



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
TUXTEPEC



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

TESIS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SECADO POR VENTANA
REFRACTIVA ASISTIDA POR ULTRASONIDO EN LA
CONSERVACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE
LA HOJA DE *Bauhinia forficata***

PRESENTA

IA ROCÍO SOLEDAD GARCÍA AVENDAÑO

DIRECTOR

DR. ERASMO HERMAN Y LARA

CO-DIRECTOR INTERNO:

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTORA EXTERNA:

DRA. ADRIANA MORENO RODRÍGUEZ

Autorización de Presentación Electrónica de Tesis

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax., 23/octubre/2024
Oficio No. DEP/CT-4781

C. ROCIO SOLEDAD GARCÍA AVENDAÑO
EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M22350802
PRESENTE

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE EL COMITÉ TUTORIAL INTEGRADO POR LOS CC. ERASMO HERMAN Y LARA, JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA, ADRIANA MORENO RODRÍGUEZ, ARACELI PÉREZ SILVA Y ROSELIS CARMONA GARCÍA REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO "EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SECADO POR VENTANA REFRACTIVA ASISTIDA POR ULTRASONIDO EN LA CONSERVACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA HOJA DE *Bauhinia forficata*." PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE TESIS DE ACUERDO AL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS.

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Ciencia y Técnica Presentes al Futuro

JULIÁN KURI MAR
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

ccp. Depto. Servicios Escolares
Archivo
MHC/emh*



EDUCACIÓN | **TECNOLÓGICO**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA | NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SECADO POR VENTANA REFRACTIVA
ASISTIDA POR ULTRASONIDO EN LA CONSERVACIÓN DE LOS
PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA HOJA DE *Bauhinia forficata***

Por

ROCIO SOLEDAD GARCÍA AVENDAÑO

Tesis propuesta al
Instituto Tecnológico de Tuxtepec
Como requerimiento para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Alimentos

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo, **Rocío Soledad García Avendaño** con Número de control: **M22350802**, RFC: **GAAR921202T54**, alumna de la Maestría en Ciencias en Alimentos, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, autora de la Tesis titulada “**Evaluación del efecto del secado por ventana refractiva asistida por ultrasonido en la conservación de los parámetros de calidad de la hoja de *Bauhinia forficata***”.

DECLARO QUE:

1. El presente trabajo de investigación y tema de la tesis presentada para la obtención del Título de Maestro en Ciencias en Alimentos es original y asignado por mi Director de tesis el **Dr. Erasmo Herman y Lara**, siendo resultado de mi trabajo experimental y escritura personal, el cual no he copiado de otro trabajo de investigación, ni utilizado ideas, fórmulas, ni citas completas, así como ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc. (en versión digital o impresa). Caso contrario, menciono de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor.
2. Declaro que el trabajo de investigación que pongo en consideración para evaluación no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni ha sido publicado en sitio alguno.
3. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones administrativas y/o legales por parte del Instituto, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en la tesis, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Asimismo, me hago responsable ante la Institución o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado. De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec.

Tuxtepec, Oaxaca a 18 de octubre del 2024

Rocío Soledad García Avendaño
Maestría en Ciencias en Alimentos



Identificación de reporte de similitud: oid:20755:382632272

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS 17 de Septiembre 2024 ROCIO.do
cx**

AUTOR

Rocío S. García Avendaño

RECuento DE PALABRAS

22408 Words

RECuento DE CARACTERES

117038 Characters

RECuento DE PÁGINAS

89 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.5MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 17, 2024 4:45 PM GMT-6

FECHA DEL INFORME

Sep 17, 2024 4:47 PM GMT-6

● **21% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 20% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 12% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Tuxtepec el día 18 de octubre del 2024, la que suscribe **Rocío Soledad García Avendaño** alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Alimentos con número de control: **M22350802**, adscrito al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, manifiesto que soy autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Erasmo Herman y Lara** y cedo los derechos del trabajo titulado: “**Evaluación del efecto del secado por ventana refractiva asistida por ultrasonido en la conservación de los parámetros de calidad de la hoja de *Bauhinia forficata***”. Al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a los correos: garciaeloise16@gmail.com y erasmo.hy@tuxtepec.tecnm.mx si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.



Rocío Soledad García Avendaño

DEDICATORIA

Con todo mi corazón a Dios por permitirme llegar tan lejos, por alcanzar mis sueños, quien en su infinita sabiduría me dio guía y dirección en mi vida para la realización de este trabajo.

Con amor a mis padres, Moisés García Jiménez y Rocío Avendaño Martínez por su cariño, apoyo, dedicación y estar siempre conmigo a lo largo de mi vida e impulsarme a alcanzar cada uno de mis logros académicos.

A mis hermanos Ivonne, Luisa y Héctor quienes a través de su amor, paciencia y consejos me enseñaron a nunca rendirme.

A Francisco de León Guerrero Salas y Juana Mora, por sus lecciones de vida y enseñarme el verdadero significado de resiliencia.

AGRADECIMIENTOS

Con especial gratitud al Dr. Erasmo Herman y Lara por su paciencia, dedicación y confianza para llevar a cabo esta tesis de Maestría bajo su dirección. Su apoyo ha sido esencial en mi formación como profesional, muchas gracias Dr. por compartir sus conocimientos conmigo.

A la Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez y Dra. Ivet Gallegos Marín, por su ayuda y sugerencias a lo largo de la realización de esta investigación y de mi formación académica.

A mi comité tutorial integrado por el Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Dra. Araceli Perez Silva y la Dra. Roselis Carmona García, por sus consejos y su disposición siempre a ayudarme mejorar este trabajo.

Al cuerpo académico de la maestría por haberme dado la oportunidad de continuar con mis estudios de Maestría en Ciencias en Alimentos.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por financiar los estudios de Maestría en Ciencias en Alimentos en este instituto.

García-Avendaño, R. S., Tecnológico Nacional de México campus Tuxtepec. Septiembre, 2024 “Evaluación del efecto del secado por ventana refractiva asistida por ultrasonido en la conservación de los parámetros de calidad de la hoja de *Bauhinia forficata*”. Director: Dr Erasmo Herman y Lara, Co-Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda y la Co-Directora externa: Dra. Adriana Moreno Rodríguez.

RESUMEN

El secado es una de las operaciones unitarias más utilizadas, ya que permite prolongar la vida de anaquel mediante la remoción de agua del alimento, sin embargo, las altas temperaturas afectan propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de éstos. Un método de secado alternativo que reduce el tiempo de proceso, gasto energético y conserva propiedades del producto es el secado por ventana refractiva (RW^{MR}), en este sistema la energía térmica se transfiere al agua, que circula por debajo de una película de plástico (MylarTM). Para aumentar la eficiencia del proceso y conservación de dichas propiedades se utilizan tecnologías previas al secado por RW^{TM} , en este caso el ultrasonido, que es un proceso no térmico que tiene efectos mecánicos, facilitando la difusión de la humedad del alimento. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del secado por ventana refractiva asistida por ultrasonido en los parámetros de calidad de la hoja de pezuña de vaca (*Bauhinia forficata*). Las hojas fueron obtenidas en el mercado central de Tuxtepec, Oaxaca, se ultrasonificaron por 1 min con una potencia de 200 W, posteriormente se secaron a 70 °C en el secador RW^{MR} y en un secador de charolas (CH). Se realizaron cinéticas de secado, se determinaron los parámetros de color, de textura (corte y punción), se analizó la capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de solubilidad en agua (CSA), poder de hinchamiento (PH), índice de encogimiento, análisis de a_w , contenido de polifenoles totales, flavonoides totales, actividad antioxidante, clorofila, citotoxicidad y actividad hipoglucemiante en muestras en fresco y secas con los tratamientos evaluados. Los datos fueron analizados con un análisis de varianza de una vía utilizando el software estadístico STATISTICA. Los tiempos de secado fueron 90, 120, 150 y 180 min para

RW-US, RW, CH-US y CH. El valor más bajo de a_w fue de 0.21 en RW-US encontrándose diferencia estadística significativa con los otros tratamientos usados. El menor valor de ΔE , fue el tratamiento RW-US con 34.48. En pruebas de textura de fuerza de corte, las hojas con menor resistencia a éste fueron las de RW-US con 14.72 N, mientras que las de punción fueron inversamente proporcionales en su comportamiento con 0.53 N en el mismo tratamiento. En la CSA y CAA los valores más elevados fueron en RW-US de 13.75% y 5.56 g agua/g materia seca respectivamente. Para el PH los valores más altos fueron los secados por RW-US con 9.95 g agua/g materia seca a 90 °C. En el efecto de encogimiento el espesor fue el que mostró mayor % de reducción. Con el tratamiento de RW-US, el contenido de polifenoles fue de 61.96 mg EAG/g extracto y el de flavonoides fue de 308.44 mg EQ/g extracto. En actividad antioxidante por DPPH⁺ el % de inhibición fue de 60.5 para RW-US y para el método ABTS⁺ fue 70.15% para RW-US como el mejor tratamiento, en este mismo secado se obtuvo la mayor cuantificación de clorofila con un contenido de 2.65 mg/g. En el ensayo de citotoxicidad fue probado en la línea celular J774.2 y ningún extracto resultó citotóxico por mostrar valores por arriba de 200 µg/mL. Para la actividad hipoglucemiante, los mejores tratamientos fueron RW^{MR}, RW-US y CH con 51.64, 39.7 y 41.95% de reducción de glucosa respectivamente. Los resultados muestran que el uso del secado RW^{MR} asistido con US conservó la mayoría de las propiedades físicas y químicas de las hojas de *B. forficata* obteniéndose un producto que podría incorporarse a un alimento con propiedades hipoglucemiantes.

García-Avendaño, R. S., Tecnológico Nacional de México campus Tuxtepec. September, 2024 "Evaluation of the effect of ultrasound-assisted refractive window drying on the conservation of *Bauhinia forficata* leaf quality parameters". Advisor: Dr. Erasmo Herman y Lara, Co-Advisor: Dr. Jesús Rodríguez Miranda and External Co-Advisor: Dra. Adriana Moreno Rodríguez.

ABSTRACT

One of the most used unit operations is drying since it allows shelf life to be prolonged by removing water from the food; however, high temperatures affect the physical, chemical and techno-functional properties of the food. An alternative drying method that reduces process time, energy expenditure and preserves product properties is refractive window (RWTM) drying. In this system, thermal energy is transferred to water, which circulates under a plastic film (MylarTM). To increase the efficiency of the process and preserve these properties, technologies are used prior to RWTM drying, in this case ultrasound, which is a non-thermal process that has mechanical effects, facilitating the diffusion of food moisture. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of ultrasound-assisted refractive window drying on the quality parameters of cow hoof leaf (*Bauhinia forficata*). The leaves were obtained in the central market of Tuxtepec, Oaxaca, they were ultrasonicated for 1 min with a power of 200 W, then they were dried at 70 °C in the RW dryer and in a tray dryer (TD). Drying kinetics were carried out, color and texture parameters (cutting and puncture) were determined, water absorption capacity (WAC), water solubility capacity (WSC), swelling power (SP), index were analyzed. shrinkage, a_w analysis, total polyphenol content, total flavonoids, antioxidant activity, chlorophyll, cytotoxicity and hypoglycemic activity in fresh and dried samples with the evaluated treatments. Data were analyzed with a one-way analysis of variance using STATISTICA statistical software. Drying times were 90, 120, 150, and 180 min for RW-US, RW, TD-US and TD. The lowest value of a_w was 0.21 in RW-US, finding a significant statistical difference with the other treatments used. The lowest value of

ΔE was the RW-US treatment with 34.48. In cutting force texture tests, the leaves with the lowest resistance to this were those of RW-US with 14.72 N, while those of puncture were inversely proportional in their behavior with 0.53 N in the same treatment. In the WSC and WAC the highest values were in RW-US of 13.75% and 5.56 g water/g dry matter respectively. For SP, the highest values were those dried by RW-US with 9.95 g water/g dry matter at 90 °C. In the shrinkage effect, the thickness was the one that showed the greatest % reduction. With the RW-US treatment, the polyphenol content was 61.96 mg GAE/g extract and the flavonoid content was 308.44 mg QE/g extract. In antioxidant activity by DPPH⁺ the inhibition % was 60.5 for RW-US and for the ABTS^{•+} method the % was 70.15 for RW-US as the best treatment, in this same drying the highest quantification of chlorophyll was obtained with a content of 2.65 mg/g. In the cytotoxicity assay, the extract was tested on the J774.2 cell line and no extract was found to be cytotoxic, showing values above 200 µg/mL. For the hypoglycemic activity, the best treatments were RWTM, RW-US and CH with 51.64, 39.7 and 41.95% glucose reduction respectively. The results show that the use of US-assisted RWTM drying preserved most of the physical and chemical properties of *B. forficata* leaves, obtaining a product that could be incorporated into a food with hypoglycemic properties.

Contenido	Pag.
Resumen	ix
Abstract	xi
Contenido	xiii
Lista de tablas	xvi
Lista de figuras	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Secado	3
2.1.1 Mecanismo de secado	4
2.1.2 Mecanismo de transferencia de calor	5
2.2 Clasificación de secadores	6
2.3 Secado por RW ^{MR}	6
2.4 Ultrasonido	10
2.5 <i>Bauhinia forficata</i>	11
2.5.1 Propiedades medicinales de <i>Bauhinia forficata</i>	13
2.6 Propiedades físicas de los alimentos	14
2.6.1 Análisis de color	14
2.6.2 Análisis de textura	15
2.7 Propiedades tecnofuncionales	15
2.7.1 Capacidad de absorción de agua	16
2.7.2 Capacidad de solubilidad en agua	16
2.7.3 Poder de hinchamiento	16
2.7.4 Índice de encogimiento	16
2.8 Propiedades químicas	17
2.8.1 Actividad del agua (a_w)	17
2.8.2 Compuestos polifenólicos	18
2.8.3 Flavonoides en <i>Bauhinia forficata</i>	20
2.8.4 Clorofila	21
2.9 Actividad biológica	22
2.9.1 Ensayo de citotoxicidad	22
2.9.2 Actividad hipoglucemiante	23

3. ANTECEDENTES	25
4. JUSTIFICACIÓN	28
5. OBJETIVOS	30
5.1 Objetivo general	30
5.5.2 Objetivos específicos	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1 Materia prima	31
6.1.1 Diseño experimental	31
6.2 Cinética de secado	32
6.3 Propiedades físicas	32
6.3.1 Determinación de color de hojas de Pezuña de vaca	32
6.3.2 Determinación de textura como fuerza máxima de ruptura por corte y Determinación de fuerza de punción	33
6.4 Propiedades tecnofuncionales	33
6.4.1 Capacidad de absorción en agua y capacidad de solubilidad en agua	33
6.4.2 Poder de hinchamiento	34
6.4.3 Coeficiente de encogimiento	34
6.5 Propiedades químicas	35
6.5.1 Determinación de la actividad de agua (A_w)	35
6.5.2 Determinación de polifenoles totales	35
6.5.3 Determinación de flavonoides	36
6.5.4 Capacidad antioxidante	36
A) Método 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH ⁺)	36
B) Método 2,2. azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico) o ABTS [•]	37
6.5.5 Determinación del contenido de clorofila	37
6.6 Actividad biológica	38
6.6.1 Ensayo de citotoxicidad	38
6.6.2 Actividad hipoglucemiante	39
6.7 Composición química	39
6.8 Diseño de experimentos y análisis estadístico	40

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
7.1 Materia prima	41
7.1.1 Efecto del tiempo y potencia sobre el área de formación de poros y color (a^*)	41
7.2 Cinéticas de secado	44
7.3 Propiedades físicas	45
7.3.1 Parámetros de color en las hojas de pezuña de vaca	45
7.3.2 Fuerza máxima de ruptura por corte (FMRC)	47
7.3.3 Fuerza de punción	48
7.4 Propiedades tecnofuncionales	49
7.4.1 Capacidad de absorción de agua (CAA) y Capacidad de solubilidad en agua (CSA)	49
7.4.2 Poder de hinchamiento	51
7.4.3 Coeficiente de encogimiento	52
7.5 Propiedades químicas	53
7.5.1 Actividad de agua (a_w)	53
7.5.2 Contenido de polifenoles totales y flavonoides totales	54
7.5.3 Capacidad antioxidante por los métodos DPPH ⁺ y ABTS [•]	56
7.5.4 Contenido de clorofila	58
7.6 Actividad biológica	60
7.6.1 Ensayo de citotoxicidad	60
7.6.2 Actividad hipoglucemiante	61
7.7 Composición química	63
7.8 Conclusiones	64
8. REFERENCIAS	66

Lista de tablas

Tabla No.	Descripción	Pag.
1	Clasificación de secadores en función de las generaciones	7
2	Características botánicas de <i>B. forficata</i>	13
3	Diseño experimental	31
4	Resultados del diseño experimental	41
5	Optimización del diseño factorial	42
6	Efecto de los diferentes tratamientos de secado sobre los parámetros de color en las hojas de <i>B. forficata</i>	46
7	Capacidad de absorción y solubilidad en agua en las hojas de <i>B. forficata</i>	50
8	Poder de hinchamiento en las hojas de <i>B. forficata</i>	51
9	Efecto de los diferentes tratamientos de secado en el coeficiente de encogimiento en las hojas de <i>B. forficata</i>	52
10	Análisis de actividad de agua en las hojas de <i>B. forficata</i>	53
11	Efecto de los diferentes tratamientos de secado sobre el contenido de polifenoles y flavonoides en las hojas de <i>B. forficata</i>	55
12	Efecto de los diferentes tratamientos de secado en el contenido de clorofila en las hojas de <i>B. forficata</i>	60
13	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en la Citotoxicidad de las hojas de <i>B. forficata</i>	61
14	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en la actividad hipoglucemiante de hojas de <i>B. forficata</i> .	62
15	Composición química de la hoja <i>B. forficata</i> en fresco vs la hoja seca del mejor tratamiento de secado.	63

Lista de figuras

Figura No.	Descripción	Pag.
1	Esquema del sistema de secado por RW ^{MR}	8
2	Efectos del ultrasonido en alimentos antes del secado	12
3	Hoja de pezuña de vaca	13
4	Clasificación de los polifenoles y flavonoides	19
5	Estructura química de la clorofila	21
6	Secador por RW ^{MR}	32
7	Texturómetro TA – XT plus	33
8	Gráfica de superficie de respuesta del efecto de tiempo y potencia del ultrasonido sobre área de formación de poros en la hoja de <i>Bauhinia forficata</i>	43
9	Cinética de secado a 70 °C de hojas de <i>B. forficata</i> bajo diferentes tratamientos de secado.	45
10	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en la fuerza máxima de ruptura por corte en hojas de <i>B. forficata</i>	48
11	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en la fuerza de punción en hojas de <i>B. forficata</i> .	49
12	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en el % de inhibición por el método DPPH ⁺	57
13	Evaluación de los diferentes tratamientos de secado en el % de inhibición por el método ABTS ^{•+} .	58