se desea extraer)

$$Q_{P1} = (\text{Masa de agua evaporada}) \times \lambda_{\text{efectivo}}$$

Ecuación 16

Donde:

Q_{P1} = calor útil en la partida uno (KJ)

$\lambda_{\text{efectivo}}$ = calor latente efectivo de vaporización (KJ/kg)

Esta es la partida de calor más grande del 50 al 70 por ciento del total del calor empleado.

El calor latente efectivo de vaporización se ve afectado por la presencia de sales disueltas en el agua, y debe asignársele de 1,0 hasta 1,1 de margen, es decir:

$$\lambda_{\text{ef}} = \lambda_{\text{H}_2\text{O}} \times (1,0 - 1,1)$$

Ecuación 17

Donde:

λ_{ef} = calor latente efectivo de vaporización (KJ/kg)

$\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$ = calor latente de vaporización del agua (KJ/kg)

- Calor perdido por aire que sale del secador sin ceder calor.

$$Q_{P1} = m_{\text{Ar}} \times (h_{\text{Aire que sale}} - h_{\text{aire atmosférico}})$$

Ecuación 18

Donde:

Q_{P2} = flujo de calor de la partida dos (KJ/s)

m_{Ar} = flujo gaseoso recomendado (kg/s)

$h_{Aire \text{ que sale}}$ = entalpía del aire que sale del secador (KJ/kg)

$h_{aire \text{ atmosférico}}$ = entalpía del aire atmosférico (KJ/kg)

Esta partida de calor consume del 8 al 10 por ciento del total del calor empleado.

- Calor para calentar el sólido

$$Q_{p3} = m_{ss} \times C_{pss} \times (T_{sss} - T_{es})$$

Ecuación 19

Donde:

Q_{p3} = calor en la partida tres (KJ)

m_{ss} = masa del sólido seco (kg)

C_{pss} = calor específico del sólido seco (KJ/Kg · K)

T_{sss} = temperatura de salida del sólido seco (K)

T_{ess} = temperatura de entrada del sólido húmedo (K)

Esta partida de calor consume del 3 al 5 por ciento del total del calor empleado.

- Calor para calentar el agua evaporada

$$Q_{p4} = m_w \times C_{pw} \times (T_{sss} - T_{es})$$

Ecuación 20

Donde:

Q_{P4} = calor en la partida cuatro (KJ)

m_w = masa de agua evaporada (kg)

C_{pw} = calor específico del agua (KJ/kg · K)

T_{SSS} = temperatura de salida del sólido seco (K)

T_{ESS} = temperatura de entrada del sólido húmedo (K)

Esta partida de calor consume del 5 al 8 por ciento del total del calor empleado.

- Calor para calentar el agua no evaporada

$$Q_{P5} = m_{wn} \times C_{pw} \times (T_{SSS} - T_{es})$$

Ecuación 21

Donde:

Q_{P5} = calor en la partida cinco (KJ)

m_w = masa de agua no evaporada (kg)

C_{pw} = calor específico del agua (KJ/kg · K)

T_{SSS} = temperatura de salida del sólido seco (K)

T_{ESS} = temperatura de entrada del sólido húmedo (K)

Esta partida de calor debe ser pequeña del total del calor empleado.

- Pérdidas por transferencia de calor en las fronteras del secador

$$Q_{P6} = U_{sec} \times \text{Area superficial del secador} \times \Delta TLM$$

Ecuación 22

Donde:

Q_{P6} = calor en la partida seis (KJ)

ΔTLM = delta de temperatura logarítmica media (K)

U_{sec} = coeficiente global de transferencia de calor del secador ($KJ/m^2 \cdot K$)

Esta partida de calor es del 1 al 2 por ciento del total de calor empleado.

- Calor para calentar al secador

$$Q_{P7} = m_{sec} \times C_{psec} \times (T_f - T_i)$$

Ecuación 23

Donde:

Q_{P7} = calor en la partida siete (KJ)

m_{sec} = masa del secador (kg)

C_{psec} = calor específico del secador, de una mezcla de metales (KJ/Kg · K)

T_i = temperatura inicial del secador (K)

T_f = temperatura final del secador (K)

Esta partida debe ser lo más pequeña posible para que el secador sea eficiente.

2.8. Porcentaje de rendimiento en masa

Es la cantidad de masa recuperada de la masa ingresada a un sistema en un proceso, así si ingresan 100 gramos de harina y salen 95 gramos el porcentaje de rendimiento será del 95 por ciento.

$$\%R = \frac{m_f}{m_i} \times 100$$

Ecuación 24

Donde:

$\%R$ = porcentaje de rendimiento (%)

m_i = masa inicial (kg)

m_f = masa final (kg)

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

La parte experimental de la investigación se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEEXVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala y en Laboratorio de Bromatología, Unidad de Alimentación Animal, Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2. Variables

Propiedad, característica o atributo que es susceptible a asumir diferentes valores, es decir, puede variar. Dentro de ellas se encuentran las variables independientes, consideradas como las causas y las variables dependientes; consideradas como el factor que es observado y medido para determinar el efecto de la variable independiente⁶⁶.

- Variables independientes
 - Tiempo
 - Masa de las hojas de moringa en el tiempo (*Moringa oleífera, Lam*)
 - Espesor de lecho, 1, 2 y 3 centímetros

⁶⁶ SARA VIA CANO, Edwin José. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de α -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (*Cupressus lusitánica Mill.*) obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio.* p. 39.

- Velocidad de viento 1, 2, 3 y 4 metros por segundo.
- Granulometría de las mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*)
- Porcentaje de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y porcentaje de harina de maíz (*Zea mays, L*)
- Variables dependientes
 - Porcentaje de humedad de las hojas de Moringa (*Moringa oleífera, Lam*).
 - Tiempo total de secado.
 - Contenido nutricional de las mezclas de harina de Moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*).

3.2.1. Factores constantes

Son todos aquellos que mantienen su constancia y no varían sin importar el cambio de temperatura o la presión a la que se les exponga, siempre se mantendrán en su forma original.

- Temperatura.
- Presión (85,326 kPa)

3.3. Delimitación del campo de estudio

La evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional, se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería, y en el Laboratorio de Bromatología de

la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ambos de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La harina se elaboró a partir de las hojas de moringa las cuales se recolectarán en plantaciones de este árbol existentes en Guatemala, en el departamento de Escuintla.

El estudio trata los principios de la operación unitaria de secado y contenidos nutricionales de los alimentos; entre otros temas, el contenido de humedad de un sólido, contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos vitaminas, minerales y otros resultados del análisis químico proximal de diferentes mezclas de harina de maíz y harina de moringa. El estudio se llevó a cabo en el 2013 y parte del 2014, teniendo como investigadores a un estudiante de Ingeniería química e Ingenieros que laboran para el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

3.4. Obtención de la muestra

Se buscó homogenizar las muestras, al recolectarla de una misma ubicación geográfica y de una misma variedad. La materia prima se obtuvo de plantaciones existentes en Guatemala, en el departamento de Escuintla; se recolectó material vegetal en forma de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*). Los granos de maíz (*Zea mays, L*) se obtuvieron en el departamento de Escuintla.

3.5. Recursos

Para poder llevar a cabo la investigación del proceso de la harina de moringa, se han utilizado muestras de la misma y asimismo para la investigación de la harina de maíz.

Elementos involucrados en el desarrollo de la investigación.

3.5.1. Recurso humano

Fueron muchas personas que ayudaron a que esta investigación fuera posible, ya que se recolectó información en el departamento de Escuintla y en la ciudad capital.

Personas involucradas en el desarrollo de la investigación.

Investigador: Lenyn Ubaldo Girón Hernández

Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales e
Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

3.5.2. Recursos materiales disponibles

Para la evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) para su aplicación en la formulación de harina de maíz fortificada para incrementar su valor nutricional, se utilizó el equipo del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales del Centro de Investigaciones de Ingeniería (LIEEXVE) y el equipo del Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ambos de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.5.3. Materia prima

Se recolectó hojas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y granos de maíz secos para poder llevar a cabo esta investigación y llegar a la conclusión de cómo se fabrica la harina de moringa y la harina de maíz.

Material de origen vegetal, será el elemento experimental con el cual se desarrollara la investigación.

- Hojas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)
- Granos de maíz (*Zea mays*, L)

3.5.4. Cristalería, reactivos y equipo

Para realizar la investigación del proceso de elaboración de harina de moringa y de harina de maíz, se ha utilizado una gran variedad de equipo y cristalería para poder desarrollar de mejor manera dicha investigación.

Incluye toda la cristalería, reactivos y equipo a ser utilizados para desarrollar la investigación.

- Cristalería
 - *Beacker* de 2 000 mililitros, 1 000 mililitros y 250 mililitos, de vidrio marca Pyrex.
 - Balón aforado de 1 000 mililitros, de vidrio marca Pyrex.
 - Espátulas, mango de madera, 15 centímetros de largo.
- Reactivos
 - Hipoclorito de sodio (NaClO), marca magia blanca, concentración de NaClO de 3-4,5%, 1 litro.
 - Agua desmineralizada, marca salvavidas de 5 galones.
- Equipos

- Balanza de humedad marca Boeco, serie 16204490, voltaje 230 V AC, frecuencia 50/60 Hz, máxima capacidad 150 gramos, lectura mínima 0,001 gramos, hecha en Alemania.
- Horno de secado eléctrico de bandeja de flujo transversal, modelo JAC673, voltaje 220 V AC, frecuencia 60 Hz, serie 2 000, potencia 1 200 Watts, hecho en Guatemala.
- Molino de discos manual marca victoria, hecho en Colombia.
- Tamices número 4, 12, 20, 40, 70, 100.
- Balanza analítica marca Boeco, serie 14704648, voltaje 12 V DC, amperaje 500 mA, frecuencia 60 Hz, máxima capacidad 610 gramos, lectura mínima 0,01 gramos, hecha en Alemania.
- Equipo del laboratorio de Bromatología.

3.6. Técnica cuantitativa

Para poder obtener un mejor cálculo en las cantidades que se desean obtener en la elaboración de la harina de maíz fortificada con harina de moringa, se utilizará una técnica cuantitativa.

Para el desarrollo de la investigación se utilizará la siguiente técnica cuantitativa, ilustrada mediante un diagrama de flujo del proceso.

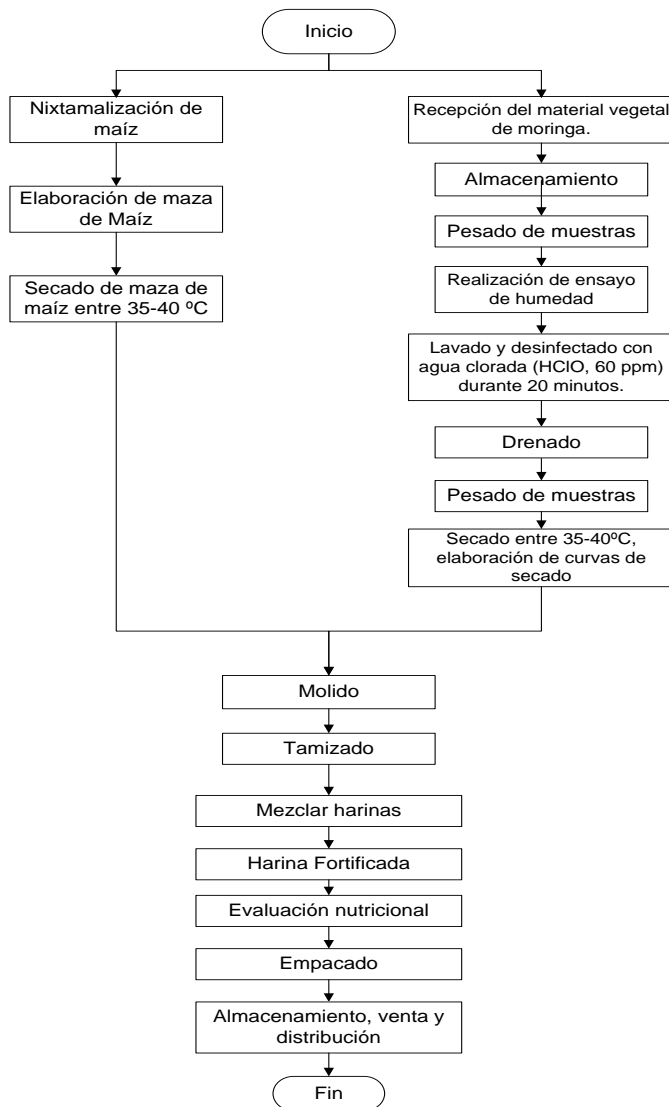
3.6.1. Desarrollo de la harina de maíz fortificada

Con la elaboración de la harina de maíz fortificada con harina de moringa se busca principalmente que las personas que la consuman tengan mejores beneficios en cuanto a su salud, la cual requiere de un proceso bastante complejo en su elaboración.

Para la elaboración de la harina de maíz (*Zea mays*, L) fortificada con harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), se realizaron los siguientes pasos:

- Corte de la materia prima (hojas de moringa).
- Transporte de la materia prima desde sitio de corte hasta la planta de procesamiento.
- Almacenamiento a 4 grados Celsius.
- Pesado de muestras.
- Realización de ensayo de humedad.
- Lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio 60 ppm durante 2 minutos.
- Drenado.
- Secado.
- Elaboración de curvas de secado registrando masa de muestras a diferentes tiempos hasta llevar la muestra a masa constante.
- Nixtamalización de maíz.
- Elaboración de la masa de maíz.
- Secado de la masa de maíz.
- Molido de hojas secas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y granos de maíz (*zea mays*, L) en molino de discos.
- Tamizado de harina de moringa y harina de maíz (que pase un tamiz núm. 40 y se retenga en un núm. 100).
- Mezclado de harina de moringa con harina de maíz.
- Evaluación nutricional de la harina resultante.
- Empacado.
- Almacenamiento, venta y distribución.

Figura 11. **Diagrama general del proceso de producción de la harina nutritiva**



Fuente: elaboración propia, con base al diseño metodológico de RUIZ FUNES, Luis. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional.* Figura 22, p. 118.

3.6.2. Realización de ensayo de humedad de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

Para la realización del ensayo de humedad se colocó una muestra representativa de hojas de moringa en una balanza de humedad, en la cual se anotó la masa inicial y la masa final de la muestra, la masa final se tomó como la masa constante de la muestra.

Seguidamente se procedió a calcular la humedad en base húmeda de la moringa (*Moringa oleífera*, Lam). El contenido de humedad de la moringa es útil para los cálculos de balance de masa y balances de energía en los procesos de secado de moringa. En el caso particular de elaboración de curvas de secado, el contenido de humedad es el parámetro que indica la masa final de una muestra de moringa a secar.

3.6.3. Elaboración de las curvas de secado

En la elaboración de las curvas de secado, posteriormente a la recolección, lavado y desinfección de las hojas de moringa se llenaron las bandejas del secador eléctrico de flujo transversal con hojas frescas de moringa y se colocaron dentro del secador anotándose la masa inicial de cada bandeja.

Se midió la masa de las bandejas en diferente tiempo hasta obtener una masa constante, esto con el propósito de obtener datos para la gráfica de humedad de las hojas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) en el tiempo, y elaborar los análisis respectivos del proceso de secado al variar el espesor de lecho en las bandejas del secador y la velocidad de viento en el secador.

3.6.4. Elaboración de la harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Para obtener la harina a partir de la hoja de moringa, fue necesario lavar y desinfectar la misma después del corte. El lavado se realizó con agua, y la desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO) 60 partes por millon en agua durante 2 minutos, ambas a temperatura ambiente.

El secado se realizó en un horno eléctrico de bandejas de flujo transversal con el propósito de deshidratar la hoja, posteriormente se redujo el tamaño de las hojas, para elaborar la harina, moliéndolas en un molino de discos.

En la elaboración de la harina de maíz se lavó el grano con agua e hipoclorito de sodio 60 partes por millon en agua, se nixtamalizó el grano, este proceso consiste en cocer el grano de maíz agregándole una pequeña cantidad de cal hidratada para suavizar la cascara del mismo, se cuece hasta que el grano este suave; posteriormente se elaboró la masa de maíz, moliendo los granos nixtamalizados en un molino de discos, seguidamente la masa de maíz se secó en el horno entre 35-40 grados Celsius, hasta una humedad del 10 por ciento, y por último se volvió a moler la masa deshidratada en el molino de discos.

3.6.5. Tamizado de la harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*)

El proceso de tamizado de harina de moringa se elaboró de forma manual, tomando como muestra (tamaño de muestra en gramos) la cantidad total de harina de moringa recuperada, juntando las diferentes muestras recuperada. El proceso de tamizado de harina de maíz se realizó tomando la cantidad total de

harina de maíz recuperada. Se llevó a cabo el proceso tamizando cada harina por separado en tamices número 4, 12, 20, 40, 70 y 100.

3.6.6. Formulación de la harina de maíz (*Zea mays*, L) fortificada con moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

La formulación de la harina de maíz enriquecida se llevó a cabo mezclando distintas proporciones de harina de maíz con harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam). Se prepararon 5 muestras con distintos porcentajes en masa, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla XXIX. Mezclas de harina de maíz con harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
HM 100%	HM 70% Hm	HM 50% Hm	HM 30% Hm	HM 0% Hm
Hm 0%	30%	50%	70%	100%
HM: Harina de maíz				
Hm: Harina de moringa (<i>Moringa oleífera</i> , Lam)				

Fuente: elaboración propia a partir del diseño metodológico.

3.6.7. Determinación del contenido nutricional de las diferentes mezclas realizadas de harina de maíz y harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

La harina de maíz fortificada con harina de moringa en las distintas proporciones se llevó al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de

Guatemala donde se les realizaron análisis químico proximal para determinar lípidos, hidratos de carbono, proteínas, materia seca, cenizas y otros.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Se recolectaron y ordenaron los datos de masa inicial y final de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) colocadas en la balanza de humedad, masa de las bandejas en función del tiempo, tiempo total de secado, masa de material que ingresan al molino y masa recuperada, granulometrías de la harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*), masa de las diferentes formulaciones con harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*); también llamados datos originales.

3.7.1. Curvas de secado de hoja de moringa (*moringa oleífera Lam*)

Se presentan los datos ordenados de masa inicial y final de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) colocadas en la balanza de humedad, que serán útiles para calcular el porcentaje de humedad inicial de los lotes y muestras de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), que ingresan al secador, y el porcentaje de humedad fina real de los lotes de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) que salen del secador. También se presentan los datos de masa de las bandejas en función del tiempo, para el cálculo del porcentaje de humedad de las hojas de moringa en el tiempo y elaboración de las curvas de secado. Estos datos son procedentes de la experimentación pura, y se presentan todas las corridas que se realizaron.

Tabla XXX. **Porcentaje de humedad inicial de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ε_L (cm)	V_v (m/s)	Corrida	Peso inicial de muestra (g)	Peso final de muestra (g)
1	1	1	1,000	0,188
		2	1,000	0,181
		3	1,003	0,169
1	2	1	1,013	0,161
		2	1,005	0,170
		3	1,015	0,176
1	3	1	1,027	0,209
		2	1,018	0,211
		3	1,017	0,222
1	4	1	1,005	0,178
		2	1,015	0,182
		3	1,060	0,214
2	1	1	1,008	0,222
		2	1,003	0,257
		3	1,007	0,249
2	2	1	1,014	0,181
		2	1,026	0,203
		3	1,002	0,190
2	3	1	1,041	0,166
		2	1,011	0,176
		3	1,056	0,181

Continuación de la tabla XXX.

2	4	1	1,007	0,188
		2	1,018	0,209
		3	1,007	0,197
3	1	1	1,011	0,211
		2	1,090	0,193
		3	1,050	0,193
3	2	1	1,033	0,110
		2	1,008	0,118
		3	1,040	0,182
3	3	1	1,069	0,192
		2	1,053	0,195
		3	1,032	0,181
3	4	1	1,003	0,200
		2	1,016	0,171
		3	1,003	0,180
Parámetros				
Temperatura (°C)			105,00	
Presión (kPa)			85,326	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXI. **Porcentaje de humedad final, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ϵ_L (cm)	V_V (m/s)	Corrida	Peso inicial de muestra (g)	Peso final de muestra (g)
1	1	1	1,007	0,929
		2	1,000	0,916
		3	1,002	0,933

Continuación de la tabla XXXI.

1	2	1	1,002	0,940
		2	1,001	0,942
		3	1,000	0,938
1	3	1	1,007	0,944
		2	1,013	0,929
		3	1,008	0,933
1	4	1	1,003	0,849
		2	1,005	0,919
		3	1,002	0,663
2	1	1	1,017	0,948
		2	1,010	0,908
		3	1,002	0,907
2	2	1	1,03	0,955
		2	1,017	0,949
		3	1,012	0,947
2	3	1	1,060	0,973
		2	1,017	0,932
		3	1,005	0,925
2	4	1	1,037	0,949
		2	1,012	0,938
		3	1,011	0,934
3	1	1	1,010	0,944
		2	1,002	0,918
		3	1,001	0,922
3	2	1	1,008	0,941
		2	1,015	0,942
		3	1,013	0,945
3	3	1	1,017	0,928
		2	1,008	0,934
		3	1,003	0,910

Continuación de la tabla XXXI.

3	4	1	1,010	0,935
		2	1,002	0,924
		3	1,000	0,916
Parámetros				
Temperatura (°C)			105,00	
Presión (kPa)			85,326	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	20,19	20,31	20,65
30	17,95	18,11	18,13
60	15,67	15,77	15,74
90	14,06	13,95	14,30
120	12,67	12,67	12,51
180	10,12	10,06	10,20
240	7,73	7,82	7,90
300	6,56	6,48	6,63
360	5,47	5,59	5,59
420	5,01	4,81	4,78
480	4,37	4,27	4,37
540	4,01	4,01	4,01
600	3,68	3,69	3,78

Continuación de la tabla XXXII.

Parámetros	
Temperatura (°C)	35-40
Presión (kPa)	85,326
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa
Espesor de lecho (cm)	1
Velocidad de viento (m/s)	1
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	(G/S) _{estequiométrico}

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	25,47	25,36	25,22
30	21,63	22,21	21,31
60	18,45	19,05	18,39
90	15,64	16,16	15,34
120	14,34	14,39	14,15
180	11,59	11,25	11,14
240	9,08	8,95	8,79
300	7,27	7,42	7,15
360	6,29	6,31	6,03
420	5,51	5,35	5,25

Continuación de la tabla XXXIII.

480	4,82	4,78	4,73
540	4,58	4,54	4,43
570	4,40	4,35	4,21
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	1		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIV. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	20,10	20,06	20,31
60	15,11	13,10	14,01
120	12,16	11,10	9,73
180	8,71	9,36	8,28
240	6,68	7,39	5,78
300	5,25	6,17	5,18
360	4,74	5,53	4,78
420	4,54	4,99	4,61

Continuación de la tabla XXXIV.

480	4,44	4,75	4,48
540	4,29	4,56	4,37
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		1	
Velocidad de viento (m/s)		3	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXV. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	15,06	15,07	15,06
30	13,05	12,38	10,09
60	11,31	10,17	7,82
120	9,23	7,31	4,25
180	7,70	5,98	3,74
240	6,31	4,48	3,04
300	5,35	3,65	2,97
360	4,24	3,28	2,94

Continuación de la tabla XXXV.

420	3,39	3,17	2,92
480	3,14	3,14	2,91
540	3,05	3,13	2,90
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	1		
Velocidad de viento (m/s)	4		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXVI. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	32,74	32,59	32,67
60	29,67	28,33	25,53
120	26,97	25,02	20,96
180	24,28	21,92	17,02
240	19,74	19,06	14,29
300	14,36	14,87	12,96
360	12,54	12,64	11,40

Continuación de la tabla XXXVI.

420	10,60	10,35	10,27
480	9,42	9,45	8,89
540	8,81	9,02	8,14
600	8,10	8,18	7,91
660	8,06	8,17	7,89
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		2	
Velocidad de viento (m/s)		1	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXVII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	46,02	46,47	47,26
60	40,16	40,49	41,41
120	35,65	36,13	36,78
180	31,03	31,30	31,70
240	26,47	26,91	27,71

Continuación de la tabla XXXVII.

300	23,58	23,64	24,18
360	19,51	19,72	20,82
420	15,96	15,76	16,70
480	11,92	12,13	12,43
540	9,94	10,15	10,22
600	9,21	9,38	9,52
630	8,82	8,91	9,13
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	2		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S (lb_{aire}/lb_{sseco})	$(G/S)_{estequiométrico}$		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXVIII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	55,94	49,21	48,73
60	49,79	42,15	39,30
120	42,36	37,44	34,64

Continuación de la tabla XXXVIII.

180	34,76	31,36	30,67
240	31,22	25,71	27,53
300	28,44	21,25	24,51
360	20,72	15,56	17,71
420	15,26	12,44	14,82
480	12,32	9,92	10,48
540	10,12	9,02	8,97
600	9,47	8,69	8,47
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		2	
Velocidad de viento (m/s)		3	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIX. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	49,16	43,67	47,15
60	44,58	37,77	37,53
120	38,39	33,22	33,60

Continuación de la tabla XXXIX.

180	33,21	30,54	31,55
240	26,43	25,66	26,22
300	24,30	19,84	22,32
360	21,44	15,78	19,86
420	18,72	12,44	16,89
480	14,97	10,91	13,87
540	11,93	9,20	11,23
600	10,09	8,54	9,60
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		2	
Velocidad de viento (m/s)		4	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XL. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	67,07	67,29	67,35
60	62,26	61,66	55,21
120	59,76	58,70	50,45

Continuación de la tabla XL.

180	56,60	55,26	45,27
240	50,40	52,12	42,19
300	45,67	49,45	39,90
360	44,51	48,13	37,86
420	36,18	38,59	26,51
480	33,33	34,10	24,65
540	31,52	30,98	22,91
600	29,24	27,70	21,39
660	27,19	24,70	19,46
720	23,95	22,61	18,35
780	21,57	20,77	17,29
840	19,45	18,43	15,76
900	17,20	16,46	14,72
960	15,33	15,09	13,93
1020	14,20	14,12	13,14
1080	13,31	13,42	12,61
1140	12,93	13,05	12,51
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		3	
Velocidad de viento (m/s)		1	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLI. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	83,25	66,73	91,62
60	78,07	60,40	79,54
120	70,55	55,54	73,97
180	65,52	52,82	71,95
240	61,95	48,85	65,65
300	58,30	46,27	59,81
360	54,12	41,69	50,45
420	43,91	31,63	34,22
480	41,59	29,78	30,59
540	38,13	26,28	26,14
600	34,21	22,64	23,77
660	30,16	19,92	21,47
720	25,70	16,83	19,14
780	21,20	14,20	16,72
840	18,03	11,42	14,72
900	15,52	9,75	13,28
960	13,75	9,10	12,71
1020	12,53	8,77	12,55
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	60,16	64,11	55,78
60	56,48	59,82	47,32
120	49,53	55,80	44,09
180	46,33	49,13	40,10
240	43,98	44,91	35,30
300	38,27	41,01	33,83
360	36,38	38,71	28,05
420	31,19	33,07	25,68
480	27,99	27,66	22,89
540	23,91	25,66	20,73
600	21,20	23,64	19,10
660	19,35	22,20	17,01
720	17,31	20,62	14,99
780	16,35	19,69	13,34
840	14,67	18,89	11,54
900	12,89	15,43	10,92
960	11,93	13,98	10,33
1020	11,14	12,67	9,80
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	3		
G/S (lb_{aire}/lb_{seco})	$(G/S)_{estequiometrico}$		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLIII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Masa de muestra (g)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	61,35	62,59	62,03
60	56,41	58,92	55,66
120	51,47	53,74	49,94
180	47,40	49,62	45,74
240	44,35	45,67	42,08
300	40,48	41,87	38,10
360	36,61	39,03	35,83
420	32,77	35,95	31,85
480	29,77	30,95	28,97
540	26,47	28,13	25,69
600	22,84	24,69	22,60
660	19,80	21,46	18,85
720	17,21	18,45	16,32
780	14,96	15,74	13,99
840	13,16	13,85	12,65
900	11,83	12,13	11,84
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	4		
G/S (lb_{aire}/lb_{sseco})	$(G/S)_{estequiométrico}$		

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

3.7.2. Datos originales del tiempo total de secado de los lotes de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*)

Se presentan los datos ordenados de tiempo total de secado a diferentes condiciones de espesor de lecho y velocidad de viento, para analizar la influencia del espesor del lecho en las bandejas del secador y la velocidad de viento en el secador sobre el tiempo total de secado.

Tabla XLIV. **Tiempo total de secado, para las condiciones de secado de espesor de lecho 1 a 3 cm y velocidad de viento 1 a 4 m/s**

ϵ_{Ln} V_{vn}	1 cm			2 cm			3 cm		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
1 m/s	10,00	10,00	10,00	11,00	11,00	11,00	19,00	19,00	19,00
2 m/s	9,50	9,50	9,50	10,50	10,50	10,50	17,00	17,00	17,00
3 m/s	9,00	9,00	9,00	10,00	10,00	10,00	17,00	17,00	17,00
4 m/s	9,00	9,00	9,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
Tiempo total de secado (horas)									

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

3.7.3. Datos originales de la elaboración de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se presentan los datos ordenados de la masa de hojas deshidratadas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y maza nixtamalizada deshidratada de maíz (*Zea mays, L*) que ingresan al molino de discos y masa recuperada de harina.

Tabla XLV. **Elaboración de la harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)**

Muestra		Hojas de moringa seca entran al molino (g)	Harina recuperada sale del molino (g)
ϵ_L (cm)	V_V (m/s)		
1	1	495	492
1	2	519	513
1	3	411	407
1	4	302	297
2	1	597	594
2	2	468	465
2	3	667	659
2	4	501	499
3	1	615	613
3	2	621	610
3	3	870	868
3	4	720	718
Totales		6786	6735

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLVI. **Elaboración de harina de maíz (*Zea mays*, L)**

Maíz nixtamalizado seco, entra al molino (g)	Harina de maíz, sale del molino(g)
2673	2660

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

3.7.4. Datos originales de la granulometría de la harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se presentan los datos ordenados de la masa de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*) que pasan los tamices 4, 12, 20, 40, 70 y 100.

Tabla XLVII. **Tamizado de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*)**

Muestra	Tamiz	Harina que pasa tamiz (g)
Harina de moringa (<i>Moringa oleífera, Lam</i>)	4	6735,00
	12	6718,21
	20	6518,48
	40	5152,84
	70	932,53
	100	248,18
Parámetros		
Tamaño de la muestra		6735,0
Tamices		4, 12, 20, 40, 70, 100

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLVIII. **Tamizado de harina de maíz (*Zea mays, L*)**

Muestra	Tamiz	Harina que pasa tamiz (g)
Harina de moringa (<i>Zea mays, L</i>)	4	2660,00
	12	2578,35
	20	2409,72
	40	1941,13
	70	304,19
	100	45,84
Parámetros		
Tamaño de la muestra		2660,0
Tamices		4, 12, 20, 40, 70, 100

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

3.7.5. Datos originales de las formulaciones de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se presentan los datos ordenados de la masa de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*) que se requiere en cada formulación 0:100, 30:70, 50:50, 70:30 y 100:0 porcentaje m/m.

Tabla XLIX. **Datos originales para la formulación de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*)**

Mezcla (moringa: maíz)	Harina de moringa (g)	Harina de maíz (g)
0:100	0,00	200,00
30:70	60,00	140,00
50:50	100,00	100,00
70:30	140,00	60,00
100:0	200,00	100,00
Parámetros		
Tamaño de la muestra (g)	200,00	

Fuente: datos experimentales recabados en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se tabularon, ordenaron y procesaron los datos obtenidos en las mediciones de humedad inicial y final de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), masa de las bandejas en el tiempo, tiempo total de secado, masa de material que ingresan al molino y masa recuperada, granulometrías de la harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*zea mays, L*), masa de las diferentes formulaciones con harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*).

3.8.1. Curvas de secado de hoja de moringa (*Moringa oleífera Lam*)

Se procesaron los datos de masa inicial y final de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) colocadas en la balanza de humedad, masa de las bandejas en función del tiempo, y se hicieron los cálculos del porcentaje de humedad de las hojas de moringa en el tiempo y para la elaboración de las curvas de secado.

Tabla L. **Humedad inicial, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ϵ_L (cm)	V_V (m/s)	Corrida	Humedad base húmeda (% H_{BH})
1	1	1	81,20
		2	82,03
		3	83,15
1	2	1	84,13
		2	83,11
		3	82,67
1	3	1	79,61
		2	79,25
		3	78,17
1	4	1	82,29
		2	82,09
		3	79,82

Continuación de la tabla L.

2	1	1	77,96
		2	74,35
		3	75,27
2	2	1	82,13
		2	80,21
		3	81,07
2	3	1	84,06
		2	82,57
		3	82,89
2	4	1	81,33
		2	79,47
		3	80,44
3	1	1	79,12
		2	82,26
		3	81,66
3	2	1	89,35
		2	88,31
		3	82,46
3	3	1	82,02
		2	81,45
		3	82,47
3	4	1	80,07
		2	83,21
		3	82,03
Parámetros			
Temperatura (°C)			105,00
Presión (kPa)			85,326

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXV.

Tabla LI. **Análisis estadístico de la humedad inicial, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ε_L (cm)	V_v (m/s)	Media	Varianza	Desviación estándar	Número de medias	Grados de libertad
1	1	82,13%	0,96%	0,98%	3	2
1	2	83,30%	0,56%	0,75%	3	2
1	3	79,01%	0,56%	0,75%	3	2
1	4	81,40%	1,88%	1,37%	3	2
2	1	75,86%	3,52%	1,88%	3	2
2	2	75,86%	3,52%	1,88%	3	2
2	3	83,17%	0,62%	0,78%	3	2
2	4	80,41%	0,87%	0,93%	3	2
3	1	81,01%	2,78%	1,67%	3	2
3	2	86,71%	13,80%	3,71%	3	2
3	3	81,98%	0,26%	0,51%	3	2
3	4	81,77%	2,52%	1,59%	3	2

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXV.

Tabla LII. **Humedad final real de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ε_L (cm)	V_v (m/s)	Corrida	Humedad base húmeda (% H_{BH})
1	1	1	7,78%
		2	8,43%
		3	6,85%
1	2	1	6,21%
		2	5,94%
		3	6,23%

Continuación de la tabla LII.

1	3	1	6,23%
		2	8,32%
		3	7,43%
1	4	1	15,39%
		2	8,59%
		3	33,87%
2	1	1	6,83%
		2	10,14%
		3	9,47%
2	2	1	7,25%
		2	6,67%
		3	6,43%
2	3	1	8,24%
		2	8,33%
		3	7,96%
2	4	1	8,53%
		2	7,31%
		3	7,63%
3	1	1	6,53%
		2	8,42%
		3	7,93%
3	2	1	6,61%
		2	7,21%
		3	6,72%
3	3	1	8,74%
		2	7,36%
		3	9,24%
3	4	1	7,43%
		2	7,79%
		3	8,42%
Parámetros			
Temperatura (°C)		105,00	
Presión (kPa)		85,326	

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVI.

Tabla LIII. **Análisis estadístico de la humedad final real, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ϵ_L (cm)	V_V (m/s)	Media	Varianza	Desviación estándar	Número de medias	Grados de libertad
1	1	7,69%	0,63%	0,79%	3	2
1	2	6,13%	0,03%	0,16%	3	2
1	3	7,33%	1,10%	1,05%	3	2
1	4	19,28%	171,14%	13,08%	3	2
2	1	8,81%	3,06%	1,75%	3	2
2	2	8,81%	3,06%	1,75%	3	2
2	3	8,18%	0,04%	0,19%	3	2
2	4	7,82%	0,40%	0,63%	3	2
3	1	7,63%	0,96%	0,98%	3	2
3	2	6,85%	0,10%	0,32%	3	2
3	3	8,45%	0,95%	0,97%	3	2
3	4	7,88%	0,25%	0,50%	3	2

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVI.

Tabla LIV. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	82,13	82,13	82,13
30	71,00	71,28	69,91
60	59,70	59,81	58,33
90	51,76	50,80	51,37
120	44,89	44,51	42,70
180	32,25	31,68	31,54
240	20,40	20,66	20,38
300	14,62	14,04	14,23
360	9,19	9,67	9,19
420	6,95	5,83	5,25
480	3,78	3,13	3,28
540	1,98	1,89	1,54
600	0,37	0,32	0,43
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	1		
Velocidad de viento (m/s)	1		
G/S (lb_{aire}/lb_{seco})	$(G/S)_{estequiometrico}$		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVII.

Tabla LV. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0,0	3	246,38%	82,13%	0,00%	0,00%
0,5	3	212,20%	70,73%	0,52%	0,72%
1,0	3	177,84%	59,28%	0,68%	0,83%
1,5	3	153,93%	51,31%	0,23%	0,48%
2,0	3	132,10%	44,03%	1,37%	1,17%
3,0	3	95,48%	31,83%	0,14%	0,38%
4,0	3	61,44%	20,48%	0,03%	0,16%
5,0	3	42,89%	14,30%	0,09%	0,30%
6,0	3	28,05%	9,35%	0,08%	0,28%
7,0	3	18,02%	6,01%	0,75%	0,86%
8,0	3	10,19%	3,40%	0,11%	0,34%
9,0	3	5,41%	1,80%	0,05%	0,23%
10,0	3	1,11%	0,37%	0,00%	0,05%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVII.

Tabla LVI. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	83,30	83,30	83,30
30	68,25	70,86	67,82
60	55,75	58,42	56,25
90	44,74	47,02	44,15
120	39,62	40,05	39,40
180	28,82	27,65	27,47
240	18,94	18,60	18,17
300	11,85	12,56	11,65
360	8,03	8,20	7,22
420	4,96	4,39	4,13
480	2,26	2,17	2,05
540	1,28	1,21	0,89
570	0,59	0,45	0,00
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	1		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S (lb_{aire}/lb_{ssec})	$(G/S)_{estequiometrico}$		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVIII.

Tabla LVII. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s**

<i>Tiempo peso muestra (horas)</i>	<i>Corridas</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Desviación estándar</i>
0	3	249,91%	83,30%	0,00%	0,00%
0,5	3	206,94%	68,98%	2,71%	1,65%
1	3	170,42%	56,81%	2,01%	1,42%
1,5	3	135,91%	45,30%	2,30%	1,52%
2	3	119,07%	39,69%	0,11%	0,33%
3	3	83,95%	27,98%	0,54%	0,73%
4	3	55,71%	18,57%	0,15%	0,38%
5	3	36,06%	12,02%	0,23%	0,48%
6	3	23,45%	7,82%	0,27%	0,52%
7	3	13,48%	4,49%	0,18%	0,43%
8	3	6,48%	2,16%	0,01%	0,10%
9	3	3,38%	1,13%	0,04%	0,21%
9,5	3	1,04%	0,35%	0,10%	0,31%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXVIII.

Tabla LVIII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	79,01	79,01	79,01
60	54,26	44,31	48,27
120	39,63	34,24	26,99
180	22,43	25,60	20,07
240	12,27	15,82	7,73
300	5,16	9,70	4,70
360	2,61	6,54	2,69
420	1,59	3,91	1,82
480	1,09	2,73	1,16
540	0,35	1,77	0,59
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	1		
Velocidad de viento (m/s)	3		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXIX.

Tabla LIX. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	237,03%	79,01%	0,00%	0,00%
1	3	146,84%	48,95%	25,10%	5,01%
2	3	100,85%	33,62%	40,23%	6,34%
3	3	68,10%	22,70%	7,68%	2,77%
4	3	35,81%	11,94%	16,42%	4,05%
5	3	19,56%	6,52%	7,64%	2,76%
6	3	11,84%	3,95%	5,04%	2,24%
7	3	7,32%	2,44%	1,63%	1,28%
8	3	4,97%	1,66%	0,86%	0,93%
9	3	2,71%	0,90%	0,57%	0,76%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XXXIX.

Tabla LX. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	81,40	81,40	81,40
30	68,06	63,56	48,41
60	56,54	48,91	33,33

Continuación de la tabla LX.

120	42,73	29,90	9,60
180	32,57	21,05	6,24
240	23,31	11,16	1,61
300	16,96	5,60	1,11
360	9,58	3,17	0,96
420	3,89	2,43	0,82
480	2,29	2,26	0,75
540	1,64	2,18	0,65
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		1	
Velocidad de viento (m/s)		4	
G/S (lb_{aire}/lb_{ssec})		$(G/S)_{estequiometrico}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XL.

Tabla LXI. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	244,20%	81,40%	0,00%	0,00%
0,5	3	180,03%	60,01%	105,98%	10,29%
1	3	138,78%	46,26%	139,92%	11,83%
2	3	82,23%	27,41%	279,15%	16,71%

Continuación de la tabla LXI.

3	3	59,86%	19,95%	174,23%	13,20%
4	3	36,07%	12,02%	118,31%	10,88%
5	3	23,67%	7,89%	66,79%	8,17%
6	3	13,71%	4,57%	20,07%	4,48%
7	3	7,15%	2,38%	2,36%	1,54%
8	3	5,29%	1,76%	0,77%	0,88%
9	3	4,47%	1,49%	0,60%	0,78%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XL.

Tabla LXII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	75,86	75,86	75,86
60	66,51	62,80	54,00
120	58,25	52,65	40,02
180	50,02	43,13	27,96
240	36,15	34,34	19,58
300	19,72	21,48	15,51
360	14,17	14,64	10,76
420	8,24	7,60	7,29
480	4,62	4,85	3,06
540	2,76	3,52	0,76
600	0,60	0,97	0,07

Continuación de la tabla LXII.

660	0,47	0,93	0,01
Parámetros			
Temperatura (°C)		35-40	
Presión (kPa)		85,326	
Dimensión del sólido		Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)		2	
Velocidad de viento (m/s)		1	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})		(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLI.

Tabla LXIII. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	227,58%	75,86%	0,00%	0,00%
1	3	183,30%	61,10%	41,30%	6,43%
2	3	150,92%	50,31%	87,19%	9,34%
3	3	121,11%	40,37%	127,39%	11,29%
4	3	90,08%	30,03%	82,60%	9,09%
5	3	56,71%	18,90%	9,42%	3,07%
6	3	39,57%	13,19%	4,49%	2,12%
7	3	23,13%	7,71%	0,24%	0,49%
8	3	12,53%	4,18%	0,95%	0,98%
9	3	7,04%	2,35%	2,03%	1,42%
10	3	1,65%	0,55%	0,20%	0,45%
11	3	1,41%	0,47%	0,21%	0,46%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLI.

Tabla LXIV. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	81,14	81,14	81,14
60	68,40	68,28	68,75
120	58,57	58,90	58,94
180	48,55	48,50	48,19
240	38,63	39,04	39,76
300	32,35	32,02	32,30
360	23,52	23,55	25,20
420	15,81	15,04	16,47
480	7,03	7,22	7,46
540	2,73	2,95	2,75
600	1,15	1,32	1,28
630	0,30	0,31	0,45
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	2		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S (lb_{aire}/lb_{sseco})	$(G/S)_{estequiométrico}$		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLII.

Tabla LXV. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	243,41%	81,14%	0,00%	0,00%
1	3	205,43%	68,48%	0,06%	0,24%
2	3	176,42%	58,81%	0,04%	0,20%
3	3	145,23%	48,41%	0,04%	0,20%
4	3	117,43%	39,14%	0,33%	0,57%
5	3	96,66%	32,22%	0,03%	0,18%
6	3	72,26%	24,09%	0,92%	0,96%
7	3	47,31%	15,77%	0,51%	0,72%
8	3	21,71%	7,24%	0,05%	0,21%
9	3	8,43%	2,81%	0,01%	0,12%
10	3	3,76%	1,25%	0,01%	0,09%
10,5	3	1,06%	0,35%	0,01%	0,08%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLII.

Tabla LXVI. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	83,17	83,17	83,17
60	72,12	68,84	63,77
120	58,75	59,30	54,21
180	45,20	46,87	46,15
240	38,88	35,31	39,75
300	33,92	26,19	33,57
360	20,12	14,70	19,62
420	10,32	8,41	13,70
480	5,10	3,26	4,70
540	1,23	1,45	1,61
600	0,10	0,78	0,56
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	2		
Velocidad de viento (m/s)	3		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIII.

Tabla LXVII. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	249,52%	83,17%	0,00%	0,00%
1	3	204,74%	68,25%	17,68%	4,20%
2	3	172,26%	57,42%	7,80%	2,79%
3	3	138,22%	46,07%	0,71%	0,84%
4	3	113,93%	37,98%	5,54%	2,35%
5	3	93,68%	31,23%	19,05%	4,36%
6	3	54,44%	18,15%	8,98%	3,00%
7	3	32,43%	10,81%	7,19%	2,68%
8	3	13,07%	4,36%	0,94%	0,97%
9	3	4,29%	1,43%	0,04%	0,19%
10	3	1,44%	0,48%	0,12%	0,35%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIII.

Tabla LXVIII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	80,41	80,41	80,41
60	71,14	66,92	59,78
120	58,48	56,48	51,46
180	47,96	50,37	47,07
240	34,10	39,20	35,74
300	29,87	25,86	27,43
360	24,11	16,54	22,19
420	18,62	8,86	15,88
480	10,86	5,38	9,44
540	4,62	1,48	3,96
600	0,85	-0,03	0,62
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	2		
Velocidad de viento (m/s)	4		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIV.

Tabla LXIX. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	241,24%	80,41%	0,00%	0,00%
1	3	197,83%	65,94%	32,95%	5,74%
2	3	166,42%	55,47%	13,06%	3,61%
3	3	145,40%	48,47%	2,91%	1,71%
4	3	109,04%	36,35%	6,79%	2,61%
5	3	83,16%	27,72%	4,09%	2,02%
6	3	62,85%	20,95%	15,48%	3,93%
7	3	43,36%	14,45%	25,32%	5,03%
8	3	25,68%	8,56%	8,09%	2,84%
9	3	10,05%	3,35%	2,75%	1,66%
10	3	1,44%	0,48%	0,21%	0,46%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIV.

Tabla LXX. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	81,01	81,01	81,01
60	73,82	72,66	62,97
120	70,08	68,26	55,88
180	65,37	63,16	48,20
240	56,10	58,50	43,63
300	49,05	54,54	40,23
360	47,32	52,58	37,19
420	34,87	38,40	20,35
480	30,61	31,74	17,59
540	27,93	27,09	15,00
600	24,54	22,20	12,75
660	21,48	17,73	9,88
720	16,67	14,63	8,23
780	13,12	11,90	6,66
840	9,97	8,41	4,39
900	6,62	5,51	2,86
960	3,85	3,44	1,68
1020	2,17	2,01	0,52
1080	0,84	0,97	-0,27
1140	0,28	0,42	-0,41
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	1		
G/S (lb_{aire}/lb_{ssec})	$(G/S)_{estequiométrico}$		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLV.

Tabla LXXI. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	243,04%	81,01%	0,00%	0,00%
1	3	209,46%	69,82%	35,47%	5,96%
2	3	194,22%	64,74%	59,70%	7,73%
3	3	176,74%	58,91%	87,29%	9,34%
4	3	158,24%	52,75%	63,76%	7,98%
5	3	143,82%	47,94%	52,17%	7,22%
6	3	137,08%	45,69%	61,19%	7,82%
7	3	93,61%	31,20%	91,56%	9,57%
8	3	79,94%	26,65%	61,84%	7,86%
9	3	70,02%	23,34%	52,32%	7,23%
10	3	59,48%	19,83%	38,97%	6,24%
11	3	49,09%	16,36%	35,03%	5,92%
12	3	39,53%	13,18%	19,36%	4,40%
13	3	31,68%	10,56%	11,78%	3,43%
14	3	22,77%	7,59%	8,28%	2,88%
15	3	14,99%	5,00%	3,72%	1,93%
16	3	8,98%	2,99%	1,33%	1,15%
17	3	4,70%	1,57%	0,83%	0,91%
18	3	1,54%	0,51%	0,47%	0,68%
19	3	0,29%	0,10%	0,20%	0,45%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLV.

Tabla LXXII. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	86,71	86,71	86,71
60	80,44	78,80	73,54
120	71,33	71,50	67,37
180	65,29	67,32	65,15
240	60,98	61,33	58,29
300	56,57	57,41	51,92
360	51,53	50,36	41,69
420	39,27	34,91	23,83
480	36,48	32,12	19,88
540	32,34	26,78	15,03
600	27,63	21,16	12,45
660	22,86	16,92	10,01
720	17,55	12,28	7,46
780	12,11	8,26	4,87
840	8,29	3,96	2,72
900	5,25	1,38	1,17
960	3,09	0,40	0,54
1020	1,66	-0,10	0,37
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	2		
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVI.

Tabla LXXIII. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	260,12%	86,71%	0,00%	0,00%
1	3	232,78%	77,59%	13,00%	3,61%
2	3	210,21%	70,07%	5,47%	2,34%
3	3	197,76%	65,92%	1,47%	1,21%
4	3	180,61%	60,20%	2,76%	1,66%
5	3	165,91%	55,30%	8,73%	2,95%
6	3	143,58%	47,86%	28,90%	5,38%
7	3	98,01%	32,67%	63,38%	7,96%
8	3	88,48%	29,49%	74,08%	8,61%
9	3	74,15%	24,72%	78,06%	8,84%
10	3	61,24%	20,41%	58,00%	7,62%
11	3	49,79%	16,60%	41,40%	6,43%
12	3	37,29%	12,43%	25,44%	5,04%
13	3	25,25%	8,42%	13,13%	3,62%
14	3	14,98%	4,99%	8,56%	2,93%
15	3	7,80%	2,60%	5,26%	2,29%
16	3	4,03%	1,34%	2,29%	1,51%
17	3	1,93%	0,64%	0,83%	0,91%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVI.

Tabla LXXIV. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	81,98	81,98	81,98
60	75,97	75,29	66,77
120	64,36	69,03	60,90
180	59,01	58,76	53,71
240	55,12	51,99	45,10
300	45,60	45,92	42,59
360	42,46	42,29	32,12
420	33,83	33,49	27,91
480	28,52	25,14	22,96
540	21,72	22,06	19,10
600	17,23	18,85	16,17
660	14,16	16,57	12,49
720	10,75	14,13	8,89
780	9,12	12,71	5,97
840	6,32	11,44	2,74
900	3,37	6,04	1,60
960	1,79	3,74	0,53
1020	0,49	1,75	-0,42
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	3		
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVII.

Tabla LXXV. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	245,94%	81,98%	0,00%	0,00%
1	3	218,03%	72,68%	26,30%	5,13%
2	3	194,28%	64,76%	16,65%	4,08%
3	3	171,49%	57,16%	8,95%	2,99%
4	3	152,21%	50,74%	26,30%	5,13%
5	3	134,10%	44,70%	3,38%	1,84%
6	3	116,88%	38,96%	35,06%	5,92%
7	3	95,24%	31,75%	11,04%	3,32%
8	3	76,62%	25,54%	7,83%	2,80%
9	3	62,88%	20,96%	2,62%	1,62%
10	3	52,25%	17,42%	1,83%	1,35%
11	3	43,22%	14,41%	4,22%	2,05%
12	3	33,77%	11,26%	7,05%	2,66%
13	3	27,80%	9,27%	11,35%	3,37%
14	3	20,50%	6,83%	19,12%	4,37%
15	3	11,01%	3,67%	5,01%	2,24%
16	3	6,05%	2,02%	2,62%	1,62%
17	3	1,81%	0,60%	1,19%	1,09%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVII.

Tabla LXXVI. **Curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (minutos)	Humedad base húmeda (%)		
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
0	81,77	81,77	81,77
60	73,79	75,92	71,50
120	65,72	67,65	62,36
180	59,09	61,05	55,58
240	54,10	54,74	49,67
300	47,79	48,65	43,24
360	41,47	44,13	39,58
420	35,20	39,20	33,14
480	30,30	31,18	28,38
540	24,92	26,65	23,07
600	18,98	21,19	18,06
660	14,01	16,01	12,03
720	9,80	11,19	7,96
780	6,14	6,88	4,26
840	3,22	3,89	2,12
900	1,05	1,15	0,84
Parámetros			
Temperatura (°C)	35-40		
Presión (kPa)	85,326		
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa		
Espesor de lecho (cm)	3		
Velocidad de viento (m/s)	4		
G/S (lb_{aire}/lb_{ssec})	(G/S) _{estequiométrico}		

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVIII.

Tabla LXXVII. **Análisis estadístico de los datos de la curva de secado de hojas de moringa, bajo condiciones de: espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo peso muestra (horas)	Corridas	Suma	Promedio	Varianza	Desviación estándar
0	3	245,31%	81,77%	0,00%	0,00%
1	3	221,21%	73,74%	4,88%	2,21%
2	3	195,73%	65,24%	7,16%	2,68%
3	3	175,72%	58,57%	7,68%	2,77%
4	3	158,51%	52,84%	7,63%	2,76%
5	3	139,68%	46,56%	8,46%	2,91%
6	3	125,17%	41,72%	5,21%	2,28%
7	3	107,54%	35,85%	9,52%	3,09%
8	3	89,87%	29,96%	2,05%	1,43%
9	3	74,64%	24,88%	3,22%	1,79%
10	3	58,23%	19,41%	2,57%	1,60%
11	3	42,06%	14,02%	3,95%	1,99%
12	3	28,94%	9,65%	2,62%	1,62%
13	3	17,28%	5,76%	1,82%	1,35%
14	3	9,23%	3,08%	0,79%	0,89%
15	3	3,04%	1,01%	0,02%	0,16%

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLVIII.

3.8.2. Análisis estadístico del efecto de los factores sobre el tiempo total de secado

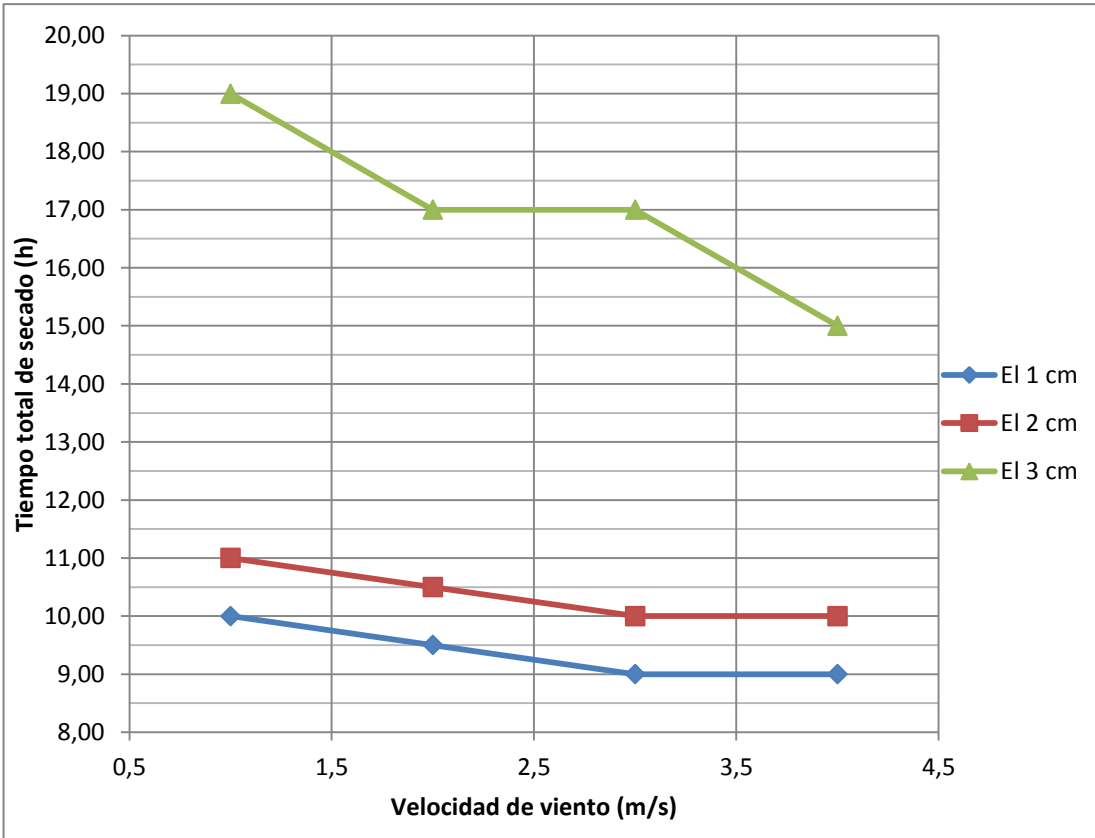
Se realizó el análisis estadístico de los datos para verificar la influencia del espesor de lecho de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) sobre las bandejas del secador y la velocidad de viento dentro del secador, considerado como factores, sobre el tiempo total de secado.

Tabla LXXVIII. Análisis de varianza para el tiempo total de secado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Velocidad de viento	6,25	3	2,08	4,00	0,07	4,76
Espesor de lecho	137,38	2	68,69	131,88	1,10E-05	5,14
Error	3,13	6	0,52			
Total	146,75	11				

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIX.

Figura 12. **Gráfica de interacción de las variables velocidad de viento y espesor de lecho sobre el tiempo total de secado**



Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIX.

3.8.3. Granulometría de la harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se tabularon, ordenaron y procesaron los datos del ensayo granulométrico de la harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*), que se presentan en las siguientes tablas.

Tabla LXXIX. **Porcentaje en masa de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) que pasa el tamiz respectivo**

Tamiz ^a	Mesh ^b	Apertura del tamiz (mm)	% de masa que pasa el tamiz
4	4	4.760	100.00%
12	10	1.680	99.75%
20	20	0.841	96.79%
40	35	0.420	76.51%
70	65	0.210	13.85%
100	100	0.149	3.68%
Parámetros			
Tamaño de la muestra		6735.0	
Tamices		4, 12, 20, 40, 70, 100	
^a Tamaño de tamiz de la serie de estados unidos equivalente ASTM ^b Tamaño de tamiz equivalente de Taylor			

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla LII.

Tabla LXXX. **Porcentaje en masa de harina de maíz (*Zea mays, L*) que pasa el tamiz respectivo**

Tamiz ^a	Mesh ^b	Apertura del tamiz (mm)	% de masa que pasa el tamiz
4	4	4.760	100.00%
12	10	1.680	96.93%
20	20	0.841	90.59%
40	35	0.420	72.97%
70	65	0.210	11.44%
100	100	0.149	1.72%
Parámetros			
Tamaño de la muestra		2660.0	
Tamices		4, 12, 20, 40, 70, 100	
^a Tamaño de tamiz de la serie de estados unidos equivalente ASTM ^b Tamaño de tamiz equivalente de Taylor			

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla LIII.

3.8.4. Formulaciones de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se tabularon, ordenaron y procesaron los datos de las formulaciones con harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*), que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla LXXXI. **Masa en gramos de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*) para la formulación de 200 gramos de harina, y porcentaje (%) en masa de moringa de cada formulación**

Mezcla (Moringa: Maíz)	Harina de Moringa (g)	Harina de maíz (g)	% masa de moringa
0:100	0.00	200.00	0.00%
30:70	60.00	140.00	30.00%
50:50	100.00	100.00	50.00%
70:30	140.00	60.00	70.00%
100:00	200.00	100.00	100.00%
Parámetros			
Tamaño de la muestra (g)		200.00	

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla LIV.

3.8.5. Análisis estadístico del efecto del contenido de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), sobre el contenido de nutrientes de la harina nutritiva

Se procesó la información del contenido de nutrientes de la harina fortificada y nutritiva por medio de un análisis estadístico, para constatar el

efecto del contenido de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) de la harina fortificada sobre el valor nutricional de la misma.

Tabla LXXXII. **Comparación múltiple de medias, prueba de Duncan, determinación de rangos de menor significancia**

Nutrientes	Porcentaje de moringa en masa					Varianza	GI Varianza	P $r_{p(0.05;p,v)}$	2	3	4	5
	0,0%	30,0%	50,0%	70,0%	100,0%							
	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_3	\bar{y}_4	\bar{y}_5				3,93	4,01	4,03	4,03
% de Agua	\bar{y}_1 8,68	\bar{y}_2 10,64	\bar{y}_3 11,75	\bar{y}_4 12,38	\bar{y}_5 14,86	5,17	4	R_p	3,99	4,08	4,10	4,10
Materia seca tota (M.S.T) %	\bar{y}_5 85,14	\bar{y}_4 87,62	\bar{y}_3 88,25	\bar{y}_2 89,36	\bar{y}_1 91,32	5,17	4	R_p	3,99	4,08	4,10	4,10
Extracto etéreo (E.E) %	\bar{y}_1 4,01	\bar{y}_2 4,82	\bar{y}_3 5,12	\bar{y}_4 5,32	\bar{y}_5 6,41	0,76	4	R_p	1,53	1,56	1,57	1,57
Fibra cruda (F.C) %	\bar{y}_1 6,71	\bar{y}_2 11,62	\bar{y}_3 17,87	\bar{y}_4 20,37	\bar{y}_5 27,03	61,79	4	R_p	13,80	14,11	14,18	14,18
Proteína cruda %	\bar{y}_1 12,75	\bar{y}_2 20,98	\bar{y}_3 23,55	\bar{y}_4 25,57	\bar{y}_5 35,87	69,73	4	R_p	14,67	14,99	15,06	15,06
Cenizas %	\bar{y}_1 1,96	\bar{y}_2 5,01	\bar{y}_3 7,03	\bar{y}_4 8,06	\bar{y}_5 12,16	14,25	4	R_p	6,63	6,77	6,81	6,81
Extracto libre de nitrógeno (E.L.N) %	\bar{y}_5 18,53	\bar{y}_4 40,67	\bar{y}_3 46,43	\bar{y}_2 57,58	\bar{y}_1 74,56	430,22	4	R_p	36,43	37,22	37,41	37,41
Calcio %	\bar{y}_1 0,18	\bar{y}_2 0,29	\bar{y}_3 0,32	\bar{y}_5 0,38	\bar{y}_4 0,41	8,03E-03	4	R_p	0,16	0,16	0,16	0,16
Fósforo %	\bar{y}_1 0,04	\bar{y}_2 0,05	\bar{y}_5 0,07	\bar{y}_3 0,13	\bar{y}_4 0,11	1,50E-03	4	R_p	0,07	0,07	0,07	0,07

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados, tabla CXVII.

Tabla LXXXIII. Comparación de rangos de menor significancia con las diferencias de medias ordenadas

Nutrientes	R _p para P					P										
	3		4		5	4		3		2		3		2		
	2	3	4	5	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
% de Agua	3,99	4,08	4,10	4,10	4,10	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 6,18	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 4,22	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 3,70	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 3,11	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 1,74	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 3,07	$\bar{y}_5 - \bar{y}_4$ 2,48	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 0,63	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 1,11	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 1,96	
Materia seca total (M.S.T) %	3,99	4,08	4,10	4,10	4,10	$\bar{y}_1 - \bar{y}_5$ 6,18	$\bar{y}_1 - \bar{y}_4$ 3,70	$\bar{y}_2 - \bar{y}_5$ 4,22	$\bar{y}_1 - \bar{y}_3$ 3,07	$\bar{y}_2 - \bar{y}_4$ 1,74	$\bar{y}_3 - \bar{y}_5$ 3,11	$\bar{y}_1 - \bar{y}_2$ 1,96	$\bar{y}_2 - \bar{y}_3$ 1,11	$\bar{y}_3 - \bar{y}_4$ 0,63	$\bar{y}_4 - \bar{y}_5$ 2,48	
Extracto etéreo (E.E) %	1,53	1,56	1,57	1,57	1,57	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 2,40	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 1,59	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 1,31	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 1,29	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 0,50	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 1,11	$\bar{y}_5 - \bar{y}_4$ 1,09	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 0,20	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 0,30	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 0,81	
Fibra cruda (F.C) %	13,80	14,11	14,18	14,18	14,18	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 20,32	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 15,41	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 13,66	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 9,16	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 8,75	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 11,16	$\bar{y}_5 - \bar{y}_4$ 6,66	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 2,50	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 6,25	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 4,91	
Proteína cruda %	14,67	14,99	15,06	15,06	15,06	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 23,12	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 14,89	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 12,82	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 12,32	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 4,59	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 10,80	$\bar{y}_5 - \bar{y}_4$ 10,30	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 2,02	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 2,57	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 8,23	
Cenizas %	6,63	6,77	6,81	6,81	6,81	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 10,20	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 7,15	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 6,10	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 5,13	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 3,05	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 5,07	$\bar{y}_5 - \bar{y}_4$ 4,10	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 1,03	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 2,02	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 3,05	
Extracto libre de nitrógeno (E.L.N) %	36,43	37,22	37,41	37,41	37,41	$\bar{y}_1 - \bar{y}_5$ 56,03	$\bar{y}_1 - \bar{y}_4$ 33,89	$\bar{y}_2 - \bar{y}_5$ 39,05	$\bar{y}_1 - \bar{y}_3$ 28,13	$\bar{y}_2 - \bar{y}_4$ 16,91	$\bar{y}_3 - \bar{y}_5$ 27,90	$\bar{y}_1 - \bar{y}_2$ 16,98	$\bar{y}_2 - \bar{y}_3$ 11,15	$\bar{y}_3 - \bar{y}_4$ 5,76	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 22,14	
Calcio %	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 0,23	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 0,12	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 0,20	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 0,09	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 0,09	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 0,14	$\bar{y}_4 - \bar{y}_5$ 0,03	$\bar{y}_5 - \bar{y}_3$ 0,06	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 0,03	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 0,11	
Fósforo %	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	$\bar{y}_4 - \bar{y}_1$ 0,09	$\bar{y}_4 - \bar{y}_2$ 0,08	$\bar{y}_3 - \bar{y}_1$ 0,07	$\bar{y}_4 - \bar{y}_5$ 0,06	$\bar{y}_3 - \bar{y}_2$ 0,06	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 0,03	$\bar{y}_4 - \bar{y}_3$ 0,02	$\bar{y}_3 - \bar{y}_5$ 0,04	$\bar{y}_5 - \bar{y}_2$ 0,02	$\bar{y}_5 - \bar{y}_1$ 0,01	

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados, tabla CXVII.

3.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo.

3.9.1. Promedio o media de la muestra

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

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Ecuación 1

3.9.2. Varianza y desviación estándar

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

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

Ecuación 2

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

$$s = \sqrt{S^2}$$

Ecuación 3

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

3.9.3. Número de repeticiones

Para determinar el número de repeticiones se utilizará un nivel de confianza del 95 por ciento, un nivel de significancia de 5 por ciento, una probabilidad de éxito del 95 por ciento, y una probabilidad de fracaso del 5 por ciento y con un error estimado de 25 por ciento.

$$n = \frac{pqz_{\alpha/2}^2}{e^2}$$

Ecuación 25

Donde:

n = número de corridas

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

$z_{\alpha/2}$ = variable aleatoria en función del nivel de significancia

e = error estimado

α = nivel de significancia

$$n = \frac{(1,96)^2(0,95)(0,05)}{(0,25)^2} = 2,91 \approx 3$$

Ecuación 26

3.9.4. Intervalo de confianza de la media con desviación estándar desconocida

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

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 27

Donde:

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

\bar{X} = media muestral

μ = media poblacional

S = desviación muestral

n = número de muestras

3.9.5. Prueba de hipótesis para la comparación de medias de las propiedades nutricionales de cada mezcla fortificada respecto de las propiedades nutricionales de la harina de maíz

Para la comparación de las propiedades que contiene la harina de maíz fortificada con harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y el valor nutritivo de ambas es necesario realizar ciertas pruebas.

Se utilizó la prueba de hipótesis para la media de una población. La ecuación utilizada con desviación poblacional desconocida es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

Ecuación 28

Donde:

t = valor t *student*

\bar{X} = media muestral

μ = media poblacional

S = desviación muestral

n = número de muestras

El valor obtenido de la ecuación anterior será comparado con el valor en la tabla de t de *student* con un grado de confiabilidad del 95 por ciento. Si el valor absoluto de la ecuación es menor que el valor de la tabla de t de *student* se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

3.9.6. Análisis de varianza

Se realizó un análisis de varianza a los factores: espesor de lecho y velocidad de viento, e interacción de los mismos para determinar si existe o no diferencia significativa en los efectos causados por ellos sobre el tiempo total de secado.

3.9.6.1. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

Este análisis permite estudiar simultáneamente los efectos de dos fuentes de variación para comprobar si existe o no diferencia significativa en los efectos causados.

Tabla LXXXIV. Experimento de dos factores con una sola réplica

A	B			B	Total	Media
	1	2	...			
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1b}	Y_1	\bar{y}_1
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2b}	Y_2	\bar{y}_2
.
.
.
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{ab}	Y_a	\bar{y}_a
Total	Y_1	Y_2	...	Y_b	Y	
Media	\bar{y}_1	\bar{y}_2	...	\bar{y}_b		$\bar{\bar{y}}$

Fuente: WALPOLE, Ronald E.; et al. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, p. 565.

Se supone que las ab poblaciones tienen la misma varianza conjunta σ^2 .

Donde:

y_{ij} = observación tomada en el i – ésimo nivel del factor A y el
– ésimo nivel del factor B

Y_{ij} = suma de las observaciones en la (ij) – ésima celda

Y_i = suma de las observaciones para el i – ésimo nivel del factor A

Y_j = suma de las observaciones para el j – ésimo nivel del factor B

Y = suma de todas las ab observaciones

\bar{y}_{ij} = media de las observaciones en la (ij) – ésima celda

\bar{y}_i = media de las observaciones para el i – ésimo nivel del factor A

\bar{y}_j = media de las observaciones para el j – ésimo nivel del factor B

\bar{y} = media de todas las ab observaciones

3.9.6.2. Modelo para cada observación

Los métodos estadísticos más utilizados en el análisis de variables numéricas continuas, están en su mayoría diseñados para situaciones en las que se registra una única medida por cada unidad de observación.

Cada observación se representa de la siguiente forma:

$$y_{ij} = \mu_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Ecuación 4

Donde ϵ_{ij} mide la desviación del valor observado y_{ij} de la media de la población μ_{ij} . Esta ecuación se puede escribir de la siguiente forma:

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j$$

Ecuación 5

Donde:

α_i = Efecto del i – ésimo nivel del factor A

β_j = Efecco del j – ésimo nivel del factor B

3.9.6.3. Hipótesis estadísticas de prueba

Al realizar esta prueba de hipótesis se parte de un valor supuesto, después se acepta o se rechaza el valor hipotético, según proceda. Se rechaza el valor hipotético sólo si el resultado muestral resulta muy poco probable.

$$H'_0 = \alpha_1 = \alpha_2 \cdots = \alpha_a = 0$$

Ecuación 6

$$H'_1 = \text{Al menos una de las } \alpha_i \text{ no es igual a } 0$$

Ecuación 7

$$H''_0 = \beta_1 = \beta_2 \cdots = \beta_b = 0$$

Ecuación 8

$$H''_1 = \text{Al menos una de las } \beta_j \text{ no es igual a } 0$$

Ecuación 9

3.9.6.4. Identidad de la suma de cuadrados

Es la suma de cuadrados de 2 factores y sucesivos, sumandos que reciben respectivamente el nombre de suma de cuadrados y recoge la variabilidad de los datos alrededor de las medias de cada muestra.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y})^2 = b \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y})^2 + b \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$$

Ecuación 10

Simbólicamente, la identidad de la suma de cuadrados se escribe como

$$STC = SCA + SCB + SCE$$

Ecuación 11

Donde:

STC = suma total de cuadrados

SCA = suma de cuadrados del factor A

SCB = suma de cuadrados del factor B

SCE = suma de cuadrados del error

Los grados de libertad se calculan según la siguiente identidad:

$$ab - 1 = (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1)$$

Ecuación 12

3.9.6.5. Formación de los cuadrados medios

Dividiendo cada suma de cuadrados, del lado derecho de la identidad de la suma de cuadrados totales, dentro de sus grados de libertad se obtienen los cuadrados medios estadísticos.

$$S_1^2 = \frac{SCA}{a-1}$$

Ecuación 13

$$S_2^2 = \frac{SCB}{b-1}$$

Ecuación 14

$$S^2 = \frac{SCE}{(a-1)(b-1)}$$

Ecuación 15

3.9.6.6. Cálculo del estadístico de prueba

El estadístico de prueba es el valor para la variable aleatoria F_n , con distribución F, con v, k grados de libertad.

Para probar la hipótesis H'_0 , de que los efectos del factor A son todos iguales a cero, se calcula la siguiente razón:

$$f_1 = \frac{S_1^2}{S^2}$$

Ecuación 16

La hipótesis nula H'_0 se rechaza al nivel de significancia α cuando $f_1 > f_{\alpha} [a - 1, (a - 1)(b - 1)]$. Para probar la hipótesis H''_0 , de que los efectos del factor B son todos iguales a cero, se calcula la siguiente razón:

$$f_2 = \frac{S_2^2}{S^2}$$

Ecuación 17

La hipótesis nula H''_0 se rechaza al nivel de significancia α cuando $f_2 > f_{\alpha} [b - 1, (a - 1)(b - 1)]$.

3.9.7. Comparación múltiple de medias

A los factores que presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza se les realizó una prueba múltiple de medias según el criterio de Tukey, para determinar los mejores tratamientos.

3.9.7.1. Comparación múltiple de medias: prueba de Duncan

Esta prueba se basa en rangos estudentizados. Se comparan las diferencias o rango de subconjuntos de p medias muestrales, los cuales deben exceder cierto valor antes de concluir que las medias comparadas son diferentes.

3.9.7.1.1. Rango de menor significancia

Con la siguiente ecuación se obtendrán rangos de menor significancia:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

Ecuación 18

Donde:

r_p = rango estudentizado de menor significancia

El rango estudentizado de menor significancia depende del grado de significancia deseado y del número de grados de libertad del cuadrado medio del error. Se comparan las diferencias absolutas de las medias $|\bar{y}_i - \bar{y}_j|$ y si este valor excede a R_p se concluye que existe una diferencia significativa entre las medias comparadas.

4. RESULTADOS

4.1. Curvas de secado de hoja de moringa (*Moringa oleífera Lam*)

A continuación se presentan los resultados de humedad inicial y final de los lotes de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), la humedad de los lotes de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) en función del tiempo y sus gráficas.

Tabla LXXXV. **Porcentaje de humedad inicial⁶⁷, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ε_L (cm)	V_V (m/s)	Humedad base húmeda (%H _{BH})	Desviación estándar (%)
1	1	82,13	0,98
1	2	83,30	0,75
1	3	79,01	0,75
1	4	81,40	1,37
2	1	75,86	1,88
2	2	81,14	1,88
2	3	83,17	0,78
2	4	80,41	0,93
3	1	81,01	1,67
3	2	86,71	3,71
3	3	81,98	0,51
3	4	81,77	1,59
Parámetros			
Temperatura (°C)		105,00	
Presión (kPa)		85,326	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LV y LVI.

⁶⁷ Tomado como valor de referencia en el tiempo cero de la curva de secado.

Tabla LXXXVI. **Porcentaje de humedad final real, de los diferentes lotes de hojas de moringa secados; para las condiciones especificadas de espesor de lecho y velocidad de viento**

ε_L (cm)	V_V (m/s)	Humedad base húmeda (%H _{Bh})	Desviación estándar (%)
1	1	7,69	0,79
1	2	6,13	0,16
1	3	7,33	1,05
1	4	19,28	13,08
2	1	8,81	1,75
2	2	6,78	1,75
2	3	8,18	0,19
2	4	7,82	0,63
3	1	7,63	0,98
3	2	6,85	0,32
3	3	8,45	0,97
3	4	7,88	0,50
Parámetros			
Temperatura (°C)		105,00	
Presión (kPa)		85,326	

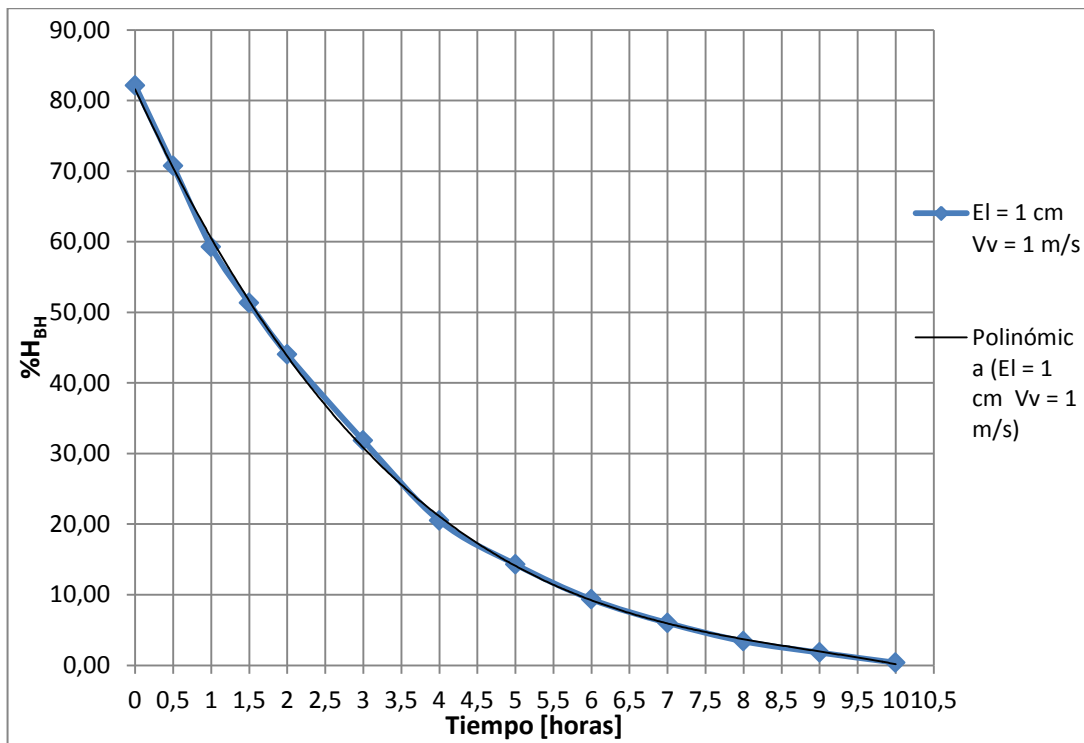
Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LVII y LVIII.

Tabla LXXXVII. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0,0	82,13	0,00
0,5	70,73	0,72
1,0	59,28	0,83
1,5	51,31	0,48
2,0	44,03	1,17
3,0	31,83	0,38
4,0	20,48	0,16
5,0	14,30	0,30
6,0	9,35	0,28
7,0	6,01	0,86
8,0	3,40	0,34
9,0	1,80	0,23
10,0	0,37	0,05
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	1	
Velocidad de viento (m/s)	1	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LIX y LX.

Figura 13. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCII.

Tabla LXXXVIII. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 13**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = -0,092x^3 + 2,45x^2 - 23,4x + 81,6$	1,00	[0,0 - 10,0]

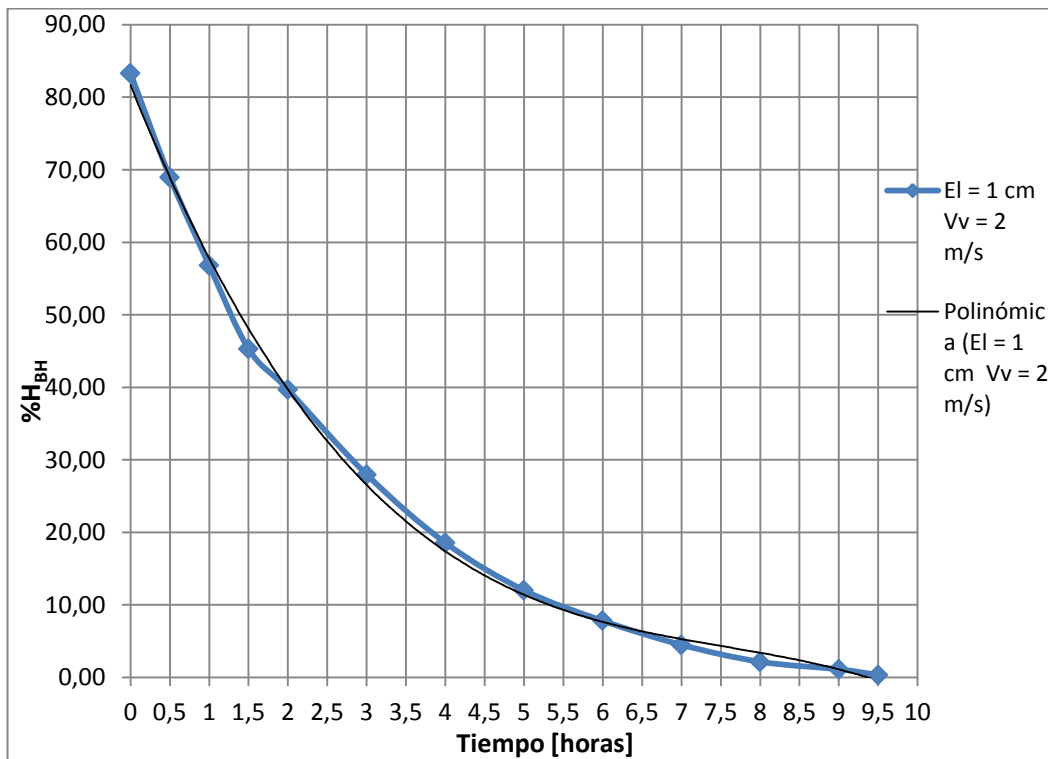
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCII.

Tabla LXXXIX. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0,0	83,30	0,00
0,5	68,98	1,65
1,0	56,81	1,42
1,5	45,30	1,52
2,0	39,69	0,33
3,0	27,98	0,73
4,0	18,57	0,38
5,0	12,02	0,48
6,0	7,82	0,52
7,0	4,49	0,43
8,0	2,16	0,10
9,0	1,13	0,21
9,5	0,35	0,31
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	1	
Velocidad de viento (m/s)	2	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXI y LXII.

Figura 14. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCIV.

Tabla XC. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 14**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = -0,148x^3 + 3,34x^2 - 27,1x + 81,7$	0,998	[0,0 - 9,5]

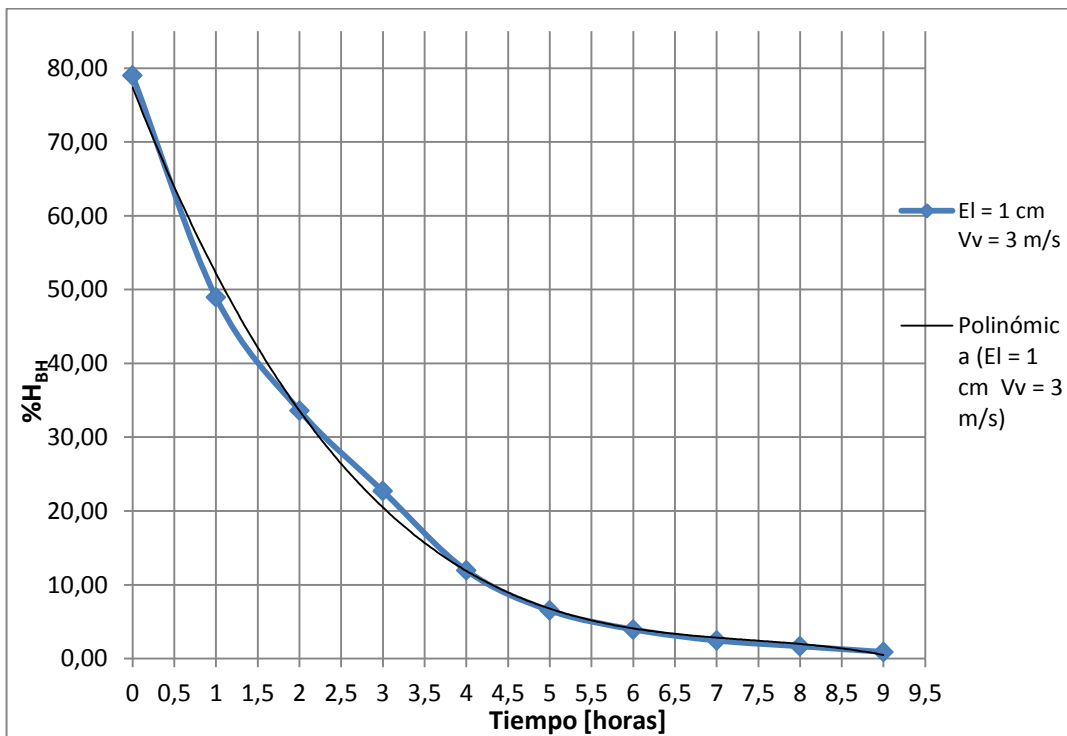
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCIV.

Tabla XCI. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	79,01	0,00
1	48,95	5,01
2	33,62	6,34
3	22,70	2,77
4	11,94	4,05
5	6,52	2,76
6	3,95	2,24
7	2,44	1,28
8	1,66	0,93
9	0,90	0,76
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	1	
Velocidad de viento (m/s)	3	
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXIII y LXIV.

Figura 15. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCVI.

Tabla XCII. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 15**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = -0,171x^3 + 3,79x^2 - 28,8x + 77,4$	0,997	[0,0 - 9,0]

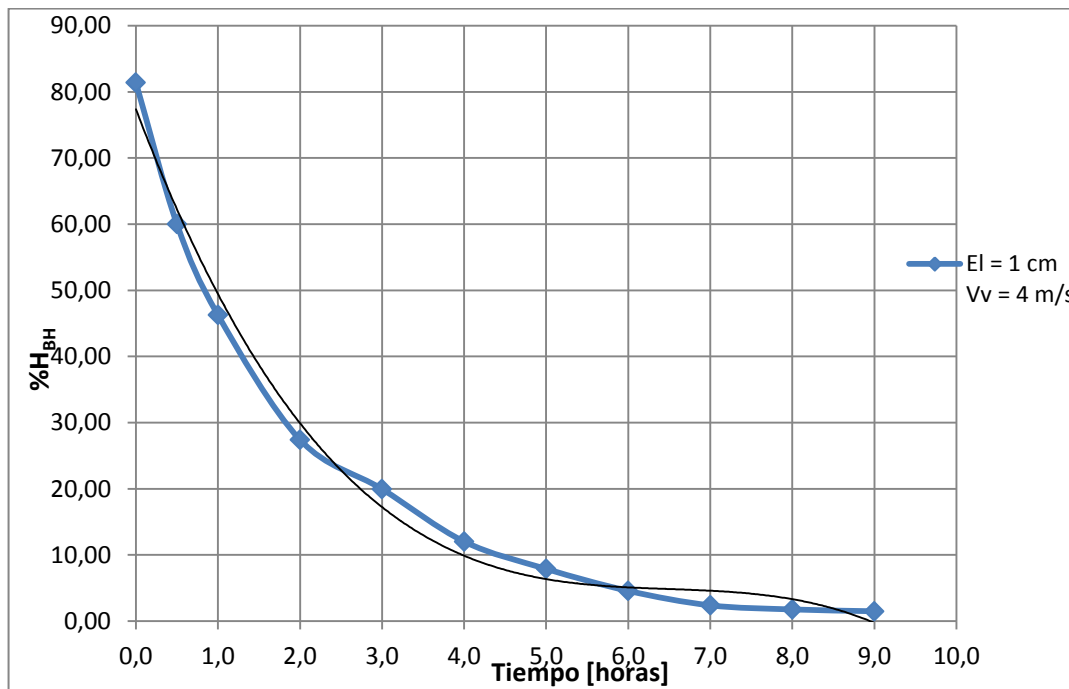
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla LXXX.

Tabla XCIII. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0,0	81,40	0,00
0,5	60,01	10,29
1,0	46,26	11,83
2,0	27,41	16,71
3,0	19,95	13,20
4,0	12,02	10,88
5,0	7,89	8,17
6,0	4,57	4,48
7,0	2,38	1,54
8,0	1,76	0,88
9,0	1,49	0,78
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	1	
Velocidad de viento (m/s)	4	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXV y LXVI.

Figura 16. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCVIII.

Tabla XCIV. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 16**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = -0,255x^3 + 4,96x^2 - 32,6x + 77,4$	0,991	[0,0 - 9,0]

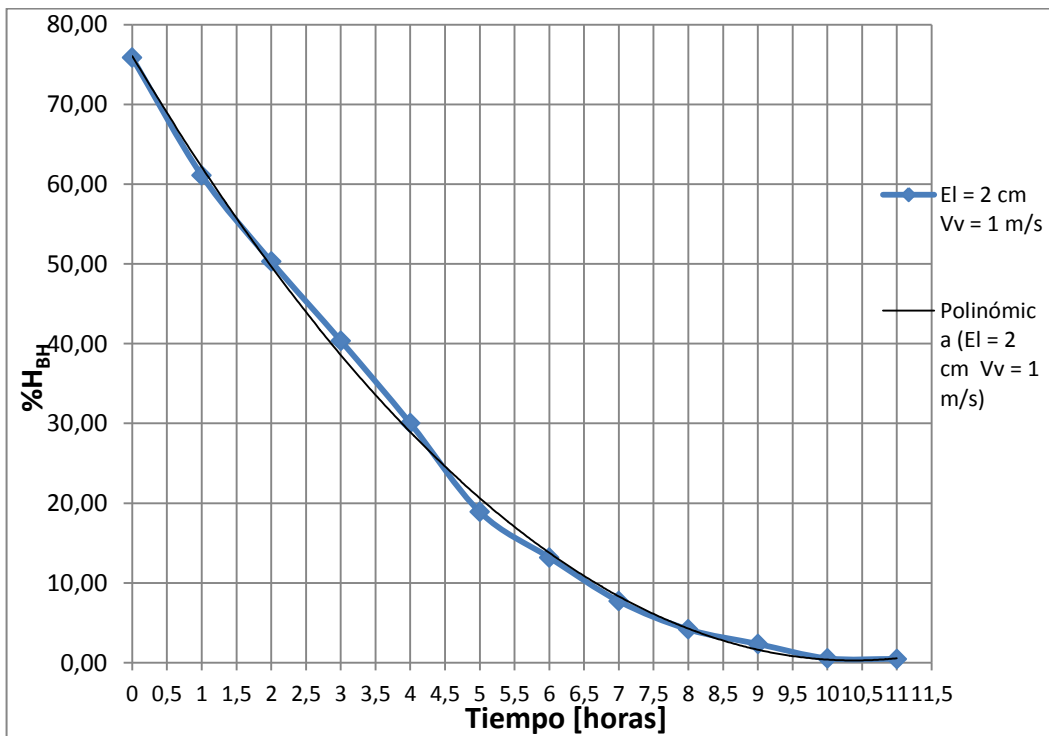
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XCVIII.

Tabla XCV. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	75,86	0,00
1	61,10	6,43
2	50,31	9,34
3	40,37	11,29
4	30,03	9,09
5	18,90	3,07
6	13,19	2,12
7	7,71	0,49
8	4,18	0,98
9	2,35	1,42
10	0,55	0,45
11	0,47	0,46
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	2	
Velocidad de viento (m/s)	1	
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXVII y LXVIII.

Figura 17. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla C.

Tabla XCVI. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 17**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 7,04 \times 10^{-1}x^2 - 14,6x + 76,1$	1,00	[0,0 - 11,0]

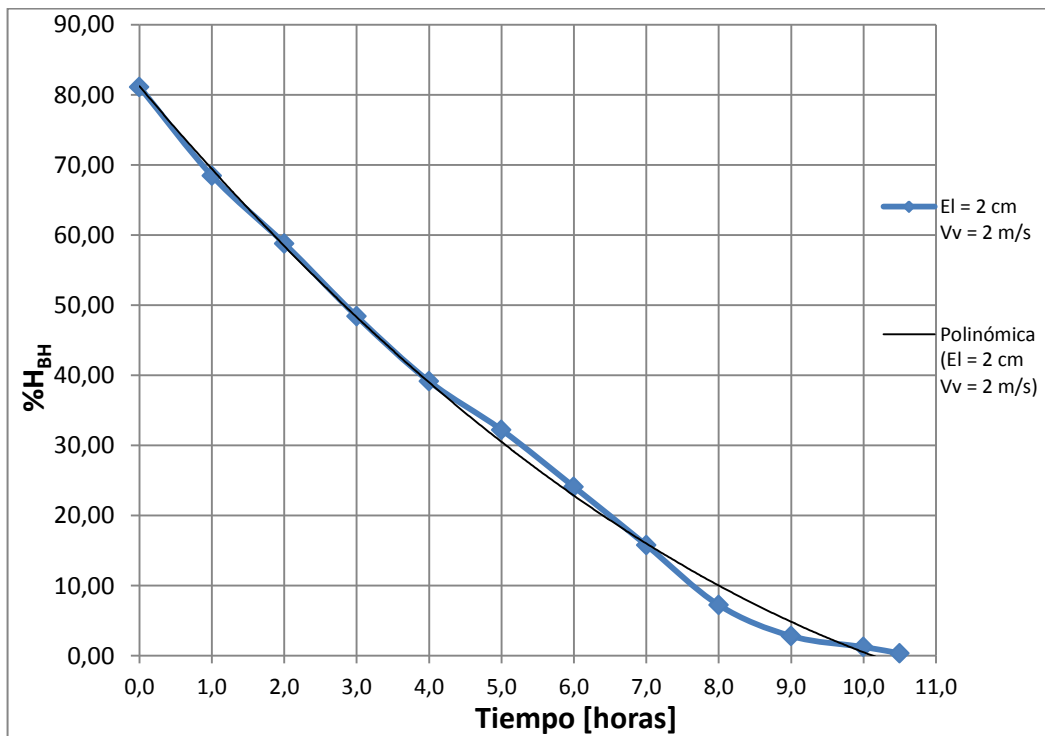
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla C.

Tabla XCVII. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 centímetros y velocidad de viento 2 metros por segundo**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0,0	81,14	0,00
1,0	68,48	0,24
2,0	58,81	0,20
3,0	48,41	0,20
4,0	39,14	0,57
5,0	32,22	0,18
6,0	24,09	0,96
7,0	15,77	0,72
8,0	7,24	0,21
9,0	2,81	0,12
10,0	1,25	0,09
10,5	0,35	0,08
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	2	
Velocidad de viento (m/s)	2	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXIX y LXX.

Figura 18. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CII.

Tabla XCVIII. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 18**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,41x^2 - 12,22x + 81,21$	1,00	[0,0 - 10,5]

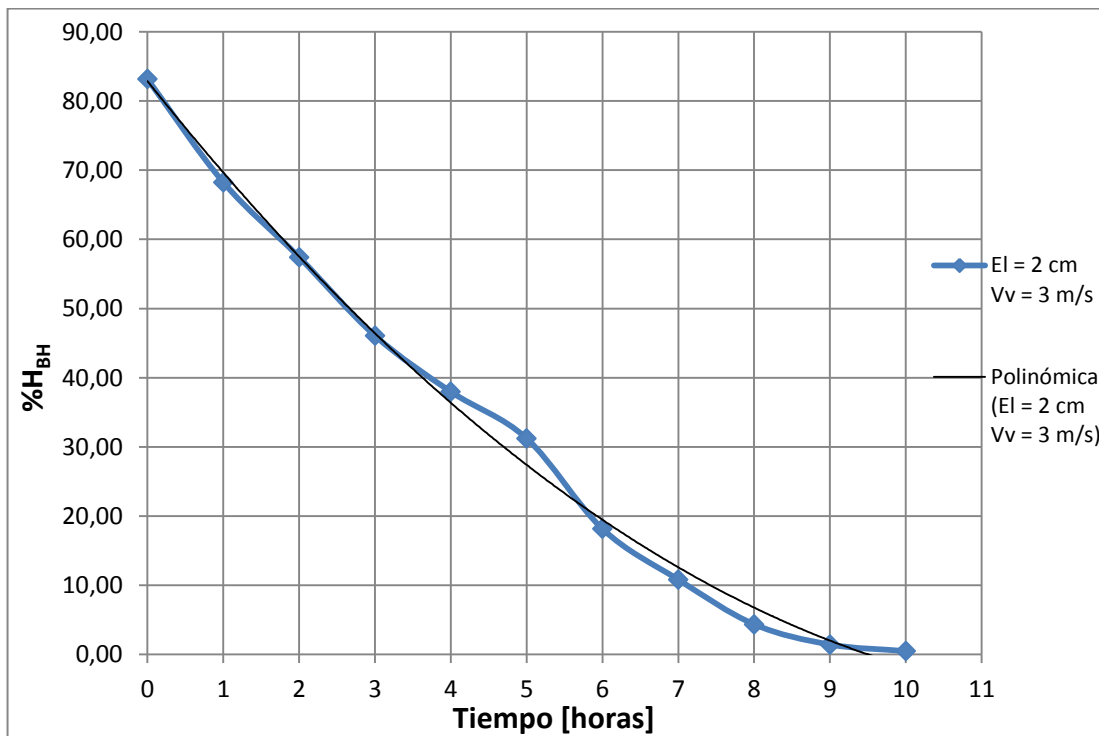
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CII.

Tabla XCIX. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	83,17	0,00
1	68,25	4,20
2	57,42	2,79
3	46,07	0,84
4	37,98	2,35
5	31,23	4,36
6	18,15	3,00
7	10,81	2,68
8	4,36	0,97
9	1,43	0,19
10	0,48	0,35
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	2	
Velocidad de viento (m/s)	3	
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXI y LXXII.

Figura 19. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CIV.

Tabla C. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 19**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,53x^2 - 13,73x + 82,86$	1,00	[0,0 - 10,0]

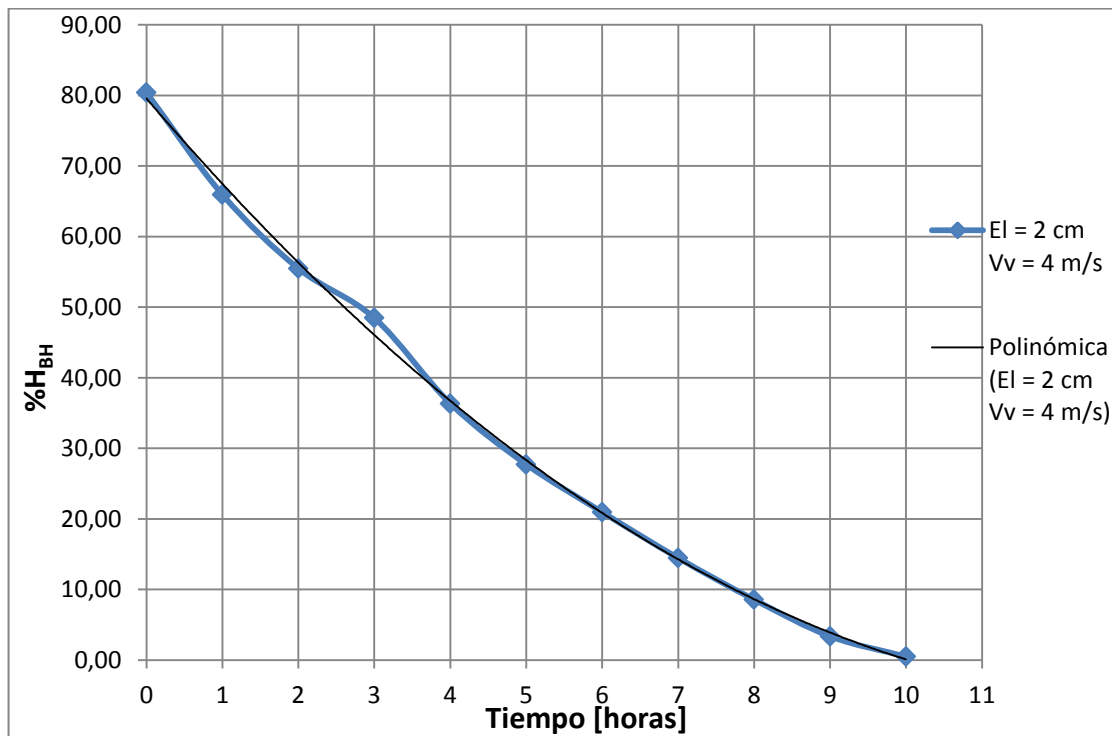
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CIV.

Tabla CI. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	80,41	0,00
1	65,94	5,74
2	55,47	3,61
3	48,47	1,71
4	36,35	2,61
5	27,72	2,02
6	20,95	3,93
7	14,45	5,03
8	8,56	2,84
9	3,35	1,66
10	0,48	0,46
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido (mm)	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	2	
Velocidad de viento (m/s)	4	
G/S ($lb_{\text{aire}}/lb_{\text{sseco}}$)	$(G/S)_{\text{estequiométrico}}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXIII y LXXIV.

Figura 20. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CVI.

Tabla CII. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 20**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,46x^2 - 12,55x + 79,56$	1,00	[0,0 - 10,0]

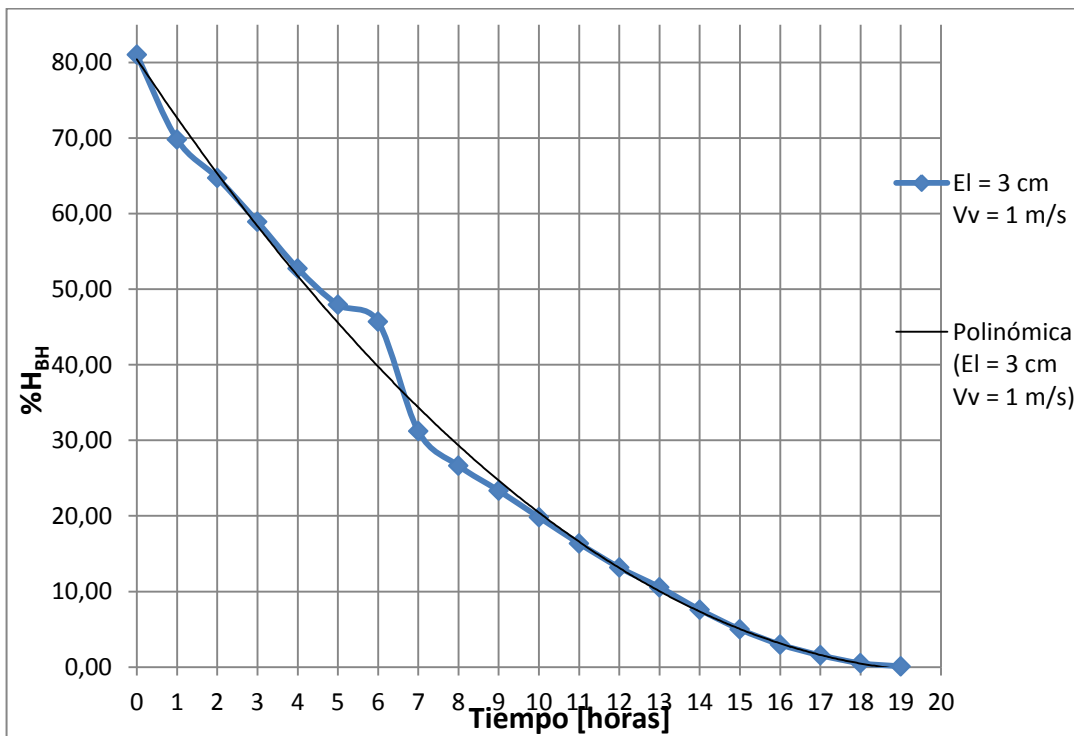
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CVI.

Tabla CIII. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	81,01	0,00
1	69,82	5,96
2	64,74	7,73
3	58,91	9,34
4	52,75	7,98
5	47,94	7,22
6	45,69	7,82
7	31,20	9,57
8	26,65	7,86
9	23,34	7,23
10	19,83	6,24
11	16,36	5,92
12	13,18	4,40
13	10,56	3,43
14	7,59	2,88
15	5,00	1,93
16	2,99	1,15
17	1,57	0,91
18	0,51	0,68
19	0,10	0,45
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	3	
Velocidad de viento (m/s)	1	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXV y LXXVI.

Figura 21. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CVIII.

Tabla CIV. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 21**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,19x^2 - 7,94x + 80,43$	0,99	[0,0 - 19,0]

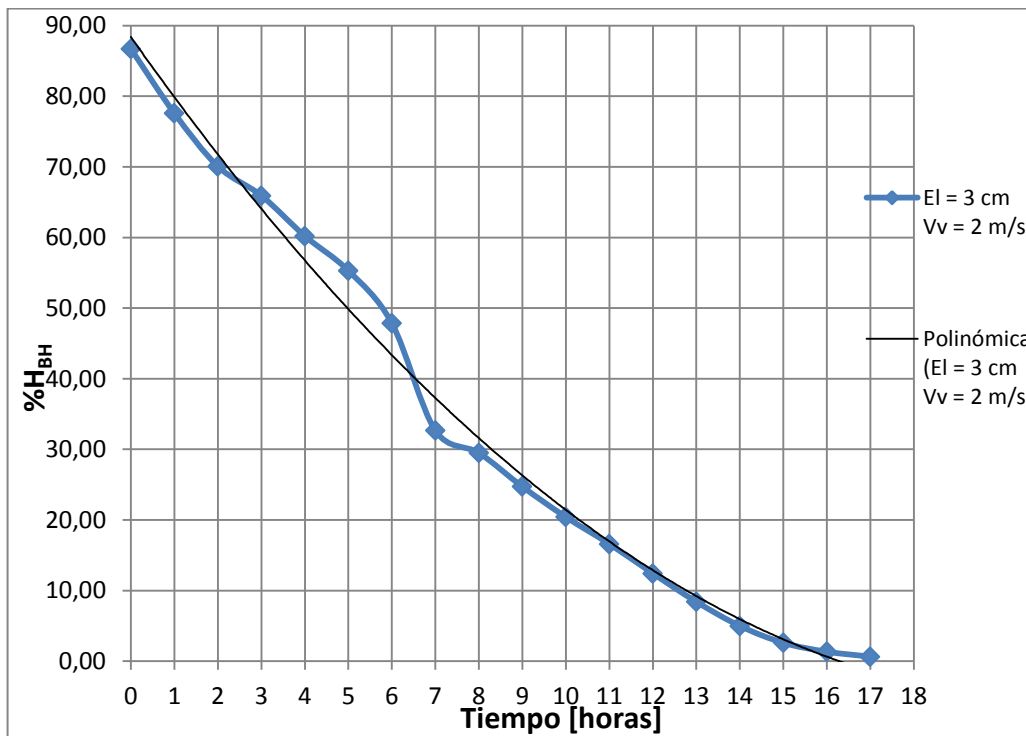
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CVIII.

Tabla CV. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	86,71	0,00
1	77,59	3,61
2	70,07	2,34
3	65,92	1,21
4	60,20	1,66
5	55,30	2,95
6	47,86	5,38
7	32,67	7,96
8	29,49	8,61
9	24,72	8,84
10	20,41	7,62
11	16,60	6,43
12	12,43	5,04
13	8,42	3,62
14	4,99	2,93
15	2,60	2,29
16	1,34	1,51
17	0,64	0,91
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	3	
Velocidad de viento (m/s)	2	
G/S (lb_{aire}/lb_{sseco})	$(G/S)_{estequiometrico}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXVII y LXXVIII.

Figura 22. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CX.

Tabla CVI. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 22**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,20x^2 - 8,72x + 88,38$	0,99	[0,0 - 17,0]

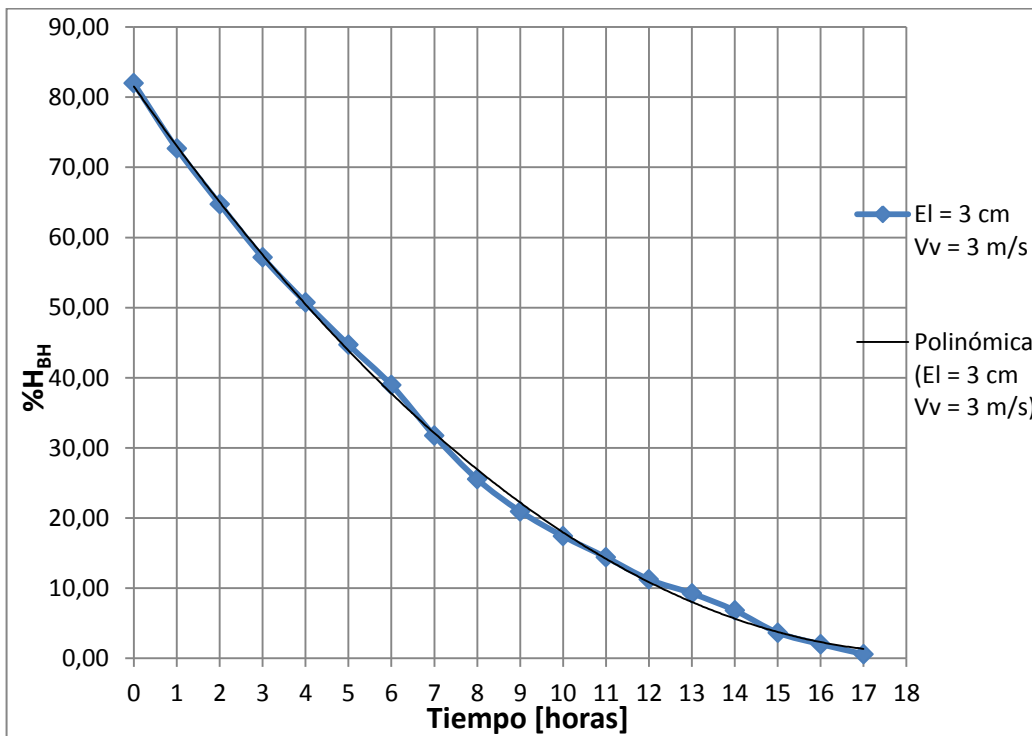
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CX.

Tabla CVII. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	81,98	0,00
1	72,68	5,13
2	64,76	4,08
3	57,16	2,99
4	50,74	5,13
5	44,70	1,84
6	38,96	5,92
7	31,75	3,32
8	25,54	2,80
9	20,96	1,62
10	17,42	1,35
11	14,41	2,05
12	11,26	2,66
13	9,27	3,37
14	6,83	4,37
15	3,67	2,24
16	2,02	1,62
17	0,60	1,09
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	3	
Velocidad de viento (m/s)	3	
G/S (lb _{aire} /lb _{sseco})	(G/S) _{estequiométrico}	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXIX y LXXX.

Figura 23. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CXII.

Tabla CVIII. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 23**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,23x^2 - 8,70x + 81,51$	1,00	[0,0 - 17,0]

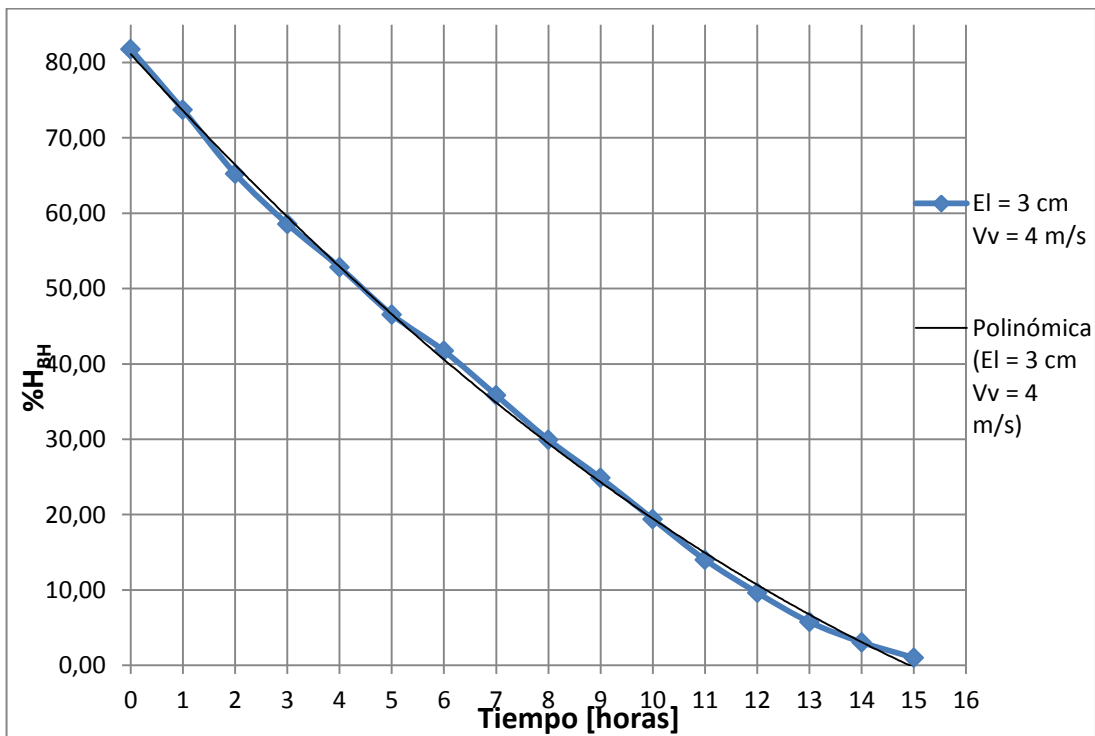
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CXII.

Tabla CIX. **Porcentaje de humedad de las muestras de hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s**

Tiempo de secado (horas)	Humedad base húmeda (%)	Desviación estándar (%)
0	81,77	0,00
1	73,74	2,21
2	65,24	2,68
3	58,57	2,77
4	52,84	2,76
5	46,56	2,91
6	41,72	2,28
7	35,85	3,09
8	29,96	1,43
9	24,88	1,79
10	19,41	1,60
11	14,02	1,99
12	9,65	1,62
13	5,76	1,35
14	3,08	0,89
15	1,01	0,16
Parámetros		
Temperatura (°C)	35-40	
Presión (kPa)	85,326	
Dimensión del sólido	Hoja fresca de moringa	
Espesor de lecho (cm)	3	
Velocidad de viento (m/s)	4	
G/S (lb_{aire}/lb_{ssec})	$(G/S)_{estequiometrico}$	

Fuente: elaboración propia, con base en la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información, tabla LXXXI y LXXXII.

Figura 24. **Porcentaje de humedad con base húmeda (%H_{BH}) de las hojas de moringa en función del tiempo, secadas bajo condiciones de espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s**



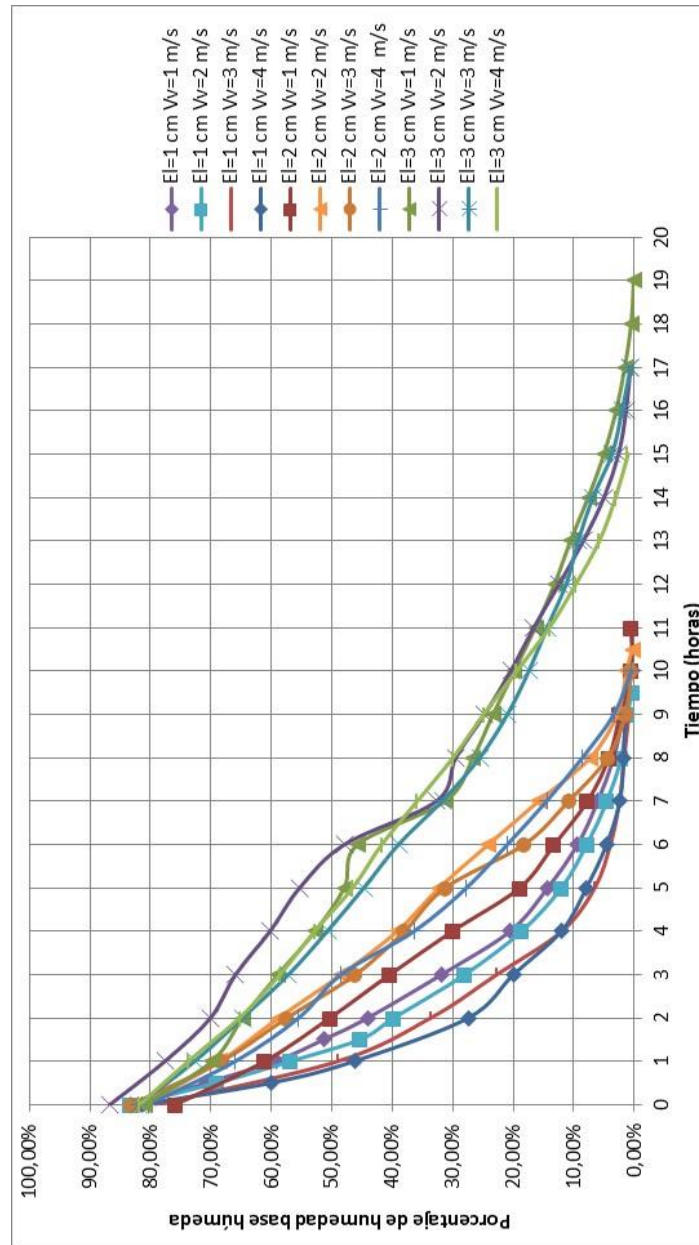
Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CXIV.

Tabla CX. **Modelo matemático de la curva de secado de hojas de moringa de la figura 24**

Modelo matemático	Correlación R ²	Intervalo de validez
$Y = 0,15x^2 - 7,64x + 81,10$	1,00	[0,0 – 15,0]

Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla CXIV.

Figura 25. **Grafica comparativa de las curvas de secado bajo condiciones de espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s**



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de las tablas XCII, XCIV, XCVI, XCVIII, C, CII, CIV, CVI, CVIII, CX, CXII y CXIV.

4.2. Tiempo total de secado de los lotes de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*)

En el proceso de secado para el grano de maíz lo que se procura obtener es la menor cantidad de humedad posible en los granos, para un mejor almacenamiento.

A continuación se presentan los resultados del tiempo total de secado a diferentes condiciones de espesor de lecho y velocidad de viento.

Tabla CXI. **Tiempo total de secado, para las condiciones de secado de; espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s**

ϵ_{Ln} \ V_{vn}	1 cm	2 cm	3 cm
1 m/s	10,00	11,00	19,00
2 m/s	9,50	10,50	17,00
3 m/s	9,00	10,00	17,00
4 m/s	9,00	10,00	15,00
Tiempo total de secado (horas)			

Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información, tabla XLIX.

4.3. Contenido nutricional de las mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*)

Se presentan los resultados del contenido nutricional de la harina de maíz (*Zea mays, L*) fortificada con diferentes porcentaje en masa m/m de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), la harina resultante es también llamada harina nutritiva.

Tabla CXII. Contenido nutricional de la harina de maíz (*Zea mays, L*) fortificada con moringa (*Moringa oleífera, Lam*), con base seca

Nutrientes	Porcentaje de moringa en masa				
	0,00%	30,00%	50,00%	70,00%	100,00%
% de Agua	8,68	10,64	11,75	12,38	14,86
Materia seca tota (M.S.T) %	91,32	89,36	88,25	87,62	85,14
Extracto etéreo (E.E) %	4,01	4,82	5,12	5,32	6,41
Fibra cruda (F.C) %	6,71	11,62	17,87	20,37	27,03
Proteína cruda %	12,75	20,98	23,55	25,57	35,87
Cenizas %	1,96	5,01	7,03	8,06	12,16
Extracto libre de nitrógeno (E.L.N) %	74,56	57,58	46,43	40,67	18,53
Calcio %	0,18	0,29	0,32	0,41	0,38
Fósforo %	0,04	0,05	0,11	0,13	0,07

Fuente: informe de resultados, Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac.

Tabla CXIII. **Contenido nutricional de la harina de maíz (*Zea mays*, L) fortificada con moringa (*Moringa oleífera*, Lam), como alimento**

Nutrientes	Porcentaje de moringa en masa				
	0,00%	3000%	50,00%	70,00%	100,00%
% de Agua	----	----	----	----	----
Materia seca tota (M.S.T) %	----	----	----	----	----
Extracto etéreo (E.E) %	3,66	4,30	4,51	4,66	5,46
Fibra cruda (F.C) %	6,13	10,39	15,77	17,85	23,02
Proteína cruda %	1,65	18,75	20,79	22,41	30,54
Cenizas %	1,79	4,47	6,21	7,07	10,35
Extracto libre de nitrógeno (E.L.N) %	----	----	----	----	----
Calcio %	----	----	----	----	----
Fósforo %	----	----	----	----	----

Fuente: informe de resultados, Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la realización del estudio a nivel de tesis, fue necesario recolectar hojas frescas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) de plantaciones existentes en el departamento de Escuintla, las cuales se separaron de sus ramas, lavaron y desinfectaron para luego ser introducidas a un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, y así poder recolectar los datos que permitieran la elaboración de las curvas de secado bajo diferentes condiciones.

Para la elaboración de las curvas de secado fue necesario conocer de antemano la humedad inicial en base húmeda de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) de los lotes que ingresaron al secador. La humedad inicial se determinó por medio de una balanza de humedad, determinada a 105 grados Celsius. También se determinó la humedad final real a 105 grados Celsius, que es diferente a la humedad de equilibrio bajo las condiciones de proceso a 40 grados Celsius.

En la elaboración de las curvas de secado se modificaron dos variables de proceso, el espesor del lecho de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) en las bandejas del secador de 1, 2, 3 centímetros y la velocidad de viento dentro del secador de 1, 2, 3, 4 metros por segundo. Las curvas de secado se elaboraron midiendo la masa, en diferente tiempo, de ciertas muestras colocadas en el secador.

Con los diferentes lotes de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) secas se elaboró harina moliéndolas en un molino manual de discos. También se elaboró harina de maíz (*Zea mays, L*), nixtamalizando el maíz, moliendo el

maíz nixtamalizado para obtener maza, deshidratando la maza a 40 grados Celsius y por último moliéndola en un molino manual de discos.

Se tamizó la harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y la harina de maíz (*Zea mays*, L), los resultados se muestran en las tablas LXXIX y LXXX. Al tamizar la harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), el 100 por ciento de la harina pasa el tamiz 4, y el 3,68 por ciento pasa el tamiz 100, de igual forma el 76,51 por ciento de la harina pasa el tamiz 40. En el caso de la harina de maíz (*Zea mays*, L), el 100 por ciento de la harina pasa el tamiz 4 el 1,72 por ciento pasa el tamiz 100 y solo el 72,97 por ciento pasa el tamiz 40.

Se elaboraron cinco mezclas de harina de maíz (*Zea mays*, L) y harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), en distintos porcentajes en masa, y se hicieron análisis bromatológico de las mismas, para determinar el valor nutricional de cada mezcla; para las mezclas de harinas se utilizó harina de maíz común (*Zea mays*, L), que es utilizado por los pobladores del departamento de Escuintla para la elaboración de tortillas, y harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) resultante del estudio.

La humedad inicial en base húmeda de las hojas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), se encuentra en el rango de 75,86 a 86,71 por ciento, cuando se analiza a 105 grados Celsius.

El porcentaje de humedad final real con que salen las muestras de moringa (*Moringa oleífera*, Lam), que ingresaron al secador es la humedad en base húmeda a 105 grados Celsius, que difiere de la humedad de equilibrio final de las curvas de secado a 40 grados Celsius. Esta humedad final real tiene valores entre 6,13 por ciento a 19,28 por ciento.

Las curva de secado de hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), bajo diferentes condiciones de espesor de lecho y velocidad de viento se presentan en las figuras 13 a la 25; las tablas que preceden a las curvas de secado muestran información del tiempo de secado en horas, porcentaje de humedad en base húmeda de las hojas de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y la desviación estándar de los datos. Al revisar las gráficas se ve que al transcurrir el tiempo de secado, la humedad de equilibrio de las muestras de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), en base húmeda, disminuye hasta llegar a ser constante.

Cada curva de secado cuenta con un modelo matemático, que se presenta en la tabla inmediata posterior. Se observa que para espesores de lecho de 1 centímetro el modelo matemático que más se adapta es una ecuación de tercer grado, para espesores de lecho de 2 centímetros el modelo matemático que más se adapta es una ecuación de segundo grado, y para espesores de lecho de 3 centímetro es una ecuación de segundo grado, sin embargo los coeficientes que acompañan a las variables de segundo y primer grado disminuyen de forma considerable su magnitud, al modificar el espesor de 2 a 3 centímetros.

El comportamiento de los modelos matemáticos se ve reflejado en la figura 25 (que compara todas las curvas de secado) al observar la pendiente de las curvas y el tiempo total de secado, que es el valor del tiempo al final de la curva, el tiempo total de secado también se muestra en la tabla CXI. Para espesores de lecho de 3 centímetros la pendiente de la curva es menor y por lo tanto el tiempo total de secado es mayor. La pendiente en las curvas con espesor de lecho de 1 centímetro es la más pronunciada y el tiempo total de secado es el menor de todos. La pendiente en las curvas con espesor de lecho

de 2 centímetro al igual que el tiempo total de secado, es intermedia entre las curvas con espesor de lecho de 1 centímetro y 3 centímetros.

La velocidad de viento tiene un efecto menor sobre el tiempo total de secado, como se observa en la gráfica comparativa, se forman tres grupos de cuatro curvas, debido a la fuerte influencia del espesor de lecho; sin embargo las pequeñas variaciones de las pendientes de las curvas dentro de los grupos refleja un efecto leve de la velocidad de viento. Se observa que al aumentar la velocidad de viento disminuye el tiempo total de secado.

La tabla CXI muestra que el tiempo total de secado se encuentra en 9 horas para las condiciones más favorables de secado, espesor de lecho 1 centímetro y velocidad de viento 4 metros por segundo, y 19 horas de secado para las condiciones más desfavorables, espesor de lecho 3 centímetro y velocidad de viento 1 metro por segundo.

Las formulaciones de harina, utilizan una cantidad de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*), que mantengan las relaciones de la mezcla especificada, para dar una masa total de 200 gramos; así para la formulación 30:70 de moringa: maíz, en porcentaje en masa, se utilizan 60 gramos de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y 140 gramos de harina de maíz (*Zea mays, L*).

Al observar el contenido nutricional de la harina de maíz (*Zea mays, L*), fortificada con moringa (*Moringa oleífera, L*), en base seca, se observa de las cinco mezclas la que tiene un contenido de 70 por ciento de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), es una mezcla equilibrada nutricionalmente, con contenido de proteínas de 25,57 por ciento, extracto etéreo 5,32 por ciento, extracto libre de

nitrógeno 40,67 por ciento, y contenidos de minerales, con 0,41 por ciento de calcio y 0,13 por ciento de fósforo.

El análisis estadístico para verificar si el tiempo total de secado es el mismo a distintas condiciones de espesor de lecho y velocidad de viento, consistió en un análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo. Se verifica que el tiempo total de secado es diferente al cambiar el espesor de lecho en las bandejas del secador, rechazándose la hipótesis nula con un nivel de probabilidad de 0,000011 y se acepta la hipótesis alterna. El tiempo total de secado es diferente al cambiar la velocidad de viento en el interior del secador, se rechaza la hipótesis nula a un nivel de probabilidad de 0,07 y se acepta la hipótesis alterna, esta probabilidad implica que el 93 por ciento de los datos de tiempo total de secado, al evaluar la velocidad de viento, caen adentro de la distribución de la media.

La figura 12 muestra la interacción de las variables velocidad de viento y espesor de lecho sobre el tiempo total de secado; muestra que al cambiar la velocidad de viento se modifica el tiempo total de secado. Este efecto se ve mayormente marcado para espesor de lecho de 3 centímetros. También son evidentes los cambios en el tiempo total de secado al cambiar el espesor de lecho para valores fijos de velocidad de viento.

Se realizó una comparación múltiple de medias y los resultados se muestran en las tablas LXXXII y LXXXIII, la prueba utilizada fue la prueba de Duncan para determinar diferencias en el contenido de nutrientes entre las diferentes mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y harina de maíz (*Zea mays*, L); en la tabla LXXXIII se presenta el rango de menor significancia R_p que es el valor con el cual se contrasta las diferencia entre un rango de P medias ordenadas de menor a mayor, así si P es 2, las

comparaciones se hacen entre valores adyacentes, y para un total de 5 medias se pueden hacer cuatro comparaciones entre medias ordenadas en forma ascendente.

Se observa en la tabla LXXXIII que varias medias son diferentes para determinados nutrientes, con lo cual se rechaza nuestra hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que el contenido de nutrientes de la harina nutritiva fortificada con moringa (*Moringa oleífera*, Lam) es diferente que el contenido de nutrientes de la harina de maíz (*Zea mays*, L).

CONCLUSIONES

1. En las curvas de secado al aumentar el espesor de lecho aumenta el tiempo total de secado, y al aumentar la velocidad de viento disminuye el tiempo total de secado.
2. El espesor de lecho que optimiza el tiempo de secado es 1 centímetro, y velocidad de viento de 4 metros por segundo, sin embargo para no disminuir la capacidad de secado es recomendable secar con espesor de lecho de 2 centímetros.
3. La mezcla con 70 por ciento de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y 30 por ciento de harina de maíz (*Zea mays, L*), es una mezcla nutricionalmente balanceada, con 25,57 por ciento de proteína, extracto etéreo 5,32 por ciento, extracto libre de nitrógeno 40,67 por ciento, y contenidos de minerales, con 0,41 por ciento de calcio y 0,13 por ciento de fósforo.
4. Al variar el espesor de lecho de las bandejas del secador se modifica el tiempo total de secado, por lo que se acepta la hipótesis alterna con un nivel de probabilidad de 0,000011.
5. El tiempo total de secado se modifica al cambiar la velocidad de viento en el secador, aunque su influencia es pequeña; se acepta la hipótesis alterna a un nivel de probabilidad de 0,07.

6. El contenido de nutrientes de la harina nutritiva fortificada con moringa (*Moringa oleífera, Lam*), es diferente que el contenido de nutrientes de la harina de maíz (*Zea mays, L*), que se comprueba al efectuar la prueba de Duncan a los datos nutricionales, comparando las medias de cada nutriente, dadas en porcentaje en masa.

RECOMENDACIONES

1. Determinar el contenido de aminoácidos de mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*).
2. Evaluar la calidad de las proteínas de mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*), a partir del sus contenidos de aminoácidos.
3. Determinar el contenido de minerales totales, de mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*).
4. Determinar el contenido de vitaminas de mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*).
5. Elaborar aplicaciones nutricionales con mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*), y harina de maíz (*Zea mays, L*), como elaboración de tortillas, elaboración de bebidas y otros.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, Norma Carolina; MARTÍNEZ, Walter. *Uso potencial de la Moringa (Moringa oleífera, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados*. Guatemala, 2008. p. 29.
2. ALFARO, Norma Carolina. *Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala*. Guatemala, 2008. p. 150.
3. *Aminoácidos esenciales*. [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Amino%C3%A1cidos_esenciales>. [Consulta: 3 de mayo de 2014.]
4. CARIÑO, Conrad M. *Usos de la moringa* [en línea]. <[http://moringaoleifera.wordpress.com / usos-de-la-moringa /](http://moringaoleifera.wordpress.com/ usos-de-la-moringa /)> [Consulta: 14 de febrero de 2012.]
5. CONTRERAS VELÁSQUEZ, Luz Maria. *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos*. [en línea]. Cuba: Centro Universitario “José Martí”. <<http://www.monografias.com / trabajos15 / operacion secado/ operacion-secado.shtml>> [Consulta: 17 de julio de 2012]

6. CORNEJO, Vanessa; Paredes, Sandra. *Evaluación de bloques multinutricionales con tres niveles de follaje de terebinto (Moringa oleífera) como fuente proteica, en el desempeño reproductivo de conejas de la raza neozelandés blanco*. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Zootecnia. San Salvador. Septiembre de 2011. p. 83.
7. FAO. El maíz en la nutrición humana. Departamento de Agricultura [en línea]<<http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm#Contents>> [Consulta: 14 de febrero de 2012].
8. GEANKOPLIS, Christie John. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3a ed. México: Compañía Editorial Continental,1998. p. 110.
9. Instituto Nacional de la Salud. Proteína en la dieta Washington: Editorial Team: David Zieve, MD, MHA, y David R. Eltz., et al. 05 de mayo de 2011 [en línea]<<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002467.htm>>[Consulta: 14 de febrero de 2012]. .
10. *Maíz* [en línea].<<http://www.ecured.cu/index.php/Ma%C3%ADz>> [Consulta: 04 de marzo de 2014].

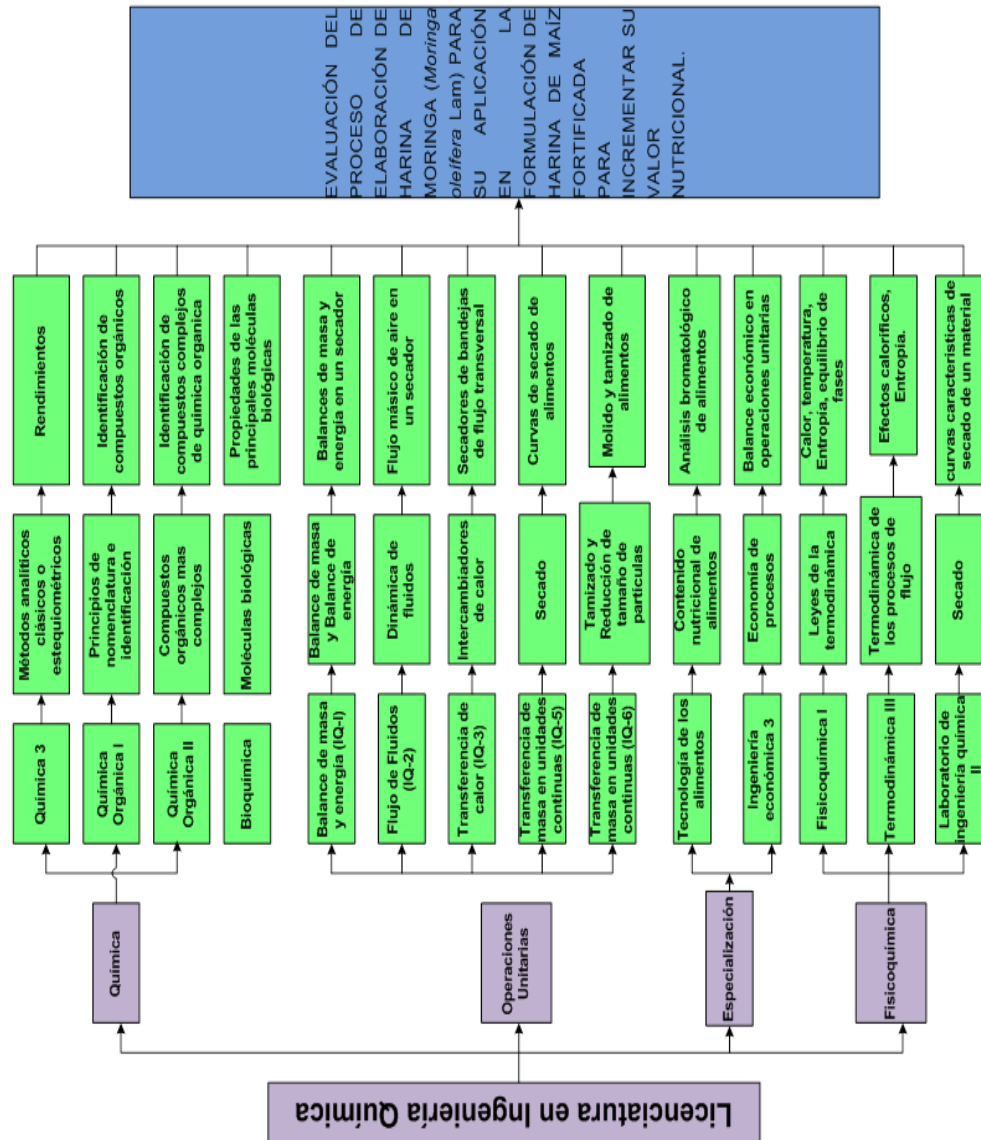
11. McCABE, Warren L., SMITH, Julian C., HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Lanto Arriola, María Aurora (traductora)., Collí Serrano, María Teresa., Osorio Mirón, Anselmo (Revisión técnica). 6ª ed. México: McGraw-Hill, 2002. ISBN: 970-10-3648-4. p. 3166.
12. *Moringa* [en línea]< <http://es.wikipedia.org/wiki/Moringa>.> [Consulta: 21 de febrero de 2012].
13. *Moringa oleífera* [en línea]<<http://moringa-oleifera.net/>>[Consulta: 21 de febrero de 2012].
14. PALMIERI, SANTISTEBAN, Mireya; DELGADO VALENZUELA, Hernán L. *Análisis situacional de la malnutrición en Guatemala sus causas y abordaje*. Guatemala: Serviprensa S. A., 2011. ISBN: 978-9929-8097-2-7. p. 42.
15. PERRY, Robert H.; GREEN, Don W.; MALONEY, James O. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a. ed. México: McGraw-Hill, 2001. ISBN: 8448130081
16. HERNADEZ, Manuel. *Programa de ayuda alimentaria*. Hernández, Manuel. Guatemala: Prensa Libre, edición 16 de abril de 2012. p. 4.
17. *Propiedades de moringa. Análisis del polvo de las hojas de Moringa*. [en línea]<http://www.moringavitalis.mex.tl/frameset.php?url=/676076_Propiedades-de-Moringa.html.> [Consulta: 15 de Junio de 2012].

18. RUIZ FUNES, Luis Ernesto. *Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (Moringa oleífera) y su respectiva evaluación nutricional*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2011. p. 310.
19. SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. *Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de Moringa oleífera Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. p. 74.
20. SARAVIA CANO, EDWIN JOSÉ. *Evaluación del rendimiento extractivo, contenido de α -pineno y tiempo óptimo de extracción del aceite esencial de ciprés (Cupressus lusitánica Mill.) obtenido de hojas, ramillas y frutos mediante el método de hidrodestilación a nivel laboratorio*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2013. p. 268.
21. Técnicas de análisis físico-químico de alimentos. [en línea]. <<http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1441ene2007.pdf>> [Consulta: 20 de mayo de 2012].

22. URÍAS GARAVITO. *Moringa Oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel* [en línea] <<http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/moringa-oleifera-alimento-ecologico-t1891/078-p0.htm>>. [Consulta: 01 de marzo de 2012].
23. WALPOLE, Ronald E., et al., *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pineda Leticia (traductora); Hernández Roberto., Medina Linda (Revisión técnica). 9a. ed. México: Pearson, 2012. p. 816 ISBN: 978-607-32-1417-9.
24. *Zea mays*. [en línea] <http://es.wikipedia.org/?title=Zea_mays#cite_note-5> [Consulta: 04 de marzo de 2014.]

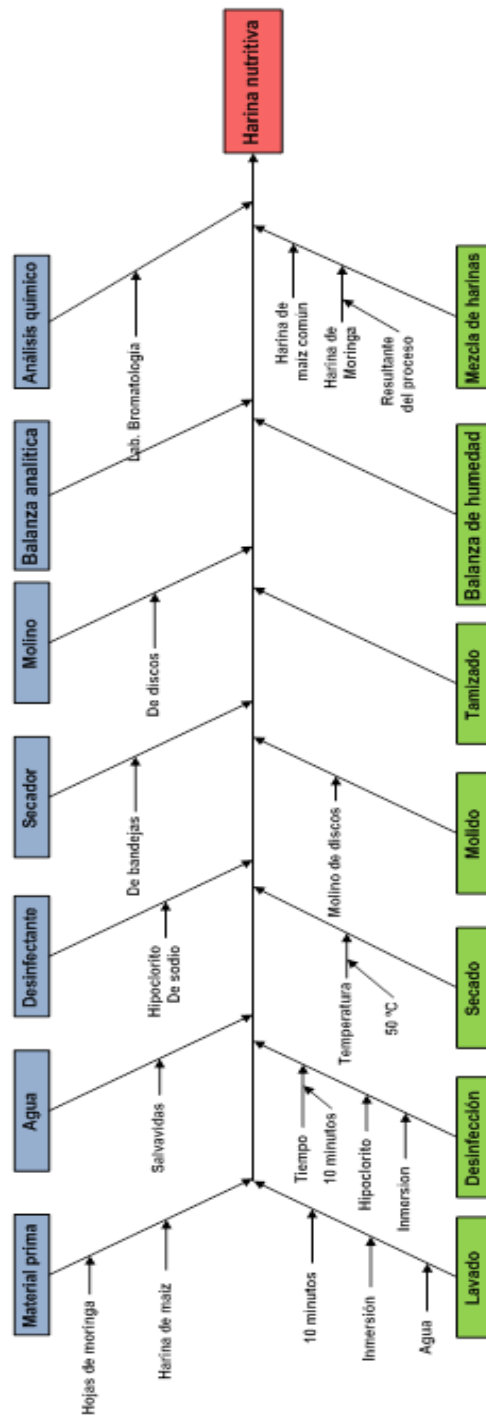
APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia a partir del diseño metodológico.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia a partir del diseño metodológico.

Apéndice 3. **Recolección y preparación de la materia prima**

Ilustración 1. **Hojas de moringa antes de ser preparada**



Fuente: elaboración propia a partir de la experimentación en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 4. **Elaboración de las curvas de secado**

Ilustración 2. **Colocación de probetas de hojas de moringa dentro de las bandejas**



Fuente: elaboración propia a partir de la experimentación en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Ilustración 3. Llenado de la bandeja con hojas de moringa después de ser lavadas, desinfectas y drenadas



Fuente: elaboración propia a partir de la experimentación en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 5. **Equipo de secado**

Ilustración 4. **Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal de 1200 Watt**



Fuente: elaboración propia a partir de la experimentación en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Apéndice 6. Muestra de cálculo

1. Porcentaje de humedad en el ensayo de humedad de las hojas de moringa (*Moringa oleífera*, Lam)

La determinación del porcentaje de humedad, tanto humedad inicial como humedad final, a las hojas de moringa se realizó por medio de un cálculo matemático que considera la masa inicial de muestra de hojas de moringa húmedas que ingresan a la balanza de humedad y la masa de hojas de moringa secas, con masa constante en las balanzas de humedad, utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H_{BH} = \frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100$$

Ecuación 19

Donde:

$\%H_{BH}$ = porcentaje de humedad en base húmeda de las hojas de moringa

P_0 = masa inicial en gramos de la muestra de hojas de moringa que ingresan a la balanza de humedad

P_f = masa final en gramos de la muestra de hojas de moringa secas, con masa constante en la balanza de humedad

2. **Porcentaje de humedad en base húmeda de las hojas de moringa (*moringa oleífera*, Lam) en las curvas de secado**

El porcentaje de humedad en las curvas de secado se determinó tomando como referencia la humedad inicial calculada en el ensayo de humedad, y las masas de las muestras medidas en el tiempo en que se calcula el porcentaje de humedad, tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$\%H_{BHt} = \%H_{BH0} - \frac{(m_0 - m_t)}{m_0} \times 100$$

Ecuación 20

Donde:

$\%H_{BHt}$ = porcentaje de humedad de las hojas de moringa en base húmeda, en el tiempo t en el que se mide el porcentaje de humedad.

$\%H_{BH0}$ = porcentaje de humedad inicial en base húmeda de las hojas de moringa.

m_0 = masa inicial de muestra de hojas de moringa, en gramos

m_t = masa en gramos de la muestra de hojas de moringa en el tiempo t en el que se mide el porcentaje de humedad

3. **Porcentaje de harina de moringa (*moringa oleífera*, Lam) y harina de maíz (*zea mays*, L) que pasa cada tamiz**

El porcentaje de harina que pasa cada tamiz se calcula en base a la cantidad de masa que pasan a través de los mismos y la masa inicial de muestra tamizada, midiendo la masa en una balanza. El cálculo se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$\%H_{Tn} = \frac{H_{pTn}}{M_{TT}} \times 100$$

Ecuación 21

Donde:

$\%H_{Tn}$ = porcentaje de harina que pasa el tamiz número n

H_{pTn} = masa de harina que pasa el tamiz número n, en gramos

M_{TT} = masa total tamizada o masa inicial tamizada en gramos

4. Masa de harina de moringa (*Moringa oleífera, Lam*) y harina de maíz (*Zea mays, L*) para las formulaciones

El cálculo de la masa de harina de moringa y masa de harina de maíz se hizo en base al porcentaje en masa de cada una de estas harinas en la formulación deseada, y según la cantidad de muestra o formulación deseada. Así para la formulación moringa: maíz 30:70, requiriendo un tamaño de muestra de M gramos, se tiene que 30 por ciento de la formulación corresponde a harina de moringa, y su fracción másica es 30/100, y el 70 por ciento de la formulación de harina de maíz y su fracción másica es 70/100, calculándose las cantidades másicas de la siguiente manera:

$$\text{gramos de harina de moringa} = \frac{30}{100} \times M$$

Ecuación 22

$$\text{gramos de harina de míz} = \frac{30}{100} \times M$$


Ecuación 23

Donde:


M = masa de la muestra o formulación deseada en gramos

ANEXOS

Anexo 1. **Análisis bromatológico a las mezclas de harina de moringa (*Moringa oleífera*, Lam) y harina de maíz (*Zea mays*, L)**



Solicitado por:
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal



Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Unh
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307
E-mail: bromato200@yahoo.es

FORMULARIO BROMATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

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

No. 524
CIUDAD, GUATEMALA,
DEL 25 AL 29-11-2013.

Solicitado por: **LENYN GIRON,**
Fecha de recepción de la muestra: **26-11-2013.**

Dirección:
Fecha de realización:

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	E.B. Cal/kg				
673	MORINGA/MAIZ 70:30	SECA	12.38	87.62	5.32	20.37	25.57	8.06	40.67	0.41	0.13											
		COMO ALIMENTO			4.66	17.85	22.41	7.07														
674	MORINGA/MAIZ 100:0	SECA	14.86	85.14	6.41	27.03	35.87	12.16	18.53	0.38	0.07											
		COMO ALIMENTO			5.46	23.02	30.54	10.35														
675	MORINGA/MAIZ 0:100	SECA	8.68	91.32	4.01	6.71	12.75	1.96	74.55	0.18	0.04											
		COMO ALIMENTO			3.68	8.13	11.85	1.79														
676	MORINGA/MAIZ 50:50	SECA	11.75	88.25	5.12	17.87	23.55	7.03	46.43	0.32	0.11											
		COMO ALIMENTO			4.51	15.77	20.79	6.21														


OBSERVACIONES:
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción para el consumo humano, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

UNIVERSIDAD DE GUATEMALA
L. José A. Morales S.
Laboratorista

UNIVERSIDAD DE GUATEMALA
Jefe Laboratorio de Bromatología


Resultados 20/13/14
29/11/13

Continuación del anexo 1.



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

FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 1676
E-mail: bromatoz000@yahoo.es

Solicitado por: **LENNY GIRON,** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA.** No. 425
 Fecha de recepción de la muestra: **26-11-2013.** Fecha de realización: **DEL 25 AL 29-11-2013.**

g.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.º %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Caicio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pasta %	Dig. K.O.H. %	T.N.D. %	E.B. Cel/kg	
77	MORINGA/MAIZ 30/70	SECA	10.64	89.36	4.82	11.62	20.98	5.01	57.68	0.29	0.05	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO	SECA	.....	.....	4.30	10.39	18.75	4.47	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	COMO ALIMENTO	SECA	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
RESERVACIONES:																			

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTE FORMULARIO: 2

USAC - FACULTAD DE GUATEMALA

Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2013/425
29/11/13

Fuente: informe de resultados, Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Usac

Anexo 2. **Análisis de humedad de las hojas de moringa (*Moringa oleifera*, Lam) de los diferentes lotes secados**



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



O. T. No. 3136
No. Informe LIEXVE-QI 34 - 2013

Interesado: Lenyn Girón Hernández
Carne: 2009 15573

Proyecto: Trabajo de graduación a nivel tesis "Evaluación del proceso de elaboración de harina de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) para su aplicación en la formulación de harina de maíz para incrementar su valor nutricional.

Fecha: Guatemala, 19 de abril de 2013.

Se realizó el secado de lotes de hojas de moringa (*Moringa oleifera* Lam) en un secador eléctrico de flujo transversal, variando las condiciones de secado de espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s; se trazaron las respectivas curvas de secado a las diferentes condiciones de secado.

Tabla No. 1. Porcentaje de humedad inicial, porcentaje de humedad final y relación materia prima fresca/materia prima deshidratada de los lotes de hojas de moringa secado bajo condiciones de espesor de lecho de 1 a 3 cm y velocidad de viento de 1 a 4 m/s.

Condiciones de trabajo		Condiciones iniciales		Condiciones finales		Relación Materia prima FRESCA/ Materia prima DESHIDRATADA
Espesor (cm)	Velocidad (m/s)	Peso inicial muestra (g)	Humedad base húmeda (%H _{bm})	Peso final muestra (g)	Humedad base húmeda (%H _{bm})	
1	1	20.38	82.13	3.72	7.69	5:1
	2	25.35	83.30	4.32	6.13	6:1
	3	20.16	79.01	4.41	7.33	5:1
	4	15.06	81.40	3.03	19.2	5:1
2	1	32.67	75.86	8.04	8.81	4:1
	2	46.58	81.14	8.95	6.78	5:1
	3	51.29	83.17	8.88	8.18	6:1
	4	46.66	80.41	9.41	7.82	5:1
3	1	67.24	81.01	12.83	7.63	5:1
	2	80.53	86.71	11.28	6.85	7:1
	3	60.02	81.98	11.21	8.45	5:1
	4	61.99	81.77	11.94	7.88	5:1

Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Página 1 de 8

Continuación del anexo 2.

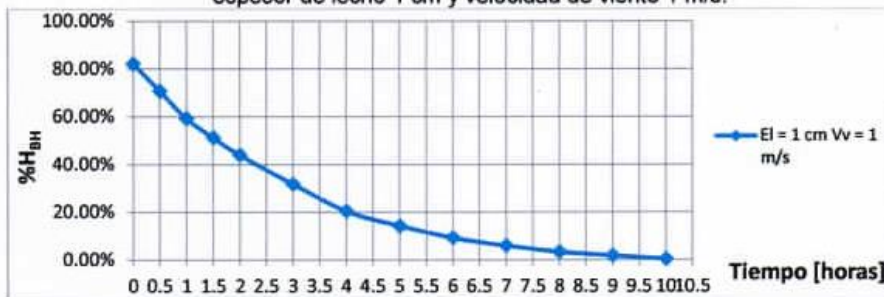


Tabla No. 2. Tiempo total de secado, para las condiciones de secado de espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s.

V_{vn} \ ϵ_{Ln}	1 cm	2 cm	3 cm
1 m/s	10.00	11.00	19.00
2 m/s	9.50	10.50	17.00
3 m/s	9.00	10.00	17.00
4 m/s	9.00	10.00	15.00
Tiempo total de secado (horas)			

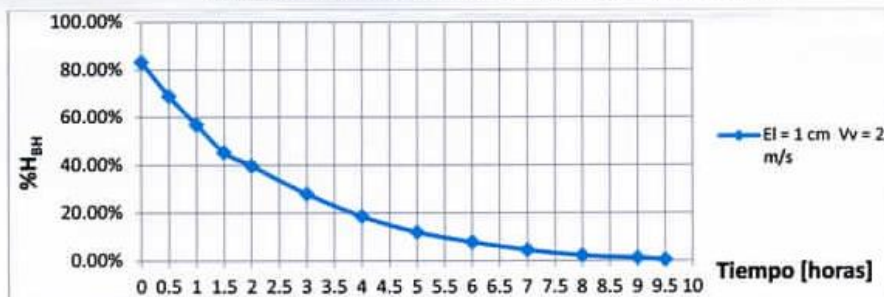
Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 1. Porcentaje de humedad en base húmeda (% H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 1 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 2. Porcentaje de humedad en base húmeda (% H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 2 m/s.

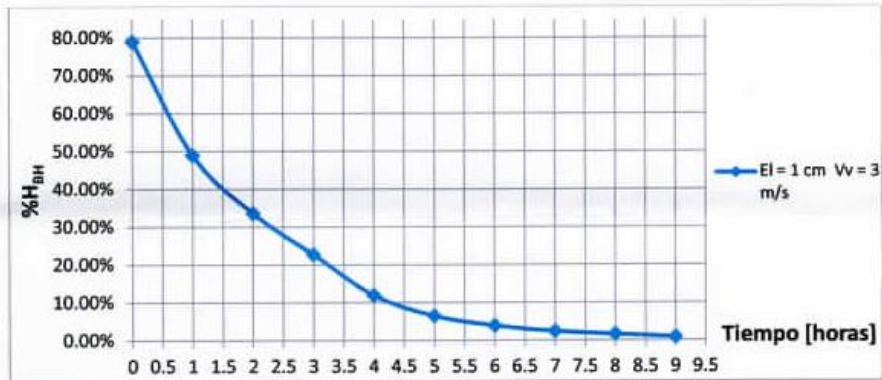


Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Continuación del anexo 2.

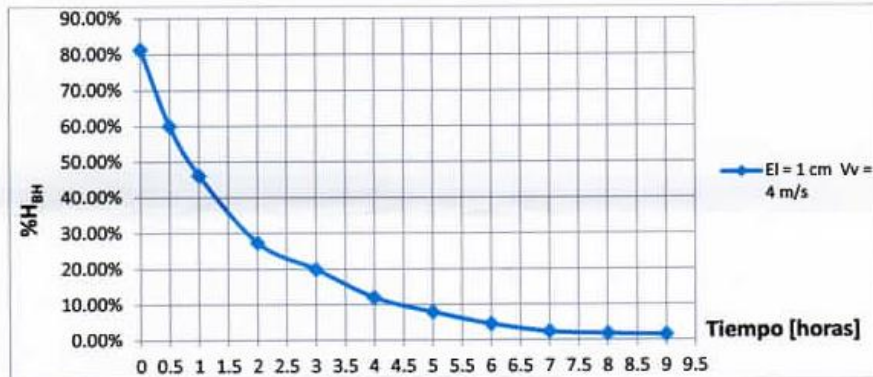


Gráfica No. 3. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 3 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEEXVE.

Gráfica No. 4. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 1 cm y velocidad de viento 4 m/s.

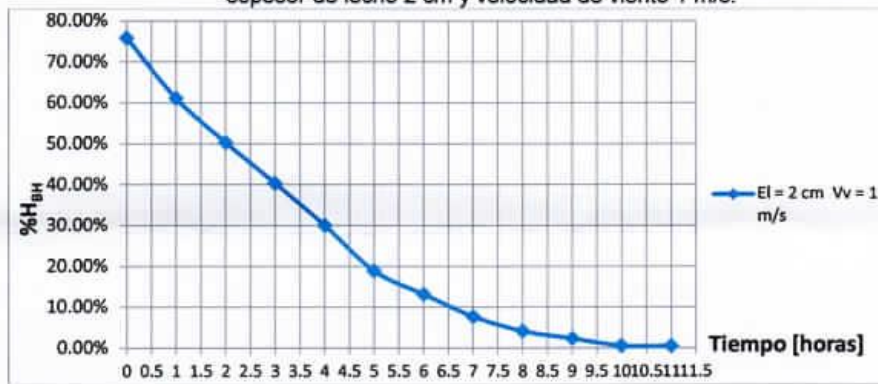


Fuente: Datos experimentales LIEEXVE.

Continuación del anexo 2.



Gráfica No. 5. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 1 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 6. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 2 m/s.

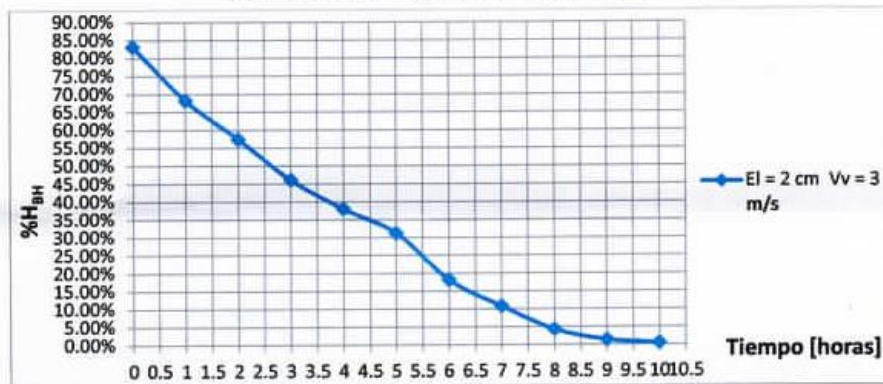


Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Continuación del anexo 2.

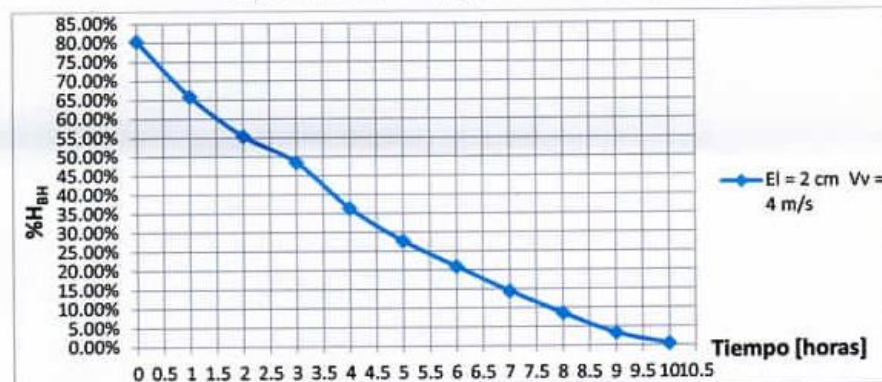


Gráfica No. 7. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 3 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 8. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 2 cm y velocidad de viento 4 m/s.

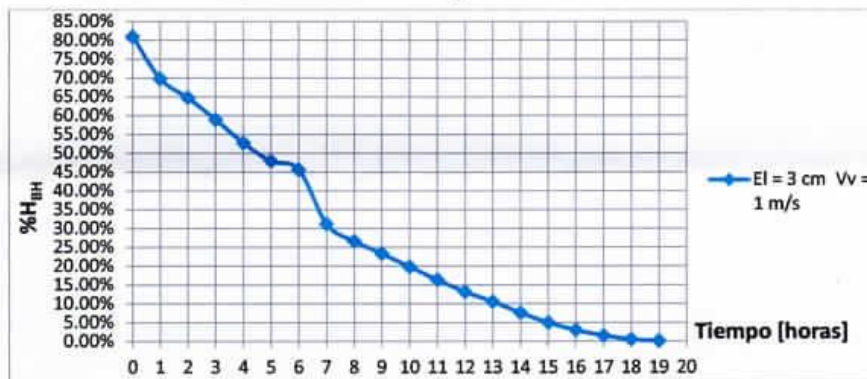


Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Continuación del anexo 2.

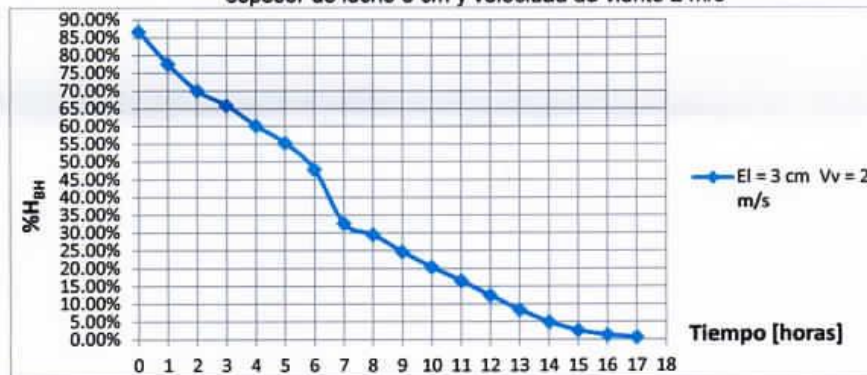


Gráfica No. 9. Porcentaje de humedad en base húmeda ($\%H_{BH}$) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 1 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 10. Porcentaje de humedad en base húmeda ($\%H_{BH}$) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 2 m/s

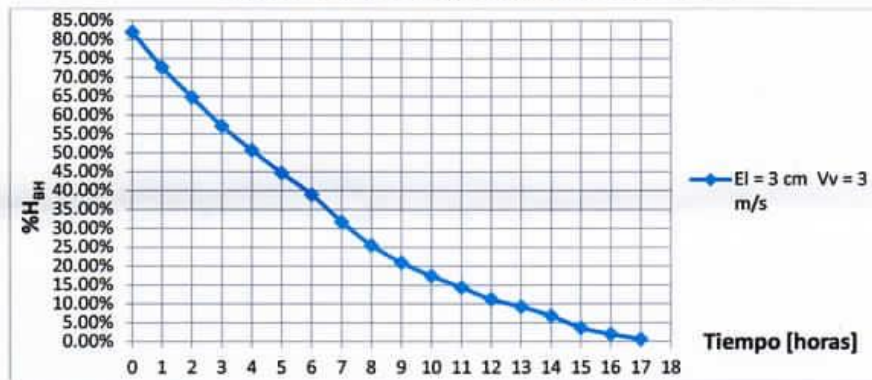


Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Continuación del anexo 2.

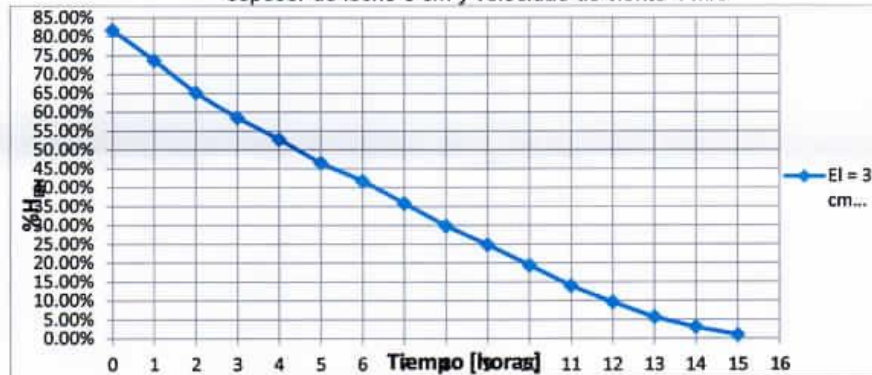


Gráfica No. 11. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 3 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Gráfica No. 12. Porcentaje de humedad en base húmeda (%H_{BH}) de hojas de moringa en función del tiempo bajo condiciones de secado de, espesor de lecho 3 cm y velocidad de viento 4 m/s

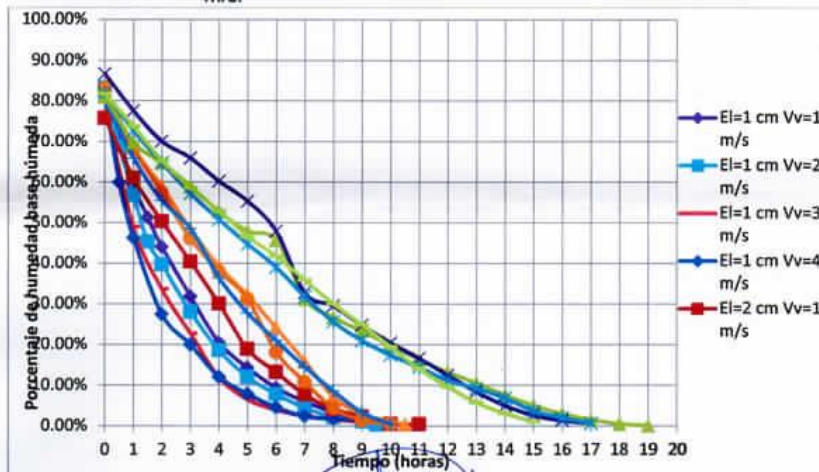


Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Continuación del anexo 2.



Gráfica No. 13. Grafica comparativa de las curvas de secado bajo condiciones de espesor de lecho entre 1 a 3 cm y velocidad de viento entre 1 a 4 m/s.



Fuente: Datos experimentales LIEXVE.

Ing. Qca. Mario José Mérida Meré
COORDINADOR
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
-LIEXVE-
Sección Química Industrial CII/USAC

Vo.Bo. Inga. Qca. Telma Maricela Cand Morales
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

Fuente: informe de resultados, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.