



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE.**

Trabajo de Graduación

Curvas de secado y su relación a
características sensoriales, composición
química y uso energético de follaje de
Moringa oleifera Lam

AUTORA

Br. Regina Lucía López Martínez

ASESORES

Bryan Mendieta PhD

Nadir Reyes PhD

Lester Rocha PhD

Managua, Nicaragua.

Octubre, 2016.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE.**

Trabajo de Graduación

Curvas de secado y su relación a
características sensoriales, composición
química y uso energético de follaje de
Moringa oleifera Lam.

AUTORA

Br. Regina Lucía López Martínez

ASESORES

Bryan Mendieta PhD

Nadir Reyes PhD

Lester Rocha PhD

Managua, Nicaragua.

Octubre, 2016.

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinar designado por la Decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente como requisito para optar al título profesional de:

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

MIEMBROS DEL TRIBUNAL:

Guillermo Ramón Castro PhD.
Presidente

Ing. Álvaro Noguera Talavera
Secretario

Lic. MSc. Rosario Rodríguez Pérez
Vocal

Managua, Octubre del 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
<i>DEDICATORIA</i>	<i>i</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>ii</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>iii</i>
<i>ÍNDICE DE GRÁFICOS</i>	<i>iv</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>v</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>vii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
III. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3.1. Generalidades de Marango	3
3.2. Ubicación y duración del experimento	4
3.3. Equipos	4
3.4. Hornos utilizados	4
3.4.1. Horno solar	4
3.4.2. Horno Artesanal	7
3.4.3. Horno semi-industrial.....	8
3.5. Materiales utilizados	8
3.5.1. Herramientas para cortar y recolectar el material	8
3.5.2. Recipientes.....	8
3.5.3. Materiales de higiene	9
3.5.4. Toalla de Papel.....	9
3.5.5. Bandejas	9
3.5.6. Tela Filtro	10
3.5.7. Termómetros.....	11
3.5.8. Balanza	12
3.5.9. Bolsas de polietileno transparente	12
3.5.10. Selladora.....	12
3.5.11. Bolsas de papel kraft	13
3.5.12. Molino	13
3.6. Selección del Material	14
3.7. Procesamiento	15

3.7.1.	Previo a la Deshidratación.....	15
3.7.2.	Durante el Proceso de Deshidratación	16
3.7.3.	Posterior al Proceso de Deshidratado.....	17
3.8.	VARIABLES EVALUADAS	19
3.8.1.	Variables de uso energéticas.....	19
3.8.2.	Curvas de secado.....	20
3.8.3.	Características Sensoriales:	21
3.8.4.	Variables químicas	22
3.9.	Modelos exponenciales utilizados.....	24
3.10.	Análisis estadístico	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1.	Uso Energéticos	25
4.1.1.	Capacidad de Secado.....	25
4.1.2.	Consumo de energía eléctrica	27
4.1.3.	Costos.....	28
4.1.4.	Costo por kilogramo.....	30
4.2.	Curvas de secado	31
4.2.1.	Horno solar	31
4.2.2.	Horno Artesanal	36
4.2.3.	Horno semi-industrial.....	40
4.3.	Características Sensoriales	42
4.3.1.	Color.....	43
4.3.2.	Olor	43
4.4.3.	Textura:.....	44
4.4.	Resultados de Composición Química	44
4.4.1.	Contenido de humedad en el material	44
4.4.2.	Contenido de Proteína Bruta.....	46
4.4.3.	Contenido de Fibra Bruta	47
4.4.4.	El extracto etéreo	48
4.4.5.	Ceniza.....	48
4.4.6.	Extracto libre de nitrógeno	48
4.4.7.	Fibra neutro detergente.....	49
4.4.8.	Fibra ácido detergente	49
4.4.9.	Contenido de Fosforo (P) y Calcio (Ca).....	49
4.4.10.	Variación en la composición nutricional del extracto foliar	49
V.	CONCLUSIONES	51
VI.	RECOMENDACIONES.....	52
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	53
VIII.	ANEXOS	56

DEDICATORIA

A tí, que me tienes cariño, paciencia y confianza que a pesar de todo siempre creíste en mí y que terminaría de escribir el día menos pensado. Porque lo difícil no es iniciar una nueva historia, nuevo reto, sino lo difícil fue ponerle punto final a este capítulo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a mi país, Nicaragua por tener excelente calidad en la Educación Superior, por brindar la oportunidad de estudiar en la Universidad Nacional Agraria, una universidad orgullosamente pública, que nos permite formarnos de manera integral.

Al Proyecto PROMARANGO, por ser la fuente principal de financiamiento de este estudio y de muchos otros, y poder tener las investigaciones pertinentes para fomentar de manera responsablemente científica este noble árbol.

A mis apreciados docentes y compañeros de la facultad, de clases, cada uno de ellos por compartir años de formación y aprendizaje.

En especial, al equipo de docentes y amigos que desempeñaron el duro trabajo de ser mis tutores, que con mucho cariño y respeto le estaré muy agradecida siempre, sobre todo, porque confiaron en mí, a pesar que eran de una facultad diferente y que en su mayoría no fueron mis profesores directos, siempre dispuestos a enseñarme algo nuevo, reconozco que son personas maravillosas y sin duda alguna brillantes en el arte de investigar. Es un placer haber desarrollado esta humilde investigación rodeada de todos ustedes.

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Árbol de Marango	1
2. Estructura del Horno Solar de Circulación Forzada.	5
3. Diseño del Horno Artesanal	6
4. Horno Semi-industrial.	7
5. Recipientes utilizados	7
6. Materiales de higiene	8
7. Bandejas para horno solar	9
8. Bandejas utilizadas en hornos artesanal y semi-industrial	9
9. Tela de tarlatana sobre bandeja de madera y acero inoxidable.	10
10. Termómetros utilizados.	10
11. Balanza	11
12. Selladora	12
13. Molino	12
14. Hoja de Marango	13
15. Proceso de Selección de Hojas de Marango que serán deshidratadas.	14
16. Proceso de deshidratación de Marango	17
17. Bandeja de aluminio, con tela tarlatana, hojas y pecíolulos de Marango	18
18. Escala de colores para extracto foliar de Marango	20
19. Clasificación de texturas de Marango	21
20. Variables químicas evaluadas durante la investigación	22

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. Capacidad de secado (expresada en kilogramos de hojas de Marango, que puede secar cada horno durante 24 horas)	24
2. Consumo de energía eléctrica	26
3. Costos del consumo energético en 24 horas.	28
4. Costos por kilogramo.	29
6. Curvas de Secado Horno Solar durante la época seca.	30
7. Curvas de Secado, Horno Solar durante la época lluviosa	33
8. Curvas de Secado, Horno Artesanal, época seca.	35
9. Curvas de Secado, Horno Artesanal, época lluviosa	37
10. Curvas de Secado, Horno Semi-Industrial, época seca.	39
11. Curvas de Secado, Horno Semi-industrial, época lluviosa.	40
12. Conglomerado de los análisis de laboratorio	49

ÍNDICE DE TABLAS

1. Contenido de humedad, expresada en porcentajes	43
2. Contenido de Proteína Bruta (PC) del extracto foliar de Marango de acuerdo al tipo de secado.	45
3. Contenido de Fibra Bruta (FC) del extracto foliar de Marango de acuerdo al tipo de secado.	46
4. Resultados de Análisis Bromatológicos	47
5. Contenido de Fosforo (P) y Calcio (Ca) del extracto foliar de Marango de acuerdo a su tipo de secado.	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Valores de ecuación exponencial Horno Solar	55
Valores de ecuación Exponencial Horno Artesanal	55
Valores de Ecuación Exponencial Horno Semi-Industrial	55

RESUMEN

Este estudio se realizó en la Universidad Nacional Agraria, entre abril y julio de 2013, con el objetivo de evaluar el proceso de deshidratación sobre las características físicas y químicas del extracto foliar de *Moringa oleifera* Lam. utilizando tres hornos: solar de circulación forzada, horno artesanal de convención natural y horno semi-industrial de circulación forzada. Los procesos de deshidratación se desarrollaron en la época lluviosa y la época seca, con el propósito de elaborar las curvas de secado en ambos momentos, para describir el proceso se utilizaron modelos exponenciales no lineales que fueron ajustados para cada uno de los hornos y épocas, usando mínimos cuadrados no lineales generalizados y comparados por medio de la prueba de razón de verosimilitud donde se determinó que el horno solar y el horno artesanal presentan diferencias entre épocas, a diferencia del horno semi-industrial. Se realizaron evaluaciones organolépticas al extracto de Marango. Se realizaron análisis químicos del extracto de Marango que incluyen contenido de humedad del material, proteína bruta, fibra bruta, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, fósforo y potasio. Así mismo se complementó este estudio con los cálculos de uso energético de los hornos, determinando capacidad de secado de los hornos, consumo de energía eléctrica, tiempo de secado. Se determinó que el horno solar tiene mayor capacidad de secado, menor consumo energético y menor costo, conservando de manera aceptable las características químicas. No se presentaron diferencias entre las características organolépticas relacionadas a los procesos de deshidratación entre horno y épocas.

ABSTRACT

This study was performed at National Agrarian University between April and July 2013 with the aim of evaluate dehydration process over physical and chemical characteristics of foliage extract of *Moringa oleifera* Lam using three ovens; solar with forced air circulation, artisanal oven with natural convection and semi industrial with forced air circulation. Dehydration process where performed during the rainy and dry seasons with the objective to draw the drying curves in both moments, to describe the process exponential models where used and adjusted per oven and season using general nonlinear square models and compared using likelihood ratio where was determined that solar and artisanal ovens shows differences between seasons compared with the semi industrial oven. Organoleptic evaluations where done to the Moringa extract. Chemical analysis where done including dry matter, crude protein, crude fiber, ether extract, ashes, neutro detergent fiber, acid detergent fiber, phosphorus and potassium, use of energy use was also done in this study as well drying capacity, power consumption, drying time. It was determined that the solar oven has the greater drying capacity, lower power consumption and lower cost preserving chemical characteristics. No differences were observed on organoleptic characteristics related with dehydration process neither on season or ovens.

I. INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado múltiples investigaciones científicas que colocan al Marango como un árbol ideal para el consumo humano, en otros países como Latinoamérica el consumo de Marango ha tenido mayor auge. En Nicaragua existe la “Estrategia de Fomento al Cultivo, Uso, Consumo y Comercialización del Árbol de Marango” a partir del año 2012, como parte de la estrategia esta la necesidad de generar información científica que respalde el consumo apropiado de Marango, y como espacio de intercambio de información se generó Red Marango, liderada por investigadores de la Universidad Nacional Agraria.

De igual modo, se contempla la necesidad de consumir Marango, por lo que se ha llevado a cabo múltiples eventos de promoción y consumo que podemos desatacar ferias gastronómicas, inclusión en la dieta de los niños en las escuelas rurales, inclusión de Marango en algunos restaurantes y fomento entre pequeños productores para el cultivo y consumo de Marango desde sus hogares.

Se tiene contemplado cultivar Marango a gran escala por ser una planta noble, que se desarrolla muy bien en sitios donde otros cultivos no se adaptan con facilidad o se obtienen los rendimientos por debajo de lo ideal, adicionalmente en estas zonas habitan poblaciones con menor capacidad adquisitiva para la compra de alimentos y la dieta es pobre en cantidad y calidad de micro y macro nutrientes, Marango representa una alternativa viable sobre todo porque está puede ser cultivada como un arbusto en los patios o parcelas pequeñas de las familias nicaragüenses.

Por lo antes descrito, es de vital importancia definir un método de conservación de las hojas, donde se mantengan las propiedades del material por más tiempo. Surgiendo la iniciativa de deshidratarlas y generar así un extracto foliar u harina de hojas. Prolongando de ésta manera la durabilidad del producto final; Ya que el objetivo primordial del proceso de deshidratación es reducir el contenido de humedad del producto, a un nivel que limite el crecimiento microbiano y las reacciones químicas (Barbosa, C. 1996).

Dentro de los procesos de secado a utilizar se contempló el uso de energías renovables como parte de las alternativas para el desarrollo de las comunidades, permitiendo la sostenibilidad de los recursos naturales, por medio de la energía solar. La energía renovable fue comparada con la energía tradicional y se realizó los análisis de costos correspondientes.

Para determinar los tiempos y comportamientos de secado, se desarrollaron curvas de secado, donde cada hora se registró el comportamiento del material, de igual modo, se valoró el resultado de la deshidratación de los hornos con respecto a su apariencia física, color, olor y textura; composición química, y se valora si existe alguna diferencia entre los procesos de secado, y los valores físicos y químicos obtenidos de los mismos.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el proceso de deshidratación sobre las características físicas y químicas del extracto foliar de Marango oleífera Lam.

Objetivos Específicos

1. Determinar las curvas de secado de las hojas de Marango para el horno solar, horno artesanal y horno semi-industrial.
2. Relacionar el método de deshidratación con las características físicas y químicas del extracto foliar de Marango.
3. Analizar los procesos de secado en cuanto a requerimientos energéticos, capacidad de secado y costos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Generalidades de Marango

El árbol de *Moringa oleifera* Lam., conocido de manera coloquial en Nicaragua como Marango; es miembro de la familia Moringaceae que crece en el trópico y con origen en el sur del Himalaya, noreste de India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán. (Reyes, 2004, Makkar y Becker, 1997). Es un árbol decíduo, de tamaño pequeño y crecimiento acelerado, que usualmente alcanza de 10 a 12 metros de alto. Tiene una copa abierta y esparcida de ramas inclinadas y frágiles, una corteza gruesa, blanquecina y de aspecto corchoso (Parrotta, J., 1993). Las hojas son compuestas, alternas imparipinadas, con una longitud total de 30 a 70 centímetros (cm) (Reyes, N. 2004). (Ver Figura 1.)



Figura 1. Árbol de Marango

Como lo manifiesta Parrotta, (1993) Moringa se valora principalmente por ser rica en proteínas, minerales, beta-caroteno, tiamina, riboflavina y otras vitaminas, particularmente las vitaminas A y C. Permite utilizar toda la planta, sus silicuas tiernas son comestibles, que tienen un gusto muy similar al espárrago. Las hojas tiernas tienen sabor a berro, y se comen junto con las flores ya sea cocida o cruda. Las semillas se utilizan para la extracción de aceite o como coagulante para clarificar el agua.

Así mismo, Marango tiene múltiples usos medicinales, tradicionalmente se acostumbra utilizar las flores en infusiones y té, para ayudar a curar enfermedades respiratorias,

Las hojas de Marango por su indudable valor nutricional, son una fuente importante para garantizar seguridad alimentaria que puede ser consumida por los niños, adultos, mujeres embarazadas, ancianos; con una adecuada dosis no representa riesgo para la salud. Al mantener su follaje verde, las hojas pueden ser consumidas como verduras frescas durante todo el año. Incluso como una fuente alternativa de alimento animal, lo que permite, en períodos con pocas precipitaciones disminuir los costos para la elaboración de raciones de alimenticias para el ganado bovino, ovino y porcino principalmente.

3.2.Ubicación y duración del experimento

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria, UNA Managua, Nicaragua. Las muestras utilizadas de Marango se recolectaron en las parcelas experimentales de esta Alma Mater.

Las muestras fueron deshidratadas en el Laboratorio de Innovación y Desarrollo de Energías Renovables (LIDER) de la Facultad de Recursos Naturales y Ambiente (FARENA), en la sede central de la UNA con coordenadas geográficas de 12°08'52" latitud norte y 86°09'40" longitud oeste (INETER); y en el Laboratorio de Bromatología del Recinto Universitario Tania Beteta Herrera, ubicado con coordenadas geográficas de 12°08'36" latitud norte y 86°09'49" longitud oeste. (INETER).

Se realizaron deshidrataciones en dos momentos, el de época seca se realizó en abril donde las temperaturas oscilaron entre los 29 ± 5 grados centígrados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y no se manifestaron precipitaciones; y durante la época lluviosa donde las temperaturas oscilaron entre 27.5 ± 3.5 $^{\circ}\text{C}$ según (INETER 2103), y se reportaron precipitaciones de 10 milímetros (mm) de lluvia, en Managua durante los días que se realizó el experimento. La fase de campo del experimento se llevó a cabo entre los meses de abril y julio del año 2013.

Se plantea la necesidad de realizar deshidrataciones en dos épocas para conocer si existe alguna diferencia entre los procesos de secado en diferentes momentos y como el agua contenida en las células vegetales puede tener algún comportamiento distinto.

3.3.Equipos

Para el proceso de deshidratación se utilizaron tres diferentes hornos: horno solar de circulación forzada ubicado en el Laboratorio LIDER de la Facultad de Recursos Naturales de la UNA, un horno artesanal y un horno semi-industrial ambos ubicados en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencia Animal de la UNA.

3.4.Hornos utilizados

3.4.1. Horno solar

Como se puede apreciar en la Figura 2. El horno solar utilizado es un deshidratador solar de circulación forzada instalado por la empresa CONA Solar Centroamérica S.A, que contiene:

- 24 Colectores solares, equivalentes a 48 metros cuadrados de área solar.
- Sistema de secado de distribución de las masas de aire caliente, que comprende un área solar de 48 metros cuadrados (m^2), con una capacidad máxima de 34,560 Watts (W) de energía térmica o 34.5 kilo Watts (kW).
- Almacén de energía solar, con una capacidad aproximada de 18,000 kilogramos (kg) de piedra de río limpia, de 4 o 5 centímetros (cm) de diámetro, para el almacenamiento y distribución de energía térmica por la noche.
- Canales de conducción de aire caliente elaborados de material aislante.
- Equipo de conducción de aire caliente que contiene un ventilador y mueve 3.600 m^3 /hora, consumiendo 110 W
- Control electrónico del sistema térmico solar con medición de variables a través de sensores (temperatura ambiente, temperatura de las cámaras, temperatura del área de captación, temperatura del almacén de calor; humedad relativa de las cámaras de secado).
- 2 cámaras solares para deshidratado de hojas y frutas, modelo SF-75, con 15 rieles laterales que permiten sostener 2 bandejas de acero inoxidable con orificios de 5 mm de diámetro cada uno, generando un total de 30 bandejas cada cámara, sumando un área de secado de 30 m^2 . En la parte superior cuentan con 2 ventiladores que mueven 600 m^3 /hora y representan un consumo energético de 24 W.
- La cámara de secado del horno manifestó una temperatura entre 29.9 y 53.8 °C durante el experimento.

Cabe señalar que el sistema eléctrico de los ventiladores se alimenta a partir de un sistema fotovoltaico, de 660 W con una generación diaria aproximada de 2.9 KWh.



Figura 2. Estructura del Horno Solar de Circulación Forzada.

3.4.2. Horno Artesanal

El horno artesanal utilizado posee un área de secado de 0.72 m^2 , construido con madera de forma cubica-rectangular y en su interior recubierto con material aislante, cuenta en su interior con dos rejillas rectangulares de acero inoxidable con los bordes de madera, utiliza para su funcionamiento 11 bombillos de 75 W cada uno, incluye tres interruptores para encender y apagar los bombillos cuando sea necesario, tiene un sistema de ventilación por convección natural, manifiesta una temperatura promedio de 37 a $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Ver figura 3.

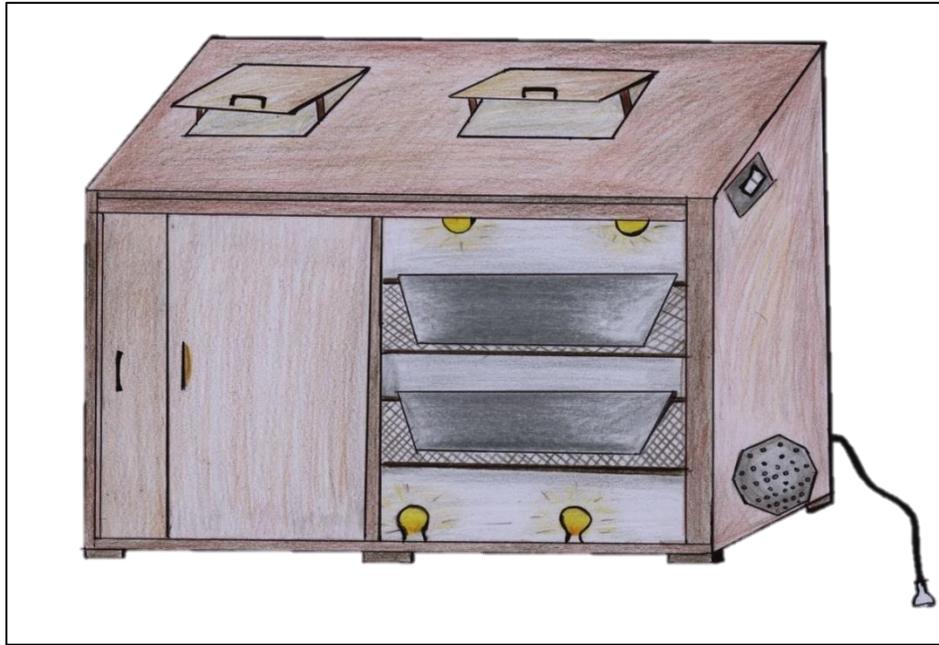


Figura 3. Diseño del Horno Artesanal

3.4.3. Horno semi-industrial

Se utilizó un horno marca Binder, modelo ED115, que tiene un ancho exterior de 0.834 m, una altura exterior de 0.702 m y profundidad exterior de 0.645 m. Contiene en su interior dos rejillas de acero inoxidable donde se colocaron las bandejas para el secado del material.

Funciona con energía eléctrica, tiene una potencia eléctrica de 1.60 kW; y un consumo energético de 250 Whora a 70°C. Tiene incorporado un termómetro y regulador de temperatura, para este experimento la temperatura se mantuvo constante a 45°C. (Ver figura 4.)



Figura 4. Horno Semi-industrial.

3.5. Materiales utilizados

3.5.1. Herramientas para cortar y recolectar el material

- a. Machetes: los cuales fueron utilizados para realizar el corte en la planta a 80 cm del suelo.
- b. Sacos de polipropileno: utilizados para ubicar encima de ellos el material recolectado y posteriormente para trasladar el material del campo al laboratorio.

3.5.2. Recipientes

Se utilizaron recipientes de acero inoxidable, (ver Figura 5), con capacidad de contener 3.78 litros (l) de líquidos. Estos fueron utilizados en varios momentos, inicialmente para la

selección y lavado del material, posteriormente en el pesaje continuo durante el experimento; y en los diferentes momentos de secado.



Figura 5. Recipientes utilizados

3.5.3. Materiales de higiene

Durante este experimento se utilizó la indumentaria correspondiente dentro de las normas de higiene en los laboratorios, tales como el uso de guantes de látex, mascarilla, gabacha; con el objetivo de mantener la inocuidad del producto y prevenir la contaminación del mismo. (ver Figura 6)



Figura 6. Materiales de higiene

3.5.4. Toalla de Papel

Se utilizaron toallas desechables de papel absorbente para ayudar a remover el agua excedente ubicada sobre las hojas de Marango después del lavado, y previo al ingreso en el horno. Así mismo para secar los recipientes de acero inoxidable utilizados en el experimento

3.5.5. Bandejas

i. Horno solar

Para el horno solar se utilizaron bandejas rectangulares (ver Figura 7). Las medidas corresponden: 1 m de largo y 0.5 m de ancho, elaboradas con malla de acero inoxidable y 5 mm de diámetro de los agujeros, borde de madera sostenido con clavos de acero inoxidable. Con el propósito de sostener el material dispuesto sobre ellas para desarrollar el proceso de secado. Este tipo de bandejas permite tener mayor circulación de aire.



Figura 7. Bandejas para horno solar

ii. Horno Artesanal y Semi-Industrial

En el caso de los otros hornos como se muestra en la Figura 8. Se utilizaron bandejas rectangulares de aluminio con un tamaño de 52*32*8 cm y un peso de 20 g. A estas bandejas fue necesario hacer en promedio 60 agujeros de 2 mm de diámetro en la parte inferior de bandeja, para facilitar la circulación de aire, y evitar que se acumulara líquido en la base de la bandeja al momento que fuese eliminado de las hojas.



Figura 8. Bandejas utilizadas en hornos artesanal y semi-industrial

3.5.6. Tela Filtro

Se utilizó sobre las bandejas tela Tarlatana 100 % poliéster color blanco con orificios de 2 mm de diámetro, para impedir que el material seco se escapara por los orificios de la bandeja y garantizó la circulación de aire entre la bandeja y el material. (Ver figura 9)



Figura 9. Tela de tarlatana sobre bandeja de madera y acero inoxidable.

3.5.7. Termómetros

Para este estudio fue indispensable tener el control de la temperatura del material y del interior de la cámara de secado. Cada uno de los hornos tenía su dispositivo para medir la temperatura, en el caso de la temperatura del material un termómetro laser marca Voltcraft IR 330 InfraRed Thermometer. . (Figura 10. a)

El horno solar tiene integrado un dispositivo que registra temperatura dentro y fuera de la cámara de secado y la humedad. (Figura 10. b) En el caso del horno artesanal se colocó dentro de la cámara de secado un termómetro para alimentos que registró la temperatura dentro del horno. (Figura 10. c) en el caso del horno semi-industrial el termómetro utilizado es parte del horno, y este registra la temperatura al interior, así mismo es un controlador para mantenerla estable y constante. (Figura 10. d)

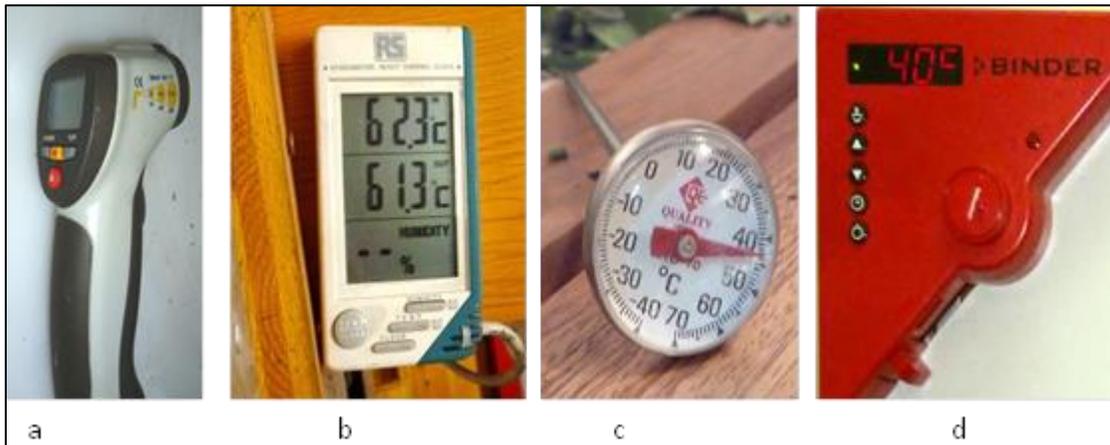


Figura 10. Termómetros utilizados.

3.5.8. Balanza

Para tener exactitud en las variaciones de peso del material se utilizó siempre la misma balanza, marca Ohaus, modelo sp2001, con una capacidad de 2000 g. con una plataforma de 165*142 mm, y una exactitud desde 0.1 g. (Ver figura 11)



Figura 11. Balanza

3.5.9. Bolsas de polietileno transparente

Las bolsas de polietileno fueron utilizadas para resguardar el material una vez deshidratado, las cuales fueron selladas para evitar la oxidación del mismo.

3.5.10. Selladora

Se utilizó una selladora Impulse Sealer type Tish 300. Con el objetivo de sellar las bolsas de polietileno, garantizando la inocuidad del producto, evitando la entrada y circulación del aire dentro. (Ver figura 12)



Figura 12. Selladora

3.5.11. Bolsas de papel kraft

Las bolsas de papel kraft utilizadas tenían unas dimensiones de 45 cm de alto, 30 cm de ancho y 25 cm de profundidad. Utilizadas para resguardar las bolsas de polietileno y evitar la degradación fotosintética.

3.5.12. Molino

El molino que se utilizó fue de marca Foss, modelo Cyclotec 1093,

El molino se basa en el principio de ciclón para aplicaciones de molienda universales en laboratorio. Presenta escasa contaminación cruzada, obteniendo un tamaño de partícula fina y uniforme. (Ver figura 13)



Figura. 13. Molino

3.6. Selección del Material

El material fue obtenido de una plantación de la Universidad Nacional Agraria previamente seleccionada, la cual tiene una densidad de 170,000 plantas por hectárea, y un rebrote de 60 días con alturas entre los 2 y 3 m.

Las labores iniciaron a las 6:00 am, con el corte de los tallos a los arbustos, de manera manual con un machete a una altura de 80 cm del suelo.

Se ubicó un espacio de la parcela donde se colocó el material que posteriormente fue pesado y separado la fracción gruesa; tallos con un diámetro superior a 0.50 cm, de la fracción fina; tallos, pecíolos y hojas con un diámetro inferior a 0.50 cm. (Mendieta, 2011) Para este experimento la fracción gruesa fue descartada.

La fracción fina fue transportada en sacos a las instalaciones del laboratorio donde se procedió a separar los folios y peciólulos del raquis y pecíolo, el material fue nuevamente pesado para obtener rendimiento de fracción fina. Se eligieron las hojas y peciólulos de color verde intenso y que no presentarán daños, decoloraciones o deformaciones, (Figura 14 y Figura 15). Las hojas que indicaron de manera visual algún tipo de daño, deformación o decoloración fueron extraídas en este proceso de selección.

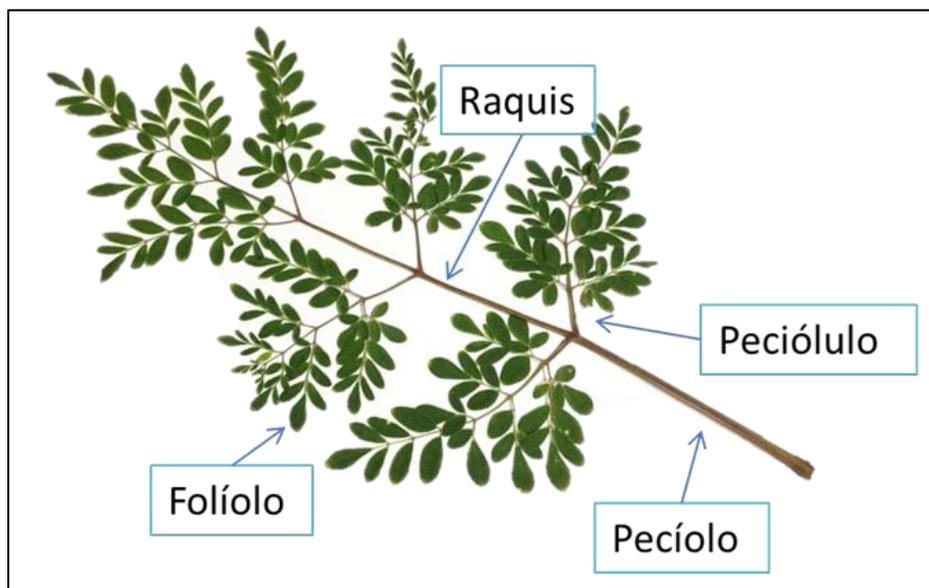


Foto: Tomada por la autora

Figura 14. Hoja de Marango

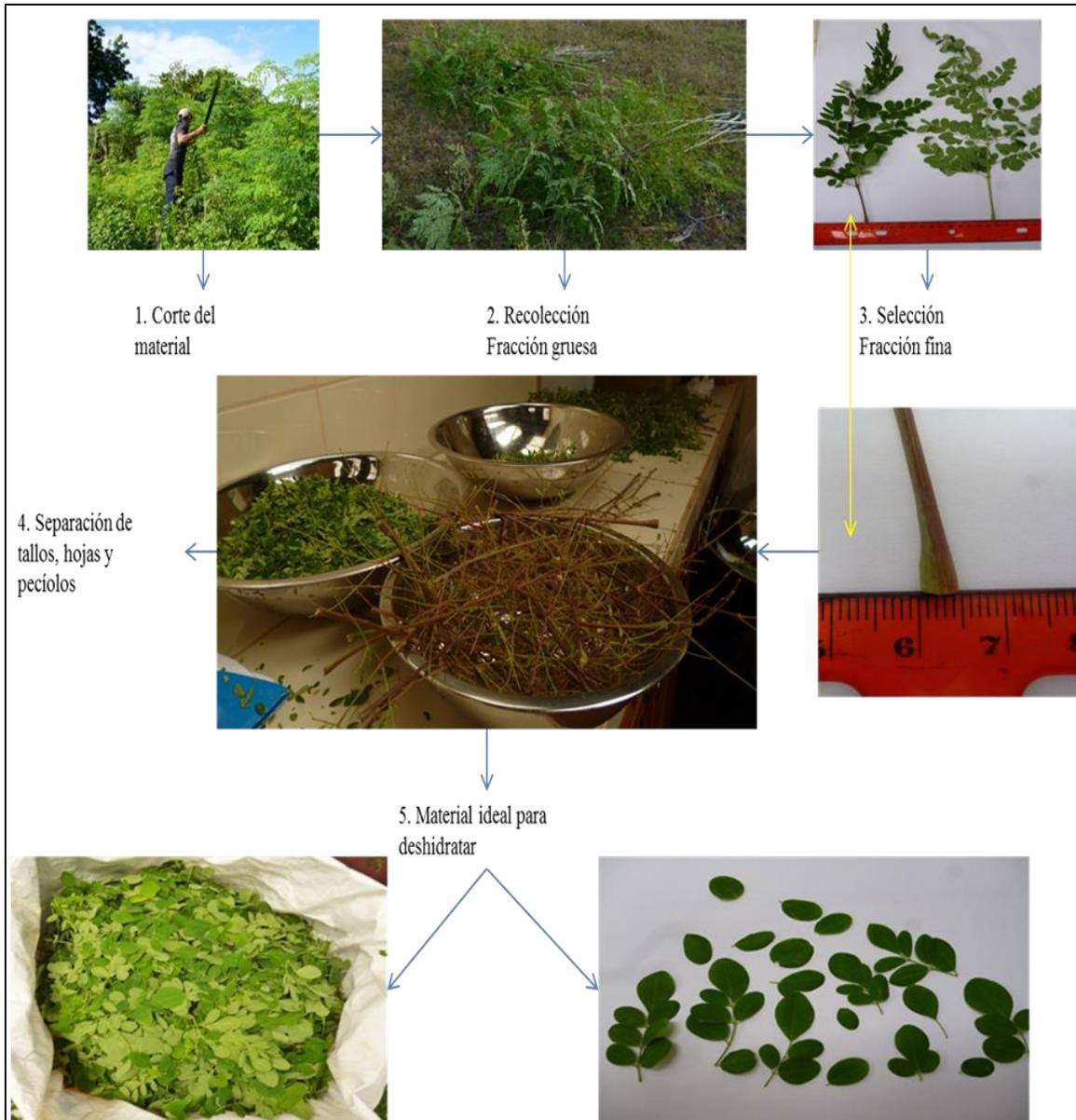


Figura 15. Proceso de Selección de Hojas de Marango que fueron deshidratadas.

3.7. Procesamiento

3.7.1. Previo a la Deshidratación

- Pre calentamiento de los Hornos: Los ventiladores del deshidratador solar, los bombillos del horno artesanal y el horno semi-industrial fueron encendidos media hora antes del ingreso de las bandejas con el objetivo precalentar el horno y que se eliminará la humedad dentro de la cámara de secado.
- Lavado de hojas y peciólulos de Marango, en una solución de 1.3 ml de hipoclorito al 0.1% en 1,000 ml de agua, agitándose por dos minutos para desprender cualquier

suciedad o agente extraño a las mismas y garantizar que todas las hojas fuesen lavadas; se agregó abundante agua al material, esta fue drenada inmediatamente y repetido el procedimiento 4 veces para garantizar que no quedarán residuos sobre las hojas. Este proceso se llevó a cabo en un recipiente de acero inoxidable con una capacidad de 3.78 l.

- Pesaje del Material: Las hojas fueron pesadas antes de colocarse sobre las bandejas, este pesaje fue considerado como peso inicial para iniciar a medir la cantidad de pérdida de humedad.
- Disposición del Material sobre las Bandejas: Se coloca homogéneamente la misma cantidad de material procurando extender las hojas y peciólulos de Marango de manera uniforme, sobre una capa de tela previamente pesada que está en cada una de las bandejas. Con la intención que no entren goteando exceso de líquido proveniente del lavado, se les coloca papel toalla durante 5 minutos para disminuir la cantidad de agua sobre las hojas. (Ver figura 17)
- En la primera época o época seca, se colocó sobre las bandejas del horno solar una capa doble de tela Tarlatana, y 1208 ± 14 gramos por bandeja extendido uniformemente sobre la tela, con un grosor de 1.6 pulgadas de alto y en las bandejas de los otros hornos se colocaron 500 ± 5 gramos en las bandeja, ubicando tres bandejas por cada horno.
- En el segundo momento de secado, que se realizó durante la época lluviosa se colocó 500 ± 5 gramos de hojas y peciólulos de Marango por bandeja en cada uno de los hornos, con el objetivo de homogenizar la cantidad.

3.7.2. Durante el Proceso de Deshidratación

Una vez que las bandejas fueron ingresadas al horno, se cerró inmediatamente la cámara de secado procurando que esta quedará hermética. Esto solo fue posible garantizarlo en el horno semi-industrial.

- Toma de datos para la elaboración de curvas de secado: Consistió en realizar un monitoreo continuo durante 24 horas, mientras que llevaba a cabo el proceso de deshidratación de las hojas de Marango. Cada hora se abría la cámara de secado, se sacaban las bandejas del horno, se colocaban las muestras incluyendo la tela filtro sobre el recipiente de acero inoxidable, se pesaban y se volvían acomodar extendiendo de manera uniforme el material en la bandeja y esta a su vez en el mismo sitio de donde se había extraído del horno. Los datos recolectados incluían el peso de la muestra, la temperatura del material, temperatura del horno, y algunas observaciones sobre las características que este pudiese presentar
- Mezcla del Material: Este proceso se realizó únicamente durante el proceso de deshidratación con los hornos artesanal y semi-industrial; consistió en mezclar el material dentro de las bandejas cada hora que se hacían los pesajes una vez que se

colocaban fuera del horno, para evitar que las hojas se cocinaran, debido a que las bandejas utilizadas no permitían evacuar el exceso de humedad en las capas intermedias de hojas, porque el grosor de la capa de hojas era superior al grosor de la capa de hojas en las bandejas del horno solar.

- Retiro de las Muestras del Horno: una vez que se observó que la variación de peso fue menor a 0.5 gramos en un lapso de tres horas, considerando este como el punto de equilibrio de pérdida de humedad, se retiraron del horno las bandejas y fueron colocadas en la sala de secado donde se monitoreo la temperatura, hasta que está fuese similar a la temperatura ambiente y dio inicio al proceso de empaque. (Ver figura 16)

3.7.3. Posterior al Proceso de Deshidratado

- El material deshidratado fue empacado en bolsas de polietileno transparente selladas y estas se introdujeron en bolsas de papel kratf, posteriormente se trasladó al laboratorio donde se realizó el molido y los análisis correspondientes.



Figura 16. Proceso de deshidratación de Marango



Figura 17. Bandeja de aluminio, con tela tarlatana, hojas y pecíolulos de Marango.

3.8. Variables Evaluadas

3.8.1. Variables de uso energéticas

Se determinaron variables de uso energético con el propósito de conocer cuál de los dispositivos de secado presenta características sostenibles para el medio ambiente, a un menor costo para poder ser replicado y aplicado en las diferentes comunidades del país.

i. Capacidad de Secado:

Se comprende como la capacidad máxima en kg que tienen los hornos para contener las bandejas con el material dispuesto a deshidratar. En correspondencia con el volumen de las cámaras de secado.

ii. Consumo de energía eléctrica durante 24 horas:

Se define como el consumo energético de cada uno de los hornos para deshidratar en su capacidad hojas frescas de Marango, durante un lapso de 24 horas.

iii. Costo:

Este representa el costo monetario expresado en la moneda nacional de Nicaragua (córdobas), que se incurre en el pago por el consumo de energía eléctrica durante 24 horas para deshidratar hojas y pecíolulos de Marango. Aplicando una tarifa general mayor, siendo una carga contratada mayor de 25 kw para uso general (Establecimiento Comerciales,

Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud). Correspondiente a 5.1969 córdobas por kW-hora. Se utiliza esta categoría por ser la que coincide con las características donde fue realizado el experimento, al momento de aplicarse en otras condiciones habrá que evaluar el costo de la energía, que varía de acuerdo a la zona, y el ente que abastece de energía.

iv. Costo por kilogramo:

Se manifiesta como el costo por el pago de la energía utilizada por cada uno de los hornos durante 24 horas, calculado previamente, más el salario de dos personas necesarias para realizar las labores del proceso de secado, basándose en la tabla de salarios mínimos establecidos por en el acuerdo ministerial Altb 01-03-2014; del Ministerio del Trabajo para Nicaragua durante 1 de marzo 2014 al 31 de agosto 2014 bajo la categoría de salario por servicios comunitarios sociales y personales correspondiente a C\$ 3,819.31 (tres mil ochocientos diecinueve con 31/100), este valor es dividido entre la capacidad de secado de cada uno de los hornos; lo que representaría el costo de deshidratar un kilogramo de hojas de Marango para la producción de extracto foliar.

3.8.2. Curvas de secado

Las curvas de secado se calcularon en base al registro de pérdida de peso de las muestras durante el tiempo que tomó el proceso, mediante una serie de datos que fueron recopilados tales como: el tiempo de secado, peso de las muestras, temperatura dentro del horno, temperatura del material.

Los pesos obtenidos se convierten en términos de humedad libre empleando la ecuación propuesta por Geankoplis, (1993).

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s}$$

Donde W es el peso del sólido húmedo, este incluye el peso del agua más el sólido seco, Ws es el peso del sólido seco el cuál era medido cada hora, y Xt es la relación entre el peso del agua y el peso del sólido seco en un determinado tiempo.

i. Tiempo de secado:

Es el tiempo en horas, que necesito la muestra desde que fue introducida en el horno hasta que en tres lecturas consecutivas mostraron una variación de peso menor a 0.5 gramos.

ii. Peso de las muestras:

Es el peso en gramos de las hojas después de ser lavadas y colocadas en la bandeja utilizada para el secado.

iii. Temperatura dentro del horno:

Es la temperatura en grados Celsius medida con un termómetro que tenía el horno al momento de encendido y cada vez que se abre la cámara de secado para toma de una muestra.

iv. Temperatura del material:

Es la temperatura que se mide con un termómetro laser (Voltcraft IR 330 InfraRed Thermometer) en tres puntos diferentes del material dentro de la bandeja, a una distancia de 30 cm, se registra el promedio de la temperatura de los tres puntos por bandeja, cerca del extremo izquierdo, al centro y cerca del margen derecho.

3.8.3. Características Sensoriales:

i. Color:

Para determinar el color se realizó una comparación visual con luz natural, se tomó una muestra de 20 gramos de extracto foliar colocada sobre una hoja de papel bond blanco y se comparó con la escala de colores definida para este experimento.

La escala de colores usada en este ensayo se construyó usando materiales considerados bien procesado y materiales con diferentes niveles de deterioro, un panel de expertos agrupó los materiales usando la máxima homogeneidad de color y luego procedió a discutir y consensuar un color característico para cada una de ellas, resultando cinco categorías que van desde verde hasta verde olivo, según puede verse en Figura 18.



Figura 18. Escala de colores para extracto foliar de Marango

ii. Olor:

El olor se clasificó en una dicotomía: Característico y no característico.

Se definió como característico cuando tiene un aroma a césped cortado, hierbas verdes, correspondiente a la clasificación W10 propuesta por Non-Negative Matriz de Factorización (Sanchinelli, 2004) Y No Característico cuando el aroma no corresponde con la anterior descripción.

Para la calificación del olor de las muestras se contó con la participación de un panel de tres jueces no expertos, los mismos tomaban cada una de las muestras de material seco y molido y realizaban una inspiración profunda, procediendo a calificar el olor como característico o no en cada una; entre muestra y muestra olían profundamente un frasco que contenía café tostado en granos con el fin de poder discernir los olores. El panel discutía la calificación de cada muestra y por consenso se procedió a la calificación final.

iii. Textura

La textura se clasificó en tres escalas: fina cuando tiene un diámetro de partícula menor de 2 mm, media cuando tiene un diámetro de partícula entre 2 y 5 mm, y gruesa cuando tiene un diámetro de partícula superior a 5 mm. Esto fue calculado a partir de un tamiz que estaba superpuesto de mayor a menor, de tal manera que las partículas más grandes quedaron en el nivel superior, y así paulatinamente fueron pasando las partículas finas y gruesas al nivel intermedio, hasta que en el último nivel solo pasaron a través del tamiz las partículas finas.



Figura 19. Clasificación de texturas de Marango

3.8.4. Variables químicas

Todos los alimentos están constituidos por dos componentes fundamentales que son el agua y la materia seca; es decir el agua que se ha extraído por el calor. (Flores, 1983). En este caso se analizaron de manera independiente de acuerdo al método de secado en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencia Animal, Recinto Tania Beteta de la Universidad Nacional Agraria, y en el Laboratorio de suelos y agua de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la UNA.

Esto con el objetivo de determinar si existe alguna variación en la composición de los mismos, que pueda estar relacionada con el método de secado, se consideran estas variables de suma importancia al momento de valorar si existe alguna diferencia entre el proceso de secado, como se da la eliminación de humedad de las muestras y las concentraciones químicas.

Del mismo modo se valora, la uniformidad de la composición química de las muestras por medio de análisis estadísticos, que tan estables son de acuerdo a las condiciones de secado, esto es primordial, sobre todo si se quiere posterior desarrollar proyectos en las comunidades para producción de extracto de Marango en gran escala.

Las diferentes fracciones del alimento fueron analizadas siguiendo diferentes protocolos, según puede apreciarse en la Figura 20 abajo inserta.

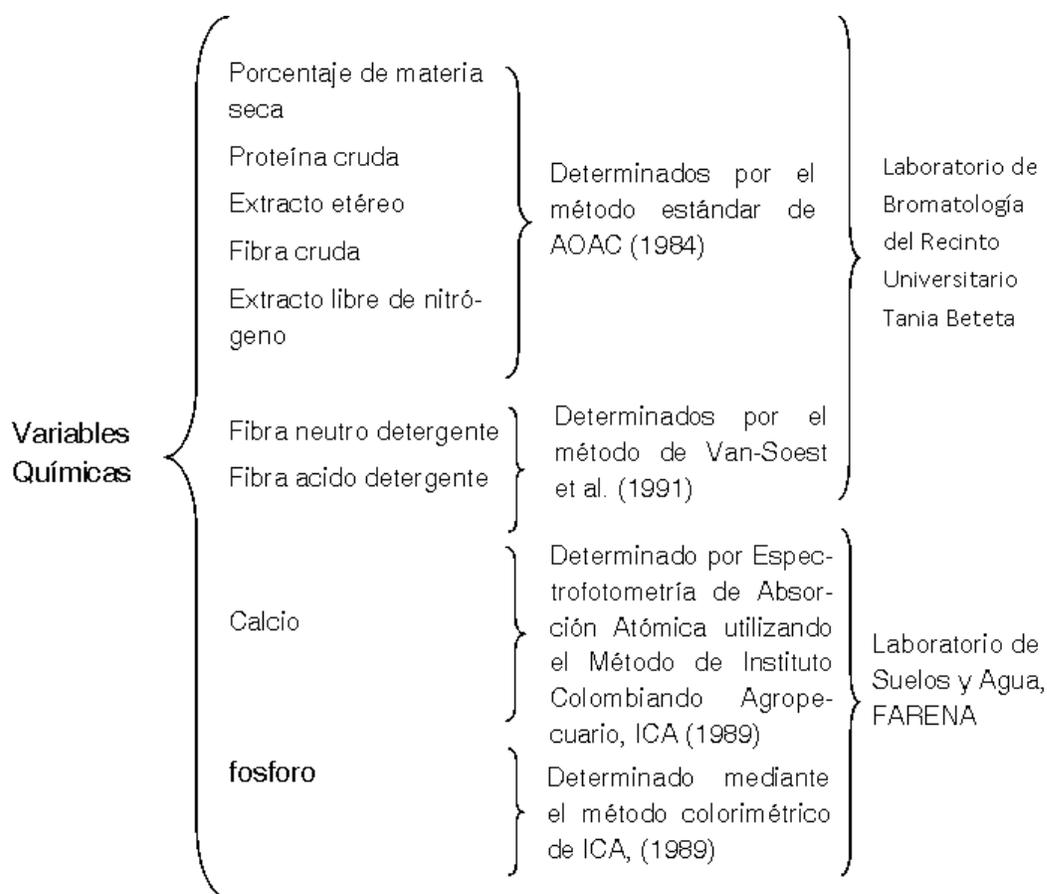


Figura 20. Variables químicas evaluadas durante la investigación

3.9. Modelos exponenciales utilizados

Para conocer los procesos de secado del extracto foliar de Marango en cada uno de los hornos, fueron ajustados modelos no lineales de la siguiente forma:

Horno artesanal: modelo exponencial asintótico de tres parámetros

$$Y = a - b(1 - e^{-ct})$$

Donde:

a = asíntota
a-b = intercepto
c = tasa constante
t=tiempo

Horno solar e industrial: modelo exponencial asintótico de dos parámetros

$$Y = a(1 - e^{-bt})$$

Donde:

a = asíntota
b = tasa constante
t = tiempo

3.10. Análisis estadístico

Para conocer el efecto de las condiciones ambientales sobre el proceso de secado del extracto foliar en cada horno, los modelos anteriores fueron ajustados usando mínimos cuadrados no lineales generalizados y comparados por medio de la prueba de razón de verosimilitud.

En todos los casos, se realizó análisis de residuales para detectar violaciones a los supuestos de homocedasticidad y normalidad por medio de inspección visual de gráficos y pruebas conexas de Levene y Shapiro–Wilks respectivamente, para remediar las violaciones a los supuestos anteriores y obtener estimadores consistentes en los modelos, se utilizó una matriz robusta de varianza-covarianza (estimador sándwich).

Por otra parte, la variación en la composición nutricional del extracto foliar atribuida a los diferentes hornos fue analizada usando un Análisis de Correspondencia Canónica y la significancia del efecto de los hornos se realizó usando una prueba de permutación. Todos los análisis fueron realizados en el paquete estadístico R (R Development CoreTeam, 2014).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Uso Energéticos

El uso adecuado de la energía eléctrica representa una preocupación para la población a nivel mundial, sobre todo por los efectos del Cambio Climático, la dependencia de combustible fósil y la accesibilidad en las zonas rurales, incluso el costo del mismo; en correspondencia con crear modelos amigables con el medio ambiente, que vayan de la mano, con brindar alternativas económicas, sociales y nutricionalmente aceptables para la población nacional, se considera importante valorar los aspectos de consumo energético de los hornos, donde se desarrolló este experimento, para tomar decisiones futuras sobre cuál de los procesos de secado puede ser replicado y aplicado, y a qué condiciones representa una solución factible de generar un extracto foliar de hojas de Marango y que les permita a las familias Nicaragüenses tener una dieta enriquecida con las bondades nutricionales.

Se plantea por diversos expertos, como lo indica Linares (2009) que estamos apuntando a ser sociedades que tengan eficiencia energética ya que constituyen un elemento fundamental para la mejora del medio ambiente. Aplicando a nuestro contexto podemos reflejar que un uso apropiado de la energía podemos mejorar la calidad de vida de la sociedad, las comunidades y las familias productoras.

A partir del uso energético se pueden derivar diferentes aspectos, tales como los descritos posteriormente.

4.1.1. Capacidad de Secado

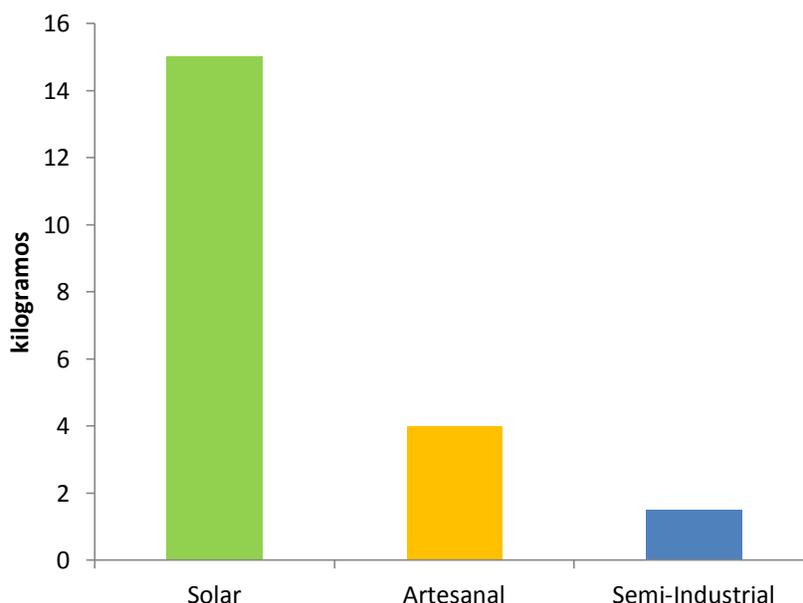


Gráfico 1. Capacidad de secado (expresada en kilogramos de hojas de Marango, que puede secar cada horno durante 24 horas)

Los hornos utilizados en este experimento tienen dimensiones diferentes, por lo tanto tienen capacidades diferentes para contener el material destinado al secado. Normalmente la capacidad de secado está referida al volumen que dispone un horno para realizar el proceso de secado, en este caso, consideraremos la capacidad de secado como el espacio que permite contener o ubicar bandejas que contengan 0.5 kg de hojas frescas de Marango disponibles para deshidratar.

De igual modo las bandejas del horno solar tienen un tamaño distinto al de las utilizadas en los otros hornos aunque en todas se colocó la misma cantidad de material, 0.5 kg de hojas de Marango. El tamaño de las bandejas puede variar, en el caso de la empresa Aingetherm Ingeniería Térmica Ltda, de Chile, que fabrican deshidratadores industriales para alimentos, sus bandejas son de 80*60 cm en promedio, todas elaboradas de acero inoxidable. En este caso, cabe señalar que las bandejas del horno artesanal son igualmente de acero inoxidable y las de los otros hornos de aluminio.

La cámara de secado utilizada del horno solar tiene la capacidad de contener 30 bandejas, dando la posibilidad de secar un total de 15 kg de material de manera simultánea. Siendo ésta la cámara de secado de mayor tamaño en relación con la de los otros hornos.

Es importante destacar que las bandejas del horno solar tienen un área de 0.5 m², y se colocaron 0.5 kg de hojas, a diferencia de otros autores como es el caso de Echazú et al (2007) que para realizar procesos de deshidratación de hojas sin tallo de acelga y apio utilizaron una densidad de carga de 2 kg/m² en un deshidratador solar de circulación forzada. Por lo tanto esto nos indica que es posible aumentar la cantidad de material a disponer sobre las bandejas, en este horno particularmente.

Dentro de la cámara de secado del horno artesanal es posible colocar 8 bandejas distribuyéndolas en los estantes internos, dando un total de 4 kg de material para secar de una vez, para secar la misma cantidad que cabe en el horno artesanal es necesario realizar 3.75 procesos de secados, debido a que la cantidad que logra caber en este horno representa el 26.66% de lo que cabe en el horno artesanal. Considerándose esta la cámara de secado de tamaño intermedio para este experimento.

Recordemos que este horno tiene un diseño particular, que no es un producto que sea de comercialización libre, por lo tanto su tamaño y eficiencia podrían ser mejorados en posteriores adecuaciones.

El horno Semi-industrial es el que tiene la cámara de secado más compacta y que queda herméticamente cerrada, caben apenas 3 bandejas distribuidas una por cada nivel interno del horno, por lo tanto, se pueden secar 1.5 kg de hojas Marango, para lograr igualar la cantidad de secado del horno artesanal es necesario realizar 10 procesos de secados en este horno. Por lo tanto esta es la cámara de secado más pequeña, para este experimento, y representa el 10% de la capacidad de secado en comparación con el horno artesanal.

La capacidad de secado, es muy importante para determinar otras variables, sobre todo, cuando un horno con mayor capacidad permite optimizar los recursos disponibles, valorando la cantidad de material disponible, si se cuenta con varios árboles que tienen

follaje y se necesita deshidratar de una vez es importante tener un horno con suficiente capacidad para secar las hojas, evitando que se dañe el material o se desperdicie por deshidratarlo de manera inapropiada.

Dicho todo lo anterior y tal como se ve en el gráfico 1, en orden descendiente, el horno con mayor capacidad de secado es el solar con 15 kg de material a ser dispuesto en su interior, a continuación el horno artesanal con capacidad de 4 kg y finalmente el semi - industrial con 1.5 kg.

4.1.2. Consumo de energía eléctrica

Para medir la energía eléctrica se emplea la unidad kilovatio-hora (kWh), que se define como el trabajo realizado durante una hora por una máquina que tiene potencia de un kilovatio (kW) (Centeno, 2007).

Al momento de evaluar el consumo energético de los tres hornos se realiza una comparación de cantidad de kW-hora que requiere cada horno para deshidratar su capacidad máxima de hojas frescas de Marango durante 24 horas, esto con el objetivo de tener un parámetro que los tome de manera homogénea.

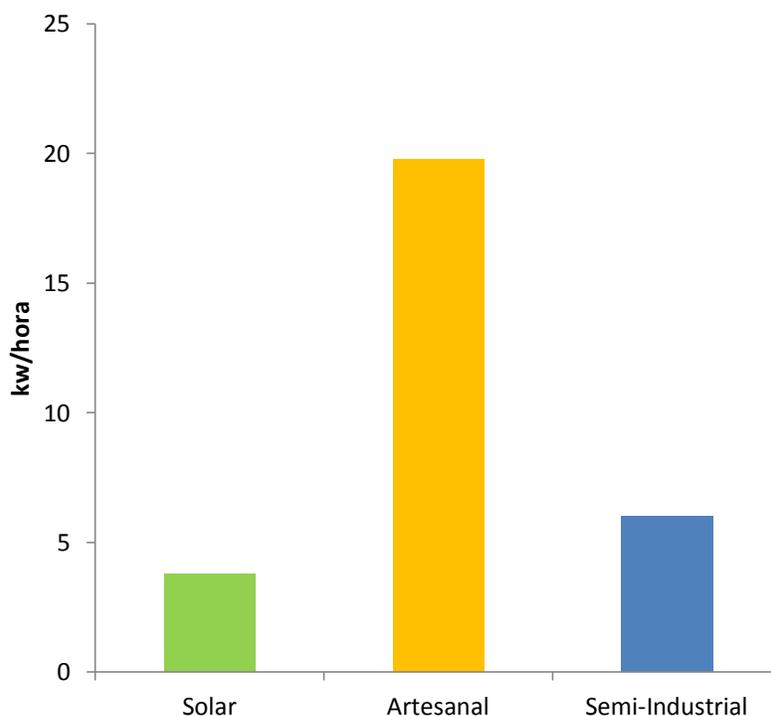


Gráfico 2. Consumo energético de los hornos para deshidratar de hojas frescas de Marango en un lapso de 24 horas.

La cantidad de energía eléctrica está ligada al requerimiento de energía que tienen el horno para su debido funcionamiento, en el caso del horno solar, este utiliza dos ventiladores internos de la cámara de secado que requieren 0.024 kW-hora cada uno, que equivale a 1.152 kW; del mismo modo se requiere la energía para el ventilador que extrae el aire

caliente al conducto, y este requiere 0.11 kW-hora, que representa 2.64 kW. Una vez sumadas ambas cantidades, se define que de manera integral el horno solar requiere 3.792 kW para deshidratar 15 kg de hojas frescas de Marango en un lapso de 24 horas continuas.

En el caso del horno artesanal, requiere únicamente energía eléctrica para encender y mantener en funcionamiento los 11 bombillos durante 24 horas, lo que equivale a 19.8 kW, debido a que el tamaño de la cámara de secado es reducido, solo permite deshidratar 4 kg de hojas frescas de Marango. Basandose en los datos obtenidos se confirma la posición de Coyago y Criollo, (2013); donde hacen referencia que los secadores por conveccion natural y que no utilizan tecnologías avanzadas, requieren mayor energía para su funcionamiento, debido a que estos procesos consumen mucho calor ya que requieren un constante calentamiento de aire, por lo tanto estos sistemas no son tan eficientes en el consumo de energía.

El horno semi-industrial tienen una capacidad limitada para deshidratar, 1.5 kg de hojas de manera simultánea, y requiere 6 kW en 24 horas de secado. Debido a que utiliza 250 W/Whh; a una temperatura de 70 °C. Es importante mencionar que en las condiciones del laboratorio se requiere de contar con un sistema de aire acondicionado y un extractor de aire adicionalmente las 24 horas, además del sistema de iluminación del laboratorio, estos datos no han sido incluidos, únicamente el consumo energético del horno.

En este sentido, es importante manifestar que este horno representa eficiencia energética, debido a que los más eficientes son aquellos que aprovechan mejor la energía que requieren para su funcionamiento; (Poveda, M. 2007) ya que al momento de compararlo con los hornos fabricados por **Aingetherm Ingeniería Térmica Ltda**, donde el horno con características similar tiene un consumo energético de 1 kWh en 80-90 °C, realizando los cálculos en este horno se realizará el deshidratado en 24 horas

Lo antes descrito plantea que el consumo energético de los hornos puede ser sumamente variable entre un modelo y otro, varía de acuerdo a la temperatura que se necesite calentar, debido a que a mayor temperatura se genere dentro de la cámara de secado, mayor es el requerimiento energético (Binder, 2015).

El consumo energético tiene una relación directa con las otras variables, pero de manera de muy puntual con el impacto ambiental del proceso de secado y la huella de carbono que se genera con esta actividad. Entre más energía se requiere el proceso puede ser más contaminante.

4.1.3. Costos

Los costos suelen ser un tema muy sensible en la economía nacional, principalmente cuando existe una tasa de desempleo del 6.8%, y la población en situación de extrema pobreza es del 6.9% (PNUD, 2013) por lo tanto plantear alternativas novedosas de desarrollo local, es una necesidad, sobre todo donde existe una creciente demanda por alimentos y la producción de extracto foliar representa una verdadera alternativa como fuente de ingreso y nutrición de las familias nicaragüenses (PNUD, 2013).

Al momento de realizar la comparación de costos de kWhora se basó en la Tarifa establecida por el Instituto Nicaragüense de Energía, Ente Regulador, bajo la categoría de Tarifa General Mayor, bajo la aplicación de ser una carga contratada mayor de 25 kw para uso general (Establecimiento Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud), donde define el cargo por energía wk/hora equivalente a 5.3090 córdobas, como previamente estaba descrito. Es importante destacar que solo se está calculando el costo de la energía eléctrica y no los costos que implican la instalación, manejo y la estructura necesaria para tener un deshidratador solar con la capacidad previamente descrita.

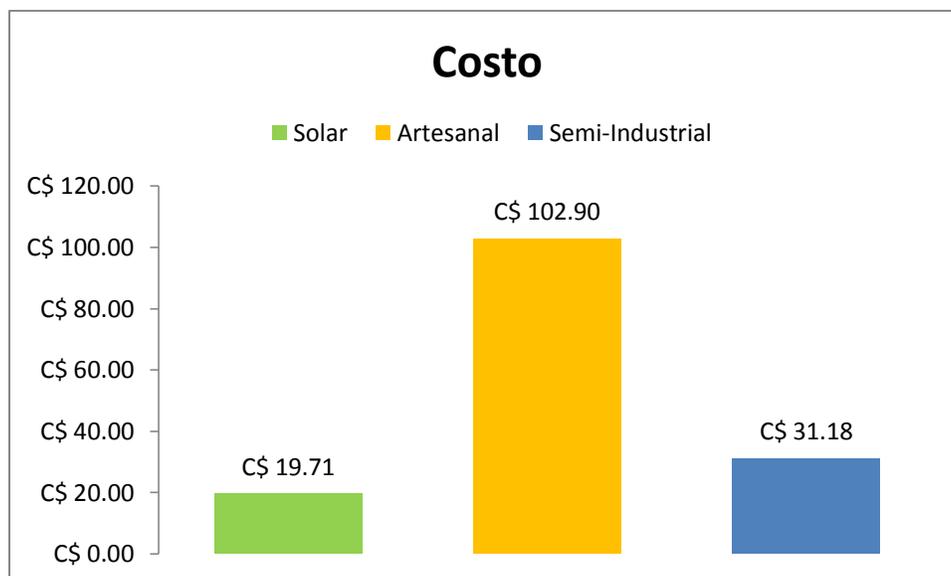


Gráfico 4. Costos del consumo energético para la elaboración de extracto de hojas de Marango durante 24 horas.

Se realizó una comparación entre el consumo energético que representan los hornos durante 24 horas, en su capacidad máxima de secado. Donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Como se observa en la gráfica existe una diferencia entre lo que representa cada proceso de secado. El horno solar se observa que el costo es menor, el costo indica que es de C\$ 19.71 Córdobas. Lo cual equivale a menos de US\$ 1.00 (un dólar estadounidense) por pago de consumo energético.

Diferente del horno artesanal, que requiere de los 11 bombillos para su funcionamiento, y aunque no tiene integrado ningún ventilador, pues funciona por convección natural, el costo de energía eléctrica es claramente superior a los de los otros hornos, y esto se debe a que los bombillos consumen 75 Wh cada uno.

En el caso del horno semi-industrial el costo es intermedio, debido al sistema de eficiencia energética que presenta el horno, al ser un horno más pequeño su consumo energético es menor a otros modelos del mismo fabricante que tienen mayores dimensiones y por lo tanto mayor consumo energético.

4.1.4. Costo por kilogramo

Este dato representa una estimación de lo que costaría deshidratar 1 kg de hojas de Marango en su relación con la capacidad máxima de secado de cada uno de los hornos, en un lapso de 24 horas y que incluya el pago de consumo energético y mano de obra para su elaboración.

Los datos del salario han sido calculados en base al salario mínimo bajo la categoría de servicios comunitarios y personales, el cual equivale a C\$ 3,819.31 (tres mil ochocientos diecinueve con 31/100 centavos mensuales; el cual esta descrito bajo el Acuerdo Ministerial Altb 01-03-2014. Que es válido del 01 de marzo 2014 al 31 de agosto de 2014.

Los costos por kilogramo equivalen al costo del consumo energético que han sido calculados previamente, adicionamos los costos de mano de obra y posterior se dividen entre la capacidad máxima que tienen los hornos para deshidratar en 24 horas.

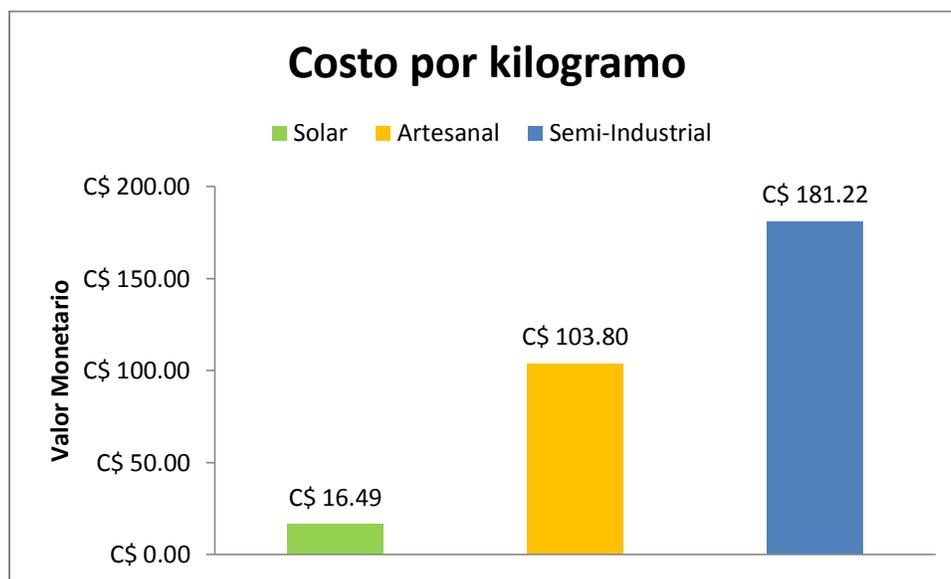


Gráfico 5. Costos totales para la deshidratación de 15 de hojas de Marango.

Como se observa en la gráfica 5 el costo mayor para la deshidratación de las hojas de Marango y producción del extracto foliar es en el horno semi-industrial, debido a que este tiene la cámara de secado más pequeña, por lo tanto reduce costos en energía eléctrica pero incrementa los costos por kg de hojas a deshidratar ya que los otros hornos me permiten deshidratar mayor cantidad en menor tiempo, lo que se traduce en menores costos totales.

Al momento de comparar con los estudios realizados por Moreano, (2007). Se valora que los costos indicados en este experimento, están incluso por debajo de otros procesos, que son de carácter financiero y proponen alternativas solares e industriales. En este caso, Moreano, F (2007) asume que los procesos industrializados son más costosos para deshidratar hierbas, coincidiendo con los datos obtenidos en este estudio.

4.2. Curvas de secado

En base a lo planteado por Garaulet, (2005) donde hace referencia a que el contenido de agua en los tejidos vegetales corresponde al 80% del peso fresco de muchas plantas herbáceas y hasta un 90% de algunos órganos en crecimiento, como las hojas, frutos y ápices caulinar, a continuación se detallará el proceso de secado o eliminación de agua de las hojas y peciolo de Marango. Cabe destacar que la actividad biológica está ligada a la presencia de agua, y el agua en las plantas se encuentra en los citoplasmas celulares, hasta el 90%, los vasos, las traqueidas y las fibras, constituyendo una fase líquida continua.

Al momento de desarrollar el proceso de deshidratación lo que se elimina es la cantidad de agua contenida dentro de la estructura de las hojas de Marango, que está planteado en las curvas a continuación.

4.2.1. Horno solar

i. Época Seca

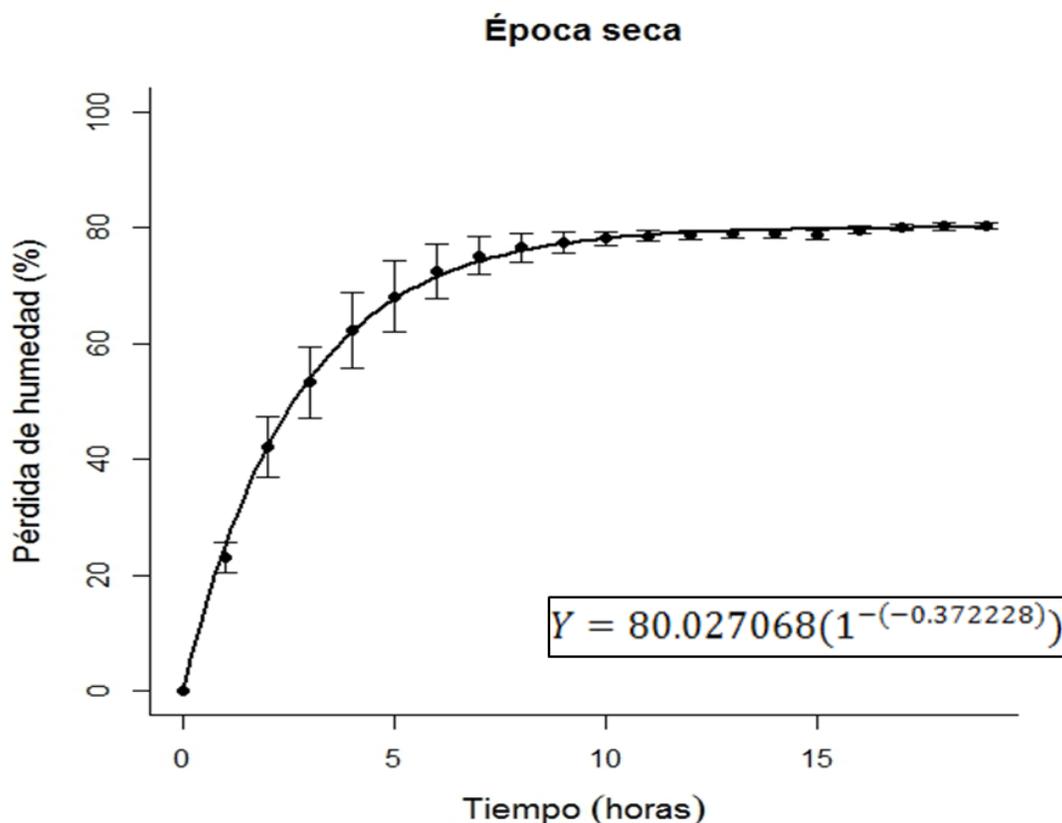


Gráfico 6. Curvas de Secado Horno Solar durante la época seca.

El gráfico representa la curva de secado del horno solar en la época seca, permitiendo identificar el comportamiento de la disminución de humedad del material en el transcurso del tiempo.

Como se puede apreciar en la época seca durante la primera hora es cuando las muestras pierden el 21.87 ± 4.04 % del peso inicial, esto se manifiesta debido a que inicialmente la superficie del material está húmeda por el lavado y presentaba una película de agua sobre las hojas y pecíolos. Esta capa está constituida por agua libre, por lo cual no ofrece mayor resistencia al momento de ser evaporada. Similar procesos ocurre al momento de deshidratar perejil y es documentado por Mahecha, et al (2010). Este proceso se conoce como el período inicial de evaporación. (Vega, 2005; Allier-Gonzalez, 2011) Cabe destacar que la temperatura del material oscilaba los 34.7 ± 0.3 °C. registrando un aumento de 2.35 °C en comparación con la temperatura del material al momento de ingresar al horno.

Así mismo existe una diferencia entre la temperatura del material y la temperatura que registra el horno en el interior de la cámara de secado; 46.65 ± 0.25 °C, en este caso existe una variación de temperatura debido a que inmediatamente que se abre la cámara de secado e ingresa aire fresco y sale vapor de agua, la temperatura disminuye a pesar que abrirse por unos segundos. Javi y Cadena (2001).

Durante la quinta hora se observa que la pérdida de humedad en el material es del 66.11 ± 10.005 %. La temperatura del horno en este punto es de 37.65 ± 0.15 °C, lo que representa 10 °C, por debajo de la temperatura a la primera hora de haber iniciado el experimento. Esto se debe principalmente a que la radiación solar juega un papel fundamental en el comportamiento de la temperatura dentro del horno.

Por ser un horno donde la radiación solar juega un papel crucial, se presume que esto puede afectar en la temperatura durante este momento, sobre todo, porque en este punto son las 5:00 pm. La temperatura del material en este punto es de 34.5 ± 3.1 °C, lo que nos indica que es similar que en la primera hora de secado.

Durante este período se desarrolló el proceso de deshidratación con velocidad constante el cual inicia a partir de la vaporización de la humedad superficial, donde se lleva a cabo la difusión de vapor de agua a través de la interfase aire/humedad y la velocidad a la cual la superficie por transmisión es eliminada desde una superficie saturada donde el material permanece a temperatura de bulbo húmedo o la temperatura de humedad en el aire, durante esta control la humedad relativa era del 39% dentro de la cámara de secado.

Así mismo, ocurre que el agua se va trasladando a la superficie del material a medida que ésta va siendo evaporada, el agua que ha sido retirada es el agua adsorbida en capilares, existentes dentro de los sólidos en poros y vacíos intersticiales o espacios entre las células, donde la presión de vapor del agua sufre una depresión ya que se encuentra en capilares de radios pequeños. El agua perteneciente a esta zona participa en reacciones deteriorativas y por lo tanto puede ser eliminada sin mayor dificultad. Esto es lo que ha permitido que se observe el comportamiento en la curva durante las primeras cinco horas. (Walti, 2001)

Llegando al final del periodo constante, la humedad tuvo que ser transportada del interior del sólido hacia la superficie por fuerzas capilares. Cuando el promedio del contenido de humedad ha alcanzado el contenido de humedad crítico, la película de humedad en la superficie ha sido tan reducida por evaporación; de forma que en este período puede modelarse con alto grado de precisión a partir del conocimiento de la temperatura, humedad y velocidad del aire.

Durante las horas nueve y diecinueve las muestras registraron una pérdida de humedad del 79.345 ± 0.905 % en comparación a su ingreso en el horno, este estado se conoce como contenido de humedad crítico. A pesar que existe una diferencia entre la hora cinco, durante estas 10 horas la variación es muy pequeña y esto se debe principalmente a que el líquido que ha sido removido es agua atada o ligada, que es agua fuertemente unida a constituyentes del alimento tales como: proteínas o polisacáridos, por puentes de hidrógeno o interacciones ión-dipolo (Argaiz, 2000). Finalmente llega un punto en que la variación en el peso de las muestras es menor a 0.0031 kg durante los 2 horas consecutivas, o bien una pérdida de humedad representa el 0.3 ± 0.26 %. En este momento la temperatura del material y la temperatura del horno tienen una diferencia de 4 °C y se aproxima a la temperatura de bulbo seco. Por lo tanto se considera que las muestras tienen un punto de equilibrio. Aspurz, J. (2011).

ii. Época Lluviosa

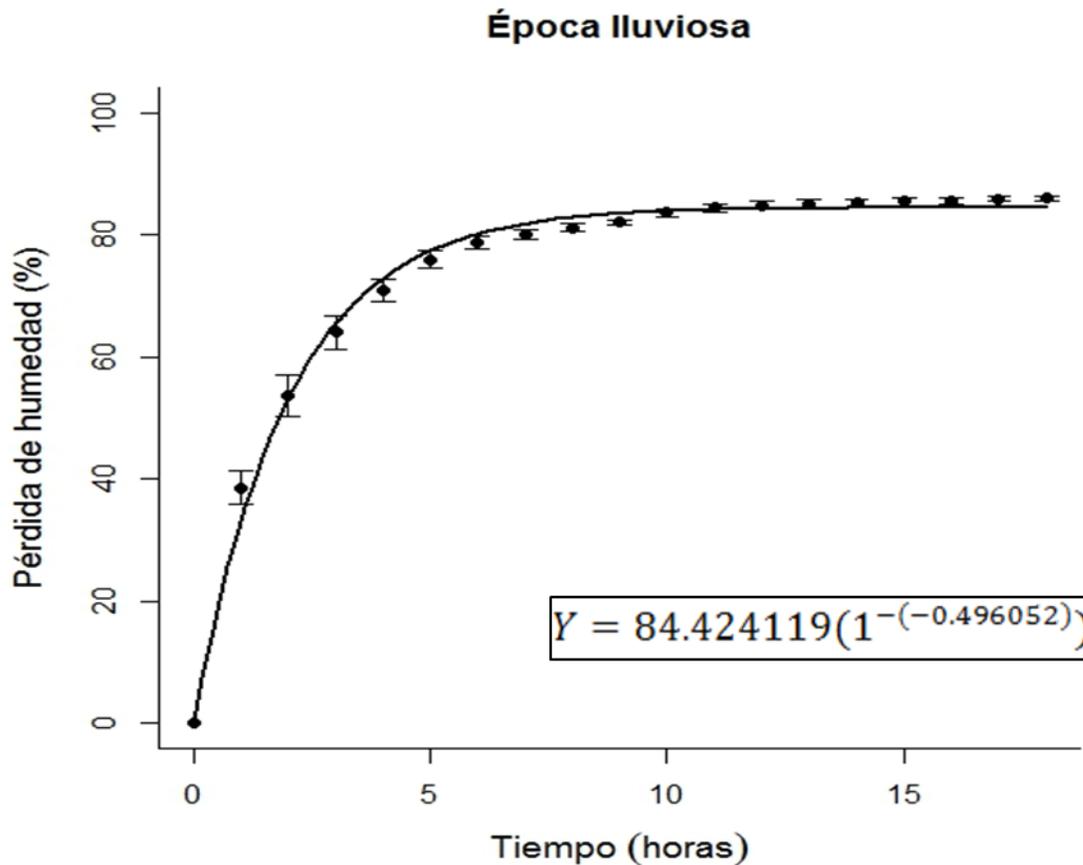


Gráfico 7. Curvas de Secado, Horno Solar durante la época lluviosa.

Durante la época lluvia, se observa que la curva de secado se desplaza con mayor velocidad desde un inicio referido a la pérdida de humedad del 38.61 ± 4.71 , % y esto se debe a varios factores, entre ellos podemos destacar la presencia de humedad sobre las hojas producto del lavado, que por ser época lluviosa las hojas tenían dentro de sus estructuras mayor humedad (Acevedo, E. 1979.) y esta es conocida como agua superficial, la que se conserva en el contorno del material y debido a la tensión superficial su comportamiento es similar al agua libre lo que permite ser removida con facilidad (Wolti. 2001).

La temperatura del material al ingresar al horno, o temperatura inicial era de 33.65 ± 0.25 °C, y al momento de tomar la muestra una hora después la temperatura era de 35.3 ± 1.3 °C lo que representa una variación similar en la temperatura del material durante la época seca. Por lo cual esto no se define como el principal responsable de la variación del porcentaje de pérdida de humedad.

Por otro lado la temperatura de la cámara de secado era de 41.05 ± 0.25 °C por debajo incluso del valor de la temperatura de la cámara de secado en la época seca. Por lo tanto se concluye que el aumento en la pérdida de humedad esta relaciona con la cantidad de

material dispuesto sobre las bandejas, el grueso de la columna de hojas y pecíolos, porque para este caso, la cantidad a secar era menor que en la época seca. Aunque era el mismo tamaño de las bandejas, pero se dispone mayor circulación de aire.

Durante la quinta hora de secado se observa para ambos casos que ha seguido aumentando la curva de pérdida de humedad, alcanzando 76.41 ± 2.35 %, con una temperatura del material de 35.35 ± 0.35 °C, la cual es muy similar a la temperatura registrada en la primera hora de secado. La temperatura de la cámara de secado es de 35.7 ± 0.2 °C.

Al momento de comparar el comportamiento que tiene el secado durante las 5 primeras horas, podemos observar que el proceso de pérdida de humedad del material se ha desarrollado con rapidez como se observa en la gráfica, así mismo se observa que a partir de la 6 y 7 hora, se inicia a elevarse menos de tal manera, que cuando el material tiene 9 horas de estar en el horno, el material tiene una pérdida de peso de 82.16 ± 0.62 y una temperatura de 31.3 ± 0.2 °C. En la cámara de secado la temperatura es de 29.9 °C.

Cabe destacar que, en este momento, es nuevamente de día por la mañana, y el sol tiene 1 hora, 50 minutos de haber salido nuevamente, después de 12 horas y 5 minutos de haberse ocultado, la noche anterior (INETER, 2013). Por tal razón la temperatura del material y la temperatura similar.

En la medida que avanza el tiempo, se puede observar en la gráfica, un aumento con menor velocidad en la pérdida de humedad, y que la desviación estándar es menor. Cuando han transcurrido 18 horas de estar las muestras en el horno durante el proceso de secado, la pérdida de humedad corresponde al 85.88 ± 0.72 % Comparando el proceso en las últimas 9 horas, se puede llegar a la conclusión que el agua que se estaba eliminando es la que estaba directamente ligada con la estructura celular, por lo tanto es más difícil de remover, el proceso es más lento, finalmente se llega al punto de estabilización se consideró cuando las variaciones entre más de seis horas de secado fuesen menores que el 1%.

Se identifica una diferencia entre los dos momentos de secados, por varias razones, el primer lugar, esto depende de la radiación solar, y por ser en dos épocas distintas, hay condiciones diferentes de humedad, así mismo es de suma importancia detallar que la cantidad de agua en los tejidos vegetales muestra variaciones relacionadas con las condiciones ambientales, sobre todo con el contenido de humedad en el suelo. Por lo tanto, el comportamiento del secado fue diferente.

4.2.2. Horno Artesanal.

i. Época Seca

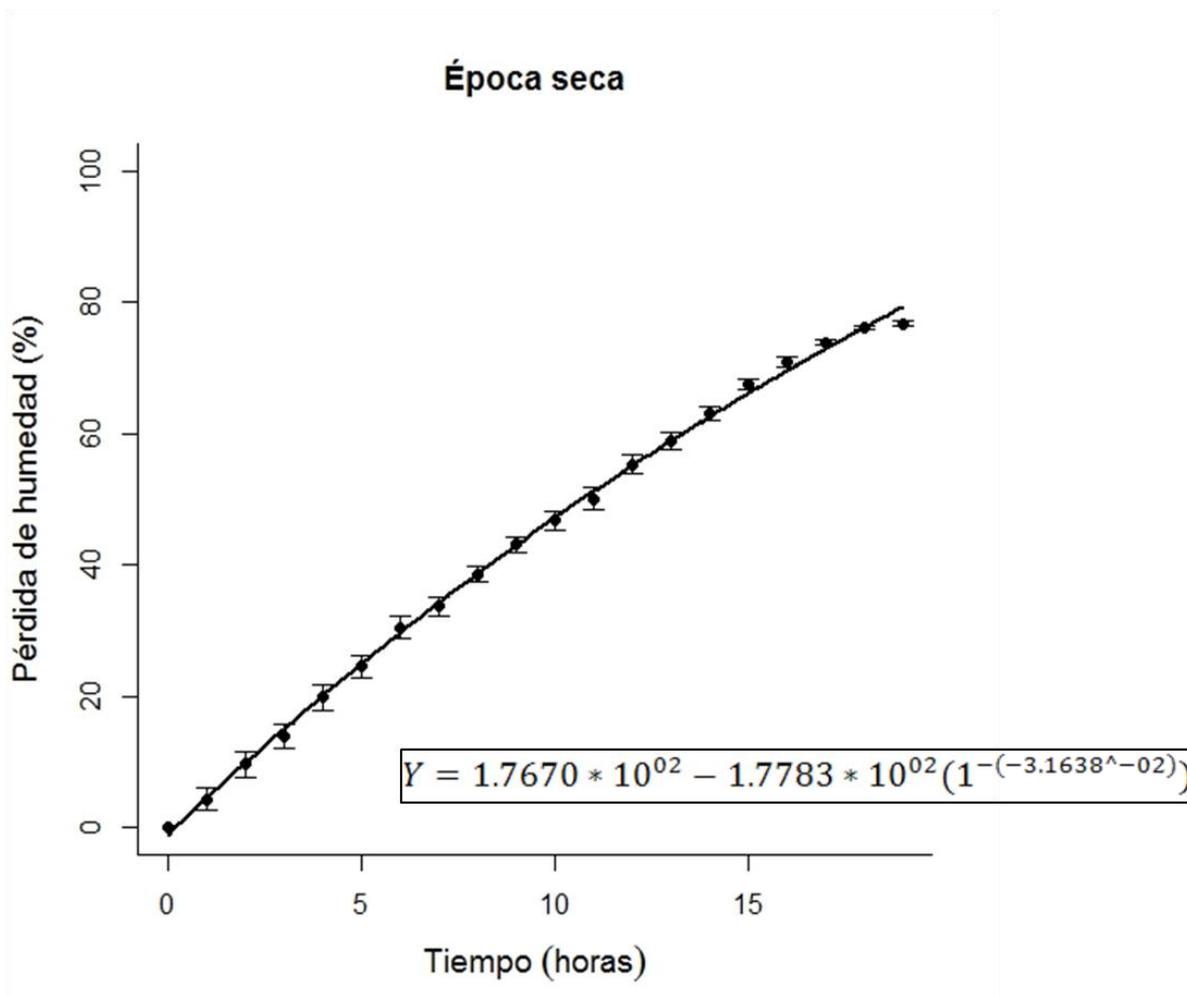


Gráfico 8. Curvas de Secado, Horno Artesanal, época seca.

El gráfico representa la curva de secado de las hojas de Marango durante la época seca, en el horno artesanal, para desarrollar este secado se deben hacer las regulaciones de temperatura de manera manual, debido a que este horno no posee un regular automático de temperatura, sino que la temperatura se debe de regular de manera manual apagando y encendiendo los bombillas con un sistema de ventilación es por convección natural.

El procedimiento fue similar a los otros hornos, como es descrito con anticipación, y podemos observar el comportamiento de la curva de secado. Durante la primera hora se cuenta con una temperatura del horno en 36 °C y la temperatura del material es de 33.05 ± 0.85 °C, se obtiene una pérdida de humedad del 5.05 ± 2.53 %, en este momento, este comportamiento en la curva de secado se puede asumir principalmente a la reducida diferencia que existe entre el medio calórico y el producto.

Por lo tanto se asume que el comportamiento en la curva de secado, en su primera hora es diferente de los otros procesos, por la temperatura al interior de la cámara de secado.

La temperatura del horno, va aumentando gradualmente a una relación de entre 4 y 7 °C por hora, procurando regularlo de manera manual, hasta obtener 45 °C al momento de la quinta hora de tener las muestras en el horno. En este momento se pueden observar dos aspectos, el primero es la temperatura del material que es de 41 ± 4.5 en este caso la desviación se puede considerar debido a la distancia que existe en las posiciones de las bandejas dentro del horno y la cercanía que se tiene con los bombillos, permite que exista un sistema de transferencia de calor combinados, similares a los presentados por Kreith, F. (2012)., Podemos identificar que se presenta radiación por medio de los bombillos que están ubicados dentro de la cámara de secado y convección por medio del sistema de ventilación. De tal manera que en este momento la pérdida de humedad del material corresponde a 25.02 ± 2.815 %.

En esta grafica se observa que la curva de pérdida de humedad manifiesta un comportamiento relativamente lento, sin aumentos en la pérdida de humedad bruscos, en comparación con los otros hornos que este comportamiento se presenta en las primeras horas, debido principalmente a la eliminación de agua libre como lo documenta Mahecha, M et al en 2010. Y ha sido descrito con anterioridad para indicar el proceso de pérdida de humedad de las hojas de Marango.

Cabe señalar que en este horno, a como lo indica el diseño (ver figura 3) tiene un limitado sistema para eliminar la humedad dentro de la cámara de secado, a pesar que no se logró obtener el dato preciso, pero se evidencia que dentro de la cámara de secado existe un alto porcentaje de humedad relativa, producto del agua eliminada de las hojas en proceso de deshidratación la cual queda en el aire, en su fase inicial de eliminación de agua, parte de esta sustancia ha sido condensada y se encuentra depositada en la base inferior de las bandejas, por lo tanto es indispensable realizar el volteado, principalmente por la necesidad de generar mayor ventilación y liberar la humedad contenida en la cámara. (Velázquez, 2012)

Las hojas de Marango al momento de la novena hora tienen una pérdida de humedad del $43.02 \pm 1.98\%$, se registra una temperatura del material de 35.55 ± 2.65 y una temperatura de la cámara de secado de 55 °C, podemos observar varios aspectos al momento de esta toma de muestras, en primera instancia la temperatura es mayor de lo que ha sido registrada en la cámara de secado, y es la temperatura máxima permitido durante este experimento. En este momento aún hay presencia de agua superficial principalmente ubicada en la base de las bandejas. Paralelo a esto se observa que existe un cambio de color en las hojas, y un encogimiento en las hojas que están en las capas o columnas superiores, así mismo la decoloración, o coloración amarilla dentro de las capas intermedias. Gumeta, C. (2010).

A las 18 horas de estar las hojas en el horno han perdido el 76.015 ± 0.455 % de humedad, a una temperatura de 48 °C, se observa que es cuando las muestras están iniciando a estabilizarse, y que las diferentes entre ellas es muy poca, se observa que las muestras están homogenizando sus características físicas durante este proceso de secado. Una hora más tarde, el comportamiento indica que las hojas de Marango están secas. Valorando de manera física por su apariencia encrespada y crujientes al tacto, como pasa con otras

especies una vez que están deshidratadas, como es el caso del Perejil, (Lema, A. et al. (2007).

ii. Época Lluviosa

Como parte de homogenizar los procesos, se deshidrató en época lluviosa en el horno artesanal, con el objetivo de valorar si las épocas o momentos de secado tendrían alguna incidencia en el comportamiento del secado de las hojas.

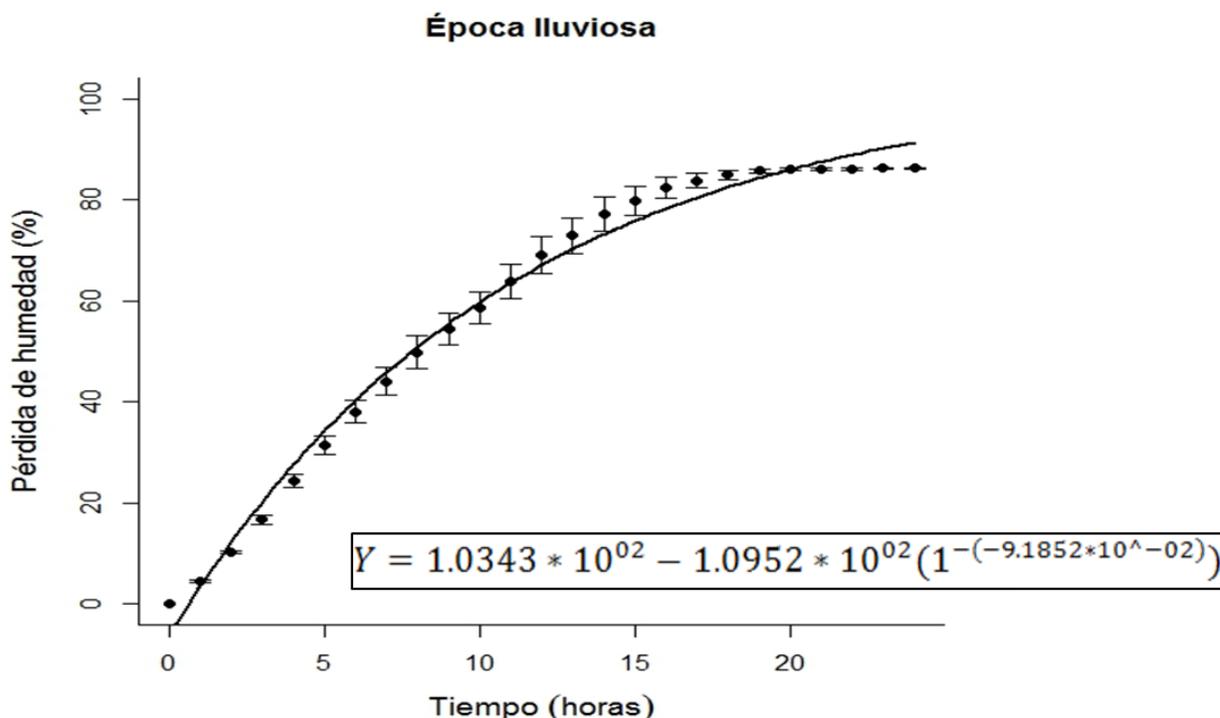


Gráfico 9. Curvas de Secado, Horno Artesanal, época lluviosa.

Durante la primera hora el horno tiene una temperatura de 40 °C y la temperatura del material es de 34.85 ± 1.85; y tiene un porcentaje de pérdida de peso del 4.4 ± 0.4 %, como puede observarse en la gráfica el comportamiento de este no es tan acelerado como en otros hornos.

Posteriormente a la 5ta hora el material tienen una temperatura de 34.2 ± 3.1 °C, la pérdida de húmeda manifiesta el 31.2 ± 3.0%, y tienen un comportamiento bastante estable sin pérdidas alarmantemente aceleradas, como se ha observado en otros procesos.

En la novena hora, el horno ha alcanzado los 50°C de temperatura, la pérdida de humedad indica una disminución del 54 ± 5.4%. De manera general se observa que en este momento es cuando las muestras tienen su comportamiento de secado diferente entre ellas, pero posteriormente se mantienen uniforme nuevamente los datos del secado de las muestras.

A partir de la observación en este proceso, en este momento es cuando se siente la presencia de sustancias en el aire, se identifica el olor característico a Marango en el

ambiente, y se relaciona con este proceso de secado sobre todo porque la cámara de secado no cierra herméticamente y funciona por convección natural, intercambiando con el ambiente.

Una vez que las muestras tienen 18 horas de estar en el horno, el horno tiene una temperatura de 51 °C, el material está menos caliente que el horno, 39.55 ± 1.75 °C y han perdido el $84.7 \pm 1.5\%$. a partir de este punto se observan características que determinan que las muestras están en la fase final del secado, debido a que entre mayor sea el diferencial de temperatura entre el medio calórico y el producto, mayor será la intensidad de transferencia de calor al producto, permitiendo una mayor energía para extraer humedad, solamente que en este caso, ya no queda mucha humedad por extraer, así que aunque exista una diferencia de más 10 °C, no es posible extraer mucha más agua, ya que la que estaba ligada libre ha sido extraída en este punto del secado.

Finalmente, a las 24 horas, el horno tiene una temperatura de 43°C, la pérdida de humedad es del 86.1 ± 0.3 y se observa en la gráfica que los datos están estrechamente unidos, y se observa que la curva ha dejado de crecer y se mantiene estable. En las muestras se observa que tienen las características típicas de material seco, las hojas crujientes al tacto, livianas y un tanto retorcidas o estremecidas.

4.2.3. Horno semi-industrial

i. Época seca

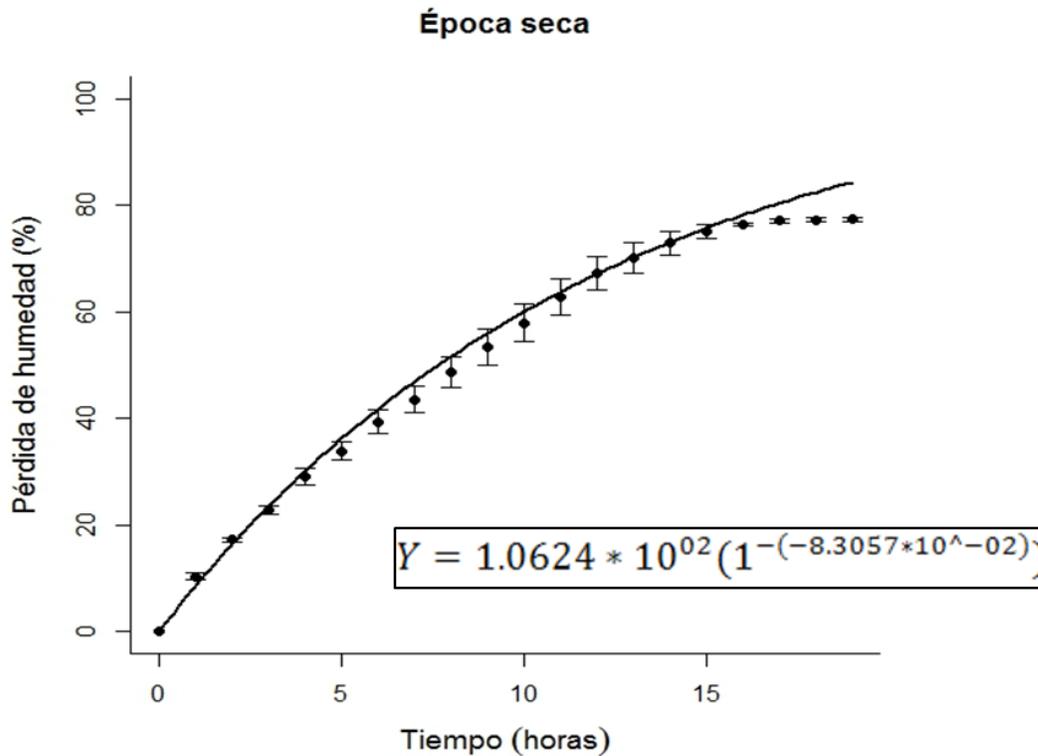


Gráfico 10. Curvas de Secado, Horno Semi-Industrial, época seca.

Cabe destacar que en este horno la temperatura del horno se mantiene constante durante todo el experimento, en 45 °C, al ingresar las bandejas al horno tienen una temperatura de 33.8 ± 0.1 °C. es decir que están más frescas que el material. En la primera hora, la temperatura del material asciende 37.65 ± 1.45 °C. e inicia su proceso de pérdida de humedad con el 10.295±0.635%. No hay olores a Marango identificables en este momento y la textura de las hojas es similar a la ingresada originalmente. Se observa que es el momento de la extracción del agua libre contenida en la superficie de las hojas más fácil de remover.

En la quinta hora, el material tiene un aumento de la temperatura, 38.5± 0.35 ° C y la pérdida de humedad es del 33.905 ± 1.655 %. La textura de las hojas es blanda en este proceso, el color es verde y el secado se desarrolla sin complicaciones. Se observa líquido color verdoso sobre la superficie de algunas hojas, sobre todo en la parte intermedia de la columna del material, se procede a mezclarlas entre sí, para evitar que se peguen y dañe el proceso.

En la novena hora, se observa que la temperatura del material se ha mantenido en el rango de los 38 ° C, con 38.3±0.1 ° C y la pérdida de humedad es del 53.38±3.28%, similar a los otros hornos, se aprecia al momento de abrir la cámara de secado, el olor característico de

Marango, las hojas mantienen una tonalidad verde, y se desarrolla el proceso de describe Welti, (2001) donde se describe el proceso de retirar el agua en los espacios inter-celulares.

Al momento de la decimoquinta hora, se observa que el proceso de secado, deja de crecer tan aceleradamente e inicia el proceso de estabilización, donde la perdida de humedad es menor, y las muestras se homogenizan en las características relativas al proceso de secado, donde intervienen las variables evaluadas. A la decimonovena hora, la temperatura del material es de 39.7 ± 0.6 ° C y la pérdida de humedad es de $77.32 \pm 0.44\%$ y tiene un incremento mínimo en las últimas 3 horas. La apariencia del material es crujiente, color verde y olor característico. Por lo tanto, se considera que el material está deshidratado correctamente.

Con la deshidratación en este horno, se observa que existe una variación en el comportamiento de la temperatura del material, que no es proporcional con el comportamiento de la curva de secado, y es exclusivamente del proceso mismo, debido a que la temperatura del horno estuvo contante durante el proceso, distinta a las condiciones en los otros hornos.

ii. Época lluviosa, Horno Semi-Industrial

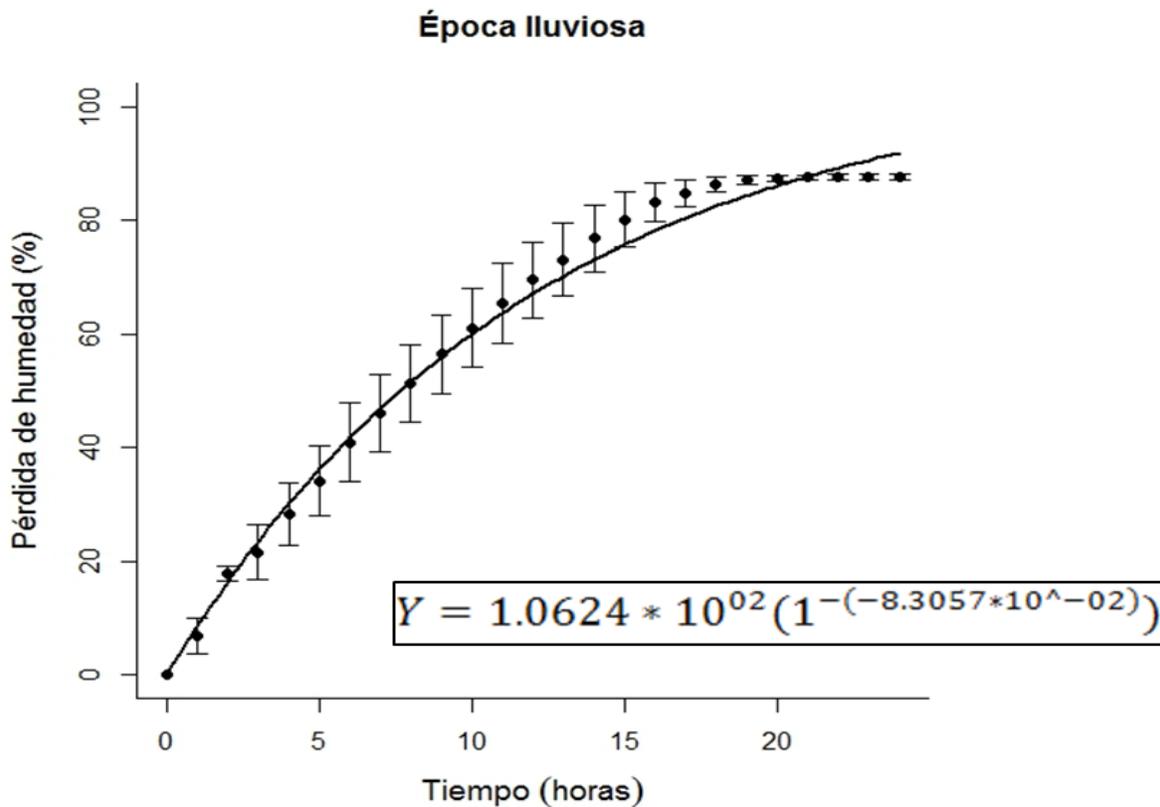


Gráfico 11. Curvas de Secado, Horno Semi-industrial, época lluviosa.

Durante la época lluviosa, se mantuvo el criterio de que la temperatura del horno fuese constante a 45° C. Al momento del ingreso de las bandejas en el horno estas tenían una temperatura de 27.8 ± 0.1 ° C, se observa homogéneo el material contenido dentro de las bandejas.

Durante la primera hora se observa que una de las bandejas no tiene el comportamiento similar a las otras, y su pérdida de humedad es más lento, y su temperatura un poco mayor que las otras, por lo tanto en la primera hora la temperatura del material es de 36.25 ± 1.35 ° C y la pérdida de humedad es de $5.7 \pm 5.1\%$.

En la quinta hora, cuando se está desarrollando la fase de extracción de agua libre, y superficial, la temperatura del material es de 39.75 ± 0.35 ° C y la pérdida de humedad es de 31.9 ± 9.9 una vez más se observa que una de las bandejas del experimento tiene un comportamiento evidentemente más lento y provoca que existan una amplitud entre los datos. (Ver gráfica 11). La textura de las hojas es blanda, la coloración es verde, y esto es igual para las tres bandejas.

En la novena hora, la temperatura del material ha seguido aumentando, 40.45 ± 1.15 , pero en este punto, es evidente la diferencia entre la pérdida de humedad de las variables, $54.6 \pm 11.4\%$; se observa que la misma bandeja que en un inicio presentó un retraso en el secado, o bien que el proceso ha sido más lento, en contraste con esto, las otras bandejas que están en la misma cámara de secado, tienen comportamiento similar entre ellas, y distinto con la bandeja que desde la primer hora estaba secando más lento. El olor es característico a Marango y el color del material en las tres bandejas es verde.

A partir de la hora decimonovena, las tres bandejas inician a homogenizar sus valores de pérdida de humedad, el secado, a como se muestra en la gráfica está estable. Durante la vigésimo cuarta hora la temperatura del material es de 41.2 ± 1.9 y la pérdida de humedad es de $87.7 \pm 0.7\%$ que se ha mantenido con mínimas variaciones durante 6 horas. La textura, color, olor y comportamiento indican que las hojas, peciolo y peciolulo de Marango están deshidratados.

Durante este proceso se queda evidenciado que aunque las muestras tengan el mismo peso y las mismas características al ingresar al horno, su proceso dentro es variante, aunque al final, las muestras se homogenizan, estabilizan y tienen las mismas condiciones en color, olor y textura. Al final los datos de pérdida de humedad son muy similares entre ellos.

4.3. Características Sensoriales

Los análisis sensoriales, como lo define Ureña et. al., (1999) es un método experimental mediante el cual jueces perciben, califican, caracterizando y/o midiendo las propiedades sensoriales de muestras adecuadamente presentadas, bajo condiciones ambientales preestablecidas y bajo un patrón de evaluación, acorde al posterior análisis. (Sanchinelli, 2004)

El desarrollo de los descriptores sensoriales es de suma importancia puesto que permite la generación-selección y puesta en común de descriptores sensoriales de un alimento, los cuales podrán ser empleados para la promoción y clasificación de los alimentos dentro de la dieta o para fines de control de calidad (Sanchinelli, 2004)

4.3.1. Color

Independientemente del proceso de secado, todas las muestras de hojas de Marango deshidratado tuvieron un color verde, el mismo se determinó basándose en la tabla de colorimetría desarrollada durante este estudio. Al momento de comparar con el estudio de descriptores sensoriales del polvo artesanal de hojas de Marango de Sanchinelli, (2004) ella lo identifica como verde musgo oscuro opaco que corresponden a los tonos 5743 U y 5747 U según la referencia de Colores Colorpak “Pantone”, 1991-1992, mismo que al momento de compararse con el presente estudio no coinciden, puesto que estos tonos son más oscuros, en caso de hacer una comparación con la misma escala de Pantone podríamos definir en las escalas 369 U, 376 U y 375 U. como los tonos más apropiados para definir el color. Resulta complejo definir un único tono, debido a que el Marango es susceptible a daños por oxidación y eso se manifiesta en la tonalidad de verde que puede presentar.

Por lo antes descrito se identifica que el color de las hojas de Marango una vez secas, indistintamente del horno en el que se haya deshidratado, o la época de secado, siempre será Verde, éstas caben dentro de las escalas antes descritas y son poco similares a las presentadas en otros estudios. Los tonos más oscuros pueden deberse a problemas en el secado y se presume pueden tener alteraciones en la composición química, por reacciones con el calor. Puede atribuirse el color deseable a la temperatura del secado, y como lo manifiesta García, (2014) “se encontró que el mejor tratamiento que conserva el color para las dos hierbas aromáticas está entre las temperaturas de 40 y 50 °C”, dichas temperaturas son las desarrolladas en este experimento.

4.3.2. Olor

El olor que se determinó por el panel de jueces no expertos los cuales indicaron que el olor es característico, lo que corresponde al aroma a césped cortado, hierbas verdes. Igualmente es diferente del olor que se indica en Sanchinelli, (2004); donde hace referencia a un olor “dulce” a hoja seca, y recuerda a olor de la cáscara seca de café. Los jueces indicaron que no les recuerda a olor de la cáscara seca del café, y queda establecido únicamente como “Característico”.

El olor de tipo característico presente en todos los procesos de secado, y en cada una de sus épocas, indica que el proceso de secado fue exitoso, en caso contrario, podría indicar que el material esta quemado, ahumado o con presencia de moho, si hubiese exceso de humedad o disconformidad en el proceso de secado, o si el lugar de deshidratar las hojas se quemaron. Un olor extraño es un posible indicador que no se desarrolló correctamente el proceso de secado y no se recomienda que sea consumido como extracto foliar.

4.4.3. Textura:

Existe un cambio de textura en las hojas y pecíolos de Marango que han sido deshidratadas, esto es debido a las condiciones externas: temperatura, humedad, flujo de aire, área de la superficie expuesta y presión. Este cambio de apariencia se reporta en las etapas iniciales, para todos los casos en las primeras 10 horas de haber ingresado el material al horno, cuando la humedad de la superficie está siendo removida.

La causa principal es la excesiva evaporación en la superficie del material; después que la humedad ha sido removida, da lugar a altos gradientes de humedad del interior a la superficie. Este fenómeno es causado por las altas tensiones dentro del material, teniendo como resultado agrietamiento, encogimiento y deformación.

Por lo antes descrito, se observa que en diferentes procesos la apariencia de las hojas sufre variaciones en comparación con las hojas frescas ingresadas, este efecto se manifiesta en todos los hornos y en las dos épocas, por lo tanto no representa una diferencia entre hornos, y fue un indicador para determinar si estaban deshidratadas correctamente, ya que cuando estaban livianas, crujientes al tacto, quebradizas y de textura gruesa. Las hojas de Marango durante el proceso se retuercen, se quiebran con el tacto, pero no se pulverizan.

4.4.Resultados de Composición Química

4.4.1. Contenido de humedad en el material

Tabla 1. Contenido de Materia Seca, expresada en porcentajes

Épocas	Tipo de Secado		
	Solar (%)	Artesanal (%)	Semi-industrial (%)
Seca	19.655 ± 0.895	22.68 ± 0.44	23.21 ± 0.58
Lluviosa	14.12 ± 0.72	12.3 ± 0.7	13.9 ± 0.3

Los contenidos de humedad del material mostraron diferencias numéricas entre hornos y épocas, sin embargo, puede notarse que el rango diferencial entre hornos es menor al que se presenta entre época, así, los valores para época seca son 21 ± 2.515 y los de época lluviosa 13.22 ± 1.62 .

Los valores de Humedad, reportados por Mendieta, (2011) para harina de hojas de Marango, son de 15.27 %, dicho valor contenido entre estos valores, lo cual indica que los valores obtenidos están dentro del rango aceptable.

Al momento de comparar con otros valores de humedad de hojas de Marango, como los planteados por Jarquín y Rocha (2013) estos manifiestan 17.02% con 45 días de corte, 15.71% con 60 días de corte y 15.10% con 75 días de corte del rebrote del material que fue

utilizado por ellos. Dichos resultados quedan intermedios entre los valores obtenidos en este ensayo. Sin embargo, ellos utilizaron el horno semiindustrial para sus secados e investigación se desarrolló en agosto-noviembre del año 2012 en la que se considera época lluviosa

Del mismo modo, González y Bordas, (2008) refieren a los porcentajes de humedad del material con valores similares a los obtenidos en la segunda época de secado. Debido a que estos caben entre el rango de 14.52 % y 12.75%.; estos son menores a los obtenidos en la primera fase de secado.

Reyes (2004) indica que el porcentaje de humedad de las hojas frescas de Marango es de del 21%, valor que se asemeja a los datos obtenidos en el horno artesanal durante la época seca, y no son muy distantes de los obtenidos en esa misma época por el horno solar.

El porcentaje más alto está referido por el horno semi-industrial, en la época seca, pero este dato es menor al referido al referido por otros autores (Melik, et al., 1967.) que manifiesta 42.7% de humedad de las hojas frescas de Marango, que a su vez es citado por González y Bordas, 2008.

Guevara y Rovira, (2012); refiriéndose a Doerr y Cameron, (2005) las variaciones del contenido de humedad entre extractos o entre las distintas partes de la planta pueden deberse al tratamiento de secado usado durante su procesamiento, condiciones de almacenamiento y tipos de empaque. En este sentido las condiciones de almacenamiento y tipos de empaque fueron las mismas, por lo tanto se confirma que las variaciones son debidas al proceso de secado de las hojas de Marango.

Por lo antes descrito, los valores obtenidos, nos indican que en la época seca, los valores de humedad son mayores, indistintamente del horno en el que se deshidratan, en la época lluviosa los valores son menores, pero los valores de la Materia Seca de Marango son variantes y son similares a los indicados por otros autores.

Existe una influencia entre el proceso de secado respecto a los valores de humedad, porque el material se obtuvo de las mismas parcelas, de manera simultánea por cada momento de secado, se mezcló, lavó y proceso juntos por lo tanto, las variaciones están ligadas con el proceso de secado.

4.4.2. Contenido de Proteína Bruta

Tabla 2. Contenido de Proteína Bruta (PC) del extracto foliar de Marango de acuerdo al tipo de secado.

Proteína Bruta	Testigo	Horno Solar	Horno artesanal	Horno semi-industrial
%	23.96	25.6 ± 0.09	35.37 ± 0.54	33.23 ± 0.34

En el caso de Proteína Bruta, no se realizó comparación por épocas de secado, se estableció un parámetro de comparación determinado como “Testigo” que es una muestra del mismo material pero deshidratado de la manera normal en el laboratorio de Bromatología de UNA, como parámetro de comparación.

Para los hornos artesanal y semi-industrial, no se asocia la diferencia entre los contenidos de proteína por condiciones edafológicas y climáticas en las que fueron crecidas las plantas, el estado vegetativo o la madurez fisiológica de las mismas, debido a que las hojas fueron cortadas del mismo sitio, con el mismo estado de madurez fisiológica, seleccionadas y lavadas juntas. Esto se plantea principalmente por Songsak (2010). Quien indica que un alto contenido de nitrógeno en el suelo, producto de la adicción de estiércol, aumenta el contenido proteico a nivel de las hojas y demás partes de la planta; pero este argumento puede sustentar en general la razón por la cual el valor es superior a lo planteado por otros investigadores respecto al contenido de proteína en las hojas de Marango.

Según Guevara y Rovira (2012); donde se realiza una caracterización de tres extractos de Marango se manifiestan valores de 23.92 ± 0.36 , 22.65 ± 0.28 y 14.23 ± 0.02 para los valores de Proteína, todos estos inferiores a los valores obtenidos en este estudio. Sin embargo para este caso si aplica la posibilidad de variaciones por las condiciones de donde fueron tomadas las hojas.

En el caso de González y Bordas, (2008), indican que los resultados son menores que los obtenidos en el horno artesanal y semi-industrial. Tal es el caso que como resultado del experimento, manifiestan que los mayores porcentajes de proteína bruta, 33.74% los obtienen con corte realizados a las 7:00 am, con una de 40 días de rebrote. Dato similar al obtenido en el horno semi-industrial.

Así mismo Sanchinelli, (2004) Refleja un valor de 23.81% de proteína para las hojas de manera deshidratada, brindándonos un punto importante de comparación, debido a que en este estudio se presenta también el contenido en los tallos y flores, siempre siendo superior el de las hojas. Y aunque este valor es similar al valor más alto citado anteriormente, aún siguen siendo mayores los valores manifestados en los presentes resultados. De igual modo Reyes, (2004) manifiesta un valor menor de Proteína bruta contenido en las hojas frescas de Marango, 21.5%. Por lo tanto, en relación con otras investigaciones que presentan datos de Proteína, se observa que el valor fue mayor, principalmente en el horno artesanal y se presume que está ligado con el proceso de secado.

Por su parte Mendieta, *et al* (2011) indica que los valores son de 292 g kg de MS⁻¹ para la harina de hojas de Marango. El resultado de este experimento plantea que los valores obtenidos caben dentro de los parámetros establecidos y citados por otros autores, por lo tanto, se presume que el contenido de Proteína es un valor variable y que los resultados en este experimento son valores normales.

4.4.3. Contenido de Fibra Bruta

Tabla 3. Contenido de Fibra Bruta (FC) del extracto foliar de Marango de acuerdo al tipo de secado.

	Testigo	Horno solar	Horno artesanal	Horno semi-industrial
Fibra Bruta	10.42	8.565 ± 0.315	9.41 ± 0.84	9.745 ± 0.685

En el caso del contenido de Fibra Bruta, no se tienen datos por época de secado, y se tienen los datos de una muestra testigo, como parámetro de comparación, la muestra testigo es material recolectado de las mismas plantaciones.

Gonzales y Bordas, (2008), en la compilación de datos, manifiestan valores superiores a los encontrados en este experimento. Estos valores son muy similares a los identificados por Reyes, 2004 donde indica que la fibra bruta representa el 17.9%. Aunque los resultados obtenidos son similares a los planteados por Sanchinelli, (2004), que hace referencia al 9% de fibra para las hojas de Marango (Fuglie, 1999).

Los resultados obtenidos para fibra bruta quedan contenidos dentro de los planteados por Guevara y Rovira, 2012; estos calculados en base seca. Las variaciones pueden deberse a la edad de las plantas usadas, el estado vegetativo, lo cual aumenta el contenido de fibras y disminuye el contenido proteínico. (Becker y Makkar 2001)

En conclusión se determina que la cantidad de Fibra Cruda contenida en el extracto de las hojas de Marango indica que los valores son normales y están dentro de los parámetros establecidos por otros autores, porque las diferencias se pueden atribuir a los diferentes procesos de secado.

Tabla 4. Resultados de Análisis Bromatológicos

Análisis	Testigo	Horno solar	Horno artesanal	Horno semi-industrial
EE (%)	7.75	6.695 ± 0.43	6.21 ± 0.68	6.01 ± 0.37
CENIZA%	9.72	9.44 ± 0.04	9.95 ± 0.37	10.02 ± 0.12
ELN%	48.15	49.805 ± 0.87	39.635 ± 0.76	41.19 ± 0.58
FND	22.04	18.84 ± 0.87	27.05 ± 5.18	25.845 ± 1.29
FAD	13.23	12.18 ± 1.02	11.89 ± 0.52	12.14 ± 0.65

EE: Extracto etéreo, Ceniza: Ceniza, ELN: Extracto libre de nitrógeno, FND: Fibra neutro detergente, FAD: Fibra ácido detergente.

En el caso de los resultados Bromatológicos no se tiene una comparación por épocas de secado, adicionalmente se tiene la comparación con una muestra testigo que se obtuvo con a partir del mismo material deshidratado en los hornos, deshidratado con el procedimiento tradicional.

4.4.4. El extracto etéreo

El **extracto etéreo** o porcentaje de grasa bruta, obtenido en este estudio es un poco superior a lo manifestado por Reyes, (2004), donde señala el valor promedio de 5.4% de grasa para hojas frescas.

4.4.5. Ceniza

Al momento de observar, los datos de **ceniza** obtenidos por Jarquín y Rocha, (2013), están apenas por debajo de los obtenidos en este experimento, y estos fueron calculados en el mismo laboratorio, con el mismo procedimiento que se desarrolló la presente investigación. Por lo tanto, estas variaciones son atribuidas a las diferencias que existen entre los hornos, y los procesos de secado. Los resultados de este experimento están por debajo de los planteados por Reyes, (2004) donde hace referencia que la cantidad de cenizas contenida en las hojas de Marango es del 11.5%.

4.4.6. Extracto libre de nitrógeno

El **Extracto libre de nitrógeno** indicado por Reyes, (2004), es similar al obtenido en el horno solar. Que es de 48.7% en contraste con los demás datos, obtenido por los hornos artesanal y semi-industrial que son menores a esta proporción.

4.4.7. Fibra neutro detergente

La **fibra neutro detergente** planteada por Reyes, 2004. Es de 28.8% para hojas frescas. Y en el caso de Mendieta, B. (2011) para la harina de hojas de Marango el dato es de 161 g, por lo tanto los valores expresados en este ensayo corresponden dentro de los rangos manifestados por otros autores. En el caso del Horno Artesanal que los valores son variantes, se considera esto que puede ser por las características propias del proceso de secado.

4.4.8. Fibra acido detergente

La concentración de **fibra acido detergente**, son similares entre los tres hornos, menores que el testigo y similares a los planteados por Reyes. 2004. De 11.4% de fibra ácido detergente. Mendieta, B. (2011) indica que los valores para harina de hojas de Marango es de 151 g, los cuales son un poco superior a los planteados en este ensayo, pero de igual modo se consideran que esto es debido al proceso de secado.

4.4.9. Contenido de Fosforo (P) y Calcio (Ca)

Tabla 5. Contenido de Fosforo (P) y Calcio (Ca) del extracto foliar de Marango de acuerdo a su tipo de secado.

	Testigo	Horno solar	Horno artesanal	Horno semi-industrial
P	0.39	0.305 ± 0.075	0.465 ± 0.025	0.43 ± 0.02
Ca	1.00	1.11 ± 0.2	0.815 ± 0.765	1.535 ± 0.115

Se considera que las variaciones entre los datos están estrechamente ligadas con los procesos de secado, y no con el material a deshidratar. Se aprecia que el horno artesanal tiene una diferencia importante entre los valores obtenidos, y se presume que es debido al tipo de horno.

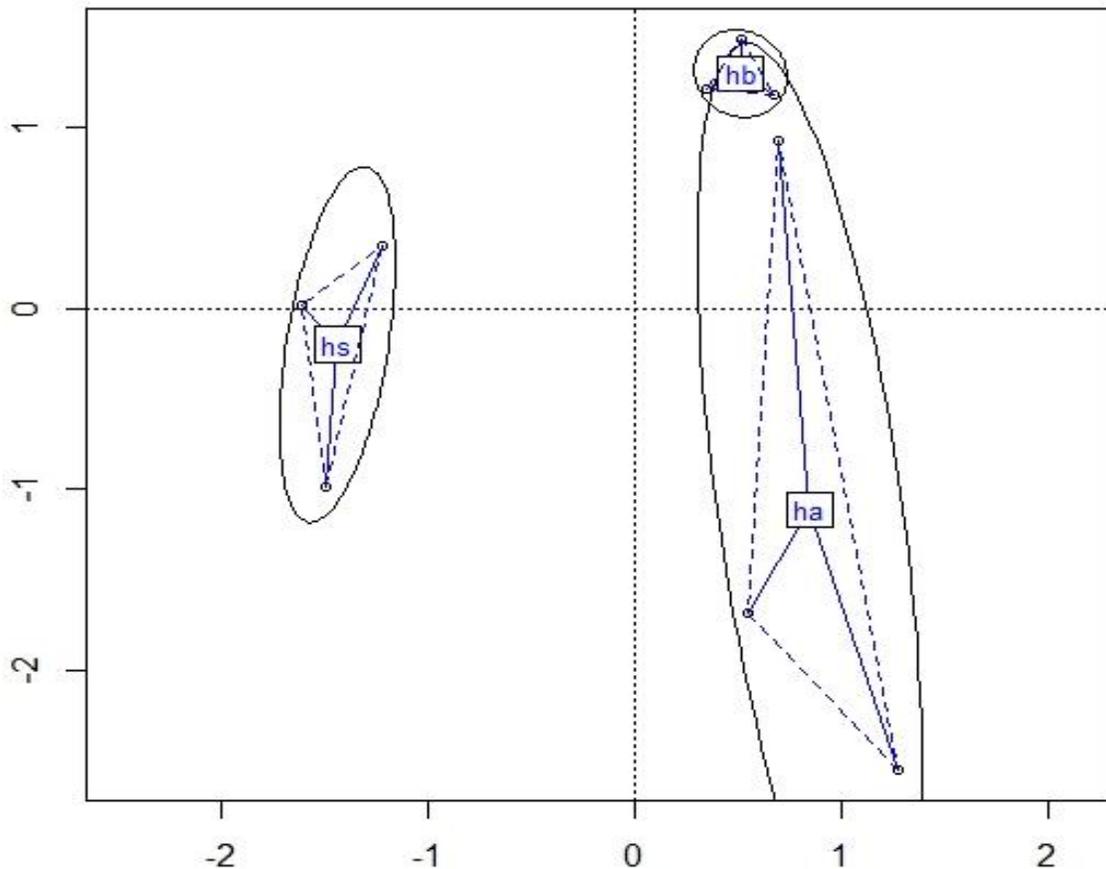
4.4.10. Variación en la composición nutricional del extracto foliar.

Al momento de realizar un análisis de la variación en la composición nutricional del extracto foliar de Marango atribuida a los diferentes hornos se utilizó un análisis de correspondencia canónica, la significancia del efecto de los hornos se realizó utilizando una prueba de permutación en la cual se hicieron 499 permutaciones.

Esto presenta como resultado la gráfica 12 donde se pueden apreciar las elipses que forman los hornos, cuanto más cerradas están entre sí, indica que las muestras deshidratadas en estos hornos tuvieron menor variabilidad de acuerdo a los análisis de laboratorio, y cuanto más

dispersas indican que sus valores tuvieron valores con mayor variabilidad entre las bandejas que se deshidrataban en el mismo momento, bajo las mismas condiciones.

Como se puede apreciar el Horno Semi-Industrial es el que tiene menor variabilidad entre sus características químicas, y esto se puede atribuir al nivel de tecnología que tiene este horno, y el sistema eficiente para eliminar la humedad en una cámara de secado herméticamente cerrada.



Grafica 12. Variación en la composición nutricional del extracto foliar

El horno solar, presenta una variabilidad intermedia de sus características químicas, y de igual modo, se atribuye a la eficiencia en el proceso de secado.

Por el contrario el horno artesanal es el que tiene la elipse más grande, con datos más dispersos, por lo tanto nos indica que presentó mayor variación entre sus muestras.

Por lo tanto, se determina visualmente que el horno semi-industrial tiene menor variabilidad en la composición químicas del extracto de Marango y esto puede estar relacionado con el proceso de secado en los diferentes hornos.

V. CONCLUSIONES

Las de curvas de secado, determinan que las muestras se inician a estabilizar a partir de la décimo novena hora de secado y a partir de este momento tienden a perder constantemente menos del 0.5% de humedad.

Estadísticamente los procesos de secado **son diferentes entre sí**,

- En el **horno solar** el secado es diferente entre épocas, los valores de la asíntota y la tasa de crecimiento son significativos y no así los del intercepto, por lo tanto queda se utilizó un modelo de dos parámetros, donde los residuales del modelo son homocedásticos y no se distribuyen con normalidad.
-
- Para el **horno artesanal** hay diferencias significativas entre la asíntota, el intercepto y la tasa de crecimiento, por tal razón queda seleccionado el modelo de tres parámetros, existen diferencias entre épocas y los residuales del modelo son heterocedásticos y se distribuyen normalmente.
- En el caso del **horno semi-industrial** se utiliza un modelo de dos parámetros porque no es significativo el aporte del intercepto al modelo, No hay diferencias entre épocas y son homocedásticos, y no se distribuyen con normalidad.

Queda evidenciado que los procesos de secado no indican una diferencia entre el olor, color o textura. Por lo tanto indistintamente del horno en el que se deshidraten bajo los procesos indicados y en estas condiciones, tendrá un olor característico, serán de color verde, de textura gruesa, crujiente y liviana al tacto.

El horno solar es el que permite secar mayor cantidad de manera simultaneada, tiene el menor consumo energético y por lo tanto el menor costo por energía eléctrica, lo que se refleja en un menor costo por kilogramo; tiene una intermedia variabilidad con los resultados de los análisis químicos.

El horno artesanal es un horno que presenta mayor variabilidad en los análisis químicos, con una cámara de secado de tamaño intermedia, con el mayor consumo energético, que representa mayor costo que los otros hornos, pero un costo por kilogramo inferior al horno semi-industrial.

El horno Binder, semi industrial es el que tiene menor variabilidad entre los resultados de análisis químicos, en cada una de sus muestras, pero, es el más costoso en su relación por kilogramo y posee la cámara de secado más pequeña.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar modificaciones en el prototipo del horno artesanal, usando energía solar para desarrollar más estudios y obtener información de costos y eficiencia.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. (1979). Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Bol. Téc. Facultad de Agronomía Universidad de Chile
- Allier-González, A., & Sandoval-Torres, S (2011). Efecto de la velocidad del aire sobre la rapidez de evaporación en el secado de papa.
- Argaiz, A. (2000). Apuntes de Curso de Fisicoquímica de Alimentos. UDLAP. Sin publicar.)
- Aspurz, J. (2011). Obtención de curvas de secado de tomillo. Brasil: , Universidad Federal de Viosa. Minas Gerais. Brasil
- Becker y Makkar, 2001. The potencial of Moringa oleífera for agricultural and industrial uses. Managua, Nicaragua.
- Binder, 2015. Manual de Funcionamiento, APT.line ED. Estufas de secado y calentamiento de convección natural. Tuttlingen, Alemania. Febrero 2015.
<http://www.binder-word.com>
- Busso, A., Sogari, N., Arrieta, H. L. F., Tokeff, J. P., & Leyes, M. (2001). Optimización de un secadero solar de tipo gabinete: evaluación y modelización del proceso de secado y tipificación del producto seco. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 5, 02-31.
- Centeno Hernández, E., Reneses Guillén, J., & Sánchez Domínguez, J. J. (2007). Analogías para comprender la electricidad.
- Flores, J. 1983. Bromatología animal. III Edición, México. P.38,48. – 977-989.
- Fuglie, L. 1999. The miracle Tree: Moringa oleífera, Natural Nutrition for Tropics. Church World Service. Dakar, Senegal.
- García Navarrete, F. J. (2014). Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) y la Hierbabuena (Mentha spicata) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia
- González, F. Bordas M. 2008. Efecto de dos horas de corte y diferentes frecuencias de corte sobre la composición química del Marango. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.
- Guevara, J. Rovira, M. 2012. Caracterización de tres extractos de Moringa oleífera y evaluación de sus condiciones de infusión en sus características fisicoquímicas. Zamorano, Honduras.

- Gumeta Chávez, Carolina. (2010). Estudio del secado convectivo y de la extracción de celulosa a través del proceso organosolv a partir de *Agave atrovirens* Karw (Doctoral dissertation).
- Horton, H; Moran, L, Scrimgeour G, Perry M, Rawn, D. 2008; Principios de Bioquímica, IV Edición, México. Pearson Prentice Hall. El agua. P26-51.
- Jarquín, J. Rocha, J. 2013. Degradación rumial de la Materia Seca y Materia Orgánica del Follaje de Marango (*Moringa oleífera*) a diferentes edades de corte en vacas Reyna. Finca Santa Rosa, Managua, Nicaragua. Tesis de Graduación Ingeniería en zootecnia. Universidad Nacional Agraria.
- Javi, V., & Cadena, C. (2001). La Transferencia de Cocinas Solares en América Latina:¿ Utopía o Realidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Llamas, P. L. (2009). Eficiencia energética y medio ambiente. *Información Comercial Española, ICE: Revista de Economía*, (847), 75-92.
- Lema, A., Pontin, M., Sanmartino, A., Ziletti, M., & Martinello, M. (2007). Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11(8), 75-82.ual
- Madrigal H. *Moringa oleífera*. INIFAP- México.
- Mendieta-Araica, B. (2011). *Moringa oleifera* as an alternative fodder for dairy cows in Nicaragua (Vol. 2011, No. 34).
- Moreano Sinchiguano, F. (2007). Proyecto de factibilidad para la producción local y comercialización de plantas aromáticas deshidratadas para exportación
- Montoya, J. A., & Orozco, C. A. (2005). Secado Solar y Convencional de la *Guadua angustifolia*. *Scientia et Technica*, 1(27).
- Parrotta, J. *Moringa Oleifera* Lam, Resedá, árbol del rábano.
- PNUD, (2013) Informe Regional de Desarrollo Humano 2013-2014. Seguridad Ciudadana con rostro humano: Diagnostico y propuestas para América Latina (Octubre 2013).
- Poveda, M. (2007). Eficiencia energética: recurso no aprovechado. OLADE. Quito
- Reyes, N. 2004. Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Guía Técnica No. 5. Universidad Nacional Agraria.
- Sanchinelli, K. 2004. Contenido de Proteína y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleífera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias químicas y farmacia.

Songsak, T., S, Bunrathep. 2010. Nutrients and minerals content of eleven different samples of Moringa oleífera cultivated in Tailand. Departament of Pharmaceutical Chemistry. Tailandia.)

Ureña, P. M. O. y D'Arrigo, H. M. (1999). Evaluación Sensorial de los Alimentos. 1.^a Ed. Lima (Perú). Editorial Agraria, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Vega, A., Andrés, A., & Fito, P. (2005). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* L. cv Lamuyo). Información tecnológica, 16(6), 3-11.

Velásquez, C. (2012).Desarrollo de una Tecnología para secado de orégano tipo exportación

Vollmer G, Josst. D, Schenker W, Vreden N. 1999. Edición en la lengua española. Elementos de Bromatología descriptiva. Editorial ACRIBIA, S.A. P 13-14,19

Welti. (2001).(Welti Chanes. J. 2001. Novedades y alternativas para el procesamiento de frutas

VIII. ANEXOS

1. Valores de ecuación exponencial Horno Solar

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a1	84.424119	0.332183	254.149	< 2.2e-16 ***
a2	80.027068	0.453118	176.614	< 2.2e-16 ***
b1	0.496052	0.025438	19.501	< 2.2e-16 ***
b2	0.372228	0.028469	13.075	< 2.2e-16 ***

2. Valores de ecuación Exponencial Horno Artesanal

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a1	1.0343e+02	2.8274e+00	36.5828	< 2.2e-16 ***
a2	1.7670e+02	1.7023e+01	10.3803	< 2.2e-16 ***
b1	1.0965e+02	2.1688e+00	50.5587	< 2.2e-16 ***
b2	1.7783e+02	1.6618e+01	10.7011	< 2.2e-16 ***
c1	9.1852e-02	6.5295e-03	14.0673	< 2.2e-16 ***
c2	3.1638e-02	4.0334e-03	7.8441	1.446e-12 ***

3. Valores de Ecuación Exponencial Horno Semi-Industrial

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	1.0624e+02	3.1494e+00	33.734	< 2.2e-16 ***
b	8.3057e-02	5.5175e-03	15.053	< 2.2e-16 ***