



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

Calidad de harina de marango (*Moringa Oleífera*) a
través de tres métodos de secado, abril - noviembre 2025

Autores

Br. Hazzel Dominga Sevilla Úbeda

Br. Aquiles Fernando Cruz Navarrete

Asesor

Ing. Kevin Urroz Centeno

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero en Agroindustria de los alimentos

Managua, Nicaragua
Marzo, 2026

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero en Agroindustria de los alimentos

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Leonardo Rodríguez
Presidente

MSc. Tomasa Hernández
Secretario

Ing. María Nelly Salazar
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 16 de marzo del 2026

DEDICATORIA

A **Dios**, por ser mi guía y fortaleza, por darme vida, salud, sabiduría, fuerza, por sostenerme en momentos difíciles y por permitirme llegar hasta aquí, este logro es el reflejo de su amor, bondad y misericordia infinita.

A mi Mamá, **Martha del Socorro Úbeda Castillo** y a mi Hermano **Ramón Irineo Sevilla Úbeda**, este logro también es de ustedes, porque sin su apoyo, sacrificio, comprensión y confianza que pusieron en mí, incluso cuando yo dudaba, nada de esto habría sido posible. A Ti mamá, gracias por cada palabra de aliento, por tu amor incondicional y por enseñarme con tu ejemplo que nada es imposible cuando se lucha con el corazón.

A mi Hijo, **Joseph Joan Tinoco Sevilla**, mi mayor inspiración, impulso y fuerza para superarme cada día, tu amor, sonrisa, inocencia, ternura me han dado la fuerza necesaria para no rendirme, incluso en los momentos más difíciles de esta trayectoria. este logro también es por vos y para vos, porque estuviste presente siempre en mis pensamientos y corazón.

A mi Hermana, **Alba Lucía Sevilla Úbeda** y a mi cuñado **William Jackson Lazo Ortega**, por su apoyo, motivación, cariño y gratitud, por celebrar mis logros y acompañarme en mi crecimiento personal y académico.

A mi Abuelita **Jorge Dominga Castillo Herrera**, por su amor, sus sabios consejos, por ser mi mayor ejemplo de humildad, bondad, sabiduría y perseverancia. Tus abrazos y oraciones me sostuvieron en los momentos más difíciles.

A mis Hermanos, **José, Claudia, Jamileth Y Goretys**, mis confidentes, mis compañeros de vida, por su amor, consejos, las risas compartidas, su apoyo constante y su fe en mí. Cada logro mío lleva un pedacito de ustedes.

Finalmente me dedico este trabajo a mí, **Hazzel Sevilla**, esa chavala que con el corazón roto emprendió un viaje para realizar sus sueños, alejándose de su bebe, de su familia y hogar, por demostrarme que los sueños si se pueden hacer realidad con Fe, amor, trabajo, disciplina, perseverancia y esfuerzo.

Br. Hazzel Dominga Sevilla Úbeda

DEDICATORIA

A **Dios**, el primero y el más importante. Gracias por ser mi guía constante, por sostenerme en los días grises y por brindarme la luz necesaria para no rendirme. Este logro no es solo fruto de inteligencia, sino de Fe, de valor, de resiliencia, de noches difíciles, de lágrimas silenciosas, de dudas y caídas. Pero también es el resultado de tu gracia, que me levantó cada vez que sentí que no podía más. A ti, mi mayor agradecimiento, porque sin ti nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, **Juana Navarrete Cano y Aquileo Cruz Gutiérrez**. Ustedes son mi raíz y mi razón. Gracias por ser mi motor inagotable, por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Este sueño es tan mío como de ustedes, porque lo construimos juntos, con sacrificios, paciencia y fe. Su ejemplo y su fuerza me han enseñado que no hay meta inalcanzable cuando se tiene el corazón firme y el amor de una familia.

A mi hermano **Juan Andrés**, mi único y más valioso compañero de vida. Gracias por amarme con un amor puro, por ser mi refugio y mi fortaleza. Tu cariño, tu apoyo y tu sola existencia me dieron razones para continuar cuando todo parecía oscuro. Eres mi inspiración constante.

Finalmente, después de tanto, me dedico esta tesis a mí. A ese yo que resistió, que aguantó noches de desvelo, dudas, lágrimas, silencios, y momentos donde parecía que nada valía la pena. Me la dedico por cada paso que di, aunque tuviera miedo, por no rendirme cuando todo parecía más grande que yo. Por seguir creyendo, incluso cuando crecí en un lugar donde soñar era casi un lujo, donde las metas pocas veces se celebraban y las oportunidades se sentían lejanas. Aun así, tomé mis sueños, los abracé con fuerza y me fui lejos, a otro lugar, con otras personas, a construir desde cero lo que siempre supe que merecía. Me dedico este logro porque nadie más vivió mis días, mis dudas, mis silencios y mis ganas de seguir. Porque entendí que el lugar donde naces no define hasta dónde puedes llegar. Y porque, a pesar de todo, aquí estoy. Esto es por mí y para mí. Fer, el de diecisiete años, estaría orgulloso de lo que somos ahora. Porque, a pesar de todo, lo hicimos, con valor, con sacrificios, con paciencia, y por todo eso que hemos superado. Me la dedico porque me lo merezco, porque aquí estoy, porque nunca dejé de soñar.

Br. Aquiles Fernando Cruz Navarrete

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a **Dios** por haberme dado la vida, Salud, fortaleza, perseverancia, paciencia, claridad y guiar mis pasos a lo largo de este camino académico, por concederme alcanzar este sueño con vida. Gracias, Señor.

A mi amigo, y compañero durante este proceso de tesis, **Fernando Cruz**, gracias por tu compañía, tus palabras de aliento en momentos grises, por escucharme, cuidarme, apoyarme, tu presencia y la forma en la que ves la vida hicieron que este camino, que en ocasiones parecía abrumador, fuera mucho más llevadero. Por compartir tus conocimientos e ideas.

A mis amigas, **Kimberly y Diana**, por las risas que alegraban mis días, por los momentos valiosos que compartimos juntas, por su apoyo, comprensión, cariño y amistad incondicional. Su amistad hizo este camino inolvidable.

A mi asesor de tesis, **Ing. Kevin Urroz**, gracias por su guía, paciencia, dedicación y por sus valiosos consejos. Gracias por su apoyo, este logro refleja su dedicación y compromiso como asesor.

A los docentes de la carrera, **Ing. Tomasa Hernández, MSc Karla Dávila, Ing Nelly Salazar, MSc Leonardo Rodríguez, Ing. Kevin Urroz**, por sus enseñanza, paciencia, entrega, dedicación y esmero. Gracias por compartir sus conocimientos y motivarnos a aprender.

Br. Hazzel Dominga Sevilla Ubeda

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a **Dios**, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para transitar este camino. Cada paso en esta carrera ha sido posible gracias a su guía constante.

A mi amiga **Hazzel**, compañera de tesis, por ser más que un equipo, una persona con un corazón grande, dispuesta a sanar con sus acciones y presencia, por ser mi refugio en momentos de dificultades, por su valioso aporte en todos los sentidos.

A mi tía **Maryine**, que desde el primer día creyó en mí y nunca soltó mi mano. Gracias por su apoyo incondicional, por estar presente en cada paso, por su fe en mí cuando más la necesitaba.

A mi tía **Dayling**, y a mis primas **Cristel y Jennifer**. Gracias por su amor sincero, por su compañía, por regalarme su confianza. La vida nos unió como familia, y ustedes se convirtieron en mi cura en los momentos más difíciles. Gracias por estar, por ser, por amar.

A mis amigos de vida y de universidad, **Hazzel, Joelsy, Danay, Diana, Kimberly, Carolina, Ana, Natalia, Nazarena, Ericka, Anahí, Cinthya, Gabriela, Ligdany, Violeta y Roberto**. Gracias por ser parte esencial de este proceso. Por las risas, los desafíos compartidos, las conversaciones sinceras y el compañerismo que siempre estuvo presente. Este logro también es de ustedes.

A mis primas **Milady, Angeles, Masiela**, que siempre me inspiraron y estuvieron de una u otra manera conmigo, siempre creyeron en mi potencial y me impulsaron a ser mejor con su amor, y por ser tan especial.

A mi asesor, **Ing. Kevin Urroz**, por su apoyo incondicional en este camino, por ser más que un docente, un amigo, un ejemplo a seguir, sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

A mis docentes, **Ing Tomasa Hernández, MSc Karla Dávila, Ing Nelly Salazar, MSc Leonardo Rodríguez, MSc Victoria Borge, Ing Aurelio Núñez**, por su forma de transmitir cada uno de sus conocimientos durante mi formación.

Br. Aquiles Fernando Cruz Navarrete

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. MARCO DE REFERENCIA	3
3.1. Antecedentes	3
3.2. Marco teórico	5
3.2.1. Moringa Oleífera	5
3.2.2. Origen y distribución de la Moringa	5
3.2.3. Variedades de la moringa	5
3.2.4. La variedad PKM-1 de Moringa oleífera	5
3.2.5. La harina de moringa	6
3.2.6. Contenido nutricional de la harina de moringa	6
3.2.7. Composición química de hojas de Marango (Moringa oleífera)	6
3.2.8. Usos de la Moringa	7
3.3. Secado natural	7
3.4. Secado por horno de convección	8
3.5. Secado por deshidratador	9
3.6. Secado de hojas de Marango (Moringa oleífera)	9

3.7.	Cultivo en Nicaragua	9
3.7.1.	Contenido de humedad en la harina de moringa	12
3.8.	Contenido de proteína en la harina de moringa	12
3.9.	Análisis sensorial en la harina de moringa	13
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1.	Ubicación del estudio	14
4.2.	Diseño metodológico, diseño experimental o diseño de tratamientos	15
4.2.1.	Diseño metodológico	15
4.2.2.	Diseño experimental	15
4.2.3.	Etapas de experimentación	16
4.2.4.	Etapas del proceso para la optimización de la obtención de harina de moringa en las tres etapas de secado:	17
4.3.	Manejo del ensayo y metodología	30
4.3.1.	Tipo de estudio y condiciones generales:	30
4.3.2.	Muestreo y preparación de la muestra:	30
4.4.	Diseño experimental:	30
4.4.1.	Métodos de secado (tres):	32
4.4.2.	Condiciones de secado y criterios de finalización:	32
4.5.	Proceso de preparación de muestras	33
4.5.1.	Preparación de muestra	33
4.5.2.	Factor de estudio	¡Error! Marcador no definido.
4.5.3.	Digestión	33
4.5.4.	Destilación	33
4.5.5.	Estandarización	34
4.6.	Análisis del porcentaje de humedad en la Harina de Marango	34
4.6.1.	Factor de estudio	¡Error! Marcador no definido.
4.6.2.	Fórmula para calcular porcentaje de humedad	34
4.7.	Datos o variables evaluados	34
4.8.	Análisis de datos	35
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1.	Caracterización de la materia prima	37
5.2.	Muestras evaluadas de los métodos de secado	37
5.3.	Pruebas bromatológicas de proteína y humedad relativa	38

5.4.	Análisis de varianza y prueba de Tukey	38
5.4.1.	Contenido de proteína y humedad	38
5.5.	Análisis sensorial del té	40
5.5.1.	Apariencia	40
5.5.2.	Color	41
5.5.3.	Sabor	41
5.5.4.	Olor	42
VI.	CONCLUSIONES	46
VII.	RECOMENDACIONES	47
VIII.	LITERATURA CITADA	48
IX.	ANEXOS	53

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Resumen del diseño experimental	21
2	Resultados promedio de la evaluación sensorial de las muestras de harina de moringa	30

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	a) ubicación geográfica de la planta de desarrollo de moringa comandante Fidel, b) uubicación geográfica del laboratorio LABSA. Tomado de Google Earth	11
2	Flujograma de proceso de las tres etapas de secado y realización de harina de moringa	12
3	Contenido de proteína y humedad relativa en la harina de moringa	29

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Hoja de Evaluación Sensorial – Té de Moringa	39
2	Cuadro de análisis de la varianza de los tres tipos de secado de harina de moringa (SC tipo III)	40
3	Evaluación sensorial de apariencia en las muestras de té de moringa	40
4	Evaluación sensorial de color en las muestras de té de moringa	41
5	Evaluación sensorial de sabor en las muestras de té de moringa	41
6	Evaluación sensorial de olor en las muestras de té de moringa	42
7	Recolección de la materia prima	42
8	Fotografías del proceso de los análisis de proteína y humedad relativa	43
9	Evaluación sensorial de té de moringa	44

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en Izapa León y Managua, entre abril a noviembre de 2025. La investigación se justificó en la necesidad de optimizar el proceso de obtención de harina de marango (*moringa oleífera*) mediante la evaluación comparativa de tres métodos de secado, con el objetivo primordial de determinar la técnica que mejor preservara la composición nutricional como las proteínas y la aceptación organoléptica del producto. Las principales variables estudiadas incluyeron la composición proximal (humedad, la temperatura de secado y la evaluación sensorial de atributos como apariencia, color, olor y sabor). Para ello, se empleó una metodología experimental comparativa, utilizando análisis proximal estándar y una escala hedónica de siete puntos para la evaluación sensorial, cuyos datos fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA). Los resultados obtenidos indicaron que, aunque los tres métodos de secado produjeron harinas con perfiles nutricionales similares sin diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los componentes proximales, el método M3 resultó ser consistentemente el de mayor aceptación sensorial. Este método obtuvo las puntuaciones más altas en apariencia, color y sabor por parte del panel de catadores, superando a las muestras M1 y M2. Se concluyó que el método de secado M3 es el más adecuado para la agroindustria, ya que proporciona un equilibrio óptimo entre un perfil nutricional competitivo y las mejores características organolépticas, garantizando así un producto de alto valor y aceptación en el mercado.

Palabras clave: análisis proximal, composición nutricional, evaluación sensorial, tratamiento térmico, calidad alimentaria, aceptación del producto.

ABSTRACT

The study was conducted in Izapa León and Managua, from April to November 2025. The research was justified by the need to optimize the process of obtaining marango (*Moringa oleifera*) flour through a comparative evaluation of three drying methods, with the primary objective of determining the technique that best preserves the nutritional composition, such as proteins, and the organoleptic acceptance of the product. The main variables studied included the proximate composition (moisture), drying temperature, and sensory evaluation of attributes such as appearance, color, odor, and taste. To achieve this, a comparative experimental methodology was employed, using standard proximate analysis and a seven-point hedonic scale for sensory evaluation, with the data analyzed through Analysis of Variance (ANOVA). The results obtained indicated that, although all three drying methods produced flours with similar nutritional profiles and no statistically significant differences in most of the proximate components, Method M3 consistently proved to have the highest sensory acceptance. This method received the highest scores in appearance, color, and flavor from the tasting panel, outperforming the M1 and M2 samples. It was concluded that drying method M3 is the most suitable for the agro-industry, as it provides an optimal balance between a competitive nutritional profile and the best organoleptic characteristics, thereby ensuring a high-value product with market acceptance.

Key words: proximal analysis, nutritional composition, sensory evaluation, thermal processing, food quality, product acceptance.

I. INTRODUCCIÓN

La moringa, conocida científicamente como moringa oleífera, es originaria de la región del subcontinente indio, particularmente en la parte noroeste de India. Desde sus inicios, ha sido utilizada tanto en la alimentación como en la medicina tradicional. A lo largo de los siglos, su cultivo se ha expandido hacia otras partes de Asia, África y América Latina, debido a sus múltiples propiedades nutricionales y beneficios para la salud. La moringa oleífera (marango) se destaca como un recurso nutricional esencial en zonas tropicales, por su elevado contenido de proteínas (20-30%), nutrientes esenciales para luchar contra la anemia y la desnutrición a nivel mundial (FAO, 2020; Teixeira et al., 2014). La producción de su harina necesita procedimientos de secado que mantengan estos compuestos, dado que técnicas incorrectas pueden disminuir hasta el 40% de su valor nutricional (Sena et al., 2018).

Estudios anteriores han examinado técnicas de secado individuales, pero son escasas las investigaciones que comparan varias metodologías en entornos controlados. Por ejemplo, el secado solar a temperaturas de 35-40°C conserva antioxidantes, sin embargo, requiere un tiempo prolongado (48-72 h), lo que aumenta el riesgo de oxidación del hierro (Goyal et al., 2007). En cambio, el secado convectivo a 50-60°C reduce la duración del proceso a 8-12 h, aunque podría desnaturalizar proteínas sensibles al calor (Oyeyinka & Oyeyinka, 2016).

Esta investigación buscó evaluar el contenido nutricional de la harina de marango mediante un enfoque integral que abarca la caracterización de su perfil proteico, el análisis de parámetros fisicoquímicos como la humedad relativa, materia seca, cenizas totales, grasa, como también los análisis microbiológicos como coliformes totales, salmonella y E. coli, así como la determinación de la aceptabilidad organoléptica de un té elaborado con esta harina. El estudio se centró en tres métodos de secado y diversas temperaturas, con el fin de identificar el método óptimo que maximice la calidad nutricional y sensorial del producto. A través de un panel sensorial no entrenado, se pretendió evaluar la preferencia del consumidor, contribuyendo así no solo al desarrollo de un recurso nutritivo valioso, sino también al aumento de su aplicabilidad en la alimentación.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de la harina de marango (*Moringa Oleífera*) obtenida mediante tres métodos de secado, a través de análisis fisicoquímicos, nutricionales, microbiológicos y sensoriales

2.2. Objetivos específicos

Analizar el contenido de proteína (mediante el método Kjeldahl, en la harina de marango (*Moringa oleífera*) a través de tres métodos de secado)

Determinar análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de Marango (*Moringa oleífera*) sometidas a distintos métodos y temperaturas de secado

Evaluar las características organolépticas de las harinas de acuerdo con los tres métodos de secado

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Antecedentes

En el continente africano, donde la moringa es un cultivo clave, la FAO (2020) informó que el secado solar manual provoca pérdidas de proteínas del 25-30% debido a la contaminación microbiana. En contraste, los métodos controlados, como los secadores solares mejorados, pueden reducir estas pérdidas a un 10%. De igual manera, en Filipinas, se llevó a cabo un estudio que utilizó secado por infrarrojos a 70°C, logrando una retención de hierro del 88%, aunque a un alto costo energético (Sena et al., 2018). Estas experiencias demuestran que, a pesar de los avances, todavía hay diferencias en la estandarización de parámetros como el tiempo y la temperatura para climas tropicales húmedos, similares a los de Nicaragua.

En Nicaragua, el marango es respaldado por instituciones como el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) como un cultivo que muestra resistencia ante el cambio climático, aunque su procesamiento después de la cosecha aún se realiza de manera artesanal. Un informe del INTA del año 2019 indicó que pequeños agricultores en León y Chinandega secan las hojas al sol durante 3 a 4 días, sin controlar la humedad, lo que resulta en harinas con un contenido proteico de solo el 18%, cifra inferior al potencial indicado en la literatura que oscila entre el 25 y el 30%. Asimismo, no hay investigaciones locales que comparen métodos técnicos de secado, como el convectivo o el uso de horno, que podrían ayudar a optimizar los nutrientes.

A nivel regional, la FAO (2020) incluyó a Nicaragua en un proyecto piloto que utiliza secadores solares mejorados para procesar hojas de moringa, logrando así un contenido de 22% de proteína y 24 mg/100 g de hierro. No obstante, estos resultados no han sido publicados en revistas indexadas, lo que restringe su aplicabilidad. Por otro lado, la Universidad Nacional Agraria (UNA) llevó a cabo una evaluación del secado en horno a 60°C durante 6 horas, obteniendo una harina con un 26% de proteína (UNA, 2021).

El Ministerio Agropecuario de Nicaragua (MAG) ha señalado que el 70% de los pequeños productores de marango en las regiones de Matagalpa y Jinotega emplean secado al sol sobre pisos de cemento, lo que conduce a una harina con contenido proteico de solamente 17-19% debido a la contaminación por polvo y humedad (MAG, 2022).

Por otro lado, una investigación de ingeniería agrícola evaluó el secado solar (72 horas) frente al horno artesanal (60°C/10 horas) y encontró que el uso del horno incrementó la proteína en un 22%, (UNAN-León, 2020).

Sin embargo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo llevó a cabo un proyecto piloto en Chinandega utilizando secadores solares de bajo costo, logrando un contenido de 24% de proteína. A pesar de estos resultados, el proyecto no logró expandirse debido a la falta de capacitación técnica (PNUD, 2021).

Mendoza Avilés (2017) secaron hojas frescas de moringa al sol y al horno con temperaturas de 60 °C y 105 °C reportando una pérdida en proteínas, vitamina C y Vitamina A debido a que el secado a altas temperaturas desnaturalizó las proteínas y causó una oxidación del material vegetal. De igual manera Ali y col. (2017) reportaron la pérdida de vitamina C al someter hojas de moringa al secado al sol y una reducción significativa de vitaminas A, K y B al ser secadas tanto al sol, como a la sombra y en horno a 40°C y 60 °C, atribuyeron esta pérdida a su exposición al sol y un tiempo prolongado de secado en el horno, así como al aumento de temperatura, reportaron como condición óptima de secado el horno a 50°C, siendo también esta condición la que presenta una mayor coloración las hojas, lo que es importante porque el color es un parámetro importante en la calidad del producto seco para ser aceptado.

Como finalidad, la Universidad de Antioquia en Colombia, a través del estudio de Rodríguez-Pérez et al. (2019), examinó tres métodos de secado: secado solar (72 h), liofilización (24 h) y horno (60°C/10 h). Por último, García-Vega et al. (2020) optimizaron el secado convectivo (50°C/12 h) en hojas de moringa, logrando un 89% de retención de proteína, superando al secado tradicional. Destacaron que la velocidad del aire (1.5 m/s) fue clave para evitar pérdidas nutricionales.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Moringa Oleífera

La moringa oleífera es reconocida con diferentes nombres comunes. En Nicaragua se le llama moringa, perla, marango, brotón, caraño, marengo; en Honduras se le denomina marango o moringa; en el Salvador Teberinto; también se le ha dado el nombre de árbol mágico, debido a la infinidad de propiedades que tiene. Mendoza Avilés (2017).

3.2.2. Origen y distribución de la Moringa

La moringa oleífera Lam. es un árbol originario del sur del Himalaya, el noreste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán (Pérez et al., 2010). Foidl et al., (2001), mencionan que pertenece a una familia de arbustos y árboles, consideran que tiene su origen en Agra y Oudh, en la región noroeste de la India, al sur de las montañas del Himalaya, donde se ha encontrado creciendo de forma natural en altitudes de hasta 1,000 m.s.n.m., sobre laderas, pero con mayor frecuencia sobre pastizales y cuencas hidrográficas. García Vega (2020)

3.2.3. Variedades de la moringa

La moringa es una planta que forma parte de la familia Moringaceae y posee diversas especies y variedades que son relevantes para la agroindustria. En este sentido, Moringa oleífera es la más cultivada en el mundo, reconocida por su alto valor nutricional y su capacidad para adaptarse a climas tanto tropicales como subtropicales. Entre las variedades mejoradas para optimizar el rendimiento y la calidad de las hojas, se destaca PKM-1, un híbrido originario de India que se distingue por su rápido crecimiento, su alta producción de hojas y un mayor contenido de compuestos bioactivos en comparación con las líneas tradicionales (Sivasankari et al., 2014). Otras especies significativas dentro del género son Moringa stenopetala, Moringa peregrina y Moringa concanensis, que presentan diferentes variaciones en su composición nutricional y características agronómicas, lo que amplía su uso en la alimentación tanto humana como animal (Nouman et al., 2014).

3.2.4. La variedad PKM-1 de Moringa oleífera

Es un cultivo mejorado desarrollado por el *Horticultural* Research Station de Periyakulam, India, con el objetivo de obtener plantas de rápido crecimiento, mayor rendimiento foliar y mejor uniformidad morfológica. Físicamente, se caracteriza por presentar un porte semi-erecto, con

un crecimiento más compacto en comparación con otras variedades tradicionales, lo que facilita su manejo agronómico y su aprovechamiento en sistemas intensivos de producción (Sivasankari et al., 2014). Las plantas muestran un tronco cilíndrico de textura ligeramente rugosa, ramas abundantes, pero menos dispersas, y una arquitectura aérea que favorece la producción continua de hojas.

3.2.5. La harina de moringa

La harina de moringa es un polvo fino obtenido de las hojas secas de moringa oleífera y molido para obtener una textura similar a la harina. Se utiliza como ingrediente alimenticio y suplemento nutricional, especialmente en dietas destinadas a mejorar la ingesta de micronutrientes.

3.2.6. Contenido nutricional de la harina de moringa

El 27% de la hoja de moringa está compuesta por proteína y contiene 18 aminoácidos, además, contiene calcio, hierro, fósforo, potasio, vitamina A y magnesio, B1, B2 Y B3. También posee 46 antioxidantes y 36 antiinflamatorios naturales.

3.2.7. Composición química de hojas de Marango (*Moringa oleífera*)

Diversos autores han reportado la composición química de hojas de moringa antes y después de ser sometidas a diversos tratamientos de secado. García Vega (2020) reportaron las variaciones entre la composición química de hojas frescas y liofilizadas de moringa.

Uno de los componentes mayoritarios y de interés de las hojas de moringa son las proteínas (alrededor del 30% de la hoja seca), dado que contienen todos los aminoácidos esenciales. En este sentido, el consumo de hojas de moringa en situaciones de desnutrición puede tener un impacto positivo sobre la población o subpoblación a la cual se proporcione. Del mismo modo cabe destacar que a pesar de que la mayoría de los alimentos derivados de vegetales ricos en proteínas, por lo general las contienen en sus frutos, la moringa las contiene en sus hojas con lo cual se asegura el suministro proteico durante todo el año, por tratarse de un árbol de hojas perennes, mientras que los frutos se producen únicamente durante una o dos temporadas al año. También es importante considerar que el precio de las hojas es menor al de los frutos y aún más que el de la carne u otros productos animales, razón por la cual las hojas se han utilizado como una fuente de alimento alternativa para combatir la desnutrición, especialmente en niños (Moyo

y col., 2011; Koul y Chase, 2015); y su consumo ha sido promovido por la Organización Mundial de la Salud “WHO” (por sus siglas en inglés: World Health Organization) desde 1998 con este fin.

Otra ventaja de esta planta es que sus hojas ya sean frescas, cocidas o secas en polvo, pueden ser almacenadas por algunos meses sin refrigeración, y no tener una gran pérdida en su valor nutricional antes de ser consumidas. Se ha reportado que al consumirse hervidas aumenta la absorción de sus proteínas, sin embargo, el contenido de sus compuestos bioactivos disminuye de manera significativa, así como el contenido de algunas vitaminas y minerales (Mendoza, 2017). Por esta razón se considera conveniente emplear otras tecnologías de procesamiento que permitan aprovechar de manera integral los compuestos de esta planta.

3.2.8. Usos de la Moringa

La importancia del uso como forrajera se debe a sus buenas características nutricionales y a su alto rendimiento en producción de biomasa fresca. Sus hojas y tallos presentan un 23% y 9% de proteína cruda, respectivamente mientras que la digestibilidad encontrada fue de 79% y 57%, respectivamente. La semilla contiene de 31-47% de aceite. Estudios realizados en Brasil, habiendo extraído el aceite de la semilla seca (39%) con hexano arrojó un índice de acidez de 7.95 mg KOH/g. Contiene un 7% de ácido palmítico, 2 % de palmitoleico, 4% de esteárico, 78% de oleico, 1% de linoleico, 4% de araquídico, y 4% de behénico. (Gonzales, 2010)

En Nicaragua se han utilizado las hojas de moringa para las infecciones de la piel, llagas, gripe y como purgante. Las hojas son consumidas crudas en ensaladas, en sopas o en polvo como sazónador de comida; así como también bebidas y batidos disueltos en agua. En cambio, las flores son consumidas en ensalada y se dice que tienen un sabor y textura parecida a la de los champiñones como opción o sustitución de este en nuestra alimentación. (Mendoza, 2017).

3.3. Secado natural

Una manera de secar los alimentos y las plantas después de recogerlos es dejarlos al sol o a la sombra, que es la forma más común. Esta manera se utiliza en lugares donde el clima permite que los alimentos pierdan agua, y depende de lo que hay alrededor y de cuánta energía se utiliza. El tiempo de secado puede ser largo, y la calidad del producto final no es segura. Esto es lo que algunos investigadores descubrieron (Rodríguez et al.). Las ventajas de la deshidratación solar radican en los bajos costos de explotación y capital, así como en la reducción del impacto

ambiental, ya que no utilizan electricidad ni combustibles fósiles (Bala y Woods, 1994). Algunos de los principales problemas son: el producto puede ensuciarse o infectarse, las plantas pueden resultar heridas por animales o insectos, y el producto puede mojarse y arruinarse por el agua o la niebla matutina. El material de la planta no es muy bueno y diferente porque se seca de diferentes maneras y no podemos controlarlo bien. El material vegetal tiene muchos problemas porque no se seca uniformemente y no podemos hacerlo igual. El material vegetal no es consistente y tiene muchos gérmenes porque se seca de diferentes maneras y no podemos detenerlos. Una manera de hacer que los alimentos secados al sol sean mejores es usar materiales que los cubran del sol y mantenerlos a salvo de animales e insectos. Otra manera es usar menos material para secarlos, lo que los hace secar más rápido o usar soportes para ponerlos. Belessiotis y Delyannis (2011) dicen que estos son buenos métodos. El secado solar puede matar bacterias y mohos utilizando rayos UV (García Vega, 2016).

3.4. Secado por horno de convección

La característica esencial del proceso de secado en hornos de convección es la eliminación de un líquido mediante energía suministrada en forma de calor y flujo de aire, esta transferencia de energía calorífica y masa de agua se produce predominantemente por convección, es cierto que todos los secadores pueden transferir radiación, pero es raro que sea éste el mecanismo que predomina. En el secado por convección, el aire caliente se desplaza sobre la superficie de un sólido húmedo generando dos efectos, entregar calor y eliminar el vapor formado (Nonhebel Moss, 2012).

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo a la naturaleza del flujo de aire: Convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, por ejemplo, un ventilador en un horno, una bomba o vientos atmosféricos, convección natural o libre cuando el flujo de aire es inducido por fuerzas que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por las variaciones de temperatura en el fluido (Incropera y Dewitt, 2020), es el resultado del movimiento de un fluido producido por su inversión de densidad. Por ejemplo, el aire en contacto con una superficie caliente incrementa su temperatura y volumen, su densidad disminuye y en presencia de gravedad, sube debido a la flotación, el aire frío se desplaza para llenar este vacío y se establece una corriente de flujo de aire ascendente. El proceso inverso

ocurre cuando el aire entra en contacto con una superficie más fría, esto se observa, por ejemplo, cuando una taza de café se enfría en una mesa (Sena, 2018).

3.5. Secado por deshidratador

Es un equipo diseñado para reducir la humedad de las hojas de *Moringa oleífera* mediante la aplicación controlada de aire caliente. Su función principal es preservar los compuestos bioactivos (clorofila, vitamina C, polifenoles y antioxidantes), mejorar la vida útil y facilitar la molienda para obtener harina o polvo fino. El secado se realiza generalmente entre 40 y 55 °C, ya que temperaturas mayores provocan degradación de nutrientes sensibles al calor (Rodríguez Pérez, 2019).

3.6. Secado de hojas de Marango (*Moringa oleífera*)

Las hojas de moringa tienen un contenido de humedad del 80%, por lo que es necesario someter las hojas a un proceso de secado para su conservación y uso. El secado debe realizarse lo más pronto posible después de su cosecha para evitar el crecimiento de mohos, de lo contrario ya no podrán usarse para consumo humano y son destinadas para abono.

3.7. Cultivo en Nicaragua

En Nicaragua es cultivado en clima cálido como son Madriz, Jinotega Matagalpa y Estelí, se ha naturalizado en el occidente León y Chinandega, así como parte central de nuestro país. Se cultiva durante todo el año. Se propaga por semilla o estaca. Las semillas se colocan en bolsas de almácigo a 3 cm de profundidad, germinan en 1 a 2 semanas, viabilidad de hasta 80% que desaparece con el tiempo; para propagación asexual se siembran estacas de 1 m de largo para obtener raíces. (Mendoza, 2017).

Análisis Microbiológicos

Los Alimentos poseen una gran riqueza nutritiva y por lo tanto son sensibles al ataque y desarrollo de microorganismos (bacterias, hongos, y levaduras). Todos los alimentos contienen una determinada carga microbiana, pero debe ser controlada y no sobrepasar ciertos límites permitido, ya que a partir de los cuales inicia el deterioro del producto, afectando su calidad e inocuidad. El análisis microbiológico permite identificar y cuantificar los microorganismos presentes en el alimento. (Fernández, 2004).

Análisis Fisicoquímicos

Implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista físico-químico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento. El análisis fisicoquímico brinda poderosas herramientas que permiten caracterizar un alimento desde el punto de vista nutricional y toxicológico, y constituye una disciplina científica de enorme impacto en el desarrollo de otras ciencias como la bioquímica, la medicina y las ciencias farmacéuticas. (Fernández, 2004).

Extracto etéreo o grasa cruda

Es un componente alimentario en disolventes orgánicos (éter etílico o de petróleo), incluidos lípidos, pigmentos y vitaminas liposolubles. Generalmente se determina mediante el método de extracción Soxhlet (gravimetría) para determinar la energía. La muestra se seca y se extrae continuamente con éter durante varias horas (normalmente 4). Se evapora el disolvente y se pesa el residuo graso para calcular el porcentaje. (AOAC 920.39).

Contenido Fibra

Es el residuo combustible e insoluble que queda luego de que la muestra ha sido tratada en condiciones determinadas, se refiere al residuo orgánico insoluble después de hervir la muestra en soluciones ácidas y alcalinas diluidas. Las fibras son las partes de las plantas que no se pueden digerir por los seres humanos. Aunque no proporcionan nutrientes, son esenciales para la salud. En la harina de moringa la fibra cruda se encuentra en valores de 19.49 gramos. (Mendoza, 2017).

Contenido de grasas

Sustancia orgánica compuesta por carbono, hidrogeno y oxígeno y estos pertenece al grupo de los lípidos, se encuentra en los alimentos y en el cuerpo humano, las grasas son una fuente de energía vital para el ser humano. En la hoja deshidratada de moringa los contenidos de grasa son de 6.14%. (Reyes, 2023).

Cenizas totales

Representan el residuo inorgánico que queda tras la calcinación de sustancias orgánicas en un producto alimenticio (550°C - 600°C), indicando el contenido mineral total. Este parámetro es esencial para la evaluación nutricional, determinación de pureza, detección de adulteración y control de calidad, generalmente menos del 5% de la materia seca. Se basa en la gravimetría (pesaje), calcinando la muestra en una mufla para separar la materia orgánica y la humedad. (A0AC 920.39).

Materia Seca

Determina la fracción sólida de un producto alimenticio (nutrientes) después de deshidratarlo con calor, generalmente usando un horno a 65°C - 105°C. Es el punto de partida para la evaluación nutricional, que permite formular dietas precisas conociendo el verdadero valor de los alimentos sin peso de agua. Se basa principalmente en la pérdida de masa de la muestra por secado, siendo el residuo final la materia seca. (A0AC 920.39).

Coliformes totales

Son un grupo de bacterias (entre ellas Enterobacter, Citrobacter y Klebsiella) utilizadas como indicadores microbiológicos de la calidad higiénica del agua y los alimentos. Son bacilos Gram negativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos que fermentan la lactosa y forman gases y ácidos a 35° - 37°C. Aunque no necesariamente causan enfermedades, su presencia indica contaminación ambiental o falta de higiene. Jara Vilca, R. (2023).

Salmonella

Es un género de bacterias perteneciente a la familia Enterobacteriaceae, que actúan como patógenos tanto en humanos como en animales. Es una de las principales causas de brotes de enfermedades diarreicas e infecciones transmitidas por alimentos en todo el mundo. Se clasifican como anaerobios facultativos, lo que significa que pueden sobrevivir con o sin oxígeno. Organización Mundial de la Salud (2018).

Escherichia coli (E. Coli)

Es una bacteria de tipo Gram negativo que reside de forma natural en los intestinos de seres humanos y animales de sangre caliente. Aunque la mayoría de sus cepas son inofensivas e incluso beneficiosas (ayudan a producir vitaminas como la B y K), algunas variantes pueden causar enfermedades graves. Es un anaerobio facultativo que fermenta lactosa y no forma esporas, se utiliza como el principal indicador de contaminación fecal en agua y alimentos.

3.7.1. Contenido de humedad en la harina de moringa

La evaluación de la humedad en la harina de moringa busca establecer el porcentaje de agua que contiene la planta, ya que este elemento afecta directamente la estabilidad físico-química y microbiológica del producto. Un nivel adecuado de humedad es crucial para prevenir el crecimiento de microorganismos que causan deterioro, la actividad de las enzimas y la formación de hongos que perjudican la calidad durante el almacenamiento. Para productos deshidratados, como la harina de moringa, se sugiere que el contenido de humedad no exceda el 10 a 12 por ciento, lo que asegura una durabilidad mayor y una conservación óptima de sus propiedades funcionales (Saini et al., 2020). El método más empleado para llevar a cabo este análisis es el secado en un horno a 105 grados Celsius hasta lograr un peso constante, siguiendo las pautas gravimétricas indicadas por la AOAC, lo que permite medir la pérdida de masa debida al agua presente en la muestra (AOAC, 2019).

3.8. Contenido de proteína en la harina de moringa

El análisis de la proteína en la harina de moringa tiene como objetivo medir el total de proteínas al determinar la cantidad de nitrógeno en la muestra. La moringa es conocida por su alto valor nutricional, con cantidades que pueden variar del 20% al 30% en su forma seca, lo que la hace una opción atractiva como fuente de proteína vegetal para la elaboración de alimentos funcionales. El método Kjeldahl es el protocolo estándar para lograr esto, donde la muestra se procesa a través de digestión, destilación y titulación para calcular el total de nitrógeno, y luego se aplica un factor de conversión de 6.25 para estimar la proteína cruda, según Sultana y otros en 2023. También se puede implementar el método Dumas, el cual implica la combustión rápida de la muestra y la medición del nitrógeno mediante detección térmica, lo que lo hace ser más

veloz y eficiente. Conocer el contenido proteico ayuda a valorar la calidad nutricional del producto y realizar comparaciones con otras fuentes vegetales utilizadas en la agroindustria, como mencionan (Vergara Jiménez, 2017).

3.9. Análisis sensorial en la harina de moringa

La evaluación sensorial de la harina de moringa incluye el examen de características perceptibles como color, olor, sabor, y apariencia, con el objetivo de verificar su conveniencia para su uso en alimentos. Debido a su color verde intenso, su aroma a hierbas y su sabor único, es esencial valorar cómo reaccionan los consumidores y el impacto de los métodos de secado en estas características sensoriales. Investigaciones han evidenciado que el proceso de deshidratación utilizando aire caliente o liofilización puede generar variaciones notables en el color y las propiedades aromáticas, lo que afecta la preferencia del consumidor hacia el producto (Olson & Fahey, 2011). Esta evaluación se lleva a cabo con grupos de expertos en cata o consumidores sin formación especializada, usando métodos como escalas hedónicas, descripciones sensoriales y pruebas de diferenciación. Esta revisión es esencial para asegurar que la harina pueda ser incorporada de manera efectiva en productos alimenticios como panes, bebidas, sopas y mezclas funcionales (Adejumo & Alakali, 2020).

Método Kjeldahl

En 1883 el investigador danés Johann Kjeldahl desarrolló el método más usado en la actualidad para el análisis de proteínas (método Kjeldahl) mediante la determinación del nitrógeno orgánico. En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El amoniaco liberado es arrastrado por destilación y recogido en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con HCl estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra. (Protocolo de análisis Físico-Químico, s.f.).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en la planta de desarrollo de moringa comandante Fidel, ubicada en la comunidad Izapa, km 69 carretera a León, después los análisis de proteínas y humedad relativa de las harinas en el laboratorio de suelo y agua (LABSA), así como los análisis microbiológicos de coliformes totales, salmonella, E. coli (escherichia coli) que fueron realizados en el laboratorio de fisiología vegetal, ambos estudios en la Universidad Nacional Agraria sede central, km 12 ½ de la carretera norte y por último en el laboratorio de bromatología se realizaron los análisis de materia seca, cenizas totales, proteína cruda, extracto etéreo, en la dirección de ciencia animal, campus universitario “Ing. Tania Beteta Herrera”, de la fabrica de cereales el mejor, 300 mtss al oeste, camino al municipio de sabana grande.

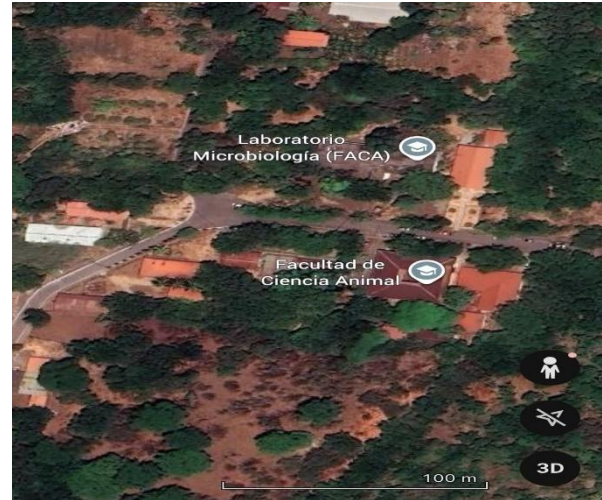
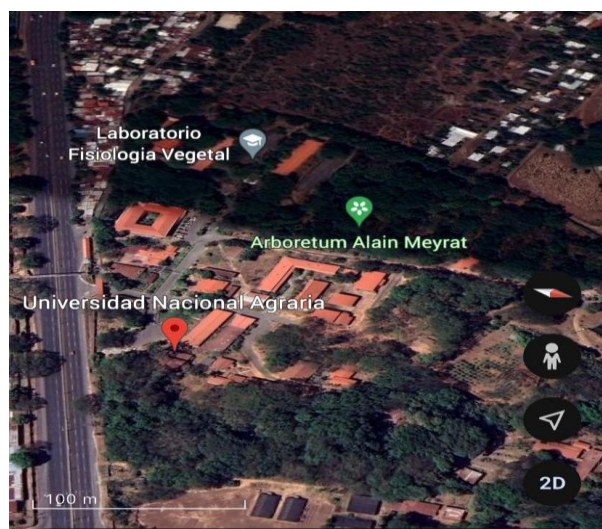
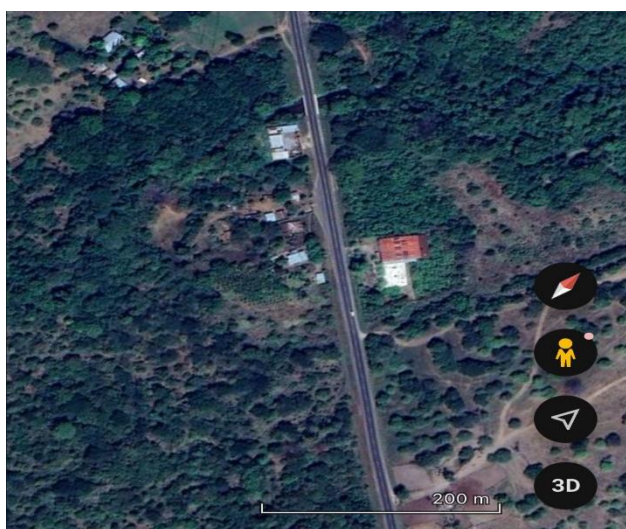


Figura 1. a) ubicación geográfica de la planta de desarrollo de moringa comandante Fidel, b) ubicación geográfica del laboratorio de fisiología vegetal. C) ubicación geográfica del laboratorio de suelo y agua (LABSA), d) ubicación geográfica del laboratorio de microbiología de la dirección de ciencia animal. Tomadas de Google Earth.

4.2. Diseño metodológico, diseño experimental o diseño de tratamientos

4.2.1. Diseño metodológico

Se empleó un diseño metodológico, siguiendo diseños similares a los utilizados por Mendoza Avilés (2017), en “Determinación de parámetros fisicoquímicos en muestras de harina de marango (moringa oleífera) obtenidas mediante dos métodos de secado”.

4.2.2. Diseño experimental

El estudio se diseñó como un experimento cuantitativo completamente al azar con tratamientos correspondientes a tres métodos de secado y niveles de temperatura definidos.

4.2.3. Etapas de experimentación

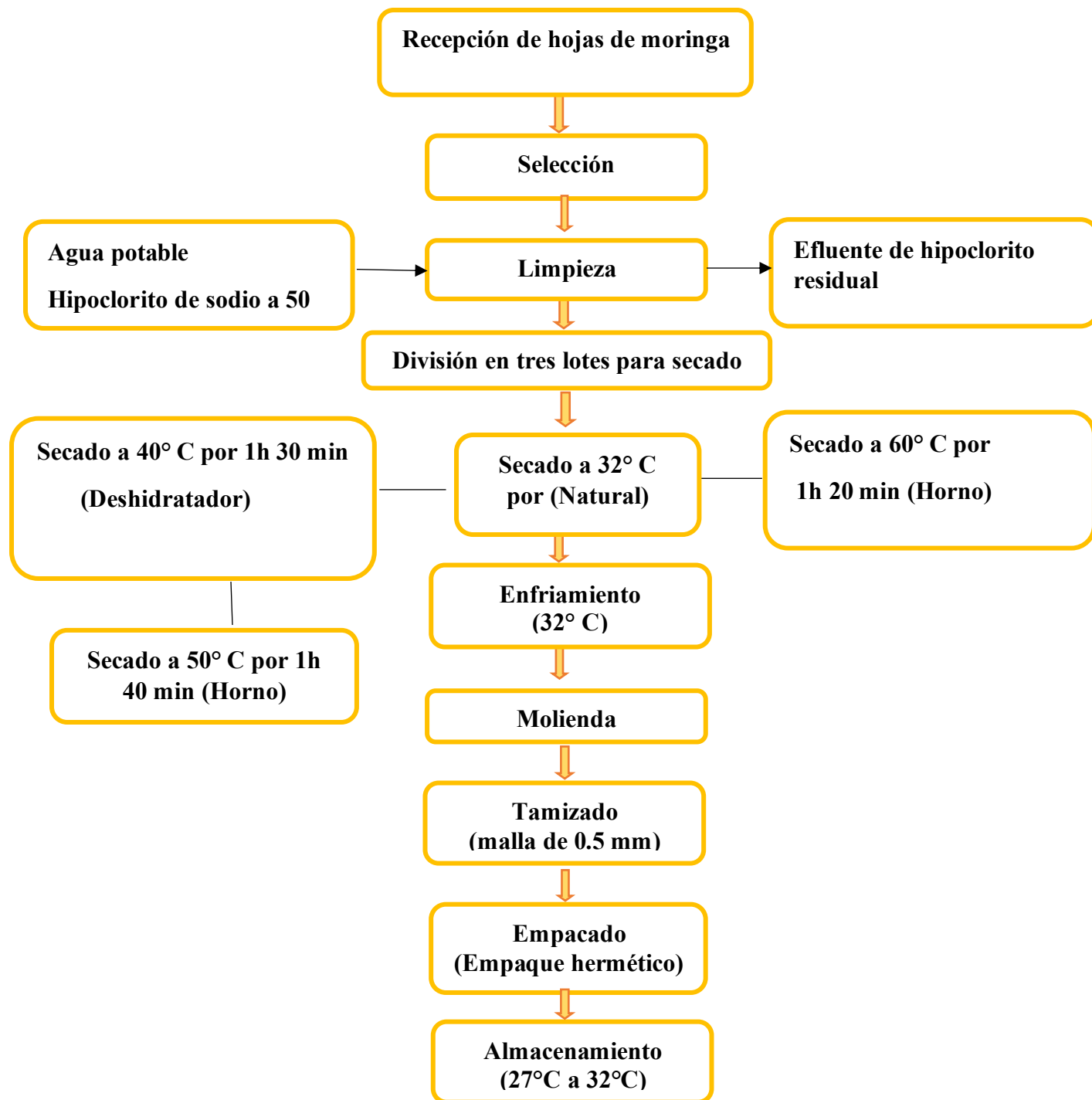


Figura 2. Flujograma de proceso de las tres etapas de secado y realización de harina de moringa.

4.2.4. Etapas del proceso para la optimización de la obtención de harina de moringa en las tres etapas de secado:

A continuación, se presentan las etapas de proceso que se llevaron a cabo para la elaboración de los métodos de secado aplicados a la obtención de harina de moringa. Para garantizar un producto con mejores características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales, se propusieron tres métodos de secado: secado en horno, secado en deshidratador y secado natural solar. Esta decisión se tomó debido a que diferentes condiciones térmicas influyen directamente en la retención de nutrientes, el color, la actividad enzimática y el contenido de humedad final del material vegetal. Según Saini et al. (2020), las hojas de *Moringa oleífera* son altamente sensibles a la degradación por calor, especialmente en compuestos como vitamina C, clorofila y antioxidantes; por ello, comparar métodos permite seleccionar el más eficiente y menos destructivo. Asimismo, estudios como los de Adejumo y Alakali (2020) demuestran que variaciones pequeñas en la temperatura de secado pueden modificar significativamente la calidad sensorial y el rendimiento final de la harina.

1. Recepción de hojas de Moringa

Se recolectaron y recibieron las hojas de moringa oleífera frescas de la planta de procesamiento del comandante Fidel en Izapa, km 69 carretera a León, perteneciente de la Universidad Nacional Agraria. En esta etapa se evalúa la calidad del material vegetal, así como los siguientes parámetros que fueron evaluados:

- ✓ Variedad PKM1: Esta moringa oleífera, conocida por su rápido crecimiento y alta producción de hojas y vainas. Alcanza la madurez y empieza a producir vainas en unos 160-170 días después de la siembra, tiene un alto rendimiento en comparación con las variedades perennes, esta misma es más resistente a las plagas como el gusano peludo, esta variedad es anual, por lo que puede requerir siembras más frecuentes y tiene una vida útil más corta que las variedades perennes.
- ✓ Sus características: la variedad PKM-1 cuenta con hojas compuestas que son de un verde brillante, poseen un tamaño consistente y una densa disposición foliar, características que aumentan su producción en biomasa. Los folíolos tienden a ser más anchos y

carnosos, con una superficie lisa y un aspecto fresco, lo que favorece un mayor aporte nutricional y una calidad superior en la producción de harina de moringa. Investigaciones morfológicas han evidenciado que esta variedad muestra una velocidad de crecimiento foliar elevada, lo que posibilita realizar varios cortes durante el periodo de producción y obtener hojas de gran calidad (Gopalakrishnan et al., 2016).

Las vainas del tipo PKM-1 también exhiben rasgos físicos únicos: son más largas, rectas y tienen un tamaño homogéneo, pudiendo alcanzar longitudes de 60 a 70 cm, con diámetros moderados y una menor curvatura en comparación con otras variedades. Esta homogeneidad simplifica la recolección y permite la venta del fruto en mercados tanto frescos como procesados. Además, las semillas dentro de estas vainas son de buen tamaño, con un color marrón uniforme y alas bien desarrolladas, lo que mejora la propagación de la planta con una alta tasa de germinación (Pandey et al., 2019).

2. Selección

Las hojas se inspeccionaron visualmente para eliminar impurezas, insectos, tierra, hojas dañadas o en mal estado. Este proceso contribuye a mejorar la calidad de la harina al reducir contaminantes físicos y microbiológicos, además de evitar alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

3. Limpieza

Se realizó el proceso de lavado y desinfección, con agua potable y hipoclorito de sodio en 50 ppm. Este proceso permitió disminuir la carga microbiana y asegurar la inocuidad del producto, mejorando la calidad microbiológica de la harina final.

4. División en tres lotes para secado

Las hojas limpias se dividieron en tres lotes equivalentes con el objetivo de evaluar distintos métodos de secado y sus efectos sobre la calidad de la harina.

5. Secado

Cada muestra se sometió a un tratamiento térmico específico:

- Muestra 1: Secado a 40 °C por 1 hora y 30 minutos usando deshidratador.
- Muestra 2: Secado a 50 °C por 1 hora y 40 minutos en horno.

- Muestra 3: Secado a 60 °C por 1 hora y 20 minutos en horno.
- Muestra 4: Secado natural a 32°C por dos días.

Este paso busca reducir la humedad sin afectar significativamente los nutrientes.

6. Enfriamiento a temperatura ambiente

Una vez secas las hojas se dejaron reposar para enfriarse en una temperatura de 32°C y evitar que la humedad del ambiente las rehidrate o que se condense al almacenarse.

7. Molienda

Las hojas secas se trituraron utilizando un molino de cuchilla, hasta obtener un polvo fino. El dispositivo de corte empleado para la pulverización fina de hojas de moringa es una máquina diseñada para disminuir el tamaño de las partículas vegetales secas a través del impacto y el corte, logrando un polvo uniforme de tamaño específico. Este molino se distingue por contar con cuchillas de acero inoxidable altamente duraderas, organizadas en un rotor que gira rápidamente, creando un efecto de corte que descompone las hojas en harina de manera eficaz. Su fabricación en acero inoxidable previene la contaminación del producto y asegura su seguridad durante el proceso, además de facilitar las actividades de limpieza y mantenimiento. Normalmente, incluye una cámara de trituración sellada, mallas intercambiables para alcanzar distintos niveles de finura, y un sistema de ventilación o refrigeración que evita que el material se sobrecaliente, protegiendo así los compuestos sensibles al calor, como clorofilas y antioxidantes que se encuentran en la moringa.

8. Tamizado (malla fina)

Las hojas secas ya molidas se pasaron por una malla fina de 0.5 mm para obtener un polvo homogéneo en textura y tamaño. Aunque la normativa de Nicaragua no menciona criterios precisos de granulometría para harinas provenientes de hojas, como la de moringa (*Moringa oleífera*), en este análisis se utilizó como base técnica la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 03 096-11, que determina los parámetros de tamizado para harinas de maíz sin germen. Según dicha norma, al menos el 95 por ciento del producto debe pasar a través de un tamiz de 0,85 mm, y se permite que hasta un 25 por ciento se filtre por un tamiz de 0,210 mm (NTON 03 096-11, 2012). A pesar de que estas cifras no son de aplicación obligatoria para otros productos que no sean maíz, se utilizaron como una referencia metodológica para elegir

un grado de finura más riguroso en este caso, una malla de 0,05 mm con el objetivo de lograr un polvo de moringa de granulometría muy fina, uniforme y adecuada para usos nutricionales y funcionales. Esta modificación metodológica garantiza un tamaño de partícula que es estandarizado y reproducible, manteniendo la alineación con las referencias técnicas del país, aunque la normativa actual no incluye la harina de moringa en su regulación.

9. Empaque hermético

La harina tamizada se colocó en empaques sellados herméticamente para protegerla de la humedad, el oxígeno y contaminantes. Esto garantiza una vida útil adecuada.

10. Almacenamiento

Es crucial mantener la harina en un lugar fresco, seco y oscuro, protegido de la luz y la humedad, idealmente a temperaturas entre 27° C a 32° C.

Proceso de obtención del Té de Moringa

Las hojas secas fueron trituradas utilizando un molino de cuchilla, hasta obtener un polvo fino. El dispositivo de corte empleado para la pulverización fina de hojas de moringa es una máquina diseñada para disminuir el tamaño de las partículas vegetales secas a través del impacto y el corte, logrando un polvo uniforme de tamaño específico

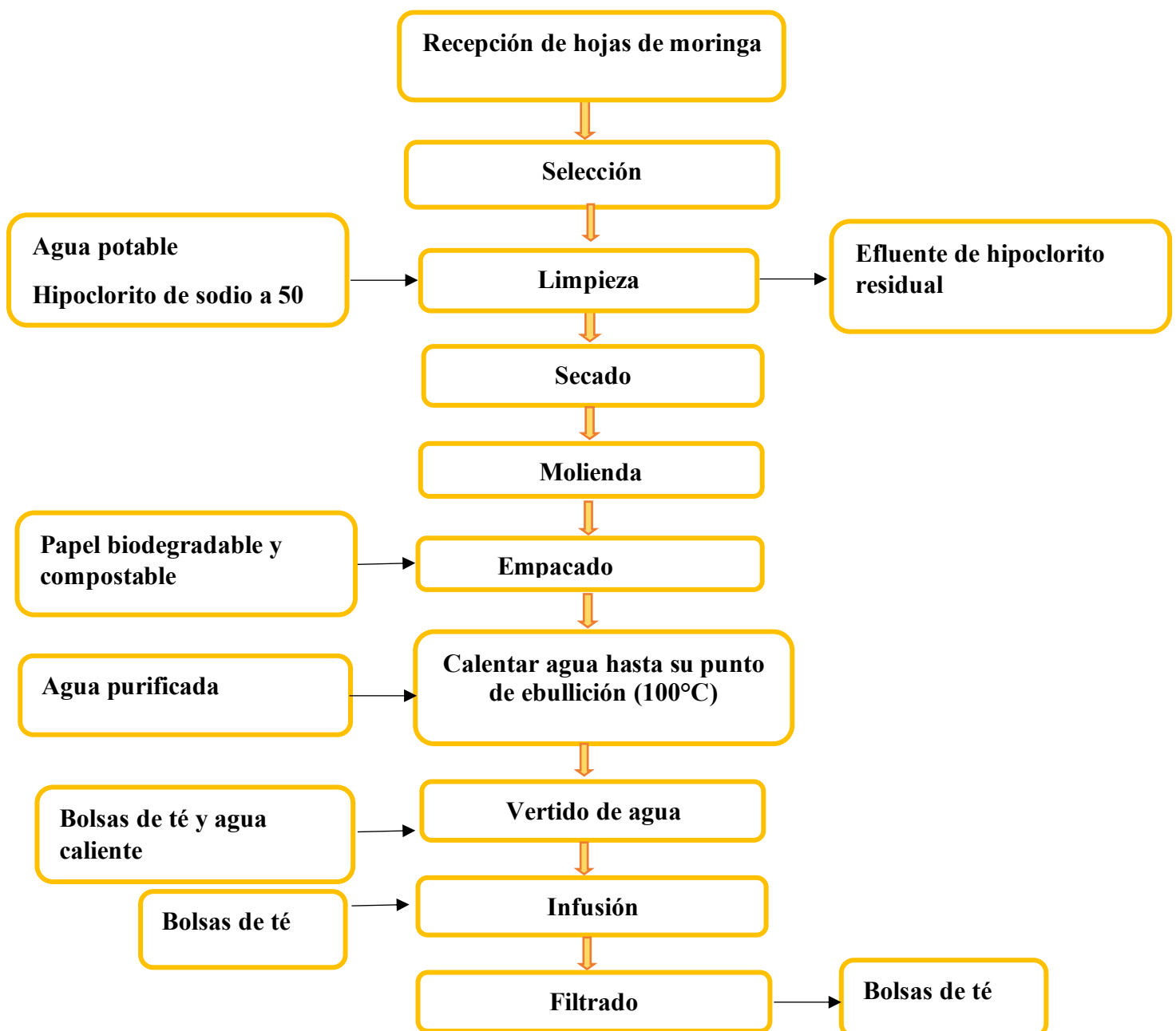


Figura 3. Etapas de obtención del té de moringa

Etapas de proceso para la obtención de té a base de moringa oleífera.

1. Recepción de las hojas de Moringa

Se recolectaron y recibieron las hojas de moringa oleífera frescas de la planta de procesamiento del comandante Fidel, donde la materia prima fue inspeccionada para verificar el estado físico con el fin de asegurar homogeneidad en estado de madurez, tamaño, forma, color y ausencia de ataque de plaga.

2. Selección

Las hojas de moringa se seleccionaron manualmente con el fin de descartar hojas con aspecto amarillento, marchitas y eliminar material extraño como restos de tallos o vainas presentes.

3. Limpieza

Una vez seleccionadas las hojas se procedió al proceso de lavado y desinfección, con agua potable y hipoclorito de sodio en 50 ppm. Esto para eliminar el polvo, tierra y restos de insectos.

4. Secado

Las hojas de moringa se sometieron a un proceso de secado, con el objetivo de reducir el contenido de humedad presente.

5. Molienda

Las hojas secas se trituraron utilizando un molino de cuchilla, hasta obtener un polvo fino. El dispositivo de corte empleado para la pulverización fina de hojas de moringa es una máquina diseñada para disminuir el tamaño de las partículas vegetales secas a través del impacto y el corte, logrando un polvo uniforme de tamaño específico.

6. Empacado

Luego de la molienda se procedió a pesar 2 gramos de polvo de harina y se empaco en papel biodegradable y compostable en presentación de Té.

7. Calentamiento de agua

Se calentó agua en una olla de acero inoxidable hasta alcanzar su punto de ebullición (100°C).

8. Vertido de agua

Se colocó el sobre de té sobre una taza y se le agregó el agua caliente, asegurando su completa inmersión.

9. Infusión

Se dejó reposar aproximadamente por 5 minutos, con el fin de extraer tantas las propiedades nutricionales como sus atributos sensoriales.

10. Filtrado

Pasado el tiempo de infusión, se retira el sobre de Té y se considera listo para su consumo.

Secado en deshidratador (40 °C)

La deshidratación se llevó a cabo a una temperatura de 40 °C, considerada ideal para mantener mejor las características bioactivas. Según Vergara-Jiménez y colaboradores (2017), temperaturas que oscilan entre 35 °C y 45 °C ayudan a preservar un mayor nivel de antioxidantes, aminoácidos esenciales y clorofila en la moringa, en comparación con procesos de secado a temperaturas más altas. Este procedimiento sigue etapas semejantes a las del secado en horno, pero ofrece la ventaja de un flujo de aire más uniforme y menos intenso, facilitando una deshidratación más delicada. Se eligió este método debido a que investigaciones como las de Olson y Fahey (2011) sugieren que la calidad sensorial (color verde brillante y fragancia fresca) se mantiene mejor cuando el secado se realiza a temperaturas adecuadas.

Secado en horno eléctrico (50 °C y 60 °C)

El proceso de secado en horno implica la eliminación de humedad usando aire caliente de manera controlada, lo que favorece una reducción homogénea de la humedad y mejora la uniformidad del proceso. Se probaron dos niveles de temperatura, 50 °C y 60 °C, ya que varios estudios sugieren operar dentro de este rango con el fin de reducir la pérdida de compuestos bioactivos sin afectar la efectividad de la deshidratación. Según Sultana y colaboradores (2023), temperaturas superiores a 60 °C en las hojas de moringa aceleran la pérdida de clorofila y

fenoles, lo que reduce su valor nutricional. Las fases clave comprenden la elección del material fresco, la limpieza, el drenado, el corte, la disposición en bandejas, el secado durante un periodo específico y la reducción de humedad a niveles por debajo del 10–12%. Este método fue elegido por ofrecer condiciones más precisas y resultados más consistentes que los métodos convencionales.

Secado natural solar (30–35 °C)

El secado natural utilizando el sol se lleva a cabo en un rango de temperatura que va de 30 a 35 grados Celsius, lo que lo convierte en una opción económica y accesible para pequeños agricultores. Este método ayuda a ahorrar energía y mantiene las prácticas tradicionales que se llevan a cabo en áreas rurales. No obstante, también tiene inconvenientes como la falta de control preciso sobre la temperatura, un tiempo de secado más largo y el riesgo de contaminación del ambiente. Nouman (2014) indican que, aunque el secado solar es rentable, la larga exposición a la luz y al oxígeno puede provocar cambios en el color y en la actividad antioxidante. Sin embargo, se optó por este método porque es útil para comparar alternativas tecnológicas de bajo costo con técnicas más avanzadas, lo que permite valorar su aplicabilidad en la agroindustria rural y en cooperativas locales, así como la diferencia entre secados industriales a secado natural.

Análisis sensorial de té de moringa

Para evaluar la calidad sensorial de las cuatro variedades de harina de moringa obtenidas a través de distintos métodos de secado (a 40 °C, 50 °C, 60 °C y un control a 32 °C), se elaboró un té utilizando filtros de papel tipo de té. Se incorporaron 2 g de harina de moringa en cada filtro y se sumergieron en 100 ml de agua caliente a 80 °C durante un tiempo de 5 minutos. El té resultante fue evaluado por un grupo de catadores no entrenados, quienes analizaron las propiedades organolépticas de cada bebida, tales como el gusto, el aroma, el color y la presentación, con el fin de establecer la aceptación general y la percepción de calidad de las diversas harinas. Este análisis sensorial facilitó la comparación de las cuatro muestras de manera uniforme y complementó los estudios bromatológicos (proteína y humedad), aportando datos sobre la aceptabilidad del producto final y la retención de compuestos bioactivos durante el proceso de secado.

Determinación de proteína y humedad relativa

Las pruebas de proteína y humedad relativa se realizaron en el laboratorio de suelo y agua LABSA de la Universidad Nacional Agraria (UNA), utilizando el método Kjeldahl para determinar el contenido de nitrógeno total en las muestras de harina de marango (*Moringa oleífera*).

Muestra testigo (mt)

La muestra testigo fue obtenida en la planta de procesamiento de moringa comandante Fidel, utilizando exclusivamente hojas de *Moringa oleífera* transformada en harina, sin agregar ningún otro componente, lo que permitió una evaluación directa de las propiedades de la materia prima bajo condiciones mínimamente alteradas. Esta muestra representa un secado natural al sol, un método tradicional que se basa en la radiación y las condiciones del ambiente, caracterizándose por un proceso más lento y variable en comparación con las técnicas controladas. Su inclusión como punto de referencia facilitó la comparación con los tratamientos térmicos, mostrando de qué manera las condiciones de secado afectan la humedad, la estabilidad microbiológica y la preservación de nutrientes en la harina de moringa.

Análisis microbiológicos

Preparación de la muestra

Se pesó 25 gramos de Harina de moringa, se adicionó a un Erlenmeyer 225 ml de agua peptona estéril (dilución madre), se homogenizó dando giros y dejó reposar por 5 minutos, se realizaron diluciones seriadas tomando 1 ml de dilución madre y se agregó a un tubo de ensayo como 9 ml de agua peptonada, repitiendo este proceso de dilución hasta completar la dilución.

Determinación de *Escherichia coli* spp

La dilución madre se dejó en incubación durante 24 horas a una temperatura de 35 °C. Se pesó 18 gramos del medio EMB y 25 gramos de Mc Conkey, ambos medios se utilizaron para la determinación de *E. coli*. Luego se agregó 20 ml de la solución madre a cada uno de los medios, seguido se agregan a los platos Petri y se deja en baño maría por 24 horas a 42°C.

Pasado el tiempo de incubación se procedió a observar el crecimiento de acuerdo con las siguientes características. En el medio E.M.B Agar (Eosina y Azul de Metileno), las colonias bacterianas, se observan colonias oscuras (púrpuras o casi negras), o verde metálico brillante. Por otro lado, utilizando el medio Mc Conkey, las colonias se observan de un color rosadas a rojo intenso, este color aparece porque la bacteria fermenta lactosa, esto produce ácido cambiando el pH del medio.

Determinación de Salmonella ssp

La dilución madre se incubó durante 24 horas a 35°C, pasado el tiempo se tomó 1 ml de Agua peptonada y se dejó incubación en caldo Rappaport durante 24 horas a 42°C, posteriormente se realizó el proceso de rayado de caldo Rappaport en los medios de cultivo Agar SS y Agar Hektoen y se dejó incubar a 35°C por 24 horas, transcurrido el tiempo se procedió a observar el crecimiento de las colonias.

En el medio de cultivo Agar SS las colonias bacterianas son incoloras o transparentes, con bordes regulares convexas medianas y centro negro debido a la producción de sulfuro de Hidrogeno (H₂S), mientras que el cultivo Hektoen las colonias son medianas de color verde azulado.

Determinación de Coliformes totales

Se tomó 1 ml de las soluciones 10⁻⁴ y 10⁻⁵ y se adicionó a dos placas Petri, posteriormente se adiciono el medio de cultivo Agar bilis rojo violeta (ABRV), se homogenizo y dejó reposar. Una vez pasado el tiempo que se solidificó el medio se agregó una capa fina y se dejó reposar hasta que estuviera sólido y se pasó a incubación a 35°C por 24 horas.

Pasado el tiempo se realizó el recuento de coliformes totales, para realizar el conteo de las colonias en cada plato de las correspondientes diluciones se aplicaron las siguientes ecuaciones, esto para determinar el número de unidades formadoras de colonias (UFC).

$$N = \frac{\sum}{V(n_1 + 0.1 \times n_2) \times d}$$

Donde:

n1= número de placas sometidas a recuento en la primera dilución

n2= número de placas sometidas a recuento en la segunda dilución

d= factor de dilución correspondiente a la primera dilución

V= volumen de siembra

Ejemplo:

En las primeras diluciones retenidas (10^{-4}): 123 y 20 colonias y en la segunda dilución retenida (10^{-5}) 225 y 214 colonias.

$$N = \frac{123 + 20 + 225 + 274}{1(2 \times 0.1 \times 2) \times 10^2} = \frac{642}{0.4} = 1,605$$

El resultado del número de microorganismos de coliformes totales es de 1,605 por gramo del producto.

Entonces:

$$\frac{1,605}{25 \text{ g de producto}} = 64 \text{ g}$$

Encontrándose dentro del rango establecido por la Normativa Oficial Mexicana NOM -247 - SSA1 – 2008. Para Harinas.

Materiales y métodos

Se estructuró de forma cronológica y detallada, enfocándose en la optimización del proceso de secado de la moringa. El estudio se realizó en la comunidad de Izapa, León, en la zona occidental de Nicaragua, conocida por sus altas temperaturas. Los tratamientos térmicos controlados en

horno (40°C, 50°C y 60°C) se contrastaron con una Muestra Testigo (MT) sometida a secado natural al sol. Las temperaturas ambientales máximas en León oscilan típicamente entre 33°C y 36°C, e históricamente pueden rozar los 38°C a 39°C en los meses de sequía (febrero a abril). Los análisis fisicoquímicos confirmaron la superioridad del secado a 60°C, el cual produjo la harina con el mayor contenido de proteína (24.09%) y la menor humedad (9.95%). Esto demuestra que, si bien el secado natural (MT) es factible (10.07% de humedad), el calor controlado es la mejor estrategia para reducir el contenido de agua por debajo del 10% y garantizar la máxima calidad nutricional y la mayor vida útil del producto en las condiciones extremadamente cálidas de León.

4.2.5 Materiales y Equipos

Materiales y equipos de laboratorio para análisis fisicoquímicos (LABSA):

- Balanza analítica (para pesar muestras y crisoles)
- Tubos de ensayo y probetas
- Bloque calentador (para la digestión)
- Equipo de destilación Kjeldahl
- Crisoles (para el análisis de humedad)
- Termómetro de medición (para medir la temperatura)
- Horno de laboratorio: para determinación de análisis de humedad a 105°C
- Beaker de 100 ml para el ácido bórico
- Probetas (para el ácido bórico y la combinación de NaOH en la destilación)

Reactivos Químicos (Método Kjeldahl)

- Solución sulfoselénica: (Combinación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y Selenio (Se), para la digestión de proteínas)
- Ácido bórico: (Para la captura de amoníaco en la destilación).
- Hidróxido de sodio NaOH: (Para liberar el amoníaco en la destilación).
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4): Ácido valorante para la titulación.
- Reactivo mixto de metilo: (Indicador para el punto final de la titulación).

Materiales y equipos de procesamiento en la planta de moringa:

- Hojas frescas de Moringa oleífera (materia prima)
- Horno (para secado a 50° C y 60°C)
- Deshidratador (para secado a 40°C)
- Molino (para la molienda)
- Malla fina de 8 pulgadas (para el tamizado de la harina)
- Termómetro de medición
- Bandejas: Para colocar las hojas en una sola capa en el horno
- Papel filtro: para elaborar las bolsitas de té
- Prensa de filtro: para cerrar y prensar los té

Materiales y equipos del laboratorio de fisiología vegetal

- Baño maría / baño térmico
- Cabina de flujo laminar
- Balanza
- Autoclave
- Hot plate
- Pipeta automática
- Erlenmeyer
- Tubos de ensayo
- Frascos de tapa rosca
- Platos Petri
- Dispensador para pipeta serología

Laboratorio de Bromatología

- Balanza analítica
- Estufa de secado
- Mufla
- Extractor Soxhlet
- Molino para muestras
- Crisoles de porcelana
- Papel filtro

- Disecador
- Matrices y buretas

Reactivos de laboratorio de Bromatología

- Ácido sulfúrico concentrado
- Catalizador ($K_2SO_4 + CuSO_4$)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido bórico
- Indicador
- Ácido estándar para titulación
- Para grasa (Soxhlet): Éter de petróleo o hexano

4.3. Manejo del ensayo y metodología

4.3.1. Tipo de estudio y condiciones generales:

El estudio se diseñó como un experimento cuantitativo completamente al azar con tratamientos correspondientes a tres métodos de secado y niveles de temperatura definidos.

4.3.2. Muestreo y preparación de la muestra:

Recolección: Las hojas se cosecharon de plantas sanas, en la misma etapa fenológica (por ejemplo, hojas maduras jóvenes), preferentemente por la mañana para minimizar variaciones por transpiración.

Pretratamiento: Se eliminaron hojas dañadas y tallos gruesos. Las hojas limpias se lavaron con agua potable y se escurrieron.

Pesado inicial: Se registró peso fresco de cada muestra antes del secado.

4.4. Diseño experimental:

El estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes métodos de secado sobre la harina de marango (moringa oleífera), considerando un diseño completamente aleatorizado (DCA). Se definieron cuatro tratamientos, correspondientes a cuatro temperaturas de secado: 40°C (deshidratadora), 50°C y 60°C (horno), y un tratamiento testigo a 32°C (secado natural). Aunque se trabajó con tres métodos de secado, la comparación experimental se basó en las

cuatro temperaturas evaluadas, cada una considerada como un tratamiento independiente. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, para un total de 16 unidades experimentales, distribuidas aleatoriamente.

Tratamiento 1: Secado a 40 °C (Deshidratador)

Este tratamiento consistió en deshidratar las hojas de moringa utilizando un deshidratador eléctrico a una temperatura controlada de 40 °C, considerada óptima para preservar los compuestos bioactivos y minimizar la pérdida de clorofila y antioxidantes. Cada muestra se procesó de forma independiente en cuatro repeticiones, garantizando uniformidad en la exposición al aire caliente y el tiempo de secado.

Tratamiento 2: Secado a 50 °C (Horno eléctrico)

En este tratamiento, las hojas de moringa se colocaron en un horno eléctrico a 50 °C, temperatura intermedia seleccionada para evaluar la eficiencia del secado frente a la conservación de nutrientes y características físicas. Se realizaron cuatro repeticiones por muestra, asegurando que cada unidad experimental recibiera las mismas condiciones de temperatura y flujo de aire, con el objetivo de medir la consistencia de la harina obtenida.

Tratamiento 3: Secado a 60 °C (Horno eléctrico)

Este tratamiento utilizó un horno eléctrico a 60 °C, representando la temperatura más alta de los ensayos. El propósito fue analizar cómo incrementos en la temperatura afectan la humedad residual, la textura, el color y el contenido nutricional de la harina de moringa. Se realizaron cuatro repeticiones por muestra, siguiendo las mismas condiciones controladas que los tratamientos anteriores para garantizar la comparabilidad.

Tratamiento 4: Testigo (Secado ambiental a 32 °C)

El tratamiento testigo consistió en dejar secar las hojas de moringa a temperatura ambiente controlada entre 32 y 35 °C, representando las condiciones naturales más frecuentes en la zona de estudio. Este tratamiento sirve como referencia para evaluar los cambios inducidos por los métodos de secado mecánico. También se aplicaron cuatro repeticiones por muestra, manteniendo un manejo homogéneo de las hojas durante todo el periodo de secado.

Tratamiento Método de secado		Temperatura (°C)	Repeticiones	Unidad experimental
T1	Deshidratador	40	4	4
T2	Horno eléctrico	50	4	4
T3	Horno eléctrico	60	4	4
T4 (Testigo)	Secado ambiente/controlado	32	4	4

Cuadro 1. Resumen del diseño experimental.

4.4.1. Métodos de secado (tres):

Secado en horno, en un deshidratador y secado ambiente.

Temperaturas (tres): Para los métodos térmicos (horno de convección y secador solar controlado) se evaluaron tres temperaturas representativas: 40 °C, 50 °C y 60 °C. En el caso de liofilización, el tratamiento corresponde a la condición de sublimación/fase de vacío establecida por el equipo.

Cada método/temperatura se consideró un tratamiento independiente.

4.4.2. Condiciones de secado y criterios de finalización:

- Método horno de convección: se colocaron las hojas en bandejas en una sola capa; circulación de aire 1 m/s (o ajuste del equipo); se supervisó hasta peso constante (peso tomado cada 30-60 min) y registrar tiempo total de secado. Objetivo de humedad final: <7 % (base seca) o hasta alcanzar estabilidad de peso en dos mediciones consecutivas con diferencia <0.1 g.
- Secado solar controlado: secador solar ambiente, en donde se midió la temperatura actual de ese momento.
- Se aplicaron los niveles de temperatura promedio equivalentes a 40/50/60 °C o según condiciones reales del equipo.

Se registró tiempo de secado, temperatura, humedad ambiental (para solar), y pérdida de peso en cada etapa.

4.5. Proceso de preparación de muestras para determinación de los parámetros

Fisicoquímicos en Harina de Marango

Se prepararon las muestras de moringa oleífera, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos a analizar. Se consideraron los siguientes parámetros: proteína, carbohidratos, fibra cruda, grasa y humedad.

4.5.1. Preparación de muestra para determinación de Nitrógeno y proteína.

Para la determinación de nitrógeno se utilizó el método Kjeldahl, el cual consta de tres etapas: digestión, destilación y estandarización.

4.5.2. Digestión

Se pesó 0.20 g de cada muestra por duplicado de harina de marango en una balanza analítica, luego se trasladaron a los tubos de ensayo. Y se deja un blanco, se refiere a que la probeta contiene solamente los reactivos con agua. Luego se agregó a cada muestra 4 ml de una solución de ácido sulfúrico H_2SO_4 y Selenio (Se), y a esta combinación se le llama solución sulfoselénica, su función es romper la molécula de la proteína y extrae el nitrógeno y se forma el sulfato de amonio

En el bloque calentador se colocan la muestra a 100°C por 1 hora, pasada la hora se subió la temperatura a 200°C por otra hora. Luego a 300°C por 1 hora y, por último, se sube a 400°C por 2 horas, cuanto más alta sea la temperatura más rápido será el proceso de digestión. Una vez la digestión ha finalizado se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.

4.5.3. Destilación

Se preparó 25 ml de ácido bórico en un beaker de 100 ml, para cada muestra y se colocaron en una probeta, se calentó el equipo de destilación Kjeldahl con agua, se agregó hidróxido de sodio (NaOH), se combina con el blanco en una probeta de 50 ml, se produce la reacción del hidróxido

de sodio con el amonio y libera amoniaco, luego se agregó 10 ml de hidróxido de sodio y se combina con cada una de las muestras preparadas en las probetas.

4.5.4. Estandarización

Se realizo para determinar la concentración del ácido sulfúrico con el que se realizó la titulación. A cada muestra se le agregó un reactivo mixto de metilo, su función es dar el punto final de titulación. Se agregó ácido sulfúrico (H_2SO_4), a cada muestra hasta que la solución tenga un ligero color violeta, con la concentración y el volumen de (H_2SO_4) gastado se calcula el número de moles de átomos de nitrógeno en la muestra para luego calcular el % de proteína en las muestras de Harina de Marango.

Cálculo de porcentaje de nitrógeno con la siguiente formula:

$$\%NT = \frac{\text{ml ácido valorante} - \text{ml blanco} * H_2SO_4 * 1,4007}{\text{Peso de la muestra}}$$

Luego los valores de valores de nitrógenos obtenidos se multiplican por el factor de conversión 5.7, correspondiente a cereales y harinas, según los parámetros establecidos por la AOAC, (2016).

4.6. Análisis del porcentaje de humedad en la harina de moringa

Se realizó el porcentaje de humedad en cuatro muestras de estudio de harina de marango. Se procedió a pesar 3 gramos por duplicado de Harina de marango para cada muestra, las muestras se pesaron en crisoles con la balanza analítica, luego se llevaron al Horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, Pasadas las 24 horas se procedió a sacar las muestras y pesarlas

4.6.1. Fórmula para calcular porcentaje de humedad

$$\frac{\text{Masa h} - \text{m seca}}{\text{M húmeda} * 100}$$

4.7. Datos o variables evaluados

Las variables en estudio fueron los tiempos de secado empleados para cada muestra y las distintas temperaturas de secado. Las muestras estudiadas fueron tres, por medio de distintos

métodos de secado, los cuales fueron a través de horno industrial, deshidratado y secado natural. La temperatura se llevó a cabo utilizando el termómetro de medición.

Métodos empleados en los análisis bromatológicos

➤ Determinación de cenizas

Se pesaron las muestras secas, se colocaron en crisoles, y luego se incineraron en mufla a 550°C por 4–6 horas, después se dejó enfriando en desecador y por último se pesó el residuo.

➤ Extracto Etéreo o grasa

Se pesaron las muestras secas, y se colocaron en cartucho, luego se extrajeron con solvente por 6-8 horas, así como se evaporó el solvente, como por último se pesa la grasa residual.

4.8. Análisis de datos

Se aplicó un análisis experimental de tipo comparativo, dentro del enfoque cuantitativo, en donde se comparan los resultados obtenidos entre los diferentes tratamientos de secado.

Para comparar los tratamientos se ordenaron los datos obtenidos de la evaluación sensorial, donde se empleó un análisis de varianza al 95 % de confianza, posteriormente se aplicó la prueba de tukey, la interpretación de los datos se realizó a través de la identificación de agrupaciones con letras iguales, distinguiendo diferencias significativas entre ellas.

Los resultados obtenidos de los tres métodos de secado de la harina de moringa se examinaron utilizando un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con cuatro réplicas por tratamiento y un total de 16 unidades experimentales. Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de un único factor para evaluar si había diferencias significativas entre los distintos métodos de secado en relación con las variables analizadas, tales como contenido de humedad, proteínas, y aceptabilidad sensorial.

Cuando el ANOVA indicó que había diferencias significativas ($p < 0,05$), se utilizó la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples entre los tratamientos y determinar cuáles métodos de secado presentaban diferencias estadísticamente relevantes. Este procedimiento facilitó la identificación del impacto de cada temperatura y método de deshidratación en la

calidad de la harina de moringa, mientras se controlaba la variabilidad experimental dentro de las réplicas.

Los resultados se presentaron como promedio $\pm$ error estándar de las cuatro repeticiones por cada tratamiento. Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados con un programa especializado, asegurando la precisión y la capacidad de repetición de los datos. Esta estrategia facilita la toma de decisiones informadas sobre la técnica de secado más idónea para obtener harina de moringa de la mejor calidad nutricional, funcional y sensorial.

Para llevar a cabo los análisis bromatológicos de la harina de moringa, se eligió la muestra que había sido secada en un horno a 60 °C, ya que esta mostró una homogeneidad superior y un tono verde vibrante, características que sugieren una excelente conservación de sus compuestos bioactivos y una degradación térmica mínima.

La elección se fundamentó en criterios sensoriales y físicos, dado que la finura, la uniformidad y el color de la harina son señales indirectas de su calidad nutritiva, especialmente en relación con la proteína y la humedad relativa, que se evaluaron más adelante. La proteína indica la presencia de aminoácidos esenciales en la harina, mientras que la humedad relativa revela el nivel de deshidratación y la estabilidad del producto durante su almacenamiento. Al seleccionar la muestra óptima por su color y textura, se aseguró que los resultados de los análisis bromatológicos reflejaran un producto de gran calidad, reduciendo la posibilidad de pérdidas de nutrientes y variaciones entre las repeticiones. Sin embargo, las demás muestras también son competentes ya que sus resultados son similares.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización de la materia prima

De acuerdo con lo obtenido en relación con la caracterización de la materia prima demostró que las hojas de moringa oleífera empleadas en estos análisis cumplieron con estándares de calidad ideales para ser sometidas a un proceso de deshidratación y la posterior producción de harina. Las hojas mostraron un tono verde parejo, sin daños visibles, plagas ni evidencias de degradación, lo que sugiere que fueron bien manejadas antes de su recolección. También, el nivel de humedad inicial medido fue acorde con lo que se ha documentado para hojas frescas, lo que facilita una eliminación de agua controlada sin peligro de fermentación o pérdida rápida de compuestos bioactivos. Estas propiedades aseguran la preservación nutricional del vegetal y confirmaron su apropiación para los tratamientos analizados, garantizando que cualquier diferencia observada después se deba a las condiciones de secado y no a una variación en la calidad del material inicial.

5.2. Muestras evaluadas de los métodos de secado

Las muestras evaluadas incluyeron cuatro técnicas de secado que facilitaron la comparación del comportamiento de las hojas de moringa oleífera bajo diversas condiciones térmicas. El método m1 implicó el secado a 40 °C empleando un deshidratador eléctrico, lo que proporcionó un flujo de aire continuo y temperaturas suaves que ayudan a conservar compuestos susceptibles al calor, aunque esto resultó en tiempos de deshidratación más largos. Por otro lado, el método m2, que se llevó a cabo en un horno a 50 °C, logró una reducción más veloz de la humedad gracias a una mayor transferencia de calor, manteniendo aún un rango moderado para proteger proteínas y pigmentos.

En el caso del método m3, el secado en horno a 60 °C demostró ser el más efectivo para eliminar la humedad y lograr un secado más veloz, lo que favoreció una mejor conservación de nutrientes, evidenciándose en el contenido proteico más alto entre todos los métodos; este hallazgo respalda que 60 °C fue la condición más eficaz para mantener la proteína sin causar degradación térmica significativa. Por último, la muestra de control (mt) se sometió a secado solar natural, un enfoque tradicional con una deshidratación más lenta y variable, que depende de las condiciones ambientales y con un mayor riesgo de contaminación. Estos métodos permitieron analizar el impacto del gradiente térmico y la tecnología utilizada sobre la calidad

final, resaltando al método m3 como el más beneficioso para producir harina de moringa con mayor valor nutricional.

5.3. Pruebas bromatológicas de proteína y humedad relativa

Las pruebas bromatológicas de proteínas y humedad revelaron diferencias notables entre los tratamientos realizados en las hojas de moringa oleífera, lo que demuestra cómo las condiciones de secado afectan directamente la calidad final de la harina. La evaluación de proteínas usando el método Kjeldahl mostró niveles altos en todas las muestras, corroborando el excelente valor nutricional de la moringa; sin embargo, la muestra m3, correspondiente al secado en horno a 60 °C, exhibió el porcentaje proteico más alto (24.09 %), lo que sugiere que esta temperatura favoreció un proceso de deshidratación más eficaz, minimizando el riesgo de degradación térmica y oxidativa. Respecto a la humedad relativa, los hallazgos indicaron una reducción continua a medida que la temperatura aumentaba, alcanzando los niveles más bajos en m3 (9.95 %), condición que favorece la estabilidad microbiológica y extiende la durabilidad del producto. Estos hallazgos apoyan que el secado térmico controlado, particularmente a 60 °C, resulta en una harina con menor contenido de humedad y mayor riqueza nutricional, posicionando este método como el más apropiado desde la perspectiva nutricional y de seguridad.

5.4. Análisis de varianza y prueba de Tukey

5.4.1. Contenido de proteína y humedad

El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a las harinas de moringa sometidas a distintos métodos y temperaturas de secado, considerando variables sensoriales como apariencia, color, sabor y olor, evaluadas por un panel no entrenado con un 95 % de confianza. Paralelamente, las determinaciones fisicoquímicas realizadas en el laboratorio de suelo y agua (LABSA) mediante el método Kjeldahl mostraron contenidos proteicos elevados y similares entre muestras, con valores de 23.74 % (m1), 23.80 % (m2), 24.09 % (m3) y 23.83 % (mt), destacándose m3 (60 °C) como el tratamiento con mayor concentración proteica, lo cual sugiere una preservación más eficiente de las proteínas por efecto de un secado rápido y controlado.

En cuanto a la humedad relativa, se registraron valores de 12.15 % (m1), 10.13 % (m2), 9.95 % (m3) y 10.07 % (mt), evidenciándose una disminución progresiva conforme aumentó la

temperatura, siendo nuevamente m3 el tratamiento más eficiente al alcanzar un 9.95 %, asociado a una mayor estabilidad microbiológica y vida útil del producto. En conjunto, los resultados confirman que el secado a 60 °C optimiza la reducción de humedad sin comprometer la calidad nutricional, consolidándose como la condición más adecuada para la obtención de harina de moringa estable, segura y de alto valor proteico.

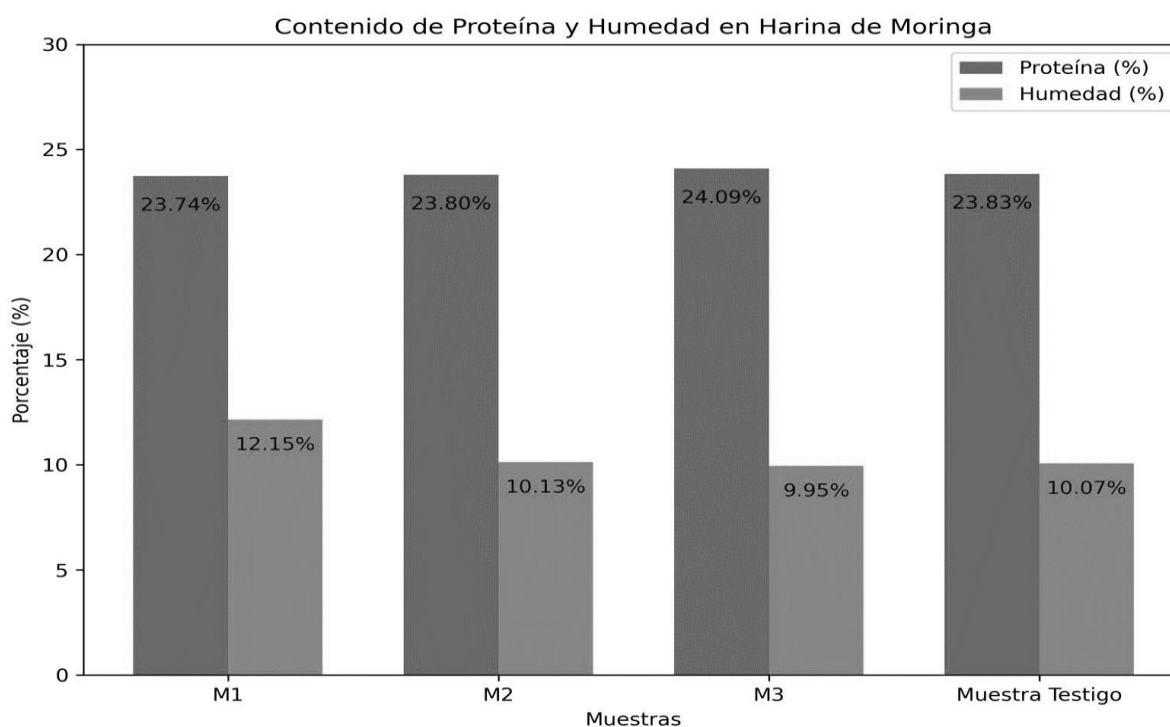


Figura 4. Contenido de proteína y humedad relativa en la harina de moringa.

Muestra	Apariencia	Color	Sabor	Olor
m1	5.03	5.15	4.85	4.39
m2	4.36	4.61	4.00	4.64
m3	5.67	5.73	5.06	4.91
Mt	5.06	5.24	5.12	5.27

Cuadro 2. Resultados promedio de la evaluación sensorial de las muestras de harina de moringa.

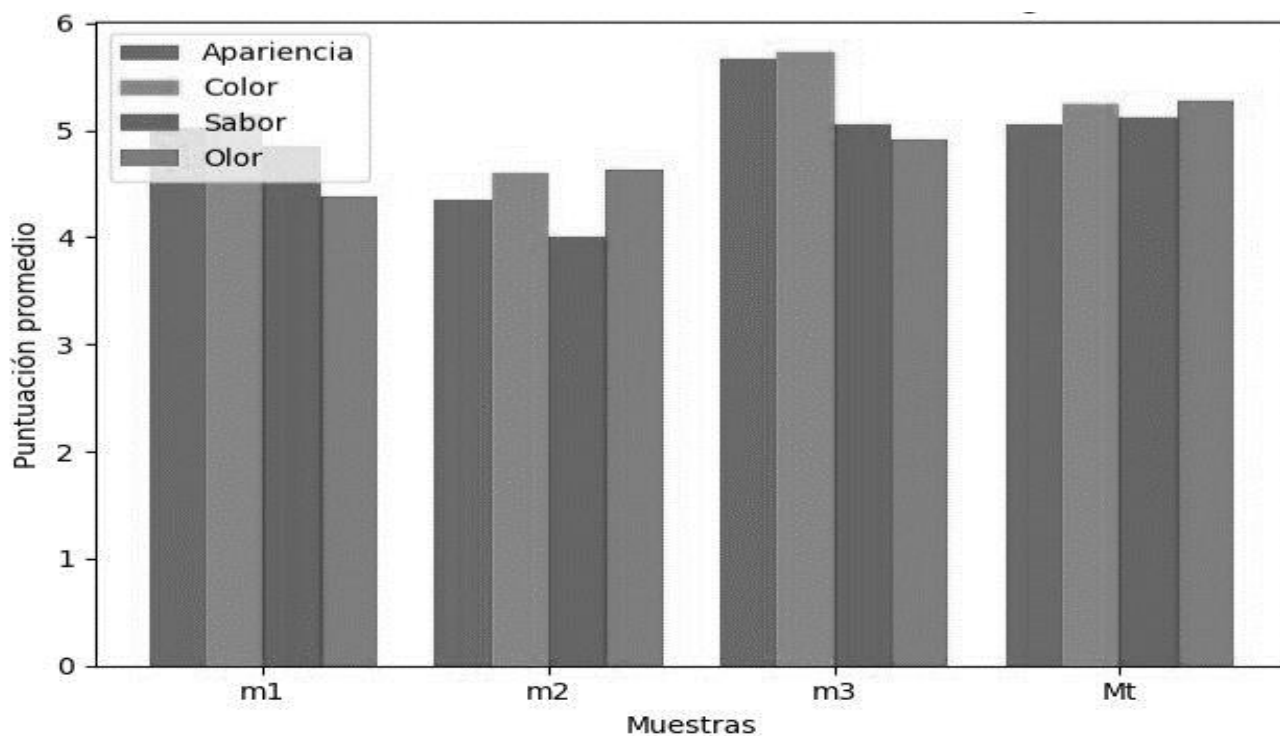


Figura 5. Resultados de la evaluación sensorial de las muestras de harina de moringa.

5.5. Análisis sensorial del té

5.5.1. Apariencia

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras para el atributo apariencia ($p < 0.05$), lo que indica que los tratamientos aplicados influyeron directamente en la percepción visual del producto. La prueba de Tukey mostró que la muestra m3 presentó la media más alta (5.67), mientras que la muestra m2 obtuvo la media más baja (4.36), evidenciando una menor aceptación por parte del panel sensorial.

Las muestras correspondientes al tratamiento m3, asociado a una mayor temperatura de secado, presentaron una apariencia más uniforme y atractiva. Este comportamiento puede atribuirse a una reducción más rápida del contenido de humedad, lo que limitó procesos de oxidación y oscurecimiento superficial. En contraste, la menor aceptación de m2 podría relacionarse con una textura visual menos homogénea. Estos resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez Pérez et al. (2019), quienes indican que temperaturas superiores a 55 °C favorecen la apariencia

del producto al reducir reacciones indeseables durante el secado. Asimismo, Lawless y Heymann (2010) destacan que la apariencia es uno de los principales factores de aceptación inicial del consumidor.

5.5.2. Color

El análisis de varianza para el atributo color evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p < 0.05$), confirmando que los tratamientos aplicados influyeron en la percepción cromática del producto. La prueba de Tukey indicó que la muestra m3 presentó la mayor calificación promedio (5.73), seguida de mt y m1, las cuales no mostraron diferencias significativas con respecto a m3. Por el contrario, la muestra m2 obtuvo la puntuación más baja (4.61).

Las muestras secadas a mayor temperatura mostraron una tonalidad verde más intensa y homogénea, lo que puede atribuirse a la rápida eliminación de humedad superficial, reduciendo la oxidación de pigmentos clorofilicos. En cambio, las muestras secadas a temperaturas más bajas presentaron un color más pálido, posiblemente debido a un mayor tiempo de exposición al oxígeno. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Meilgaard, Civille y Carr (2016), quienes afirman que el color es un indicador clave de calidad y frescura en productos vegetales, y con Stone y Sidel (2004), quienes reportan que colores uniformes suelen generar mayor aceptación sensorial.

5.5.3. Sabor

El análisis de varianza para el atributo sabor evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p < 0.05$), demostrando que este atributo influyó de manera determinante en la aceptación sensorial. La prueba de Tukey mostró que las muestras mt y m3 obtuvieron las mayores calificaciones promedio (5.12 y 5.06, respectivamente), sin presentar diferencias significativas entre sí. La muestra m1 presentó una aceptación intermedia, mientras que m2 obtuvo la menor puntuación (4.00), siendo significativamente inferior.

La mayor aceptación de las muestras mt y m3 sugiere que los tratamientos aplicados permitieron conservar un perfil sensorial más equilibrado, favoreciendo el sabor del producto. En contraste,

la menor calificación de m2 podría estar relacionada con alteraciones sensoriales derivadas del proceso. Estos resultados coinciden con lo señalado por Stone y Sidel (2004), quienes destacan que el sabor es el atributo más influyente en la decisión final de aceptación de un alimento, así como con Lawless y Heymann (2010), quienes indican que desequilibrios sensoriales suelen provocar rechazo del consumidor.

5.5.4. Olor

En el atributo olor, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p > 0.05$), lo que indica que el panel sensorial percibió este atributo de manera similar en todos los tratamientos evaluados. La prueba de Tukey confirmó este comportamiento, ya que todas las muestras compartieron la misma agrupación estadística.

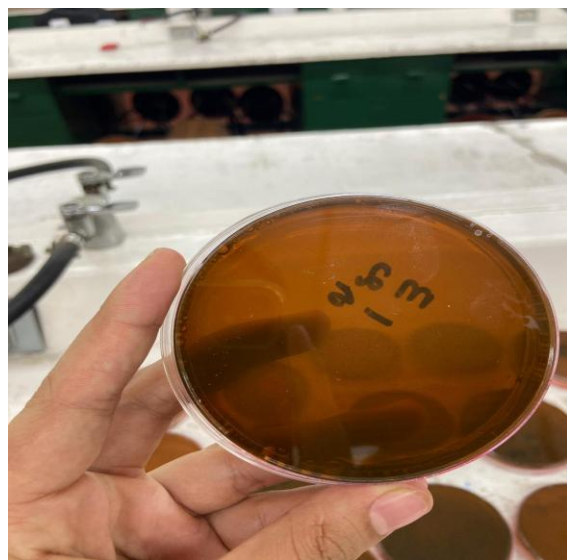
La ausencia de diferencias significativas sugiere que los tratamientos aplicados no generaron cambios perceptibles en el perfil aromático del producto, lo cual puede considerarse positivo desde el punto de vista de calidad sensorial. Este resultado es consistente con lo reportado por Meilgaard et al. (2016), quienes indican que, cuando las materias primas y los procesos son similares, las diferencias en olor suelen ser mínimas y difíciles de detectar, especialmente en paneles no entrenados.

En conjunto, los resultados del análisis sensorial evidencian que el tratamiento m3 presentó el mejor desempeño global, destacándose en apariencia, color y sabor, mientras que el atributo olor no mostró diferencias significativas entre las muestras. Estos hallazgos confirman que las condiciones de procesamiento influyeron directamente en la aceptación sensorial del producto, siendo fundamental el control adecuado de las variables para garantizar una calidad sensorial óptima.

Análisis microbiológicos



Los resultados obtenidos indicaron ausencia de crecimiento de colonias bacterianas compatibles con salmonella spp, en la no se encontró presencia de colonias bacterianas en la muestra de harina analizada. No se evidenciaron colonias con morfología típica ni reacciones bioquímicas sugestivas de la presencia del microorganismo en los medios de cultivo empleados. Este hallazgo sugiere que, bajo las condiciones del ensayo y dentro de los límites de detección del método utilizado, la muestra evaluada cumple con los criterios microbiológicos establecidos para este parámetro.



En el análisis realizado para la detección de Escherichia Coli en la muestra de harina, se aplicaron métodos estandarizados de enriquecimiento, siembra en medios selectivos e incubación bajo condiciones controladas; tras el periodo correspondiente, no se observó crecimiento de colonias con características compatibles con Escherichia Coli ni reacciones bioquímicas sugestivas de su presencia, por lo que el resultado fue negativo, indicando que la muestra cumple con los criterios microbiológicos establecidos y presenta condiciones higiénicas sanitarias

adecuadas dentro de los límites de detección del método empleado.

Coliformes totales

Los análisis microbiológicos realizados mediante el método de recuento en placas Petri evidenciaron la presencia de coliformes totales en todas las muestras de harina de moringa evaluadas. Los resultados obtenidos fueron de 3.7×10^5 UFC/25 g para la muestra M1 (40 °C),

6.0×10^4 UFC/25 g para la muestra M2 (50 °C), 6.9×10^5 UFC/25 g para la muestra M3 (60 °C) y 8.1×10^4 UFC/g para la muestra testigo (30–35 °C).

Debido a la ausencia de una normativa específica para harina de moringa en Nicaragua, se utilizó como referencia la Norma Salvadoreña NSO 67.03.02:08 para harinas destinadas al consumo humano. La presencia de coliformes totales en las muestras analizadas indica contaminación microbiológica asociada a factores ambientales o a las condiciones de manipulación, procesamiento y almacenamiento del producto.

Las diferencias observadas entre tratamientos pueden atribuirse al efecto de las temperaturas de secado sobre la reducción o supervivencia de la microbiota presente en las hojas de moringa. Asimismo, factores como la calidad microbiológica de la materia prima, las condiciones de higiene durante el procesamiento y la manipulación posterior pueden influir en los recuentos obtenidos.

Los coliformes totales son microorganismos indicadores de la calidad higiénico-sanitaria del proceso y su detección no implica necesariamente la presencia de microorganismos patógenos. Sin embargo, los resultados obtenidos sugieren la necesidad de fortalecer las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y las medidas de control higiénico durante la elaboración de la harina de moringa, con el fin de mejorar la inocuidad y calidad microbiológica del producto final.

Los análisis bromatológicos realizados en el laboratorio permitieron determinar el contenido de materia seca, cenizas totales y extracto etéreo (grasa) en la muestra testigo (MT) y en las muestras sometidas a distintos métodos de deshidratación (M1: deshidratador; M2 y M3: horno). En cuanto a la materia seca, se obtuvo un valor de 91,97 % para la muestra con secado natural (MT), mientras que M1 presentó 93,43 %, M2 92,51 % y M3 93,20 %, observándose valores ligeramente superiores en los tratamientos con aplicación de calor controlado en comparación con el secado natural. Respecto a las cenizas totales, la MT registró 10,36 %, M1 alcanzó 11,15 %, M2 10,71 % y M3 10,65 %, evidenciándose una ligera variación entre tratamientos, con mayor concentración en la muestra deshidratada. En relación con el extracto etéreo o grasa, la MT presentó 5,65 %, M1 5,49 %, mientras que M2 y M3 mostraron valores más elevados, con 6,93 % y 6,83 % respectivamente.

Los resultados obtenidos indican que el método de deshidratación influye en la composición proximal de la muestra analizada. El mayor porcentaje de materia seca observado en M1 y M3 sugiere una mayor eficiencia en la eliminación de humedad mediante deshidratador y horno, lo cual incrementa proporcionalmente la concentración de los demás componentes. En el caso de las cenizas totales, las variaciones pueden atribuirse a la concentración de minerales derivada de la reducción de agua, así como a posibles diferencias en la homogeneidad de las submuestras analizadas. Por otra parte, el incremento del extracto etéreo en M2 y M3 podría estar relacionado con la concentración de lípidos tras la pérdida de humedad o con una mayor eficiencia en la extracción durante el procedimiento analítico. En general, las diferencias observadas entre tratamientos no son marcadamente amplias, lo que sugiere consistencia en los resultados obtenidos en el laboratorio de bromatología, aunque se evidencia que los métodos térmicos tienden a concentrar ligeramente los componentes sólidos en comparación con el secado natural.

La combinación de los resultados logrados respalda que las condiciones de secado empleadas tuvieron una influencia significativa en la composición nutricional y en la estabilidad fisicoquímica de la harina derivada de moringa oleífera. El correcto análisis de la materia prima garantizó que las diferencias observadas fueran solo atribuibles a los tratamientos térmicos y no a variaciones en la calidad inicial del material vegetal. De igual manera, la evaluación de los diferentes métodos de secado evidenció que un control específico de la temperatura afecta directamente la preservación de nutrientes y la eficaz disminución de humedad, siendo el tratamiento m3 a 60 °C el que presentó el rendimiento más destacado al conseguir el mayor contenido proteico y los niveles más bajos de humedad relativa.

Estos hallazgos fundamentan la selección de esta condición como la más favorable para la producción de harina de alta calidad, ya que maximiza el aporte nutricional, asegura la inocuidad, extiende la vida útil y mejora la eficacia del proceso. En conjunto, los descubrimientos destacan la relevancia del secado térmico controlado como una etapa crucial en la elaboración de harina de moringa, sobre todo cuando se persigue un producto con características estables y valor añadido para usos agroalimentarios.

Además, los valores de coeficiente de variación (CV) menores al 40 % en todas las variables demuestran una adecuada homogeneidad en las evaluaciones realizadas por el panel sensorial, lo cual otorga validez al análisis.

VI. CONCLUSIONES

Los hallazgos obtenidos indican que la calidad inicial de la materia prima fue apropiada y permitió confirmar que las variaciones entre los tratamientos se deben únicamente a las condiciones de secado. La evaluación de los cuatro métodos utilizados mostró que el control de la temperatura tiene un efecto directo en la preservación de nutrientes y en la eficiente reducción de la humedad, revelando diferencias significativas en las propiedades sensoriales y fisicoquímicas de la harina producida.

Entre las técnicas analizadas, el secado en horno a 60 °C (m3) se destacó como el más efectivo, ya que presentó el mayor nivel de proteínas y el contenido de humedad más bajo, resultando en un producto más duradero, seguro y con mayor calidad nutricional. En resumen, estos resultados respaldan la idea de que el secado térmico controlado es un proceso fundamental para asegurar la calidad final de la harina de Moringa oleífera, particularmente al intentar mejorar su vida útil y su potencial en el ámbito agroalimentario.

Los valores obtenidos respaldan el potencial de la harina de moringa como un ingrediente agroindustrial con alto contenido proteico y propiedades físicas estables, apto para su uso en formulaciones alimentarias funcionales y productos de valor agregado.

Los resultados de la prueba de Tukey confirmaron que la muestra m3 destacó con los mayores promedios en apariencia y color, lo que sugiere una mayor aceptación sensorial y uniformidad visual respecto a las demás muestras, mientras que no se observaron diferencias significativas en sabor y olor, indicando homogeneidad entre tratamientos.

El análisis de varianza (ANOVA) demostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las variables sensoriales de apariencia, color y sabor, evidenciando el efecto de las condiciones de secado y formulación sobre las características organolépticas del producto.

VII. RECOMENDACIONES

Análisis de la vida útil de la harina de moringa bajo diferentes condiciones de empaque y almacenamiento (temperatura y humedad).

Evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de estandarización para la harina de moringa de grado alimenticio destinada a la agroindustria.

Desarrollo de aplicaciones para el bagazo o tallo residual del procesamiento de la hoja de moringa, enfocado en la extracción de fibra dietética o pectinas para la industria alimentaria.

Análisis de factibilidad técnico-económica para el escalamiento de la producción de harina de moringa en cooperativas agrícolas, incluyendo la optimización del proceso de secado solar o mecánico.

Estudio sobre la disposición de compra del consumidor y la percepción de valor de los alimentos funcionales enriquecidos con harina de moringa, segmentando el mercado por nivel socioeconómico.

Caracterización de suplementos nutricionales en polvo (tipo *smoothies* o batidos) para deportistas o grupos vulnerables, utilizando harina de moringa como fuente principal de proteína y compuestos bioactivos.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adejumo, B. A., & Alakali, J. S. (2020). Sensory and nutritional evaluation of food products fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/8853573>
- Adejumo, B. A., & Alakali, J. S. (2020). Sensory and nutritional evaluation of food products fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/8853573>
- Asociación de Químicos Analíticos Oficiales [AOAC]. (2016). Métodos oficiales de análisis (20.^a ed.). AOAC International. [AOAC INTERNATIONAL - In Food & Agriculture, We Set the Standard](#)
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2020). Manejo postcosecha de hojas de moringa para la seguridad nutricional. <http://www.fao.org/publications>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2021). Secadores solares mejorados para hojas de moringa en climas tropicales. <http://www.fao.org/technical-reports>
- García-Vega, L. M. et al. (2020). Optimización del secado convectivo de *Moringa oleifera*: Impacto en proteína y hierro. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(3), 45-56. [\(PDF\) García-Martínez et al. 2020](#)
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Kumar, D. S. (2016). *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>
- Goyal, R. K. et al. (2007). Cinética de secado en capa delgada de rodajas de mango crudo [Thin-layer drying kinetics of raw mango slices]. *Ingeniería de Biosistemas*, 98(1), 98-103. [Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices | Semantic Scholar](#)
- Goyal, R. K., Kingsly, A. R., & Manikantan, M. R. (2007). Cinética de secado en capa delgada de rodajas de mango crudo. *Ingeniería de Biosistemas*, 98(1), 98-103. [Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices - ScienceDirect](#)

- Gonzales, J. A. (2010). *Propiedades nutricionales y usos agroindustriales de la moringa (Moringa oleifera) en sistemas tropicales*. Revista Centroamericana de Agroindustria, 12(2), 45-58.
- Guzmán, D. A. (2018). *Aplicación de molinos de cuchillas en la obtención de harinas vegetales para uso agroindustrial*. Ingeniería y Desarrollo Agroalimentario, 6(4), 88-97.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2019). Informe anual de cultivos no tradicionales. <https://www.inta.gob.ni>
- López, R., Hernández, P., & Castillo, F. (2015). *Influencia del secado y la humedad crítica en la calidad fisicoquímica de hojas de Moringa oleifera*. Revista Latinoamericana de Tecnología de Alimentos, 10(3), 115-127.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2.^a ed.). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Mendoza Avilés (2017). Determinación de parámetros fisicoquímicos en muestras de harina de marango (moringa oleífera) obtenidas mediante dos métodos de secado. [Repositorio Institucional, UNAN-León: Determinación de parámetros fisicoquímicos en muestras de harina de marango \(Moringa oleífera\) obtenidas mediante dos métodos de secado, en la cooperativa Los Lagos R.L del departamento de Chinandega, Nicaragua](#)
- Ministerio Agropecuario de Nicaragua [MAG]. (2022). Informe diagnóstico: Cadena de valor de marango en Nicaragua. <https://www.mag.gob.ni>
- Martínez, C., & Gómez, L. (2021). *Evaluación sensorial de productos elaborados con harina de moringa mediante escala hedónica de aceptación*. Revista Iberoamericana de Ciencia de los Alimentos, 15(2), 67-79.
- Mwangi, J. K. et al. (2018). Comparative analysis of solar vs. oven drying on nutrient retention in Moringa leaves. Journal of Food Science and Nutrition, 12(4), 112-125. [\(PDF\) Effects of Drying Techniques on Nutrient Retention and Phytochemicals in Selected Vegetables](#)

- Nouman, W., Khan, M. A., Basra, S. M. A., Khaliq, A., & Rehman, A. U. (2014). Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: A review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.3906/tar-1211-84>
- NTON 03 096-11. (2012). *Harina de maíz y sémola de maíz sin germen*. Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense. Nicaragua.
- Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). *Moringa oleifera*: A multipurpose tree for the dry tropics. *Food Science and Nutrition*, 51(4), 409–417. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.579047>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Manejo postcosecha de hojas de moringa para la seguridad nutricional. <http://www.fao.org/publications>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2023). Prevalencia de anemia en mujeres nicaragüenses. <https://www.who.int/es>
- Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2016). *Moringa oleífera* como fortificante alimentario: Tendencias y perspectivas recientes. *Revista de la Sociedad Saudí de Ciencias Agrícolas*, 15(2), 127-136. [Caracterización fisicoquímica de hojas, semillas y aceite vegetal de Moringa oleífera ecotipo Plain](#)
- Pandey, A., Gupta, K., & Singh, N. (2019). Evaluation of growth and yield attributes of PKM-1 moringa cultivar under tropical conditions. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 155–164. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p155>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2021). Proyecto piloto: Secado sostenible de moringa en Chinandega. <https://www.undp.org/nicaragua>
- Rodríguez-Pérez, A. et al. (2019). Evaluación de métodos de secado para hojas de Moringa oleífera: Liofilización, horno y solar. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(2), 33-44. [Rodríguez y Perez-2017-Métodos Científicos de Indagación y Construcción Del Conocimiento-Libro | PDF | Método científico | Empirismo](#)

- Reyes, M. E. (2023). *Caracterización bromatológica de la harina de Moringa oleifera obtenida mediante diferentes métodos de secado*. Revista Nicaragüense de Ciencia y Tecnología Alimentaria, 8(1), 22-34.
- Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2020). Moringa oleifera leaf: Nutritional properties and applications in food processing. *Food Chemistry*, 333, 127–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127578>
- Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2020). Moringa oleifera leaf: Nutritional properties and applications in food processing. *Food Chemistry*, 333, 127–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127578>
- Sena, L. P. et al. (2018). Análisis de componentes nutricionales de las hojas de Moringa oleífera. Revista de Análisis de Composición de Alimentos, 11(3), 273-278. [\(PDF\) La moringa \(Moringa oleífera Lam.\): una fuente alternativa de proteína vegetal](#)
- Sena, L. P. et al. (2018). Análisis de componentes nutricionales de las hojas de Moringa oleífera [Analysis of nutritional components of Moringa oleífera leaves]. Revista de Análisis de Composición de Alimentos, 11(3), 273-278. [\(PDF\) La moringa \(Moringa oleifera Lam.\): una fuente alternativa de proteína vegetal](#)
- Sosa, R. M. (2019). Calidad microbiológica de productos derivados de Moringa oleifera destinados al consumo humano. Revista de Microbiología Aplicada y Seguridad Alimentaria, 11(1), 33-46
- Sivasankari, B., Anandharaj, M., & Gunasekaran, P. (2014). A comparative study on morphological and biochemical traits of Moringa oleifera cultivars. *Industrial Crops and Products*, 61, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.018>
- Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009). Antioxidant activity and total phenolic content of Moringa oleifera leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0141-0>
- Sultana, R., Asif, M., & Parveen, R. (2023). Nutritional and functional characterization of Moringa oleifera leaf powder: Protein, phytochemicals, and health benefits. *Journal of Food Biochemistry*, 47(1), e14123. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14123>

- Teixeira, E. M. B. et al. (2014). Características químicas y fraccionamiento de proteínas de las hojas de Moringa oleífera Lam. *Química de los Alimentos*, 147, 51-54. [Caracterización de tres extractos de Moringa oleífera y evaluación de sus condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas](#)
- Teixeira, E. M. B. et al. (2014). Características químicas y fraccionamiento de proteínas de las hojas de Moringa oleífera Lam. [Chemical characteristics and fractionation of proteins...]. *Química de los Alimentos*, 147, 51-54. [Características y potencialidades de Moringa oleífera, Lamark: Una alternativa para la alimentación animal](#)
- Turkmen, F., Karasu, S., & Karadag, A. (2020). *Effects of different drying methods and temperature on the drying behavior and quality attributes of cherry laurel fruit. Processes*, 8(7), 761. <https://doi.org/10.3390/pr8070761>
- Universidad Nacional Agraria [UNA]. (2021). Informe técnico: Secado de moringa en horno eléctrico. Managua, Nicaragua. [Universidad Nacional Agraria \[UNA\]. \(2021\). Informe técnico: Secado de moringa en horno eléctrico. Managua, Nicaragua - Búsqueda](#)
- Vergara-Jiménez, M., Almatrafi, M., & Fernandez, M. (2017). Moringa oleifera: Nutritional and therapeutic properties. *Journal of Food Science*, 82(10), 2241–2251. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13827>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de Evaluación Sensorial – Té de moringa

Sexo: ____

Fecha: _____

Producto: Té de moringa

A continuación, se presenta una hoja de evaluación sensorial diseñada para analizar las características organolépticas (**apariencia, color, olor y sabor**), con diferentes tiempo y temperatura de secado. De un puntaje de 1 a 7.

Escala Hedónica

1 = Me disgusta mucho

2 = Me disgusta

3 = Me disgusta moderadamente

4 = Ni me gusta ni me disgusta

5 = Me gusta moderadamente

6 = Me gusta

7 = Me gusta mucho

Producto	Apariencia	Color	Olor	Sabor
M1				
M2				
M3				
MT				

Anexo 2. Cuadro de análisis de la varianza de los tres tipos de secado de harina de moringa (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	140.44	35	4.01	2.17	0.0016

panelistas	112.38	32	3.51	1.90	0.0089
muestra	28.06	3	9.35	5.06	0.0027
Error	177.44	96	1.85		
Total		317.88		131	

Anexo 3. Resultados del análisis sensorial del atributo apariencia mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Aspecto	Descripción
ANOVA	Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p = 0.0027$), indicando que el atributo apariencia influyó en la aceptación sensorial. El modelo explicó el 44 % de la variabilidad total ($R^2 = 0.44$).
Prueba de Tukey	La muestra m3 presentó la media más alta (5.67). Las muestras mt y m1 no mostraron diferencias significativas con m3. La muestra m2 obtuvo la menor calificación (4.36), siendo estadísticamente inferior.
Interpretación	La mejor evaluación de apariencia correspondió a la muestra m3, mientras que la muestra m2 presentó la menor aceptación visual por parte del panel sensorial.

Anexo 4. Resultados del análisis sensorial del atributo color mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Aspecto	Descripción
ANOVA	Se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p = 0.0164$). El modelo explicó el 40 % de la variabilidad observada ($R^2 = 0.40$).
Prueba de Tukey	La muestra m3 obtuvo la mayor calificación promedio (5.73). Las muestras mt y m1 no difirieron significativamente de m3. La muestra m2 presentó el valor más bajo (4.61).
Interpretación	El color fue mejor valorado en la muestra m3, mientras que la muestra m2 mostró menor aceptación sensorial.

Anexo 5. Resultados del análisis sensorial del atributo sabor mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

Aspecto	Descripción
ANOVA	Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p = 0.0143$). El modelo explicó el 46 % de la variabilidad total ($R^2 = 0.46$).
Prueba de Tukey	Las muestras mt (5.12) y m3 (5.06) presentaron las mayores calificaciones. La muestra m1 mostró una aceptación intermedia, mientras que m2 obtuvo la menor puntuación (4.00), siendo estadísticamente inferior.
Interpretación	El sabor fue mejor aceptado en las muestras mt y m3, mientras que la muestra m2 resultó la menos aceptada sensorialmente.

Anexo 6. Resultados del análisis sensorial del atributo olor mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$)

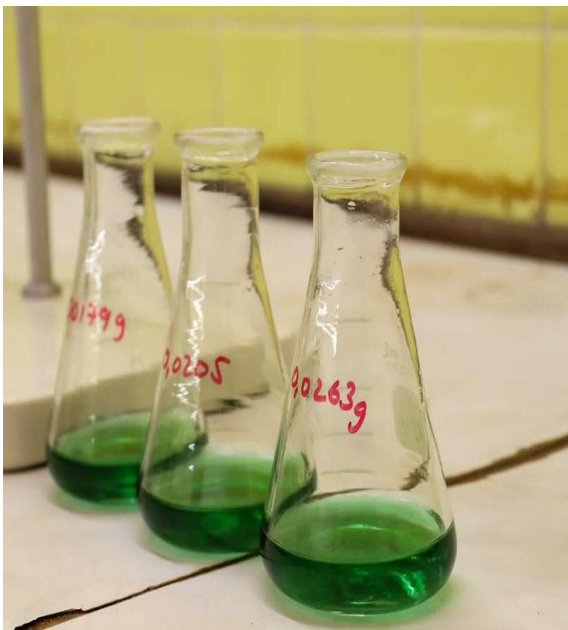
Aspecto	Descripción
ANOVA	No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ($p = 0.0698$), lo que indica una percepción sensorial similar. El coeficiente de determinación fue $R^2 = 0.35$.
Prueba Tukey	de todas las muestras (m1, m2, m3 y mt) compartieron la misma letra estadística, indicando ausencia de diferencias significativas.
Interpretación	El olor fue percibido de manera homogénea entre todas las muestras, sin una preferencia definida del panel sensorial.

Anexo 7. Recolección de la materia prima.



Anexo 8. Fotografías del proceso de los análisis físicoquímicos





Anexo 9. Evaluación sensorial de té de moringa.





Anexo 10. Fotografías de los análisis microbiológicos en el laboratorio de fisiología vegetal.

