

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES DE YECAPIXTLA

**“SECADO DE NANCHE Y GUAJE USANDO UN SECADOR SOLAR
INDIRECTO DE FLUJO FORZADO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ROBÓTICA Y SISTEMAS DE MANUFACTURA
INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

C. JOSÉ DE JESÚS BARRERA DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. ÁNGEL TLATELPA BECERRO

YECAPIXTLA, MORELOS, AGOSTO 2022



ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES DE YECAPIXTLA

DIRECCIÓN



Yecapixtla, Morelos, 09 de agosto de 2022
EESY/239/2022
Asunto: Aprobación de tesis

C. JOSÉ DE JESÚS BARRERA DÍAZ

PRESENTE

Por este conducto, le notifico que su tesis de Ingeniería titulada:
"SECADO DE NANCHE Y GUAJE USANDO UN SECADOR SOLAR INDIRECTO DE FLUJO FORZADO"
fue aprobada en su totalidad por el jurado revisor y examinador integrado por los ciudadanos:

Table with 2 columns: NOMBRE and FIRMA. Rows include Mtro. Guillermo Raúl Carbajal Pérez, Dr. Félix David Olivos Juárez, Mtro. Samuel Portillo Contreras, Dr. José María Servín Olivares, and Mtro. Julio Pérez Machorro, each with a handwritten signature.

Por consiguiente, se autoriza a editar la presentación definitiva de su trabajo de investigación para culminar en la defensa oral del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y atento saludo.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en E.M. GUILLERMO RAUL CARBAJAL PÉREZ
Director de la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla

C.c.p. Archivo
C.c.p jurado revisor



ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRAC.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ANTECEDENTES	9
3. OBJETIVOS	11
3.1 General.....	11
3.2 Específicos	11
4. HIPÓTESIS.....	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1 Conceptos.....	13
5.1.1 Secado	13
5.1.1.2 Secado solar	13
5.2 Configuración experimental del secador solar.....	14
5.3 Adquisición de datos y control electrónico.....	16
5.3.1 Comunicación entre el microcontrolador y LabVIEW	16
5.3.2 Instrumentación electrónica	16
5.4 Condición ambiental	17
5.5 Cinética de secado.....	18
5.6 Características fisicoquímicas.....	20
5.6.1 Humedad	20
5.6.2 Grados Brix.....	20
5.6.3 pH	22
5.7 Productos	23
5.7.1 Guaje	23
5.7.2 Nanche	24
5.8 Procedimientos y actividades realizadas.....	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
6.1 Secado con un horno de laboratorio.....	26
6.2 Secado con el uso de secador solar de flujo forzado	27
6.1.1 Secado de guaje	27
6.1.1.1 Grados Brix	34
6.1.1.2 pH	35
6.1.2 Secado de nanche	36

6.1.2.1 Grados Brix.....	46
6.1.2.2 pH.....	47
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
7.1 CONCLUSIONES.....	49
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 6.1. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 1)	28
Gráfica 6.2. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 2)	29
Gráfica 6.3. Peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 3)	30
Gráfica 6.4. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 4)	31
Gráfica 6.5. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 5)	32
Gráfica 6.6. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 6)	33
Gráfica 6.7. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 1)	37
Gráfica 6.8. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 2)	38
Gráfica 6.9. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 3)	39
Gráfica 6.10. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 4)	41
Gráfica 6.11. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 5)	42
Gráfica 6.12. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 6)	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Geometría y dimensiones del secador solar.	14
Figura 5.2. Suministro de flujo de aire por dos ventiladores. El aire fluye de forma forzada por los conductos del colector solar hacia el interior de la cámara de secado	15
Figura 5.3. a) Ubicación de ventiladores en el colector solar. b) Ubicación del sensor de temperatura y humedad DHT22 en el centro de la cámara de secado.....	16
Figura 5.4. a) Estación meteorológica para medir la radiación solar y la temperatura ambiente. b) Una estación meteorológica de 3,5 m de altura y situada junto al secador solar	17
Figura 5.6. Refractómetro para la medición de °Brix, densidad y salinidad	21
Figura 5.7. Analizador de pH	22
Figura 5.8. Guaje	23
Figura 5.9. Nanche.....	24
Figura 5.10. Proceso de secado de nanche y guaje.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.5. Contenido aproximado de agua en algunos alimentos	20
Tabla 6.1. Peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 1) en diferentes tiempos.	27
Tabla 6.2. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 2) en diferentes tiempos	28
Tabla 6.3. Peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 3) en diferentes tiempos	29
Tabla 6.4. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 4) en diferentes tiempos.	30
Tabla 6.5. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 5) en diferentes tiempos	31
Tabla 6.6. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 6) en diferentes tiempos	32
Tabla 6.7. Secado de cada muestra.....	34
Tabla 6.8. medición de °Brix al guaje antes del secado por tamaño.....	35
Tabla 6.9. medición de °Brix al guaje posterior al secado por peso.....	35
Tabla 6.10. medición de pH antes del secado del guaje por tamaño	35
Tabla 6.11. medición de pH al guaje posterior al secado por peso.....	35
Tabla 6.12. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 1) en diferentes tiempos.....	36
Tabla 6.13. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 2) en diferentes tiempos.....	37
Tabla 6.14. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 3) en diferentes tiempos.....	39
Tabla 6.15. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 4) en diferentes tiempos.....	40
Tabla 6.16. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 5) en diferentes tiempos.....	41
Tabla 6.17. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 6) en diferentes tiempos.....	42
Tabla 6.18. Muestras de secado del nanche.	44
Tabla 6.19. °Brix del nanche antes del secado	47
Tabla 6.20. °Brix del nanche posterior al secado	47
Tabla 6.21. pH del nanche antes del secado	47
Tabla 6.22. pH del nanche posterior al secado	48

RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó en la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla sobre un nuevo modelo de secado, utilizando su secador solar indirecto de flujo forzado para el del Guaje y Nanche. La observación de los cambios de las propiedades fisicoquímicas de los productos antes y después del secado pueden garantizar un producto de calidad.

El secado del nanche y guaje se realizó para diferentes condiciones climatológicas tal como la radiación solar, temperatura ambiente, humedad. Así como también, se consideró bajo diferentes temperaturas al interior de la cámara de secado, y a una velocidad máxima de suministro de aire por medio de ventiladores.

La pérdida de humedad en ambos productos se encuentra entre los 17 a 20 % de humedad. Mientras que para el peso de 0.009 y 1.5 gramos para el guaje y nanche, respectivamente. El nanche y guaje a más de 70°C pueden llegar a perder sus propiedades, ya que contienen ciertos compuestos que son sensibles a la temperatura. En este proyecto las temperaturas se mantuvieron entre los 20 a 50 °C esto debido a las condiciones ambientales.

Los resultados han sido satisfactorios durante el proceso de secado. Por lo tanto, los secadores solares llegan a ser una buena opción para el secado de frutos en la zona oriente del Estado de Morelos.

ABSTRAC

This research work was carried out at the Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla about a new drying model using its forced flow indirect solar dryer for Guaje and Nance. Observing the changes in the physicochemical properties of the products before and after drying can guarantee a quality product.

The drying of the nance and guaje was carried out for different weather conditions such as solar radiation, ambient temperature, and humidity as well; different temperatures were used inside the drying chamber and at a maximum speed of air supply using fans.

The moisture loss in both products is between 17 to 20% moisture. While for the weight of 0.009 and 1.5 grams for the guaje and nance, respectively. The nance and guaje at more than 70 ° C can lose their properties since they contain certain compounds that are sensitive at temperature. This project was maintained temperatures between 20 to 50 °C due to environmental conditions.

The results have been satisfactory during the drying process. Therefore, solar dryers have become a good option for drying fruits in the eastern part of the State of Morelos.

1. INTRODUCCIÓN

En México se encuentra tanto el nanche como el guaje que son nativos y son representantes del país, que pueden llegar a ser potencialmente productivos y generar ingresos a su población (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2017), además de aportar valor nutricional al consumirlos.

El nanche que pertenece a la familia *Malpighiaceae*, y también es de importancia económica que al mismo tiempo es un fruto muy tradicional de México ya que comúnmente se puede encontrar en cualquier establecimiento de frutas y verduras, y es muy utilizado en la industria para elaboración de licor, salmuera, mermeladas, almibares, entre otros. En México tiene un valor de producción de 30 millones de pesos (Medina-Torres. R, 2015), demostrando su gran valor económico que tiene.

Mientras que el Guaje que pertenece a *Leucaena*, es una planta de vaina y semillas comestibles, que ha sido parte de nuestra alimentación desde un México prehispánico. El guaje se consume crudo o cocido dependiendo de la frescura y madurez. Es una semilla que tiene gran importancia en las regiones suburbanas y rurales del país (Román-Cortés Nallely, 2014), formando parte de la cultura mexicana.

Para su conservación se han utilizado congeladores, almíbares, secados a intemperie para ocuparlos en temporadas en las que no se dispone de este producto. El uso de equipos para el proceso de conservación lo hace costoso tanto en operación como en mantenimiento. Por lo que en este trabajo de investigación se realiza el secado del nanche y guaje con un secador solar experimental de flujo forzado a través de la cinética de secado.

Los experimentos se realizaron en la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla en el Estado de Morelos, México, en la latitud 18°51'09.6" N y longitud -98°52'11.0" O. El secador solar funciona al aire libre, orientado al sur y con un ángulo de inclinación de 24° para el colector solar. El equipo está compuesto por un colector de energía solar y una cámara de secado de acero inoxidable. Las muestras para el estudio se almacenan en un congelador a 4 °C hasta su procesamiento.

2. ANTECEDENTES

El secado es una técnica de conservación de alimentos que consiste en eliminar el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y que limita la putrefacción. El secado de alimentos mediante el sol y el viento para evitar su deterioro ha sido practicado desde la antigüedad. Esta técnica es una de las más antiguas en la conservación de alimentos. Este método de secado al sol abierto que se emplea en la mayoría de los países tropicales y subtropicales para la conservación de alimentos [El-Beltagy et al. (2007); Bala et al. (2012)]. Esta técnica llega a ser una buena alternativa, pero se genera un problema, los alimentos se contaminan por el polvo, infestación de insectos, contaminación microbiana [Sharma et al.], y puede llegar a no ser apta para el consumo humano. Incluso, exponer cualquier producto alimenticio al sol directamente deteriora al producto cambiando sus propiedades fisicoquímicas y de aspecto por la radiación directa que llega a este. Por tal motivo, los productores han pensado buscar otras alternativas para el secado, como por ejemplo usar equipos que usan energías no renovables (Gas L. P, eléctricos y/o híbridos). Sin embargo, estos equipos llegan a ser costosos en adquisición, operación, mantenimiento, y sobre todo contaminantes hacia el medio ambiente [Jha y Tripathy et al. 2007; Ekechukwu et al. 1995; Lingayat et al. 2017; Pirasteh et al. 2014].

Buscar alternativas con equipos que usen fuentes de energía renovables, tal como el secado solar, es un nuevo reto. El secado solar es considerado hoy en día una de las áreas más prometedoras para su implementación con el uso de energía radiante proveniente del sol. Por lo tanto, los secadores solares son una buena opción, ya que suelen ser lo contrario que un equipo convencional por su bajo costo, mantenimiento, operación, y sobre todo han proporcionado buenas características en el secado de productos conservando su sabor, color, consistencia y aspecto. Aunque existen diferentes diseños [Bala et al. (2012)], esta tecnología se ha usado en el área de la agricultura; en su mayoría en el secado de frutos, vegetales y leguminosas obteniendo buenos resultados [El-Beltagy et al. (2007);], [Dufera et al. 2021; Pruengam et al. 2021; Çiftçioğlu et al. 2020; Fudholi et al. 2013], y sobre todo mejorando su calidad [Pirasteh et al. 2014].

Tal como se muestra en la literatura, el secado solar de frutas, verduras y leguminosas ha sido explorada con el uso de diferentes diseños de secadores. Por lo tanto, la tecnología solar sigue siendo estudiada y sobre todo prometedora en el futuro para el secado y su conservación, almacenamiento y sobre todo en la transportación, reduciendo los costos de esta.

Este proyecto propone el uso de tecnología solar. Para este caso de estudio se usa un secador solar indirecto de flujo forzado para el secado de nanche y guaje. La ecuación de difusión de Fick es empleada para modelar matemáticamente la cinética de secado. Las propiedades fisicoquímicas son analizadas antes y después del secado para preservar la calidad del producto.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Estudio de la cinética de secado del guaje y nanche con el uso de un secador solar indirecto, considerando sus propiedades fisicoquímicas y de aspecto.

3.2 Específicos

- 3.1.1 Estado del arte
- 3.1.2 Ecuación de la difusión de Fick.
- 3.1.3 Modelo físico del secador solar indirecto.
- 3.1.4 Medición de las propiedades fisicoquímicas.
- 3.1.5 Estudio de la cinética de secado.
- 3.1.6 Análisis de resultados.

4. HIPÓTESIS

Los secadores solares son un método muy antiguo sin embargo con el paso del tiempo y las nuevas tecnologías se han convertido en un método prometedor para el secado de nanche y guaje acelerando el proceso y garantizando la calidad del mismo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Conceptos

5.1.1 Secado

El secado se refiere a la eliminación del agua en un material, y se utiliza como técnica de preservación, ya que los microorganismos dejan de ser activo cuando se reduce el contenido de agua por debajo del 10% en peso, en caso de los alimentos se tiene que dejar este valor por debajo del 5% para que sigan teniendo el sabor y valor nutritivo que los caracteriza (Geankoplis, 1998).

Para la conservación de los alimentos que se ha vuelto de gran importancia ya que se prevé que el alimento tenga una larga vida de anaquel sin que se arriesgue un daño al consumidor, entre los métodos más utilizados es el secado, su principal objetivo es simplemente el reducir el contenido de agua, en los cuales existen diferentes métodos.

5.1.1.2 Secado solar

El método de secado más conocido es el secador solar, el cual es un método ancestral, es el método que comúnmente se utiliza para muchos productos de alimento, que se han hecho desde hace años, asimismo es parte de la producción artesanal de ciertos alimentos, y tiene gran impacto en lo económico, teniendo en cuenta que este tipo sólo puede funcionar en ciertas horas, ya que utiliza energía solar, y el ambiente en que se encuentre puede afectar la productividad de este tipo de secador, ya que lo más óptimo sería un ambiente con baja humedad y soleado.

Para alcanzar el peso final es con el equilibrio de la superficie del producto y la presión interna con la presión de vapor del aire exterior, para poder llegar a esto se debe tener una atmosfera de baja humedad relativa y el agua sale a la superficie y es absorbida por el aire seco que entra en contacto con ella, esta puede ser forzada o natural (Williams, 2016).

5.2 Configuración experimental del secador solar

Los experimentos se realizaron en la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla en el Estado de Morelos, México, en la latitud $18^{\circ}51'09.6''$ N y longitud $-98^{\circ}52'11.0''$ O. El secador solar funciona al aire libre, orientado al sur y con un ángulo de inclinación de 24° para el colector solar. El equipo está compuesto por un colector de energía solar y una cámara de secado de acero inoxidable. Las dimensiones del colector son largo (L_c) 2.145 m, ancho (W_c) 0.95 m y alto (D_c) 0.13 m. Para la cámara, lo siguiente: altura (L_{ch}) 1,01 m, ancho (W_{ch}) 0,455 m y profundidad (D_{ch}) 1,27 m (Figura 5.1).

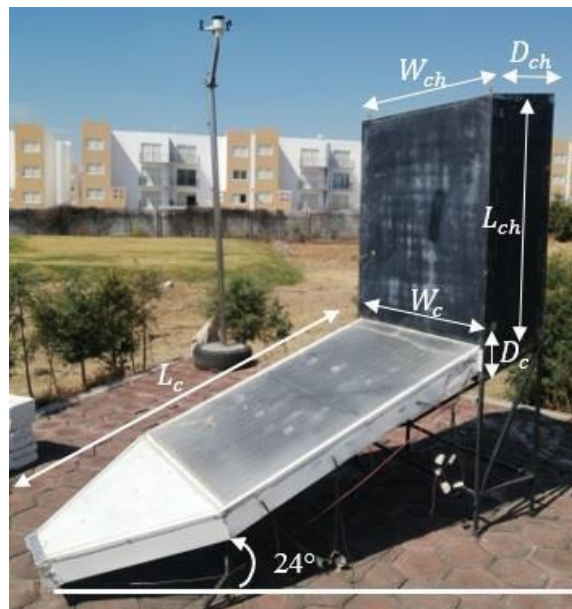


Figura 5.1. Geometría y dimensiones del secador solar.

La entrada de aire para el colector solar y la cámara de secado están ubicadas en la parte inferior, y la salida de aire está en la parte superior de cada elemento. El flujo de aire que ingresa al colector pasa a través de los conductos pintados en negro mate para absorber la máxima energía radiante; este eleva su temperatura y es transportado a la cámara de secado (Figura 5.2a). Al mismo tiempo, el flujo de aire que ingresa a la cámara solar fluye hacia arriba a través de las bandejas y es expulsado por la parte superior de la cámara, Figura 5.2b. La cámara de secado contiene espacios para un máximo de quince bandejas móviles. Las bandejas se utilizan para secar la carne. Para esta investigación se utiliza una bandeja en el centro de la cámara. La bandeja está construida con un

marco de aluminio anodizado y malla de nailon. Las bandejas se disponen horizontalmente con las siguientes dimensiones: largo (L_t) 0,88 m y ancho (W_t) 0,41 m (Figura 5.2).



Figura 5.2. Suministro de flujo de aire por dos ventiladores. El aire fluye de forma forzada por los conductos del colector solar hacia el interior de la cámara de secado.

5.3 Adquisición de datos y control electrónico.

5.3.1 Comunicación entre el microcontrolador y LabVIEW

Se utiliza un microcontrolador tipo Arduino-Mega para la interconexión de los ventiladores, el sensor de temperatura y humedad, y la adquisición y registro de datos. El microcontrolador se conectó directamente a una computadora personal a través de un puerto USB. El software LabVIEW se utiliza para comunicarse con el microcontrolador y controlar la velocidad del flujo de aire suministrado por los ventiladores.

5.3.2 Instrumentación electrónica

En la entrada del colector solar se instalan dos ventiladores tipo NMB de 12 Voltios a 1.3 Amperios. Los ventiladores suministran el flujo al colector solar y lo transportan a la cámara de secado para el secado de la cecina, Figura 5.3a. El flujo de aire se controla con módulos de voltaje FZ0430 y módulos de corriente ACS712. La velocidad del flujo se mide con un anemómetro tipo UT363. El rango de medición es de 0 a 30 m/s con una precisión de $\pm 5\% \text{ rdg} + 0,5$ (Figura 5.2a). Asimismo, la cámara de secado se dispuso con un sensor de temperatura y humedad DHT22 (S_1) con una precisión de $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ en su centro, Figura 5.3b.



Figura 5.3. a) Ubicación de ventiladores en el colector solar. b) Ubicación del sensor de temperatura y humedad DHT22 en el centro de la cámara de secado.

5.4 Condición ambiental

Se utiliza una estación meteorológica Ambient Weather modelo WIFI OSPREY (WS-2902A) para medir las condiciones ambientales, Figura 5.4a. Para el proceso de secado se tienen en cuenta la radiación solar y la temperatura ambiente. Las especificaciones del sensor de temperatura correspondiente a un rango entre -4,4 a 60 °C. Mientras que para radiación solar entre 0 a 120k Lux ($\frac{W}{mm^2}$, lux, fc). La estación meteorológica se instaló junto al secador solar a una altura de 3,5 m para obtener datos precisos y confiables, Figura 5.4b. La adquisición y registro de datos de radiación y temperatura se realizó de forma remota en una computadora personal; también monitoreado a través de una consola de visualización.

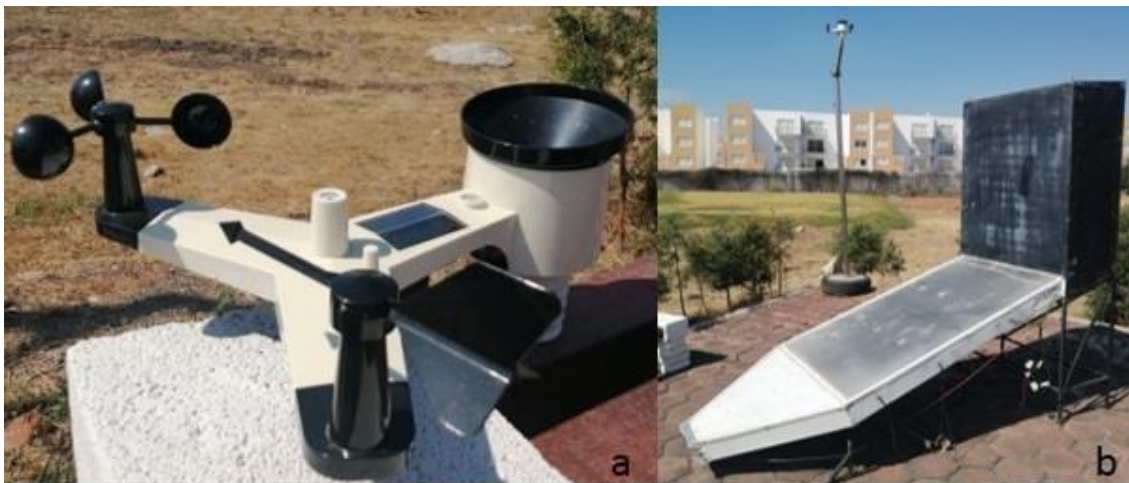


Figura 5.4. a) Estación meteorológica para medir la radiación solar y la temperatura ambiente. b) Una estación meteorológica de 3,5 m de altura y situada junto al secador solar.

5.5 Cinética de secado

La cinética de secado de productos se determinó cada cierto tiempo durante el proceso de secado. En estos procesos la difusividad efectiva de la humedad es una característica importante del transporte para las condiciones de secado y las propiedades del material. Los coeficientes de difusividad efectiva se obtuvieron experimentalmente y se simularon con el modelo difusivo de Fick. El modelo de Fick en su estado no estacionario se describe en la Ecuación 1 (Monalisa Sahoo 2022).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \nabla^2 M \quad (1)$$

El movimiento de humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física dentro del sólido, la temperatura y su contenido de humedad. En el proceso de secado cualquiera de estos procesos suele ser el factor que determine la velocidad de secado. Por lo tanto, el modelo difusivo de Fick en su forma implícita se representa en la Ecuación 2.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \frac{\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) + \frac{1}{9} \left(-\frac{9\pi^2 D_{eff} t}{L^2}\right) \dots \dots + \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \right\} \quad (2)$$

La ecuación de difusión de Fick se resolvió bajo las siguientes consideraciones tal como la distribución uniforme de la humedad en la masa de la muestra, la transferencia de masa es simétrica al centro, el equilibrio entre la superficie de humedad y el aire circundante; resistencia de transferencia de masa insignificante en la superficie en comparación con la resistencia interna de la muestra; masa. La transferencia tiene lugar por difusión; el coeficiente de difusión es constante y la contracción es despreciable. Bajo estos supuestos y premisas, la solución de la ecuación de difusión de Fick viene dada por la Ec. (3):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (3)$$

Donde MR es la relación de humedad (*termino adimensional*); t es el tiempo de secado (s), D_{eff} es la difusividad efectiva ($\frac{m^2}{s}$); n es el número de términos de la

serie de Fourier; y L es el espesor de media losa de las rebanadas (m). Para

largos periodos de tiempo en el proceso de secado la Ecuación 3 se puede simplificar de la forma:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t\right] \quad (4)$$

El coeficiente de difusividad efectiva se calcula a partir de la Ecuación 4. Por lo tanto, se aplica las propiedades de los logaritmos y se obtiene la ecuación de la forma siguiente:

$$\ln(MR) = -\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t + \ln \frac{8}{\pi^2} \quad (5)$$

Así, los coeficientes de las difusividades efectivas por lo general se predicen al graficar el tiempo de secado (t) frente a los valores experimentales de la relación de humedad logarítmica $\ln(MR)$, proporcionando una línea recta con una pendiente (S_{lope}).

$$S_{lope} = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (6)$$

5.6 Características fisicoquímicas

5.6.1 Humedad

El contenido de humedad de un alimento es influyente en los alimentos, así como también es frecuentemente un índice de estabilidad del producto como la “frescura” de ellas, en el caso de las frutas que es un factor fundamental, ya que su relación indica su poder de deterioro, con esto podemos ver que los alimentos con baja cantidad de humedad tienen más vida de anaquel contrario a los que tienen más cantidad y con ello para su conservación se necesitan más productos externos (Dergal, 2006).

Tabla 5.5. Contenido aproximado de agua en algunos alimentos

Alimentos	% de agua
Lechuga, espárrago, coliflor	95
Brócoli, zanahoria	90
Manzana, durazno, naranja	88
Leche	87
Papa, pera	80
Huevo, pollo	74
Carne de res	70
Carne de cerdo, helado	60
Pan	40
Queso	45
Mantequilla	16
Galletas	5
Chocolate	2

5.6.2 Grados Brix

El Brix (símbolo °Bx) es una unidad de cantidad que mide los sólidos o materia seca total disuelta en un líquido determinado. Se utiliza sobre todo en la industria alimentaria para medir los azúcares disueltos en productos hortofrutícolas, zumos, mermeladas y jaleas y otras bebidas.

Según esto, 1 grado Brix (°Bx) corresponde a 1 gramo de sacarosa en 100 g de solución. Es decir, una solución de 25 °Bx tiene 25 g de azúcar (sacarosa) por cada 100 g de líquido. Así, en 100 g de solución habrá 25 g de sacarosa y 75 g de agua. La sacarosa es un hidrato de carbono simple, un disacárido formado por dos monosacáridos, fructosa y glucosa, presentes de forma natural en frutas y verduras. La sacarosa se identifica también con el llamado azúcar de mesa.

La escala Brix es un refinamiento de las tablas de la escala Balling, desarrollada por el químico alemán Karl Balling. La escala Plato, que mide los grados Plato, también parte de la escala Balling. Se utilizan las tres, a menudo alternativamente, y sus diferencias son de importancia menor. La escala Brix se utiliza, sobre todo, en la fabricación del zumo y del vino de fruta y del azúcar a base de caña. La escala Plato se utiliza, sobre todo, en la elaboración de cerveza. La escala Balling es obsoleta pero todavía aparece en los sacarímetros más viejos. (Ramírez,Pérez,&Kafarov,2009).

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. La densidad y la cantidad de sales de igual manera se miden en el sector alimenticio como un parámetro de calidad. Para esto, se usa un refractómetro para su análisis, ver Figura 5.6.



Figura 5.6. Refractómetro para la medición de °Brix, densidad y salinidad.

5.6.3 pH

En química, el pH es una escala numérica utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion Hidrógeno. Las soluciones con un pH menor a 7 son ácidas, por el contrario, las soluciones con un pH mayor a 7 son alcalinas o básicas. El agua pura tiene un pH de 7, lo que se refiere a que es neutral, es decir, ni ácida ni alcalina. (I., Primera Edición 2006)

El concepto de pH se introdujo por primera vez por el químico danés Søren Peter Lauritz Sørensen (1868-1939) en el Laboratorio Carlsberg en 1909 (Sorensen 1909). Sørensen formuló la versión moderna del concepto de pH en 1924 utilizando las definiciones y medidas en términos de celdas electroquímicas. En los primeros trabajos, la notación del término tenía la letra mayúscula "H" como subíndice de la letra minúscula "p", es decir: pH, al contrario de cómo se usa actualmente pH. (Heredia, 2005)

Uno de los equipos más utilizados para la toma de datos del pH se utilizará un equipo llamado pH-metro o potenciómetro medidor de PH/EC/TDS, este equipo es muy utilizado en laboratorios por su sencillez y rapidez de otorgar los datos de pH, ver Figura 5.7.



Figura 5.7. Analizador de pH.

5.7 Productos

5.7.1 Guaje

El guaje (*Leucaena* spp.) es una planta de vaina y semillas comestibles, es ancestral subutilizado por los pueblos mesoamericanos, se encuentran ampliamente distribuidas en el centro y sur de México, particularmente en la península de Yucatán y Tehuantepec. Las semillas frescas de guaje son de suma importancia en regiones suburbanas y rurales del país, se consumen crudas o cocidas en platillos tradicionales dependiendo de su frescura o madurez y forman parte de la identidad cultural de algunas entidades.

La especie de guaje verde (*Leucaena leucocephala*) es una leguminosa originaria de México, ver Figura 5.8. Las semillas de las vainas del guaje verde actualmente se utilizan en algunos platillos en la cocina de algunas comunidades del sur de México, y como alimento para el ganado.



Figura 5.8. Guaje

5.7.2 Nanche

El nanche *Byrsonima crassifolia* L. HBK pertenece a la familia Malpigiaceae, es un fruto con entidad cultural, y en donde el fruto presenta un comportamiento estacional en México, ver Figura 5.9. Su fruto se consume en fresco por su sabor agridulce, aunque también se utiliza en la industria para la elaboración de mermeladas, almíbares, helados, licores, gelatinas, entre otros. En México, en 2012 se cultivaron 1 377 ha de nanche, con un rendimiento promedio de 4.74 t ha⁻¹ y valor de producción alrededor de 30 millones de pesos. En el estado de Nayarit es el mayor productor de nanche donde alcanzaron a cultivar 233.5 ha, con rendimiento promedio de 4.51 t ha⁻¹ y valor de producción de 6 386 010 pesos (Medina-Torres. R, 2015).

La pulpa del nanche representa 64% del peso del fruto, la semilla 25% y la cáscara 11%. Se ha reportado que el peso del fruto puede variar de 2.28 a 7.22 g. En la pulpa del fruto los sólidos solubles varían de 5.6 a 8.8 °Brix y el pH de 3.5 a 4.3, lo cual modifica el sabor del fruto del nanche. (Medina-Torres. R, 2015)

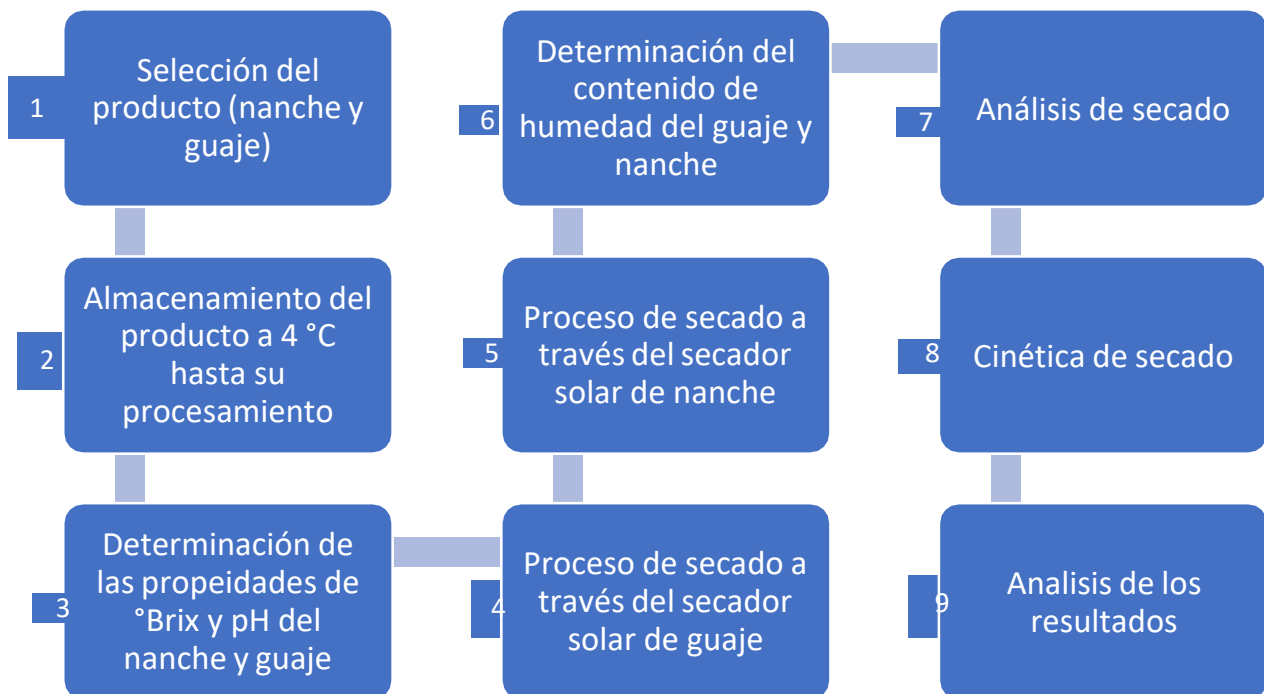


Figura 5.9. Nanche.

5.8 Procedimientos y actividades realizadas

A continuación, se presenta un diagrama del proceso de la obtención de las propiedades fisicoquímicas y de la cinética de secado para nanche y guaje. Tal como se muestra en la Tabla 5.2. Primero se inicia con la selección del producto. Posteriormente, se almacena a 4 °C para su conservación hasta el proceso de análisis de parámetros fisicoquímicos y para el análisis de secado. Por último, se realizan las simulaciones de cinética de secado para conocer las pérdidas de humedad, peso y obtención de la cinética de secado del nanche y guaje.

Figura 5.10. Proceso de secado de nanche y guaje.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los estudios del secado del guaje y nanche. antes del proceso de secado se mide el contenido de humedad y peso inicial de cada producto a partir del método del horno o mufla. Este método se realiza con la ayuda de un horno de laboratorio que permite el control de temperatura durante el proceso de secado. Posteriormente, se lleva a cabo el secado de los productos con el uso de un secador solar de indirecto de flujo forzado.

6.1 Secado con un horno de laboratorio

El método más común para determinar el contenido de humedad es a través de la pérdida de peso mediante el método de secado en mufla o estufa, en el que el contenido de humedad se determina a partir del cambio de peso de la muestra después de la evaporación del agua absorbida en el horno (Austin, 2013) utilizando la ecuación 7 para el porcentaje de humedad.

$$\% H = \frac{(M_1 - M_2) * 100}{M} \quad (7)$$

Donde:

M_1 =Peso del crisol con la muestra humedad

M_2 =Peso del crisol con la muestra seca

M =Peso de la muestra

6.2 Secado con el uso de secador solar de flujo forzado

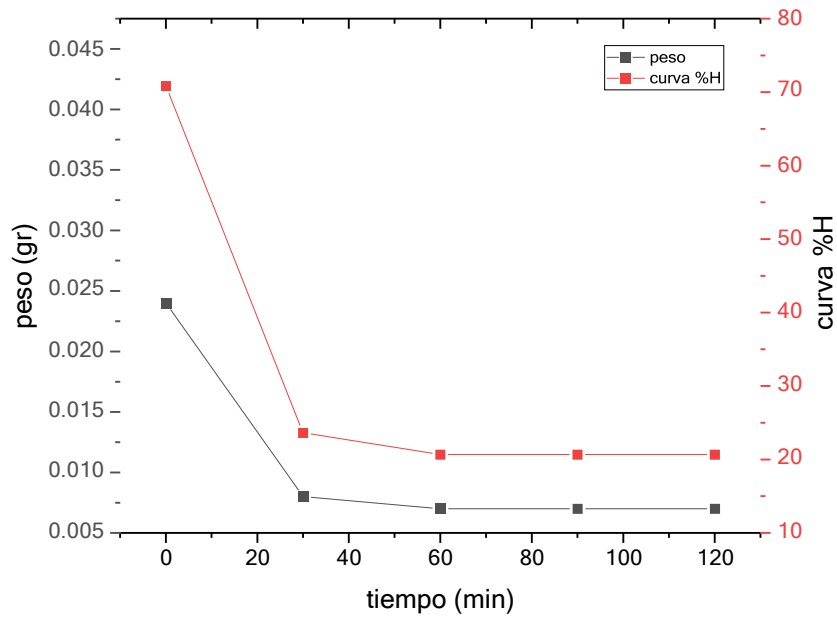
En esta subsección se presentan los resultados del secado de guaje y nanche. Para esto, se usó un secador solar de flujo forzado, los productos se introdujeron al interior de la cámara de secado en la posición inferior con una bandeja, el flujo de aire se consideró a la velocidad máxima que corresponde a un promedio de 3.1 m/s. La temperatura al interior de la cámara se registra a través de un sensor tipo DHT22.

6.1.1 Secado de guaje

Las siguientes mediciones, se dieron a una temperatura variable cada hora, en la Tabla 6.1 encontramos los datos de tiempo, con el peso y porcentaje de humedad como el cambio en tamaño en altura y ancho, así mismo, tenemos el total del contenido de humedad que tiene el guaje (muestra 1) y su peso total. Teniendo un 36.8421% y 24.5614% de pérdida en altura y de ancho, en la Figura 6.1, se puede observar el comportamiento del peso y la curva de humedad vs el tiempo, en ambos casos el comportamiento que tiene el peso y de la curva de humedad mientras avanza el tiempo es similar, en términos de apariencia, en este caso nos indica que se va disminuyendo con el tiempo hasta ser lineal, en el caso de la curva de humedad la linealidad empieza a partir del minuto 60.

Tabla 6.1. Peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 1) en diferentes tiempos.

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.024	0.95	0.5	70.8333333
60	0.008	0.65	0.35	23.6111111
120	0.007	0.6	0.3	20.6597222
180	0.007	0.6	0.3	20.6597222
240	0.007	0.6	0.3	20.6597222

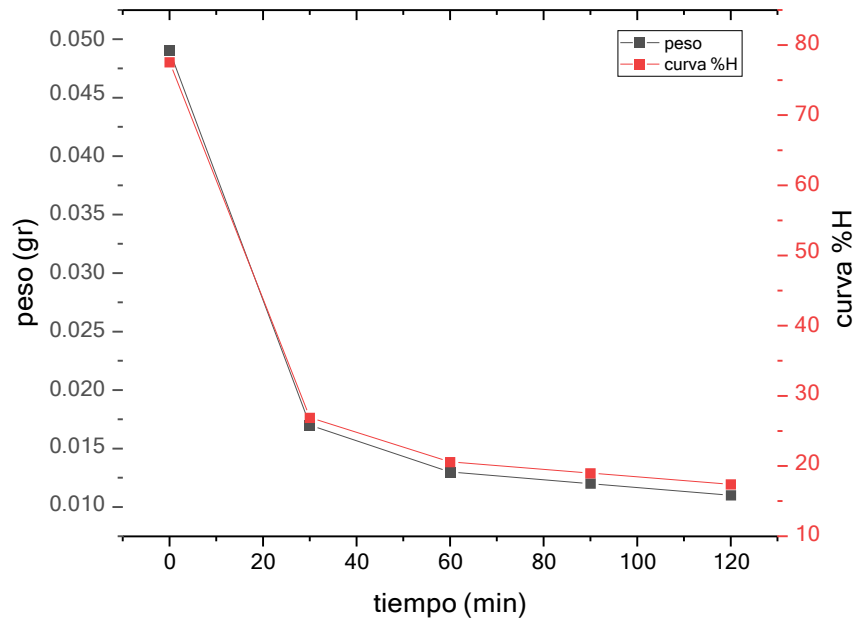


Gráfica 6.1. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 1)

En la Tabla 6.2, se mide los mismos parámetros mencionados anteriormente, en este caso tenemos que la pérdida de altura y ancho en este caso de la tabla 6.2, es de 33.3333% y 27.2727% correspondientemente. Al igual la Figura 6.2 muestra la pérdida de peso y humedad del producto.

Tabla 6.2. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 2) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.049	1.2	0.55	77.5510204
60	0.017	0.85	0.4	26.9054561
120	0.013	0.8	0.4	20.5747605
180	0.012	0.8	0.4	18.9920866
240	0.011	0.8	0.4	17.4094127

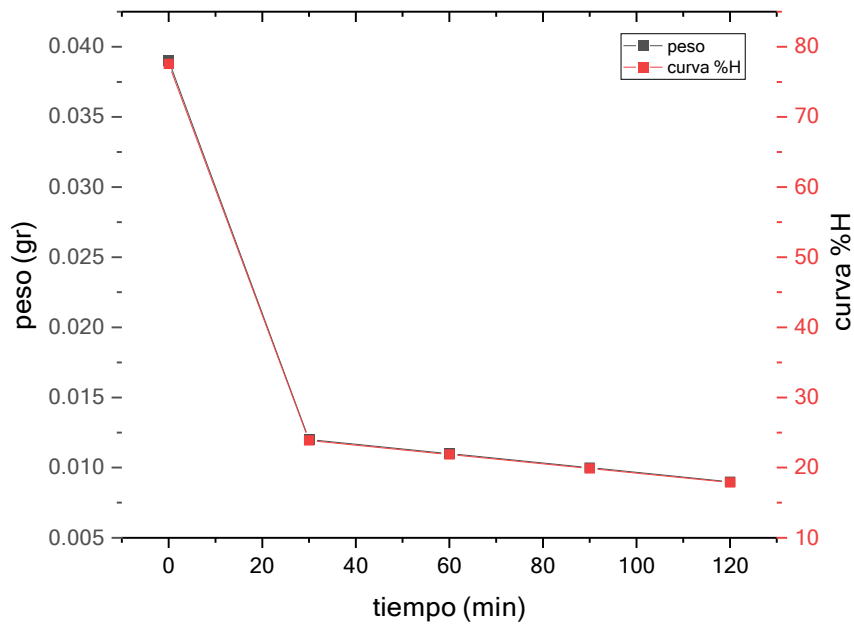


Gráfica 6.2. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 2)

En el caso de tabla 6.4 tenemos una pérdida de altura y ancho de 27.2727% en ambos, mientras que la pérdida de peso va cambiando 0.001 gramos, así mismo, en la Figura 6.3 como en las anteriores, el comportamiento va descendiendo y teniendo un comportamiento similar a las muestras anteriores, notando que en este caso el comportamiento del peso y la curva de humedad es más similar.

Tabla 6.3. Peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 3) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.039	1.1	0.55	77.55102041
60	0.012	0.85	0.4	23.86185243
120	0.011	0.8	0.4	21.87336473
180	0.01	0.8	0.4	19.88487703
240	0.009	0.8	0.4	17.89638932

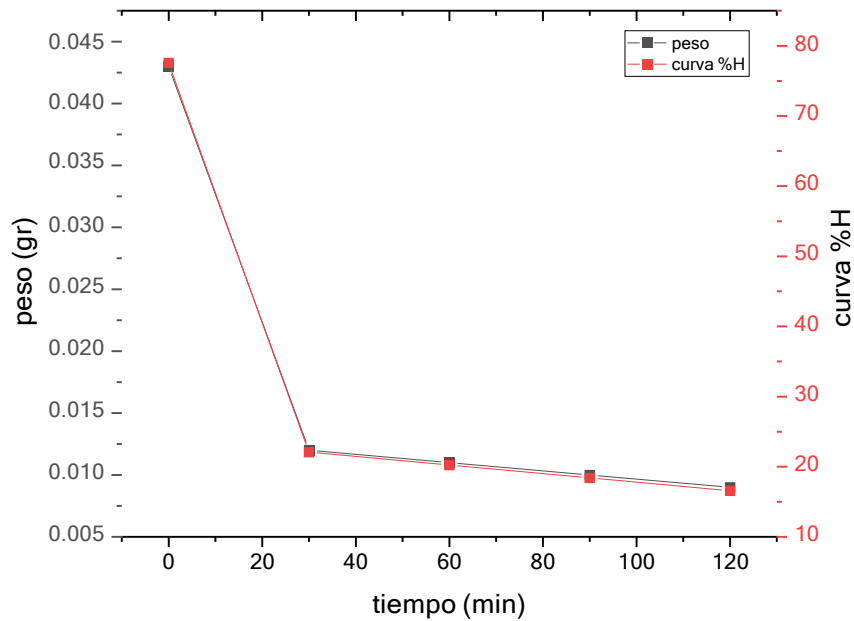


Gráfica 6.3. Peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 3)

En la tabla 6.4 tenemos una pérdida de 20% y 40% de altura y ancho respectivamente, teniendo una pérdida de 0.001 en el peso a partir del minuto 60, marcando está perdida como la máxima alcanzada ya que su cambio es insignificante, en la Figura 6.4 se observa que como el caso de la muestra anterior el comportamiento del peso y la curva de humedad es similar, ya que ambos están cercanos entre sí.

Tabla 6.4. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 4) en diferentes tiempos.

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.043	1	0.6	77.5510204
60	0.012	0.8	0.4	22.0659816
120	0.011	0.8	0.4	20.2271498
180	0.01	0.8	0.4	18.388318
240	0.009	0.8	0.4	16.5494862

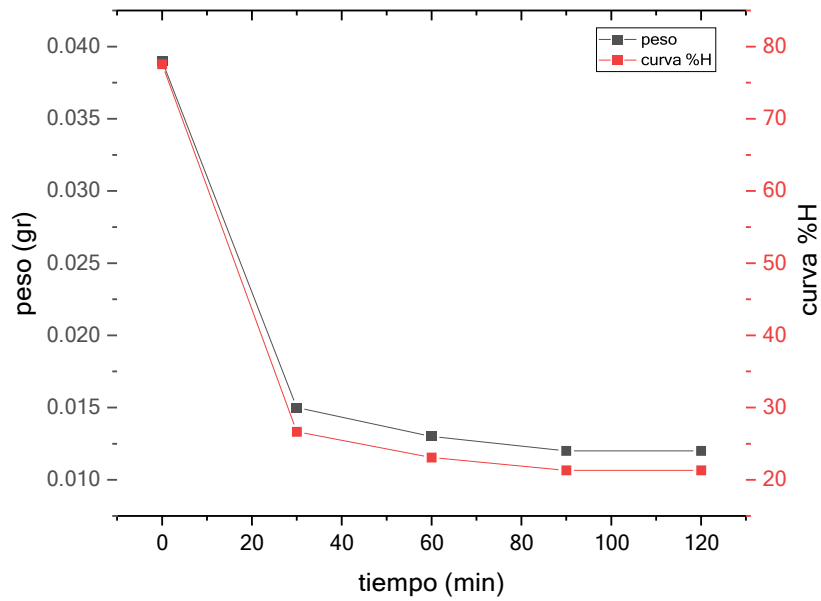


Gráfica 6.4. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 4)

En la Tabla 6.5 se tiene una pérdida de peso y ancho de 27.2727% y 20% correspondientemente, en este caso la pérdida de peso a partir del minuto 60 es de 0.001, mientras que en el minuto 90 el peso ya es constante, en la Figura 6.5 se observa que el comportamiento de la curva en ambos casos va teniendo el comportamiento deseable y similar, en este caso las curvas se pueden distinguir una de otra a comparación de las muestras 3 y 4.

Tabla 6.5. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 5) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.039	1.1	0.5	77.5510204
60	0.015	0.8	0.4	26.6272189
120	0.013	0.8	0.4	23.0769231
180	0.012	0.8	0.4	21.3017751
240	0.012	0.8	0.4	21.3017751

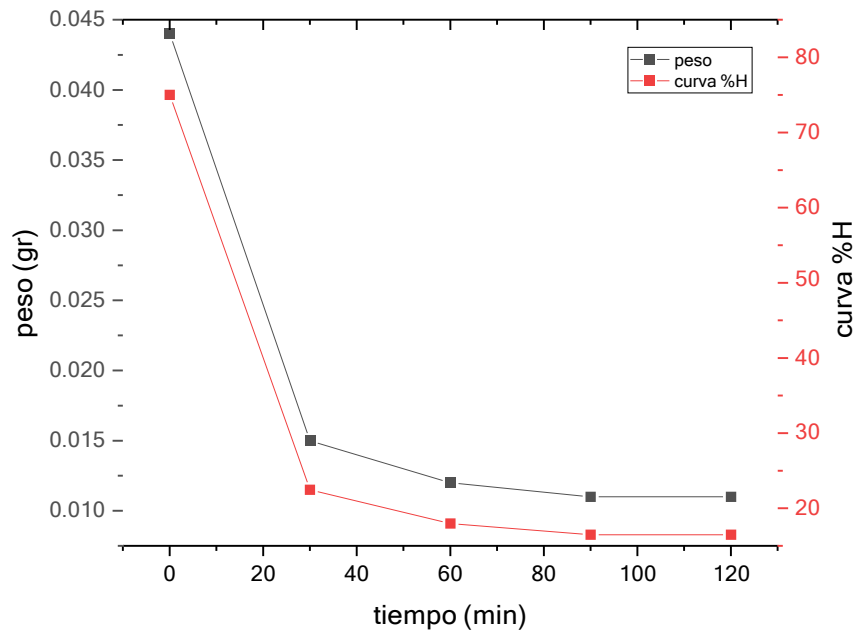


Gráfica 6.5. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 5)

En la Tabla 6.6 tenemos una pérdida de altura y ancho de 39.1304% y 27.273%, mientras que su peso en tiempo 60 a 90 es de 0.001 de diferencia, mientras que en el tiempo 90 a 120 este ya es constante de 0.011 gramos.

Tabla 6.6. peso, contenido de humedad y tamaño del guaje (muestra 6) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	0.044	1.15	0.55	75
60	0.015	0.85	0.4	22.4690083
120	0.012	0.7	0.4	17.9752066
180	0.011	0.7	0.4	16.4772727
240	0.011	0.7	0.4	16.4772727





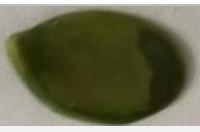



























Gráfica 6.6. peso y curva de humedad vs tiempo del guaje (muestra 6)

En la Tabla 6.7 tenemos que las curvas tienen un comportamiento similar entre sí y deseable, observando que su comportamiento lineal empieza en el tiempo 60 en ambos casos.

En las gráficas de “peso y curva de humedad vs tiempo” en todas las muestras, se observa que el comportamiento del peso y la curva de humedad es similar y la deseable y esperada, estas van disminuyendo hasta tener un comportamiento lineal, teniendo la misma curva descendente en todos los casos. Asimismo, el comportamiento lineal que presentan empieza en el minuto 60, ya que en este caso las muestras sólo llegan a perder a partir de este minuto 0.001 gramos, esta pérdida se puede considerar constante ya que es insignificante

Tabla 6.7. Secado de cada muestra

Tiempo	0	30	60	90	120
Muestra 1					
Muestra 2					
Muestra 3					
Muestra 4					
Muestra 5					
Muestra 6					

En la tabla 7 se puede observar el cambio que se obtuvieron en todas las muestras del guaje físicamente, en los 5 tiempos tomados desde el tiempo 0 a 120.

6.1.1.1 Grados Brix

En la tabla 8 y 9 se puede observar las mediciones antes y posterior al secado de °Brix, en lo cual podemos notar que antes del secado se obtiene de 3 a 1 °Brix, y comparando con los datos obtenidos posterior al secado este valor es constante, siendo 2°Brix, podemos discutir en que los valores no cambiaron drásticamente, asimismo podemos decir que el secado no cambia este factor.

Tabla 6.8. medición de °Brix al guaje antes del secado por tamaño

SEMILLA GRANDE	SEMILLA MEDIANA	SEMILLA PEQUEÑA
PRUEBA 1 3 BRIX%	Prueba 1 3 brix%	Prueba 1 1 brix%
PRUEBA 2 3 BRIX%	Prueba 2 2 brix%	Prueba 2 1 brix%

Tabla 6.9. medición de °Brix al guaje posterior al secado por peso

MUESTRA	°BRIX	PESO (GR)
1	2	1.329
2	2	1.539
3	2	1.191

6.1.1.2 pH

Mientras que la medición de pH del guaje observamos que en ambos casos antes y posterior al secado se mantienen cercanas, ya que en ambos casos es cercano a 5, así como en los °Brix, el pH no cambia después del secado, ver Tabla 6.10 y 6.11.

Tabla 6.10. medición de pH antes del secado del guaje por tamaño

SEMILLA GRANDE	SEMILLA MEDIANA	SEMILLA PEQUEÑA
PRUEBA 1 3 BRIX%	Prueba 1 3 brix%	Prueba 1 1 brix%
PRUEBA 2 3 BRIX%	Prueba 2 2 brix%	Prueba 2 1 brix%

Tabla 6.11. medición de pH al guaje posterior al secado por peso

Muestra	pH	peso (gr)
1	5.27	1.329
2	5.2	1.539
3	5.1	1.191

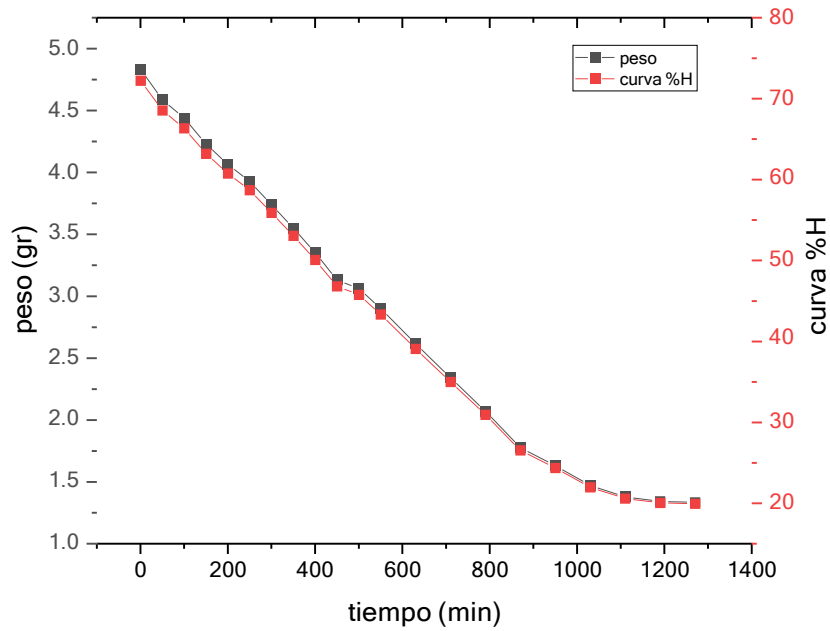
6.1.2 Secado de nanche

En el caso de la Tabla 6.12, se pueden observar las mismas variables medidas en las muestras anteriores (guaje y nanche), en este caso se mantuvo un secado 21.16 horas, también se observa la pérdida de altura y ancho fueron 24.86% y 37.3% respectivamente, con una humedad de 72.23%.

Tabla 6.12. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 1) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (MM)	B (MM)	CURVA DE %H
0	4.833	18.1	19.3	72.2325678
60	4.587	17	19.2	68.5559256
120	4.439	16.9	18.8	66.343962
180	4.229	16.4	18.7	63.205365
240	4.065	16.4	18.7	60.7542702
300	3.927	16	18.5	58.6917636
360	3.74	15.7	17.9	55.8969177
420	3.55	15.7	17.4	53.0572348
480	3.351	15.7	17.2	50.0830405
540	3.132	15.7	16.8	46.8099322
600	3.062	15.7	16.3	45.7637332
660	2.9	15.5	16.3	43.3425298
720	2.616	15.3	16.3	39.097951
780	2.341	15.3	14.9	34.9878835
840	2.071	15.3	14.3	30.9525446
900	1.776	14.9	13.8	26.5435631
960	1.631	14.9	13.5	24.3764366
1020	1.471	14.6	12.9	21.9851246
1080	1.378	14.2	12.3	20.5951745
1140	1.342	13.6	12.1	20.0571293
1200	1.334	13.6	12.1	19.9375637

En la Figura 6.7 se pudo observar que el comportamiento en ambos casos (peso y curva de humedad) es similar, teniendo una curva descendente que tiene tendencia a lo lineal, por lo tanto, esta muestra cumple en ambos casos con lo esperado.



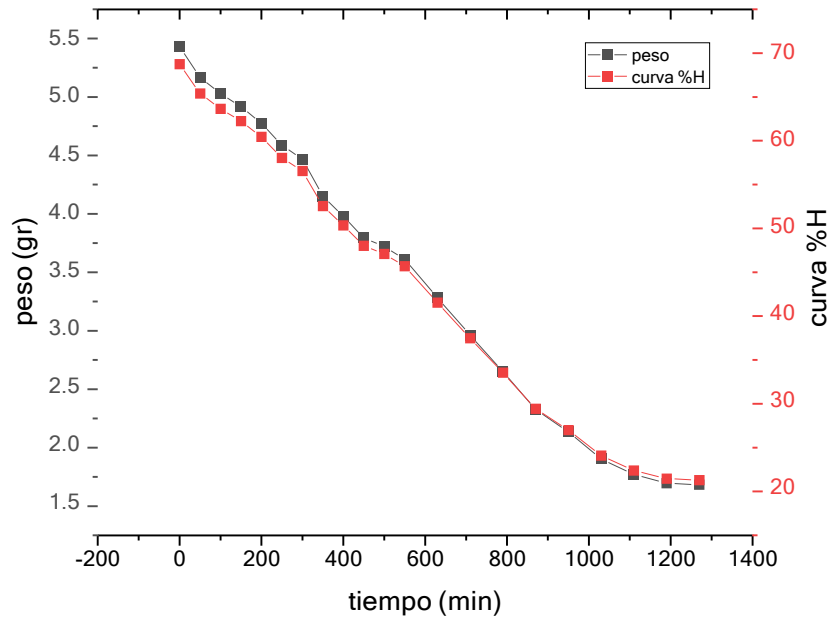
Gráfica 6.7. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 1)

En la Tabla 6.13 se observa la pérdida de 20% y 33.16% en altura y ancho con una humedad de 68.75%. En la Figura 6.8 se puede observar que el comportamiento es similar entre sí, esta curva descendente es la esperada, asimismo tiene similitud con la Figura 6.7.

Tabla 6.13. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 2) en diferentes tiempos.

T (MIN)	PESO (GR)	H (MM)	B (MM)	CURVA %H
0	5.431	18.5	19.9	68.7534524
60	5.167	18.6	18.7	65.4113586
120	5.029	18.5	18.7	63.664355
180	4.918	18.5	18.7	62.2591565
240	4.776	18.5	18.7	60.4615151
300	4.587	17.4	18.4	58.0688798
360	4.469	17.4	18.4	56.5750651
420	4.153	17	18.2	52.5746801
480	3.979	17	18.2	50.3719365
540	3.795	17	18	48.0425984
600	3.722	17	17.8	47.1184588
660	3.612	15.2	17.2	45.7259197
720	3.283	15.2	17.2	41.5609619
780	2.962	15.2	16.8	37.4972797
840	2.652	15.2	16	33.5728514
900	2.326	15.2	15.8	29.4458719
960	2.135	15.2	15.5	27.0279177
1020	1.904	15.2	15.3	24.1035856

1080	1.771	15.2	14.7	22.4198792
1140	1.697	14.8	13.3	21.4830802
1200	1.684	14.8	13.3	21.3185074

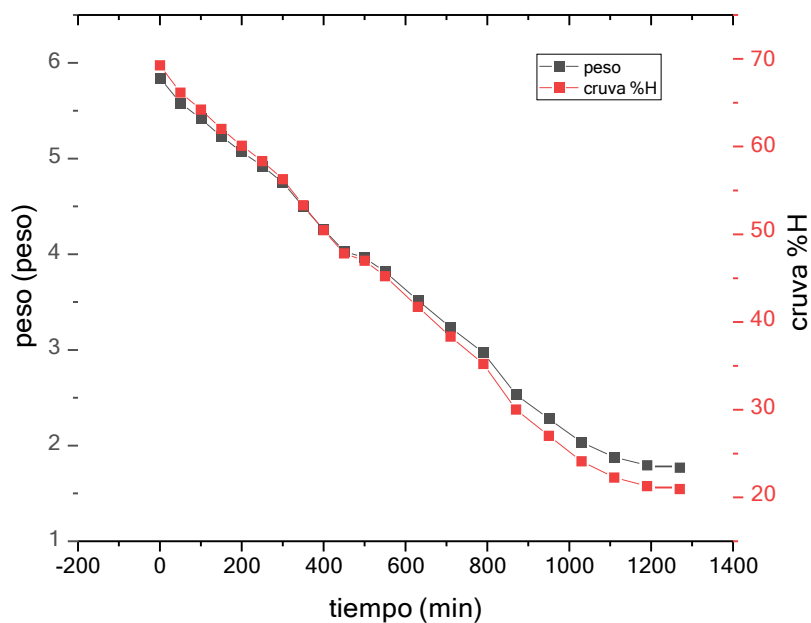


Gráfica 6.8. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 2)

En la Tabla 6.14 se observa que se obtiene una humedad de 69.26% y una pérdida de altura y ancho de 24.44% y 39.90% respectivamente, siendo este último el más alto en todas las muestras hechas. Como en la figura anterior, la Figura 6.9 nos muestra la misma anomalía como el mismo comportamiento en ambos casos (peso y curva de humedad).

Tabla 6.14. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 3) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (MM)	B (MM)	CURVA %H
0	5.841	18	21.8	69.2689608
60	5.579	18.4	21.1	66.1618785
120	5.416	17.9	19.7	64.2288464
180	5.23	17.9	19.4	62.0230551
240	5.069	17.6	19.2	60.1137412
300	4.921	17.4	19	58.3585955
360	4.747	17.2	19	56.2951133
420	4.496	17	19	53.318481
480	4.256	17	18.7	50.4722988
540	4.033	16.8	18.4	47.8277211
600	3.963	16.5	17.8	46.9975846
660	3.814	16.2	16.8	45.2305798
720	3.519	15.4	16.5	41.7321474
780	3.233	15.1	16.5	38.3404469
840	2.97	14.8	15.8	35.2215055
900	2.532	14.5	15.4	30.0272229
960	2.279	14.5	14.8	27.0268724
1020	2.034	14.2	13.5	24.1213947
1080	1.878	14	13.3	22.2713762
1140	1.795	13.6	13.1	21.2870715
1200	1.769	13.6	13.1	20.9787351

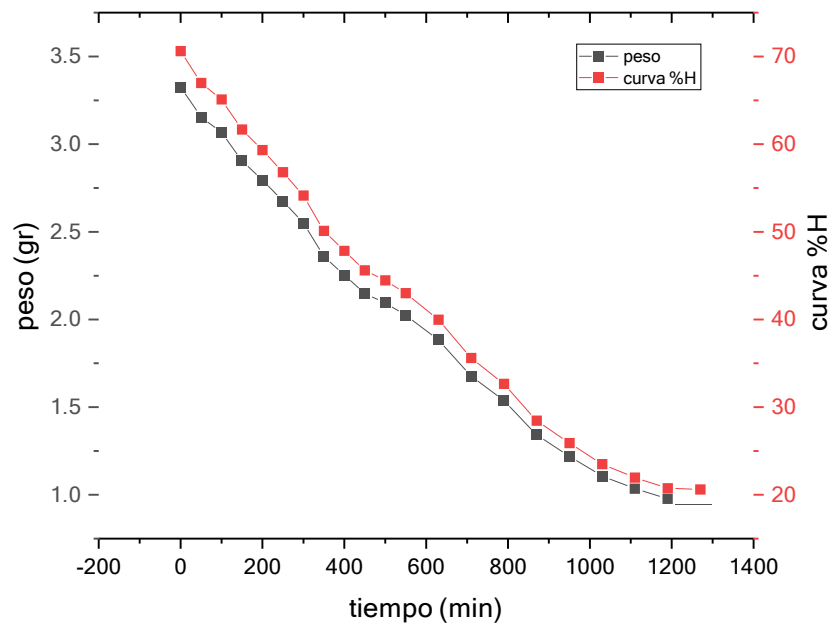


Gráfica 6.9. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 3)

Se observa que en la Tabla 6.15 se tiene una humedad 70.62%, como una perdida en altura de 24.84% y en ancho un 32%. La Figura 6.10 nos muestra el comportamiento de las curvas de peso y curva de humedad vs el tiempo, en el cual observamos el mismo comportamiento similar en ambos casos.

Tabla 6.15. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 4) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (MM)	B (MM)	CURVA %H
0	3.326	15.7	17.5	70.6253758
60	3.155	14.4	17.4	66.9943057
120	3.066	13.9	16.8	65.1044505
180	2.905	13.9	16.7	61.6857236
240	2.795	13.9	16.5	59.3499475
300	2.676	13.7	15.9	56.8230625
360	2.55	13.7	15.4	54.1475371
420	2.36	13.7	15.4	50.1130147
480	2.253	13.7	15.1	47.8409416
540	2.148	13.6	14.7	45.6113371
600	2.094	13.6	14.1	44.4646834
660	2.025	13.1	14.1	42.9995147
720	1.883	13.1	13.8	39.9842401
780	1.677	12.8	13.8	35.6099685
840	1.538	12.2	13.1	32.6583969
900	1.341	12.2	13.2	28.4752342
960	1.22	12.1	12.5	25.9058805
1020	1.107	12.1	12.1	23.5064014
1080	1.035	11.8	11.9	21.9775298
1140	0.977	11.8	11.9	20.7459387
1200	0.971	11.8	11.9	20.6185328



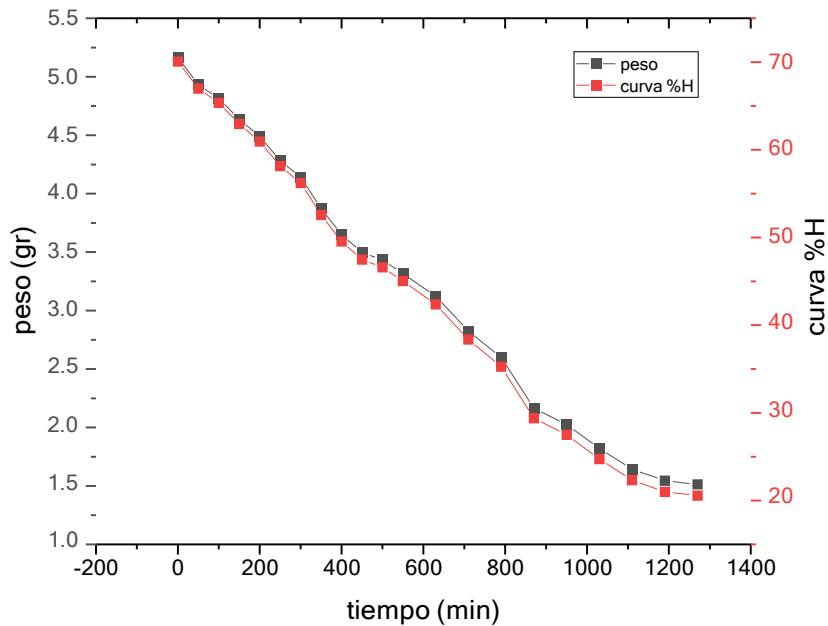
Gráfica 6.10. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 4)

En la Tabla 6.16 se obtiene una humedad de 70.06% y una pérdida de altura de 28.79% está siendo la mayor perdida en altura de todas las muestras y de ancho 33.33%. El comportamiento observado en la gráfica es el esperado, así como similar entre sí, en ambos casos la curva va descendiendo, ya que las curvas se sobreponen entre sí llegando a diferenciales a la mitad del proceso.

Tabla 6.16. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 5) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	5.161	19.1	19.8	70.0639411
60	4.933	18.4	19	66.9686924
120	4.813	17.1	18.6	65.3396141
180	4.636	16.8	18.3	62.9367237
240	4.489	16.5	18.3	60.9411028
300	4.282	16.5	18.1	58.1309428
360	4.14	16.4	17.8	56.2032002
420	3.872	16.4	17.5	52.5649254
480	3.649	16.4	17.1	49.5375549
540	3.496	16.4	17.1	47.4604802
600	3.432	16.2	17.1	46.5916384
660	3.317	16.2	16.9	45.0304384
720	3.121	15.8	16.6	42.3696106
780	2.825	15.3	16.2	38.3512175
840	2.597	14.9	15.7	35.2559688

900	2.163	14.5	15.4	29.3641357
960	2.024	14.5	14.9	27.4771201
1020	1.821	14.3	14.4	24.7212627
1080	1.643	14.2	13.9	22.3047966
1140	1.545	13.9	13.5	20.9743827
1200	1.513	13.6	13.2	20.5399618



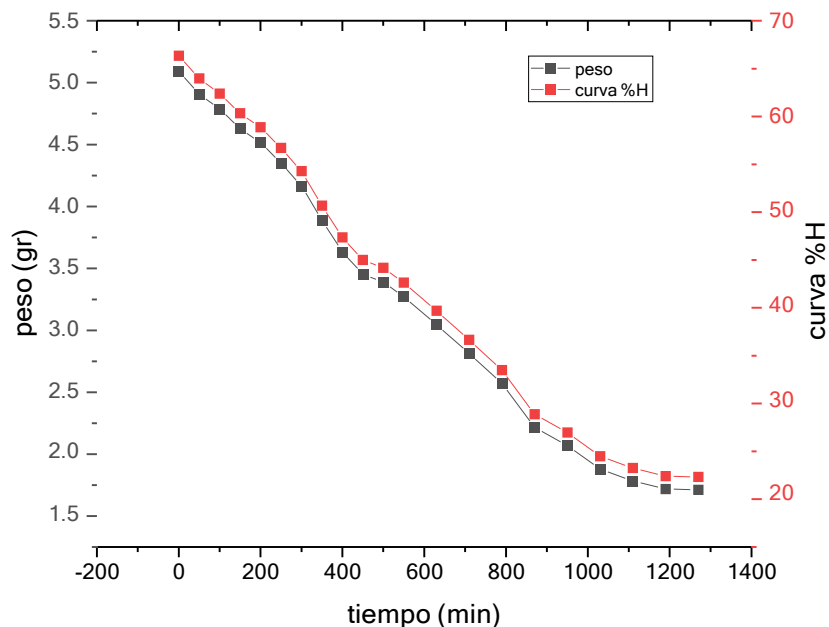
Gráfica 6.11. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 5)

En la muestra 6 (Tabla 6.17) se obtiene una humedad de 66.34%, mientras que la perdida de altura es de 21.17% y el ancho de 25.26%. Se puede observar en la Figura 6.12 que el comportamiento es similar a entre sí como lo es con las otras muestras, con esto se puede decir que en todos los casos la curva descendente con tendencia a lo lineal es la deseada.

Tabla 6.17. peso, contenido de humedad y tamaño del nanche (muestra 6) en diferentes tiempos

T (MIN)	PESO (GR)	H (CM)	B (CM)	CURVA %H
0	5.09	17	19	66.345776
60	4.907	15.7	18.8	63.9604564
120	4.786	15.6	18.5	62.3832778
180	4.628	15.6	18.2	60.3238215
240	4.516	15.3	17.5	58.8639537
300	4.35	15.1	16.8	56.7002212

360	4.164	15.1	16.8	54.2757979
420	3.887	14.8	16.7	50.6652321
480	3.633	14.8	16.7	47.3544606
540	3.452	14.8	16.7	44.99521
600	3.389	14.8	16.7	44.1740344
660	3.271	14.4	16.4	42.6359594
720	3.045	14	16.4	39.6901548
780	2.812	13.6	16.4	36.6531085
840	2.569	13.6	16.4	33.4857168
900	2.215	13.4	15.1	28.8714919
960	2.068	13.4	15	26.9554155
1020	1.879	13.4	14.8	24.4918886
1080	1.784	13.4	14.6	23.2536079
1140	1.719	13.4	14.5	22.4063633
1200	1.713	13.4	14.2	22.3281561






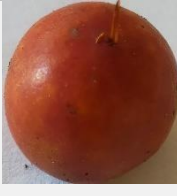









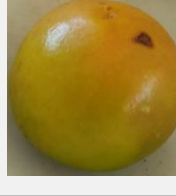

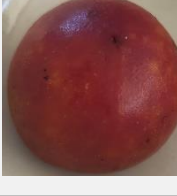

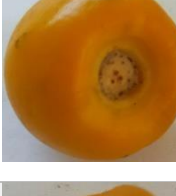
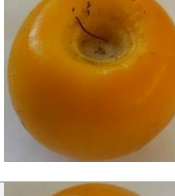


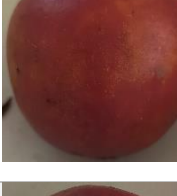






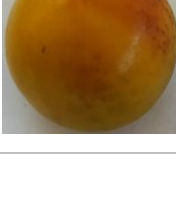
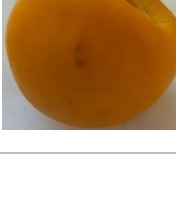


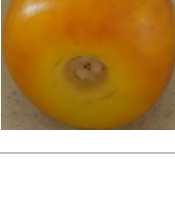
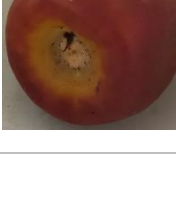


Gráfica 6.12. peso y curva de humedad vs tiempo del nanche (muestra 6)

Comparando las humedades del nanche en todas las muestras tenemos un promedio de 69.54%, la máxima cantidad de humedad la tiene la muestra 1 (Tabla 6.12) mientras que la pérdida de tamaño como máximo se obtuvo en la muestra 3 (Tabla 6.14) con un 39.90% en ancho, en altura se obtuvo como máximo 28.79% en la muestra 5 (Tabla 6.16).

En comparación a las Figuras se puede observar que en las 6 muestras todas tienen un comportamiento similar, como que las curvas de peso y de humedad son al igual similares, en todos los casos las curvas presentan la misma anomalía que ocurre en el tiempo 350, y como también se debe mencionar algunas graficas se sobre ponen o encuentran en algún momento (muestra 1, 2, 3 y 5), mientras que en las muestras 4 y 6 estas son lineales paralelas.

Tabla 6.18. Muestras de secado del nanche.

Tiempo (min)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
0						
50						
100						
150						
200						
250						

300						
350						
400						
450						
500						
550						
630						
710						
790						



6.1.2.1 Grados Brix

Se puede observar los grados brix en la Tabla 6.19 los valores van cambiando dependiendo la madurez de la muestra, observando que 4 muestras tienen valores cercanos, mientras que las muestras 5 y 6 son los que valor más alto se obtuvo de 13 y 14 grados brix, mientras que en la Tabla 6.20 posterior al secado este valor disminuye significativamente teniendo una diferencia de 8 a 9 grados, mientras que en la muestra 6 posterior al secado tiene 5 grados brix, esto se puede deber a que las muestras están en diferente etapa de madurez (indicado por su aspecto físico).

Tabla 6.19. °Brix del nanche antes del secado

MUESTRA	BRIX
1	9
2	10
3	9
4	9
5	14
6	13

Tabla 6.20. °Brix del nanche posterior al secado

MUESTRA	°BRIX
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2.5
6	5

6.1.2.2 pH

En el caso del pH se puede observar un cambio en pH antes del secado el valor es constante y posterior al secado, bajando su acidez.

Tabla 6.21. pH del nanche antes del secado

MUESTRA	PH
1	2.34
2	2.8
3	3.23
4	2.52
5	2.71
6	2.93

Tabla 6.22. pH del nanche posterior al secado

MUESTRA	PH
1	3.05
2	3.75
3	3.12
4	4.18
5	3.45
6	3.15

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

A pesar que las condiciones ambientales son influyentes, a mayor radiación solar el secado se intensifica en los productos perdiendo peso y humedad en mayor proporción. La velocidad del flujo de aire que se suministra al captador solar al igual es de interés ya que se consideró con una velocidad máxima durante el proceso de secado.

Para el caso del guaje, el tiempo efectivo de secado se consideró de 4 horas, las características de aspecto como el color; este cambio de un color verde uniforme a uno de mayor oscuridad (café) con regiones verdes para cada una de las muestras, el olor se intensifico debido a la concentración de nutrientes, mientras que el nanche, este fue cambiando su aspecto conforme al tiempo de un amarillo a un café oscuro para cada muestra, el olor se intensifico. El tiempo de secado se prolongó para los 1200 minutos. Cabe señalar que fueron un total de 20 horas de secado que corresponden a 3 días de proceso, iniciando a las 9:00 hrs y terminando a las 17:00 hrs.

Mientras que observando los cambios del °Brix, notamos que hay cambios significativos para ambos productos, estos tienden a disminuir, sin embargo, para el caso del pH del guaje este tiende a disminuir, mientras que para el nanche aumenta.

7.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar las pruebas a diferentes velocidades de flujo para conocer los tiempos efectivos del secado.

Se recomienda realizar más pruebas experimentales para diferentes épocas del año para garantizar el secado solar a diferentes condiciones de clima.

Se recomienda realizar algún corte al nanche para disminuir el tiempo de secado de 20 horas a menor tiempo. Esto debido a que la piel que lo contiene evita que el flujo de aire penetre de manera directa entre los espacios intersticiales evitando menor contacto.

Se recomienda analizar la humedad inicial con algún otro equipo de mayor sofisticación para contar con datos más precisos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armijos, Y. F. (Junio de 2013). Alimentos Locales de México como Mejoramiento. *Maestría En Agroindustria Rural, Desarrollo Territorial Y Turismo Agroalimentario*. Toluca, Estado de México, México: Universidad Autónoma Del Estado De México.
- Austin, J, Rodriguez, S. Sung, P. Harris, M. (2013). Utilizing microwaves for the determination of moisture content independent of density. *Powder Technology*. 236. 17-23.
- Dergal, S. B. (2006). *Química de los Alimentos* (4a Edición ed.). CDMX: Pearson Educación.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Minnesota: CONTINENTAL, S.A. DE C.V.
- Heredia, S. (2005). Experimentos relacionados con el estudio de pH. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las ciencias*, 103.
- I., M. P. (Primera Edición 2006). Agua, pH y equilibrio químico. 29.
- Monalisa Sahoo, S. T. (2022). Study of the drying behaviour and color kinetics of convective drying of yam (*Dioscorea hispida*) slices. *Industrial Crops & Products*.
- Msc. Gladis Feliciano Gregorio, D. O. (2018). Comercialización de Cecina en Yecapixtla, Estado de México. *Postgrado en Gestión de Investigación y Desarrollo*, 81-92.
- Ramírez, C., Pérez, Y., & Kafarov, V. (2009). Relación Entre Los Azúcares Reductores Totales (Art), Grados Brix Y El Contenido De Sacarosa En Mezclas De Alimentación. *Revista ION*, 27.
- Raúl Medina-Torres, P. J.-L.-G.-G.-S.-R.-M. (2015). Evaluación de calidad en frutos de 41 genotipos de nanche. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 253-264.
- Román-Cortés Nallely, G.-M. M.-G.-C.-A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): un recurso ancestral subutilizado. *Chapingo. Serie horticultura*, 20(2), 157-170.
doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (01 de Agosto de 2017). *Acciones y Programas*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/nanche-byrsonima-crassifolia-l>

Williams, M. A. (2016). *Energía Solar* (3ra ed., Vol. 10). Buenos Aires, Argentina: Esta publicación es propiedad de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

A. El-Beltagy, G. R. Gamea, and A. H. A. Essa, "Solar drying characteristics of strawberry," *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no. 2, pp. 456-464, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.015.

B. K. Bala and N. Debnath, "Solar Drying Technology: Potentials and Developments," *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, vol. 2, pp. 1-5, 2012, doi: 10.4303/jfrea/r120302.

A. Sharma, S. Kumar, and K. Editors, "Green Energy and Technology Energy Sustainability Through Green Energy." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8059>

A. Jha and P. P. Tripathy, "Recent Advancements in Design, Application, and Simulation Studies of Hybrid Solar Drying Technology," *Food Engineering Reviews*, vol. 13, no. 2. Springer, pp. 375-410, Jun. 01, 2021. doi: 10.1007/s12393-020-09223-2.

V. Ekechukwu, B. Norton, E. E. Anyanwu, S. Onyegegbu, O. v Ekechukwu, and B. Norton, "An Overview of Solar Drying Technology Solid Adsorption Solar Refrigeration View project Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology," 1995. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/283089795>

A. Lingayat, V. P. Chandramohan, and V. R. K. Raju, "Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying," in *Energy Procedia*, Mar. 2017, vol. 109, pp. 409-416. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.041.

G. Pirasteh, R. Saidur, S. M. A. Rahman, and N. A. Rahim, "A review on development of solar drying applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31. pp. 133-148, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.rser.2013.11.052.

L. T. Dufera, W. Hofacker, A. Esper, and O. Hensel, "Physicochemical quality of twin layer solar tunnel dried tomato slices," *Heliyon*, vol. 7, no. 5, May 2021, doi: 10.1016/j.heliyon. 2021.e07127.

P. Pruengam, S. Pathaveerat, and P. Pukdeewong, "Fabrication and testing of double-sided solar collector dryer for drying banana," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 27, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101335.

G. A. Çiftçiöđlu, F. Kadırgan, M. A. N. Kadırgan, and G. Kaynak, "Smart agriculture through using cost-effective and high-efficiency solar drying," *Heliyon*, vol. 6, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon. 2020.e03357.

A. Fudholi, K. Sopian, M. H. Yazdi, M. H. Ruslan, M. Gabbasa, and H. A. Kazem, "Performance analysis of solar drying system for red chili," *Solar Energy*, vol. 99, pp. 47-54, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.solener.2013.10.0