

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES DE YECAPIXTLA

**“CINÉTICA DE SECADO DE CECINA USANDO UN SECADOR
SOLAR INDIRECTO”**

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:

IRVIN YOEL CASTRO ALCANTAR

DIRECTOR DE TESIS: DR. ÁNGEL TLATELPA BECERRO

YECAPIXTLA, MORELOS, AGOSTO 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



ESCUELA DE ESTUDIOS SUPERIORES DE YECAPIXTLA

DIRECCIÓN

Yecapixtla, Morelos, 09 de agosto de 2022
EESY/236/2022

Asunto: Aprobación de tesis

C. IRVIN YOEL CASTRO ALCANTAR

PRESENTE

Por este conducto, le notifico que su tesis de Ingeniería titulada: **“CINÉTICA DE SECADO DE CECINA USANDO UN SECADOR SOLAR INDIRECTO”** fue aprobada en su totalidad por el jurado revisor y examinador integrado por los ciudadanos:

NOMBRE	FIRMA
Mtro. Guillermo Raúl Carbajal Pérez	
Dr. Félix David Olivos Juárez	
Mtro. Samuel Portillo Contreras	
Dr. José María Servín Olivares	
Mtro. Julio Pérez Machorro	

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 RAÚL CARBAJAL PÉREZ
Director de la Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla



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

AGRADECIMIENTOS

Para culminar este trabajo de tesis, y gracias por su apoyo y dedicación en todo momento y por creer en mí cada instante y darme motivación para seguir adelante, quiero agradecer:

En primer lugar, a mi director de tesis el Dr. Ángel Tlatelpa Becerro que, gracias a su gran conocimiento, y él es una persona que admiro su inteligencia y la gran disciplina que tuvo conmigo durante el desarrollo del tema mi más sincero agradecimiento a él.

En segundo lugar, a mis padres por su gran apoyo y por aguantar en cada momento de esta trayectoria en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 ANTECEDENTES.....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 General.....	14
3.2 Específicos.....	14
4 HIPÓTESIS.....	15
5 MATERIALES Y METODOS.....	16
5.1 Conceptos.....	16
5.1.1 Secado.....	16
5.1.2 Secado solar.....	16
5.2 Configuración experimental del secador solar.....	18
5.3 Adquisición de datos y control electrónico.....	20
5.3.1 Comunicación entre el microcontrolador y LabVIEW.....	20
5.3.2 Instrumentación electrónica.....	20
5.4 Condición ambiental.....	22
5.5 Cinética de secado.....	23
5.6 Materiales pruebas de Cecina.....	25
5.6.1. Termómetro Higrómetro.....	25
5.6.2 Balanza digital básica.....	25
5.6.3 Balanza para medición precisión.....	26
5.6.4 Medidor de temperatura y humedad.....	26
5.6.5 Anemómetro.....	27
5.6.6 Sensor DHT22.....	27
5.6.7 Sensores DS18B20.....	28
5.7 Características fisicoquímicas.....	29

5.7.1 Humedad.....	29
5.7.2 Grados Brix.....	29
5.7.3 pH.....	31
5.8 Producto “Cecina”	32
5.9 Procedimientos y actividades realizadas.....	33
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
6.1 A Datos climáticos.....	35
6.2 Cálculo de propiedades fisicoquímicas y características geométricas.....	36
6.3 Secado con un horno de laboratorio.....	37
6.4 Cinética de secado de cecina con el uso de secador solar.....	38
6.5 Discusión.....	43
6.5.1 Difusividad efectiva.....	43
6.5.2 Características geométricas y de apariencia de la cecina, antes y después del secado.....	44
6.5.3 Propiedades fisicoquímicas y de apariencia de cecina seca artesanal versus cecina seca con equipo solar.....	45
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
7.1 Conclusiones.....	49
7.2 Recomendaciones.....	50
8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contenido aproximado de agua en algunos alimentos	29
Tabla 2. Proceso de secado de la Cecina.....	34
Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas y características geométricas.....	36
Tabla 4. Peso inicial y humedad de las muestras de cecina.....	38
Tabla 5. Tasas de flujo de aire en la cámara de secado	39
Tabla 6. Tabla 4. Influencia de la temperatura dentro de la cámara de secado y el espesor de la muestra sobre la difusividad efectiva $Deff$	42
Tabla 7. Cambio en las características geométricas de las muestras de cecina durante el proceso de secado.	44
Tabla 8. pH, salinidad y densidad de muestras de cecina antes y después del secado.	46
Tabla 9. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la cecina seca artesanal versus cecina seca por el equipo solar.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Secador solar	17
Figura 2. Geometría y dimensiones del secador solar.	18
Figura 3. 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.	19
Figura 4. 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.....	21
Figura 5. 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.....	22
Figura 6. Termómetro Higrómetro Digital De Sonda Medidor De Humedad HRIOEM, modelo 199 25	
Figura 7. Balanza digital básica.....	25
Figura 8. Balanza para medición precisión	26
Figura 9. Medidor de temperatura y humedad	26
Figura 10. Anemómetro	27
Figura 11. Sensor DHT22	27
Figura 12. Sensor DS18B20	28
Figura 13. Refractómetro para la medición de °Brix, densidad y salinidad.	31
Figura 14. Analizador de pH.	32
Figura 15. Cocina de Yecapixtla.....	33
Figura 16. Datos meteorológicos de tres días durante el período experimental. La radiación solar R_{12nov} , R_{16nov} , y R_{29nov} , y la temperatura ambiente $T_{a, 12nov}$, $T_{a, 16nov}$, and $T_{a, 29nov}$ corresponden a los días 12, 16 y 29 de noviembre de 2021.....	35
Figura 17. Muestras de cecina en diferentes días. SMP_{Nov12} , SMP_{Nov16} y SMP_{Nov29} corresponden a los días 12, 16 y 29 de noviembre de 2021.....	36
Figura 18. Pérdida de humedad y peso. $MSMP_{o, 1}$, $MSMP_{o, 2}$ y $MSMP_{o, 3}$ corresponde a la pérdida de humedad. Mientras que $WSMP_{o, 1}$, $WSMP_{o, 2}$ y $WSMP_{o, 3}$ corresponde a la pérdida de peso.....	38
Figura 19. La temperatura del flujo de aire dentro de la cámara de secado. $TSMPSD, 1$, $TSMPSD, 2$ y $TSMPSD, 3$ son las temperaturas dentro de la cámara de secado.....	40
Figura 20. Pérdida de humedad. $MSMPSD, 1$, $MSMPSD, 2$ y $MSMPSD, 3$ corresponden a la pérdida de humedad de cada muestra.	40
Figura 21. Figura 10. Pérdida de peso. $WSMPSD, 1$, $WSMPSD, 2$ y $WSMPSD, 3$) corresponden a la pérdida de peso de cada muestra.	41
Figura 22. Características físicas de las muestras de cecina durante el período de secado. El cambio de color con el tiempo de secado se representa de izquierda a derecha en la imagen.	45
Figura 23. Comparación de cecina seca artesanal versus cecina seca por el equipo solar.	47

RESUMEN

Este estudio presenta el comportamiento de secado de la cecina de Yecapixtla, Morelos, México mediante un secador solar indirecto, para obtener la cinética de secado. Se examinó su comportamiento de la carne mediante su proceso de secado, observándose efectos significativos relacionados con los niveles de pH, salinidad y densidad de la cecina. Los coeficientes de difusión efectiva D_{eff} fueron de 5.673×10^{-9} , 2.644×10^{-9} , $2.133 \times 10^{-8} \frac{m^2}{s}$ para tres muestras correspondientes. A diferentes días de elaboración se comparan muestras de cecina seca artesanal. La cecina seca de este estudio los resultados mostraron una mayor concentración de salinidad y un menor pH de la cecina seca, de este estudio versus la cecina artesanal secada solarmente, a través del secador indirecto presente en este trabajo es una alternativa viable para darle valor agregado a la producción de cecina de Yecapixtla en Morelos, México.

ABSTRACT

This study presents the drying behavior of cecina from Yecapixtla Morelos through an indirect solar dryer to obtain the drying kinetics. The behavior of the drying kinetics was examined, observing significant effects related to the levels of pH, salinity, and density of the cecina. The effective diffusion coefficients D_{eff} were 5.673×10^{-9} , 2.644×10^{-9} , $2.133 \times 10^{-8} \frac{m^2}{s}$ for three samples corresponding to different days of elaboration. Artisanal dry cecina samples are compared versus the dry cecina of this study. The results showed a higher concentration of salinity and a lower pH of the dry cecina of this study versus the dry artisanal cecina. Solar drying through the indirect dryer present in this work is a viable alternative to give added value to the production of cecina from Yecapixtla in Morelos, Mexico.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el municipio de Yecapixtla en el Estado de Morelos es reconocido por la preparación tradicional y artesanal de cecina de ganado vacuno. Sobre todo, es único por su incomparable sabor y calidad, la palabra cecina, proviene del latín "siccus", que significa seco, la técnica de preparación de esta carne tiene más de 200 años de tradición, los mejores cortes para esta preparación son la pierna y el lomo de res. El corte se considera en filetes y muy delgado, ya que es una característica de la cecina de Yecapixtla que es delgada y fácil de masticar, la preparación siempre se ha considerado un ritual porque se prepara con las manos, no se utiliza ningún equipo en el proceso y el ritual es interesante; la carne se unta con mantequilla de sal y se expone al sol para su proceso de secado, el cual, puede absorber sus nutrientes, obteniendo la cecina. El método de secado utilizado, es el secado al sol abierto, usado en la mayoría de los países tropicales y subtropicales para la conservación de alimentos (Bala & Debnath, 2012; El-Beltagy et al., 2007) Este proceso es una buena alternativa, pero los alimentos se contaminan con polvo, infestación de insectos, contaminación microbiana (Sharma et al., n.d.) y pueden volverse no aptos para el consumo humano, asimismo, la exposición directa al sol deteriora el producto, cambiando su textura, color y sabor debido a la radiación directa que le llega.

En la última década, los productores han tenido un aumento considerable en las ventas de cecina en la región y distribuyen sus productos en todo México e internacionalmente. El aumento de sus ventas le ha permitido producir más productos. Sin embargo, el problema se centra en los altos costos de transporte debido a los congeladores por la gran cantidad de producto a transportar ya que es muy costoso el transportar productos utilizando congeladores para la preservación del producto. Por ello, los productores han pensado en buscar otras alternativas encontrando el método de secado, como utilizar equipos que utilicen energías no renovables (Gas LP, eléctrico e híbrido) para eliminar la mayor parte de la humedad de la cecina para su conservación, almacenamiento, y transporte Sin embargo, estos equipos se vuelven costosos en su adquisición, operación, mantenimiento y,

sobre todo, contaminan el medio ambiente (Ekechukwu et al., 1995; Jha and Tripathy, 2021; Lingayat et al., 2017; Pirasteh et al., 2014) .

Buscar alternativas con equipos que utilicen fuentes de energía renovables como el secado solar es un nuevo desafío, el secado solar, se considera hoy en día una de las áreas más prometedoras para su implementación, utilizando la energía radiante del sol. Por lo tanto, los secadores solares son una buena opción, ya que suelen ser de bajo costo, al igual que su mantenimiento, operación y sobre todo, han brindado buenas características en el secado de los productos, conservando su sabor, color, consistencia y apariencia, Este tipo de equipos son dispositivos que captan la energía radiante del sol, para aumentar la temperatura del fluido (aire) dentro de la cámara de secado aunque existen diferentes diseños (Bala & Debnath, 2012), esta tecnología, ha sido utilizada en el área de la agricultura; como principalmente en el secado de frutas, verduras y legumbres, obteniendo buenos resultados (Çiftçioğlu et al., 2020; Dufera et al., 2021; El-Beltagy et al., 2007; Fudholi et al., 2014; Pruengam et al. al., 2021). Y sobre todo, mejorando su apariencia, textura, sabor y olor, evitando su deterioro y mejorando su calidad (Pirasteh et al., 2014).

Además, este equipo se ha utilizado con otros productos por ejemplo: en el secado de madera (Fuentes et al., 2003; Nelli et al., 2021; Solís et al., 2003), en el secado de residuos (lodos) de aguas residuales (Kamil et al., 2007), por mencionar algunas otras aplicaciones sin embargo, existen muy pocos estudios sobre el secado solar de carnes de diferentes especies animales para su conservación algunos autores, han realizado estudios sobre el secado de carne de camello (Chaouch et al., 2018) y Eland (Kučerová et al., 2018) Por otro lado, también han secado la carne de res de forma natural o con infusiones condimentadas utilizando diferentes equipos solares (Apata et al., 2013; Mewa et al., 2019; Nguyen & Nguyen, 2014; Subbian et al., 2019) Todos estos estudios han obtenido resultados satisfactorios en sus procesos. Como referencia (Kučerová et al., 2018), los investigadores llevaron a cabo el proceso de secado Eland utilizando un secador solar de doble paso y un secador de laboratorio se realizaron análisis sobre los cambios en las propiedades organolépticas y las características fisicoquímicas antes y después del secado. Sus

resultados muestran que las propiedades organolépticas de la cecina son como el uso del secador solar versus el secador de laboratorio.

La literatura muestra, que el secado solar, de la carne no ha sido ampliamente explorado. Por tanto, la tecnología solar, sigue en estudio y es especialmente prometedora para el secado de carnes en el ámbito industrial.

En este trabajo de investigación, se ha estudiado la cinética de secado de la cecina de Yecapixtla, utilizando un secador solar indirecto de flujo forzado. Se implementa el modelo de difusión de Fick, para conocer el comportamiento de secado de la cecina sin embargo, para garantizar el proceso de secado efectivo, las propiedades fisicoquímicas del producto, como el pH, la densidad y la salinidad, se miden antes y después del secado para conocer el cambio en estos parámetros para ello, las condiciones climáticas como la radiación solar y la temperatura, juegan un papel muy importante en este proceso de secado ya que tanto el pH como la densidad y la salinidad, se ven significativamente afectados por la temperatura finalmente, se hace una comparación de las propiedades fisicoquímicas y de apariencia entre la cecina seca artesanal versus la seca por secador solar.

2 ANTECEDENTES

Estado de Morelos se ubica el municipio de yecapixtla se ha caracterizado por su tradicional, en la elaboración de cecina proveniente del ganado vacuno, teniendo un rico sabor gastronómico y siendo muy exquisita. Elaborada artesanal que se hace cada uno de los procesos para su elaboración así obteniendo la tradicional cecina.

Aunque se han realizado estudios sobre secado de alimentos, la mayoría de estas corresponden a secado de productos agrícolas. El método de secado usado es el secado al sol abierto que se emplea en la mayoría de los países tropicales y subtropicales para la conservación de alimentos [Beltagy et al. 2007; Bala y Debnath 2012]. Este proceso llega ser una buena alternativa, pero, 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. Al igual, exponer al sol directamente deteriora al producto cambiando textura, color y sabor por la radiación directa que llega a este.

Tal como se muestra en la literatura, el secado solar de cárnicos no ha sido muy explorada. Por lo tanto, la tecnología solar sigue siendo estudiada y sobre todo prometedora en el futuro para el secado cárnicos en el área industrial.

Por lo tanto, este trabajo de investigación se enfoca en el estudio de la cinética de secado de la Cecina de Yecapixtla para acelerar el proceso, y sobre todo para garantizar la calidad de esta a través de los análisis de las propiedades fisicoquímicas antes y después del proceso de secado.

3 OBJETIVOS

3.1 General

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

3.2 Específicos

3.2.1 Estado de arte.

3.2.2 Comprobar la ecuación de la difusión de Fick.

3.2.3 Modelo físico del secador solar indirecto.

3.2.4 Medición de las propiedades fisicoquímicas.

3.2.5 Estudio de la cinética de secado.

3.2.6 Análisis de resultados.

4 HIPÓTESIS

El secado solar es un método que permite conservar las características generales de la Cecina, tal como su sabor y textura, conservando en mayor proporción sus nutrientes.

El modelo difusivo de Fick puede ser capaz de ajustarse a los datos experimentales obtenidos en el proceso de secado de la Cecina, y obtener el tiempo efectivo de secado.

5 MATERIALES Y METODOS

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 activos cuando se reduce el contenido de agua por debajo del 10% en el peso total, 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.

5.1.2 Secado solar

El método de secado más conocido, es el secador solar que es un método ancestral, es muy utilizado 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 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 con el equilibrio de la superficie del producto y la presión interna que ejerce con la presión de vapor del aire exterior, para poder llegar a esto, se debe tener una atmosfera de baja humedad relativa, 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).

Un secador solar, se puede construir con diferentes materiales, tales como el metal e inclusive madera para su aislación, capacidad de secado y la calidad de los productos obtenidos el secador solar consta de dos piezas; uno que corresponde al colector solar cuya función es captar los rayos del sol la parte superior del colector solar suele recubrirse con polietileno transparente, policarbonato, vidrio o chapa negra. En la parte inferior del mismo, suele colocarse polietileno negro, o chapa pintada de color negro o recubierto con papel aluminio la segunda pieza, corresponde a la cámara de secado de diferentes geometrías y que puede cubrirse con polietileno transparente o negro, policarbonato, láminas metales las cámaras opacas, presentan la ventaja de que la radiación solar no incide directamente sobre el producto es recomendable colocarle aislación a la cámara de deshidratado para evitar pérdidas de calor la misma, puede realizarse con capas de diferentes materiales como; poliuretano. En la cámara de secado, se acomodan las bandejas a modo de repisas estas pueden construirse con una malla plástica resistente (tipo mosquitero) No es conveniente utilizar materiales metálicos (excepto acero inoxidable) debido a que se oxidan al entrar en contacto con los líquidos eliminados por los alimentos el ingreso y egreso de aire, deben cubrirse con una malla mosquitera para evitar el ingreso de insectos y roedores.

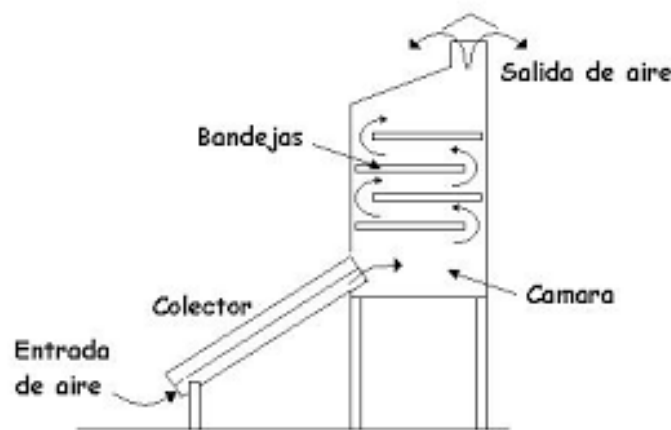


Figura 1. Secador solar

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 2).

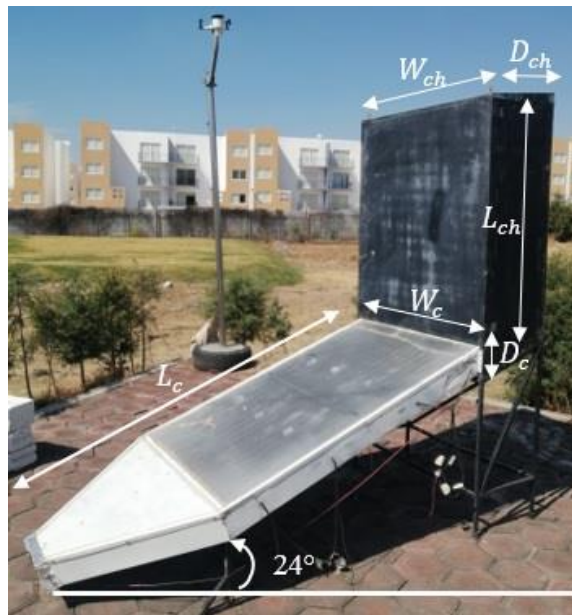


Figura 2. Geometría y dimensiones del secador solar.

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 3a) 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 3b 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 tela de nylon las bandejas se disponen horizontalmente con las siguientes dimensiones: largo (L_t) 0,88 m y ancho (W_t) 0,41 m (Figura 3c).



Figura 3. 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 La programación grafica

Se utiliza una tarjeta de desarrollo 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 de simulación numérica. 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 4a. 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 $\pm 5\%$ rdg + 0,5 (Figura 3a) Asimismo, la cámara de secado se dispuso con un sensor de temperatura y humedad DHT22 (S₁) con una precisión de ± 0.1 °C en su centro, Figura 4b.



Figura 4. 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



Figura 5. 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 5a. 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 5b muestra el secador solar. 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.

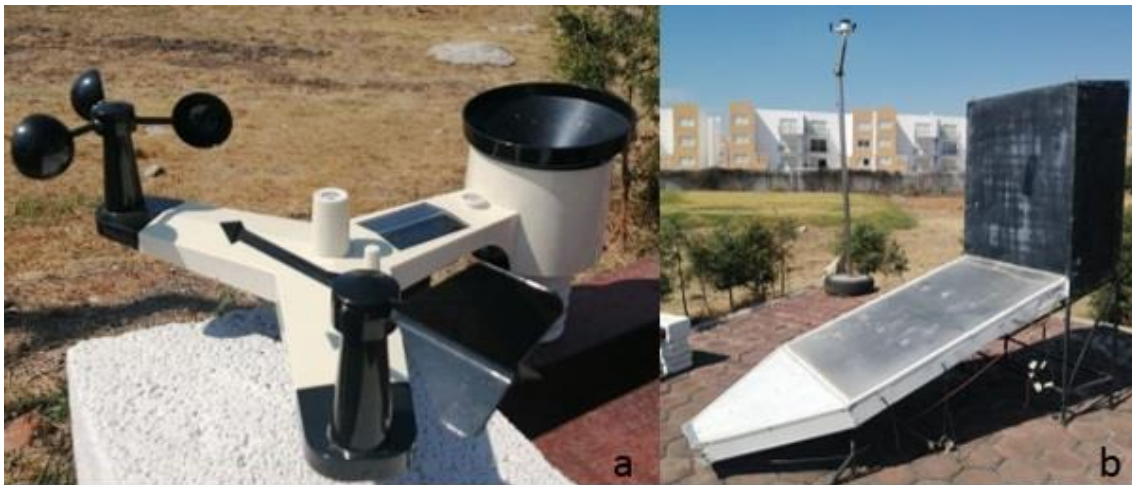


Figura 6. a,) Estación meteorológica para medir la radiación solar y la temperatura ambiente. b) Una estación meteorológica de 3,5 m de altura y situada junto al secador solar.

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 (M) es masa del producto (t) es el tiempo, (DM) es la difusividad efectiva, 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 (MR) dentro del sólido es una función de la naturaleza física en el 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.

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

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):

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

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:

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

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 Materiales pruebas de Cecina

5.6.1. Termómetro Higrómetro

Para llevar a cabo la verificación de datos de la cecina antes del secado, se utilizará un equipo especializado como termómetro higrómetro digital marca OEM, modelo 199, este equipo se utilizará para tomar datos de la humedad que contiene cada una de las pruebas de cecina, Figura 7.



Figura 7. Termómetro Higrómetro Digital De Sonda Medidor De Humedad HRIOEM, modelo 199

5.6.2 Bascula digital básica

Para el secado de cecina se utilizó herramientas de medición, para el peso de cada muestra se utilizó una báscula analítica básica con una capacidad de 30 kg marca electronic weighing s/n: HSDB1227072, Figura 8.



Figura 8. Bascula digital básica

5.6.3 Bernier para medición precisión

Para la medición de dimensiones de cada prueba se utilizó un vernier de la marca Steren se usó para tener precisión de las dimensiones, Figura 9.



Figura 9. Bernier para medición precisión

5.6.4 Medidor de temperatura y humedad

La medición de humedad y temperatura para cada prueba, se utilizó un aparato de medición, de humedad digital GM640 Figura 10.



Figura 10. Medidor de temperatura y humedad

5.6.5 Anemómetro

Para la medición del aire se ocupó un Anemómetro de mano, medidor de velocidad de viento con retroiluminación LCD digital, termómetro de medición de velocidad de flujo de aire. Figura 11.



Figura 11. Anemómetro

5.6.6 Sensor DHT22

Estos sensores se usan para la medición de temperatura y humedad se encuentra dentro un solo sensor de la cabina, donde empieza el secado para saber cada momento y monitorear las dos variables, Figura 12.



Figura 12. Sensor DHT22

5.6.7 Sensores DS18B20

Los sensores usados son 15 sensores que monitorean a cada momento la temperatura, cada dos segundos refleja valores, estos sensores ubicados en el interior de los tubos distribuidos estos sensores son muy eficaces para obtener valores reales, Figura 13.



Figura 13. Sensor DS18B20

5.7 Características fisicoquímicas

5.7.1 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 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), ver Tabla 1.

Tabla 1. Contenido aproximado de agua en algunos alimentos

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

5.7.2 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 ($^{\circ}\text{Bx}$) corresponde a 1 gramo de sacarosa en 100 g de solución, es decir, una solución de 25 $^{\circ}\text{Bx}$ 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 14.



Figura 14. Refractómetro para la medición de °Brix, densidad y salinidad.

5.7.3 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, es el 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 15.



Figura 15. Analizador de pH.

5.8 Producto “Cecina”

La tradicional Cecina Negra, que a lo largo de todo el país se consume y se conoce como cecina de Yecapixtla es de res y se fabrica de forma tradicional en muchísimos hogares de Yecapixtla el secreto es el corte suave y muy delgado que hace sobre las piezas el maestro cecinero usando un cuchillo muy especial, el corte tiene como peculiaridad ¡nunca terminar!

El corte es en el sentido de las fibras musculares y al terminar la pieza, el maestro cecinero se las ingenia para sin cortar, cambiar de sentido y regresar cortando sobre la misma pieza, así que como seña particular la buena cecina es de una sola pieza una vez cortada la cecina el maestro cecinero procede a tratar la carne con manteca y sal con sus propias manos y después se pone al sol para que absorba estas propiedades.

El tratamiento de la cecina proviene de viejas técnicas prehispánicas que se usaban para conservar carnes de animales, para los largos viajes de mensajeros, exploradores, comerciantes y guerreros, las técnicas de conservación en la colonia se perfeccionan con las técnicas españolas para la elaboración de los jamones ibéricos y belloteros, Figura 16.

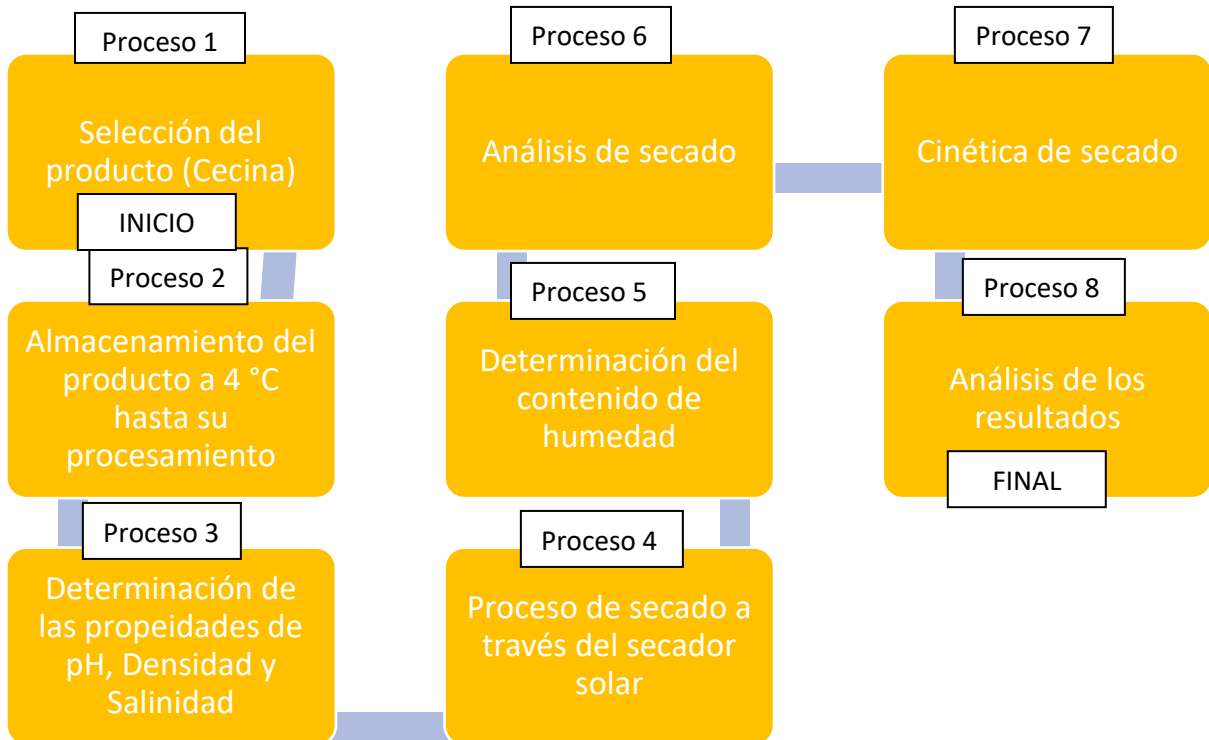


Figura 16. Cecina de Yecapixtla.

5.9 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 de la cecina. Tal como se muestra en la Tabla 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 de la Cecina.

Tabla 2. Proceso de secado de la Cecina



6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestra los estudios del secado de la cecina, antes se miden los parámetros a medir que es la humedad, y peso, de cada muestra inicial. Antes de empezar con el secado usando un método denominado horno esto ayudara a monitorear el control de temperatura de cada muestra durante el tiempo de secado, con la ayuda de un secador solar indirecto de flujo forzado.

6.1 A Datos climáticos

Todos los experimentos de secado se realizaron los días 12, 16 y 29 de noviembre de 2021, en horario de 10:00 a 16:00 horas la radiación solar y la temperatura ambiente juegan un papel importante en los procesos de secado, por lo tanto, la Figura 17. Muestra los datos meteorológicos durante el período experimental. La variación de las magnitudes de la radiación y la temperatura ambiente a lo largo del tiempo se debe a las condiciones climáticas con nubosidad por periodos cortos.

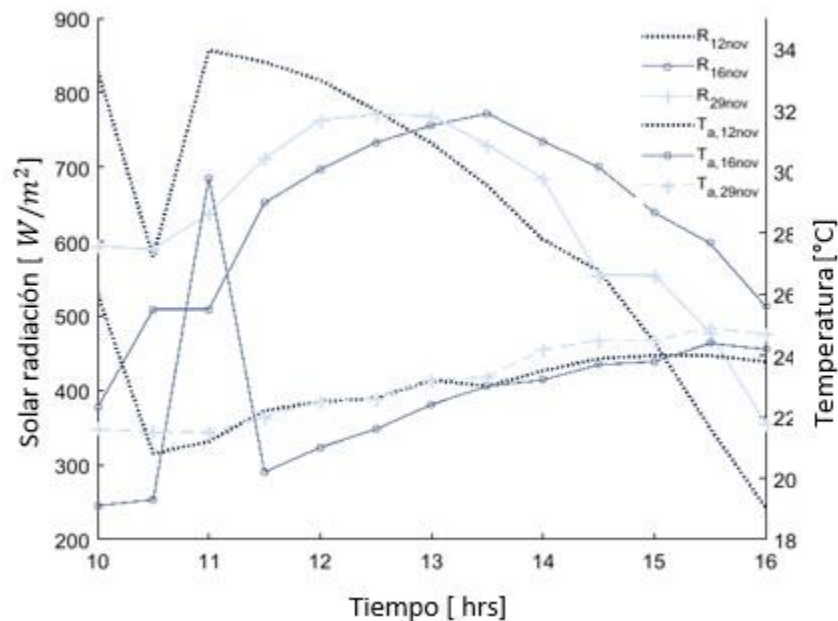


Figura 17. Datos meteorológicos de tres días durante el período experimental. La radiación solar R_{12nov} , R_{16nov} , y R_{29nov} , y la temperatura ambiente $T_{a,12nov}$, $T_{a,16nov}$, and $T_{a,29nov}$ corresponden a los días 12, 16 y 29 de noviembre de 2021.

6.2 Cálculo de propiedades fisicoquímicas y características geométricas

Para los experimentos se utilizaron muestras de cecina, ver Figura 18. Estas muestras se consideran lo más similares posible, tanto en peso como en dimensiones geométricas para su procesamiento las muestras de cecina se recolectaron para diferentes días de producción en el municipio de Yecapixtla Morelos, latitud 18°52'26.5" N y longitud -98°51'15.5" o las muestras utilizadas se almacenaron en un congelador a 4° C hasta su proceso de secado las medidas físicas y las propiedades fisicoquímicas determinadas se muestran en la Tabla 3. Además, las propiedades como la densidad, la salinidad y el pH se comparan con las muestras secas.



Figura 18. Muestras de cecina en diferentes días. SMP_{Nov12} , SMP_{Nov16} y SMP_{Nov29} corresponden a los días 12, 16 y 29 de noviembre de 2021.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas y características geométricas

Día	Muestra	Peso (g)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Salinidad (%)	Densidad $\frac{kg}{m^3}$	pH
Nov 12	$SMP_{o,1}$	15,59	9,5	7,4	1,5	-	-	-
	$SMP_{SD,1}$	40	14,3	9,9	1,5	9	1.006	-
Nov 16	$SMP_{o,2}$	12,087	9	7	1,1	-	-	-
	$SMP_{SD,2}$	37	13,89	9,8	1,1	7	1.005	5.3
Nov 29	$SMP_{o,3}$	11,186	8,3	5,5	2	-	-	5.3
	$SMP_{SD,3}$	39	14,87	7,4	2	6	1.004	5.3

6.3 Secado con un horno de laboratorio

Previo al proceso de secado de la cecina con el equipo experimental, se determinó el contenido de humedad inicial para tres muestras, a partir del cambio de peso de cada muestra de cecina después de la evaporación del agua absorbida en el horno, aplicando la Ecuación 7 el secado en horno para este proceso, se utiliza el método a una temperatura constante de 105 °C (Tirado et al., 2015) las características de las muestras se presentan en la Tabla 3.

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

Donde:

M_1 =Peso del crisol con la muestra humedad

M_2 =Peso del crisol con la muestra seca

M =Peso de la muestra

Los resultados del contenido de humedad inicial y peso de las muestras **$SMP_{0,1}$, $SMP_{0,2}$ y $SMP_{0,3}$** se presentan en la Tabla 4. La pérdida de peso efectiva se determina con el equipo de horno que se utilizó para el proceso de secado la figura 18 muestra el comportamiento de la pérdida de peso y el contenido de humedad en función del tiempo aquí se observa que, a partir del minuto 120, la pérdida de peso para cada muestra se mantiene sin cambios significativos. Sin embargo, entre el minuto 120 y el 160 las muestras **$SMP_{0,1}$, $SMP_{0,2}$ and $SMP_{0,3}$** tabla3 pierden peso ($W_{SMP_{0,1}}$, $W_{SMP_{0,2}}$ and $W_{SMP_{0,3}}$) y humedad ($M_{SMP_{0,1}}$, $M_{SMP_{0,2}}$ y $M_{SMP_{0,3}}$) con un promedio de 0.154, 0.083 y 0.127 g perdida de peso y 0.601, 0.418 y 0.684 % la perdida de humedad, respectivamente los resultados finales de pérdida de peso y humedad para este método de secado se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Peso inicial y humedad de las muestras de cecina.

Condición	$SMP_{0,1}$		$SMP_{0,2}$		$SMP_{0,3}$	
	$W_{SMP_{0,1}}$	$W_{SMP_{0,2}}$	$W_{SMP_{0,3}}$	$M_{SMP_{0,1}}$	$M_{SMP_{0,2}}$	$M_{SMP_{0,3}}$
Inicial	15,59	60,8851828	12,087	60,9746008	11,186	60,2628285
Final	6,098	23,815128	4,717	23,7955814	4,445	23,9467435

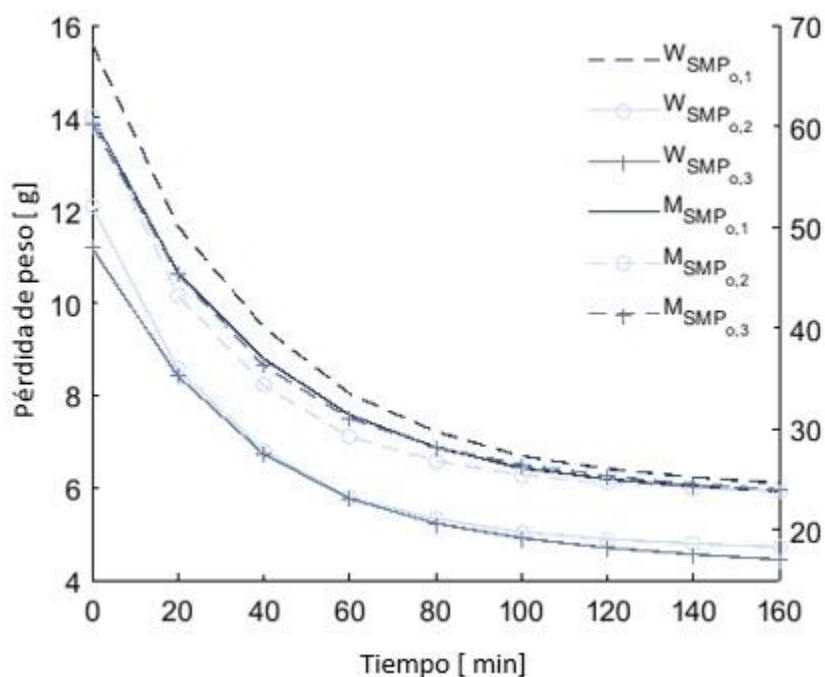


Figura 19. Pérdida de humedad y peso. $M_{SMP_{0,1}}$, $M_{SMP_{0,2}}$ y $M_{SMP_{0,3}}$ corresponde a la pérdida de humedad. Mientras que $W_{SMP_{0,1}}$, $W_{SMP_{0,2}}$ y $W_{SMP_{0,3}}$ corresponde a la pérdida de peso.

6.4 Cinética de secado de cecina con el método de uso de secador solar

Los experimentos se repitieron tres veces para estimar el error experimental para ello, se consideraron las características geométricas y fisicoquímicas de las muestras. $SMP_{SD,1}$, $SMP_{SD,2}$ y $SMP_{SD,3}$, ver Tabla 3 La velocidad del flujo de aire utilizado, pasa por el colector solar donde su temperatura aumenta, y a su vez es transportado a la cámara para llevar a cabo el proceso de secado de embutidos, por lo tanto, las velocidades del flujo de aire suministrado se miden a la entrada de la cámara de secado para cada muestra, Tabla 5.

Tabla 5. Tasas de flujo de aire en la cámara de secado

Tiempo (hrs)	$V_{SMP_{SD,1}} \left(\frac{m}{s}\right)$	$V_{SMP_{SD,2}} \left(\frac{m}{s}\right)$	$V_{SMP_{SD,3}} \left(\frac{m}{s}\right)$
10:00	2,8	3,4	3,1
10:30	3,1	3,5	3,1
11:00	3,3	2,7	3,1
11:30	3,4	3,7	3,1
12:00	3,6	3,5	3,2
12:30	3,1	3,3	3,2
13:00	3,2	3,6	3,6
13:30	3,6	3,4	3
14:00	3,1	3,6	3,2
14:30	3,3	3,3	3,4
15:00	3,3	3,3	3,4
15:30	3,3	3,1	3,4
16:00	3,2	3,5	3,5

Los resultados de la curva de secado se muestran en las Figuras 20 y 21 las graficas, el comportamiento de la cinética de secado de las tres muestras, va disminuyendo exponencialmente a medida que pasa el tiempo para la muestra: **SMP_{SD,1}**, se ve que, durante los primeros 300 minutos pierde la mayor cantidad de peso ($W_{SMP_{SD,1}}$) y humedad ($M_{SMP_{SD,1}}$) por tanto, después de 300 minutos, las curvas mantienen un comportamiento asintótico y estable; esto se logra porque la radiación del sol durante el día en el secador solar R_{12nov} es alta, y debido a esto, la temperatura $T_{SMP_{SD,1}}$ en la cámara de secado es más alta y permanece estable durante el proceso de secado, ver Figura 19. Sin embargo, para la muestra **SMP_{SD,2}** a los 360 minutos alcanza humedad final ($M_{SMP_{SD,2}}$) y peso ($W_{SMP_{SD,2}}$) de: 18.128% y 11g, respectivamente estos resultados son muy cercanos a la muestra **SMP_{SD,1}** con una diferencia de 0.092% para la humedad y 1 g para el peso de las muestras de cecina la radiación solar R_{16nov} es menor durante el experimento en comparación con R_{12nov} ; por lo tanto, la temperatura $T_{SMP_{SD,2}}$ dentro de la cámara de secado tiende a ser más baja debido a esto por lo tanto, el tiempo de secado es 60 minutos mayor que el de la muestra **SMP_{SD,1}** en cambio, los resultados para la muestra **SMP_{SD,3}** pérdida de humedad ($M_{SMP_{SD,3}}$) y peso ($W_{SMP_{SD,3}}$) se alcanzan a los 360

minutos con valores de 24,723%. y 16 g, respectivamente. Estos resultados se obtienen porque la radiación R_{29nov} es mucho más baja (ver Figura 18) que las otras radiaciones R_{12nov} y R_{16nov} . En consecuencia, estos valores indican que requiere un mayor tiempo de secado para alcanzar la humedad y el peso adecuados.

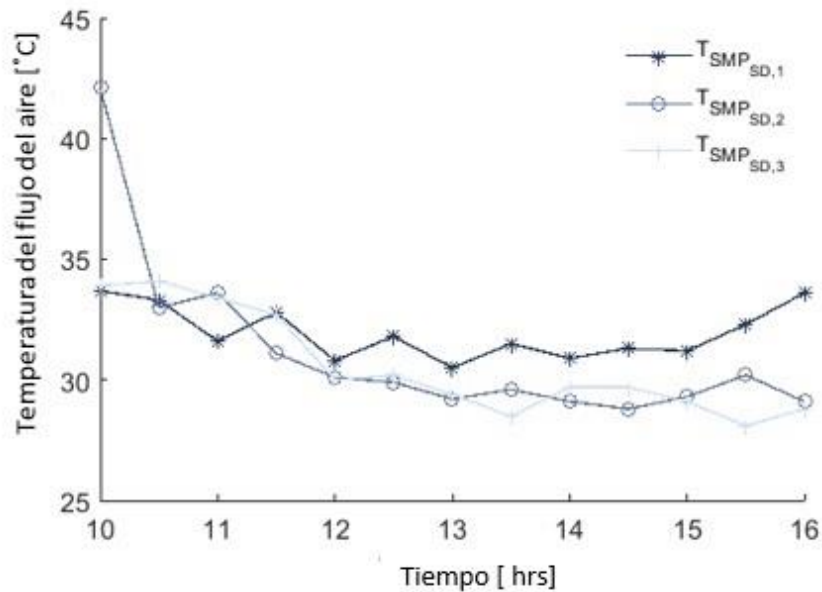


Figura 20. La temperatura del flujo de aire dentro de la cámara de secado. $T_{SMP_{SD,1}}$, $T_{SMP_{SD,2}}$ y $T_{SMP_{SD,3}}$ son las temperaturas dentro de la cámara de secado.

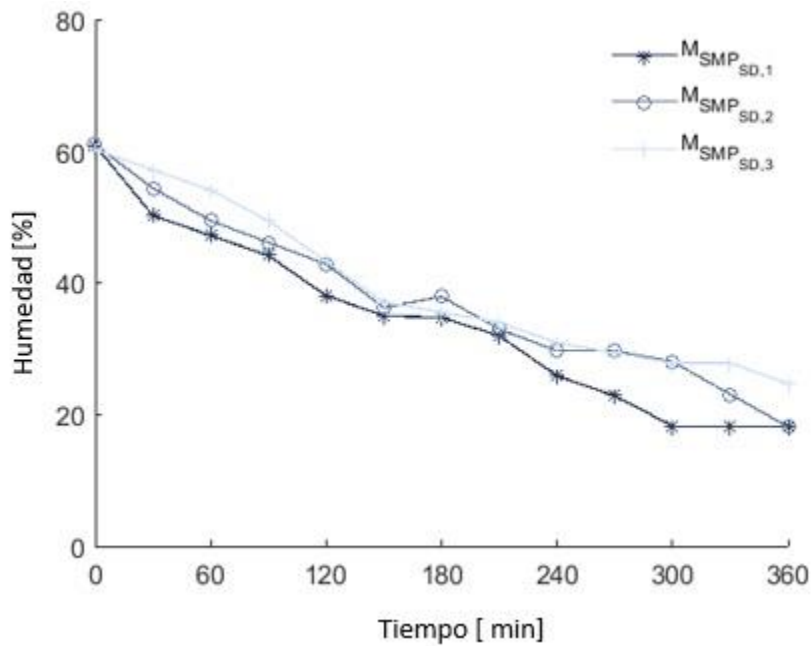


Figura 21. Pérdida de humedad. $M_{SMP_{SD,1}}$, $M_{SMP_{SD,2}}$ y $M_{SMP_{SD,3}}$ corresponden a la pérdida de humedad de cada muestra.

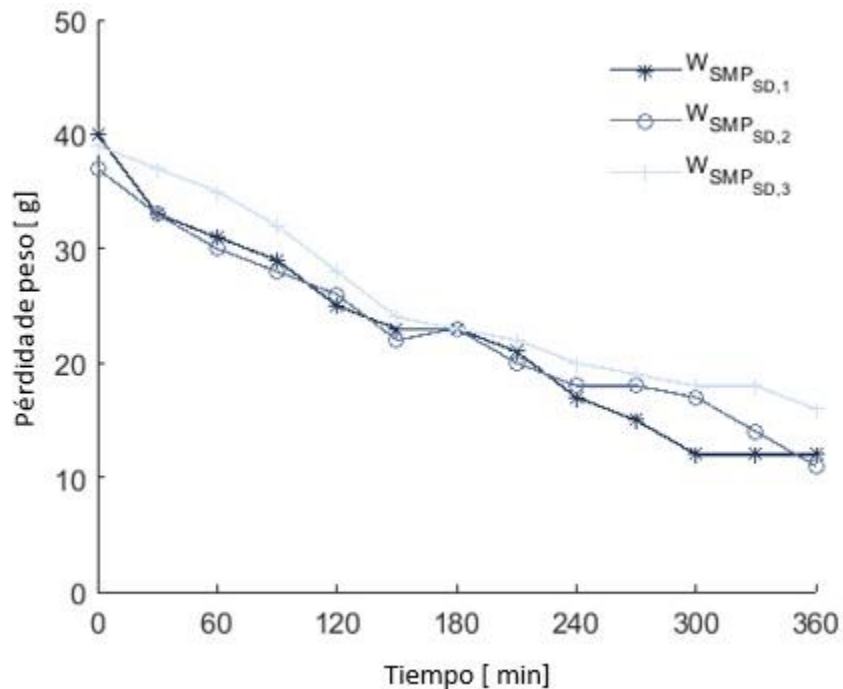


Figura 22. Figura 10. Pérdida de peso. $W_{SMP_{SD,1}}$, $W_{SMP_{SD,2}}$ y $W_{SMP_{SD,3}}$ corresponden a la pérdida de peso de cada muestra.

La difusividad efectiva D_{eff} es un coeficiente que engloba varios fenómenos relacionados con la pérdida de agua en los alimentos el coeficiente se calcula ajustando datos experimentales, utilizando modelos matemáticos como el modelo de difusividad de Fick este modelo logra predecir la cinética de secado, despreciando la contracción de la muestra la temperatura juega un papel importante en la cinética de secado; por lo tanto, cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la difusividad efectiva, mejorando la transferencia de masa sin embargo, la transferencia de masa disminuye cuando la humedad en el producto aumenta proporcionalmente por tanto, en la estructura de las muestras de cecina, los espacios intersticiales aumentan cuando el contenido de humedad tiende a disminuir proporcionalmente, y en consecuencia, facilita la eliminación del agua por lo tanto, las difusividades efectivas de cada muestra se pueden ver en la Tabla 6. Los coeficientes de difusividad efectiva máxima para las muestras $SMP_{SD,1}$, $SMP_{SD,2}$ y $SMP_{SD,3}$ son 5.673×10^{-9} , 2.644×10^{-9} , $2.133 \times 10^{-8} \frac{m^2}{s}$, respectivamente. Además, el modelo de difusividad se ha ajustado a los datos experimentales del

proceso de secado con las temperaturas alcanzadas en el interior de la cámara de secado, sin embargo, el espesor se vuelve presente y la difusividad mejora cuando el espesor de la muestra es menor, aunque las temperaturas varíen durante el tiempo de secado, por tanto, a bajas temperaturas, la superficie de las muestras se seca muy lentamente mientras que, cuando la temperatura aumenta y es lo más estable posible, la superficie se seca más rápidamente y el movimiento del agua se controla por difusión dentro de la carne, ver Tabla 6.

Tabla 6. Influencia de la temperatura dentro de la cámara de secado y el espesor de la muestra sobre la difusividad efectiva D_{eff} .

Muestra SMP _{SD,2}			Muestra SMP _{SD,1}			Muestra SMP _{SD,3}		
Espesor	T (°C)	D_{eff}	Espesor	T (°C)	D_{eff}	Espesor	T (°C)	D_{eff}
	42,1	$3,5553 \times 10^{-8}$		33,7	$7,9790 \times 10^{-8}$		33,9	$1,0537 \times 10^{-7}$
	33,0	$2,3800 \times 10^{-8}$		33,3	$7,4559 \times 10^{-8}$		34,1	$1,0432 \times 10^{-7}$
	33,6	$1,4398 \times 10^{-8}$		31,6	$6,9506 \times 10^{-8}$		33,4	$9,5100 \times 10^{-8}$
	31,1	$1,4398 \times 10^{-8}$		32,8	$4,2909 \times 10^{-8}$		32,7	$8,5353 \times 10^{-8}$
	30,1	$1,0578 \times 10^{-8}$		30,8	$3,5462 \times 10^{-8}$		30,5	$7,6132 \times 10^{-8}$
	29,9	$4,7013 \times 10^{-9}$		31,8	$2,2696 \times 10^{-8}$		30,2	$7,6132 \times 10^{-8}$
1,1	29,2	$7,3458 \times 10^{-9}$	1,5	30,5	$2,2696 \times 10^{-8}$	2	29,4	$4,4520 \times 10^{-8}$
	29,6	$7,3458 \times 10^{-9}$		31,5	$1,7377 \times 10^{-8}$		28,5	$3,7934 \times 10^{-8}$
	29,1	$4,7013 \times 10^{-9}$		30,9	$1,2766 \times 10^{-8}$		29,7	$3,7934 \times 10^{-8}$
	28,8	$4,7013 \times 10^{-9}$		31,3	$1,0727 \times 10^{-8}$		29,7	$2,6343 \times 10^{-8}$
	29,3	$4,7013 \times 10^{-9}$		31,2	$5,6740 \times 10^{-9}$		29,1	$2,6343 \times 10^{-8}$
	30,2	$2,6445 \times 10^{-9}$		32,3	$5,6740 \times 10^{-9}$		28,1	$2,6343 \times 10^{-8}$
	29,1	$2,6445 \times 10^{-9}$		33,6	$5,6740 \times 10^{-9}$		28,8	$2,1338 \times 10^{-8}$

6.5 Discusión

En los experimentos, las cinéticas de secado de las tres muestras $SMP_{SD,1}$, $SMP_{SD,2}$ y $SMP_{SD,3}$ han presentado características muy similares, además, esto está presente en los elementos geométricos, sus propiedades fisicoquímicas y el cambio de color.

6.5.1 Difusividad efectiva

Sin embargo, se han realizado algunos estudios sobre la cinética de secado de la carne de vacuno algunos han considerado estudios con equipos de temperatura controlada por ejemplo, la referencia (Ahmat et al., 2015) realizó la cinética de secado a diferentes temperaturas (40, 50 y 60 °C) para carne fresca con dimensiones de aproximadamente 12 cm de largo y 7 cm de ancho a diferentes espesores (2, 3, y 4 mm) Obtuvieron un menor tiempo de secado, una temperatura de 60 °C a una velocidad de 3 m/s para los tres espesores del producto de igual forma, la referencia (Mewa et al., 2018) tiene carne seca para los siguientes espesores: 0.25, 0.5, 0.75 y 1 cm. El secado se realizó a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, considerando un flujo de aire constante a 24 V. En sus resultados muestran, que para la muestra con menor espesor (2,5 mm) a una temperatura de secado de 60 °C fue más rápido en comparación con las muestras más gruesas. Por lo tanto, se determinó que la difusividad efectiva en sus muestras estaba entre 4.2337×10^{-11} a $5.5899 \times 10^{-10} \frac{m^2}{s}$ los valores de difusividad efectiva para las muestras $SMP_{SD,1}$, $SMP_{SD,2}$ y $SMP_{SD,3}$ en este estudio se calcularon a partir de 5.673×10^{-9} , 2.644×10^{-9} , 2.133×10^{-8} estos valores son muy cercanos e incluso iguales a los valores reportados en la literatura para carne vacuna (Mewa et al., 2018, 2019) y otros tipos durante el secado en diferentes condiciones (Aksoy et al., 2019; Elmas et al., 2020).

6.5.2 Características geométricas y de apariencia de la cecina, antes y después del secado.

En el caso de las características geométricas, las muestras **SMP_{SD,1}** y **SMP_{SD,2}** presentan una reducción muy similar y estrecha en sus dimensiones como largo, ancho y espesor al contrario de la muestra **SMP_{SD,3}**, la longitud y el grosor son superiores a las dos muestras, entre los valores de 1,2 a 1,3 cm y 0,4 y 0,5, respectivamente ver Tabla 7 estos cambios significativos de cada muestra de cecina se pueden apreciar en la Figura 21 se observa que a medida que transcurre el tiempo de secado, estas muestras se contraen en ancho, largo y espesor sin embargo, durante el cambio de sus características geométricas, el proceso de secado también provoca un oscurecimiento el color varía de marrón claro a marrón oscuro, al igual que la intensidad del brillo.

Hay un cambio significativo entre las muestras antes y después del secado para la textura, Figura 22. Durante el proceso de secado, la dureza y la separación entre las estructuras se manifiestan durante el tiempo de secado. Sin embargo, el olor se concentra con una intensidad mucho mayor que en el estado natural.

Tabla 7. Cambio en las características geométricas de las muestras de cecina durante el proceso de secado.

Tiempo (hrs)	SMP _{SD,1}			SMP _{SD,2}			SMP _{SD,3}		
	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)
10:00	14,3	9,9	1,5	13,89	9,8	1,1	14,87	7,4	2
10:30	13,6	9,5	1,45	13,73	8,87	0,9	14,84	7,4	1,99
11:00	13,6	8,8	1,4	13,58	8,33	0,7	14,8	7,31	1,9
11:30	12,7	8,7	1,1	13,28	8,12	0,7	14,56	6,93	1,8
12:00	12,4	8,3	1	13,08	8,1	0,6	14,38	6,9	1,7
12:30	12,3		0,8	13,08	7,56	0,4	14,37	6,5	1,7
13:00	12,1	7,7	0,8	12,83	7,11	0,5	14,3	6,23	1,3
13:30	11,7	7,47	0,7	12,5	6,3	0,5	13,75	5,67	1,2
14:00	11,5	7,28	0,6	12,45	6,05	0,4	13,1	5,5	1,2
14:30	11,8	6,8	0,55	12,32	6,05	0,4	13	5,38	1
15:00	11,5	6,67	0,4	12,31	5,94	0,4	12,98	5,35	1
15:30	11,4	6,1	0,4	12,2	5,13	0,3	12,98	5,35	1
16:00	11,4	6,1	0,4	11,5	5	0,3	12,7	5,15	0,9

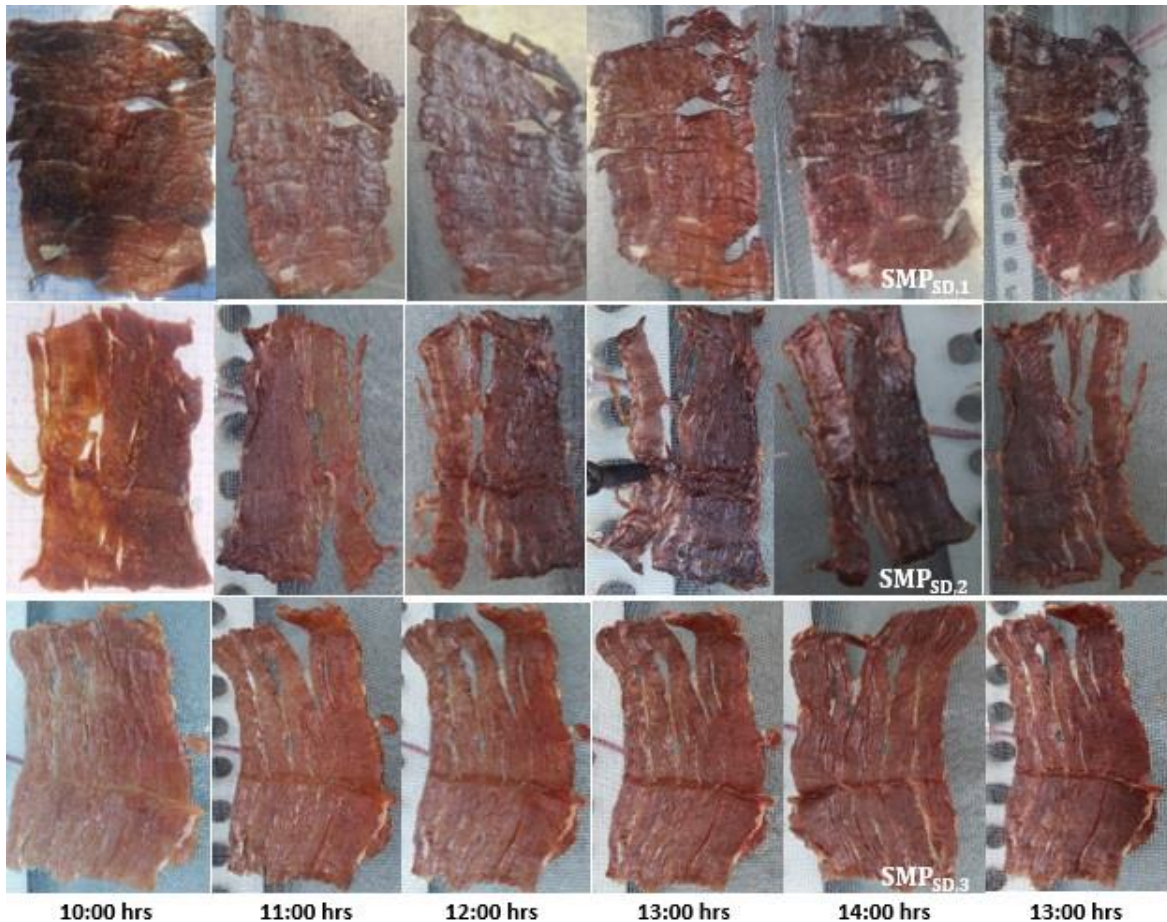


Figura 23. Características físicas de las muestras de cecina durante el período de secado. El cambio de color con el tiempo de secado se representa de izquierda a derecha en la imagen.

6.5.3 Propiedades fisicoquímicas y de apariencia de cecina seca artesanal versus cecina seca con equipo solar

En la industria cárnica, el pH es uno de los parámetros importantes para medir la calidad del producto, y está relacionado con la capacidad de retención de agua y su vida útil (Urieta et al., 2001). Por ello, algunos investigadores han analizado los valores de pH en la carne vacuna a diferentes temperaturas de almacenamiento, encontrando valores entre 5,4 a 5,6 a una temperatura de 0 °C. Mientras que la carne se almacena a cuatro °C, el pH se encuentra entre 5.3 a 5.0 (García et al., 2015). Asimismo, la referencia ha determinado valores de pH para carne fresca típica entre 5.4 a 5.6, iguales a los presentados por la referencia (Nikola y Rosemary, 2006). Otro autor ha determinado valores de pH entre 5,47 a 6,69 para cortes de

res en filetes de 48 a 96 horas después de la cosecha, empacados al vacío (Ribeiro et al., 2021). Se determina el pH, la densidad y el porcentaje de salinidad de la cecina después del secado para garantizar la calidad del producto. La Tabla 8 muestra los valores de pH de las muestras antes del secado (4.92, 4.98 y 4.95), los cuales están muy cerca del valor mínimo presentado por la referencia (Nikola y Rosemary, 2006). Se determina el pH, la densidad y el porcentaje de salinidad de la cecina después del secado para garantizar la calidad del producto. En la Tabla 8 se muestran los valores de pH de las muestras antes del secado (4,92, 4,98 y 4,95), muy próximos al valor mínimo que presenta la referencia (Ribeiro et al., 2021). Mientras tanto, el contenido de sal y la densidad de las muestras muestran cambios significativos. El aumento de densidad y salinidad se debe al aumento de temperatura en el proceso de secado. Sin embargo, la variación de temperatura afecta la concentración de estos parámetros, que a su vez depende de la cantidad de radiación solar durante el día—Tabla 8.

Tabla 8. pH, salinidad y densidad de muestras de cecina antes y después del secado.

Muestra	pH		Salinidad (%)		Densidad ($\frac{kg}{m^3}$)	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
SMP _{SD,1}	4.98	5,77	7	44	1,005	1,034
SMP _{SD,2}	4,92	5,76	6	37	1,004	1,028
SMP _{SD,3}	4,95	5,77	9	33	1,006	1,024

Ahora, se obtuvieron muestras de cecina seca artesanal para ser comparadas contra las muestras de cecina de los equipos solares. Para ello se determinaron sus características fisicoquímicas, así como su apariencia. **SMP_{SA,1}, SMP_{SA,2} and SMP_{SA,3}** se han considerado para los análisis comparativos; ver Figura 23. Como se puede observar, las muestras **SMP_{SA,1}, SMP_{SA,2} y SMP_{SA,3}** muestran cambios de color significativos en diferentes regiones de cada muestra, de marrón claro a marrón oscuro, no teniendo uniformidad. Asimismo, estas muestras no mantienen su forma (lámina) y mucho menos su espesor, sino que adquieren una forma ondulada,

siendo su espesor variable en toda la zona. E incluso la grasa contenida en la carne se derrite entre ella, cambiando de color y apariencia; vea la muestra **SMP_{SA,3}** en el centro verticalmente, Figura 22.

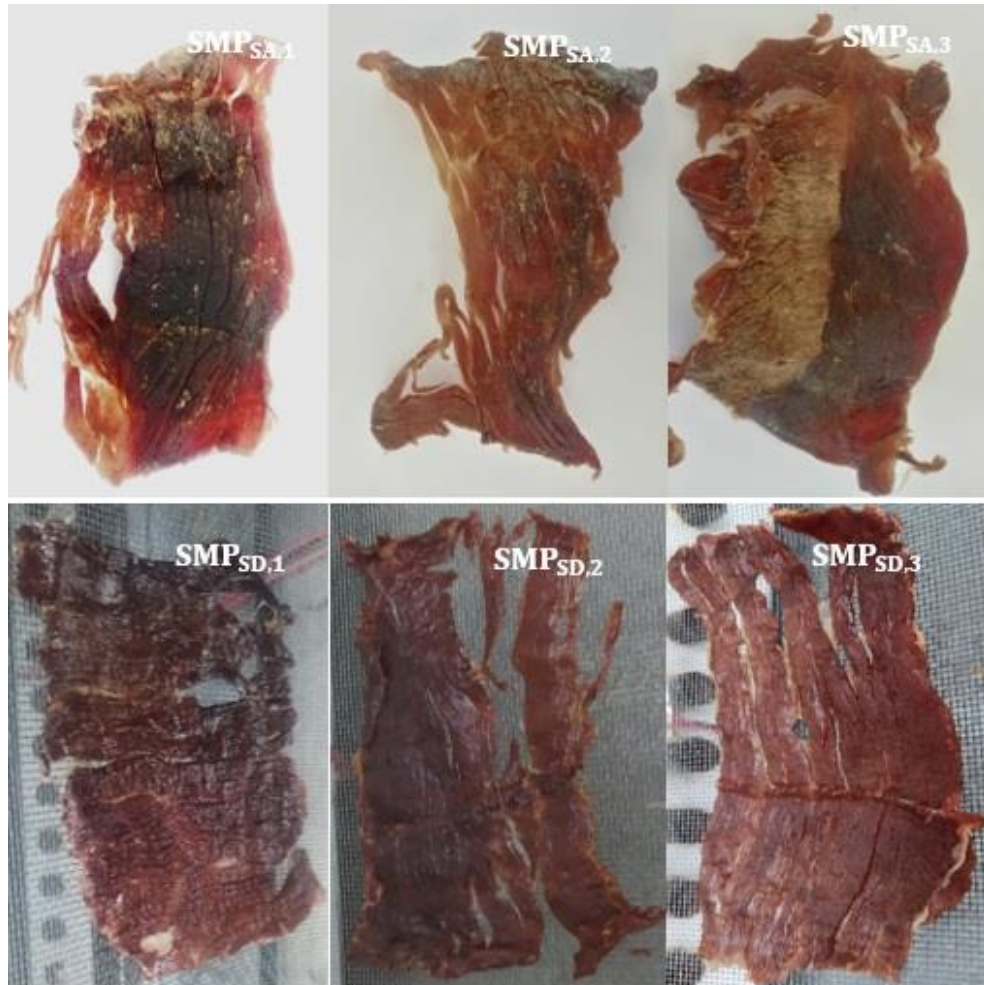


Figura 24. Comparación de cecina seca artesanal versus cecina seca por el equipo solar.

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras de cecina seca artesanal cambian considerablemente. Por tanto, se hace una comparación entre las muestras de cecina artesanal **SMP_{SA,1}**, **SMP_{SA,2}** y **SMP_{SA,3}** versus las muestras secas con el equipo solar **SMP_{SD,1}**, **SMP_{SD,2}** y **SMP_{SD,3}**. La figura 24 presenta el mejor aspecto entre ambos procesos de secado, que corresponde al secado con equipo solar este resultado se refleja; con el color restante uniforme en todas las muestras, la grasa presente se encoge sin

fundirse, manteniendo el color amarillo-blanco, además, el espesor se mantiene casi uniforme en todo el tamaño de las muestras de cecina.

La Tabla 7 muestra una comparación entre las propiedades fisicoquímicas de las muestras. En el caso del pH, las muestras de cecina artesanal son ligeramente superiores a las muestras de cecina seca por el equipo de secado. Esto indica que la cecina artesanal tiende a aumentar su capacidad de retención de agua y mejora el tono del color aún más oscuro, sin embargo, la salinidad y la densidad tienden a ser más bajas en comparación con la cecina seca con equipo solar.

Por el contrario, los valores de pH de las muestras **SMP_{SD,1}**, **SMP_{SD,2}** y **SMP_{SD,3}** mantienen casi el mismo valor, pero la salinidad se concentra en mayor proporción. Esta concentración de salinidad nos indica que puede ser un parámetro de conservación adecuado frente al ataque de microorganismos para mejorar la vida útil del producto.

Tabla 9. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la cecina seca artesanal versus cecina seca por el equipo solar.

Muestra	pH	Salinidad (%)	Densidad ($\frac{kg}{m^3}$)
SMP _{SA,1}	5.86	27	1,022
SMP _{SA,2}	5.81	31	1,023
SMP _{SA,3}	5.77	21	1,016
SMP _{SD,1}	5,77	44	1,034
SMP _{SD,2}	5,76	37	1,028
SMP _{SD,3}	5,77	33	1,024

En general, los resultados con el proceso de secado a través del secador solar brindan mejores características fisicoquímicas y apariencia, como se ha discutido. Por lo tanto, el secado solar es una buena opción para secar carnes como la cecina de Yecapixtla. El equipo utilizado en esta investigación es una tecnología que brinda resultados similares a los de la cecina seca artesanal.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

En este estudio se ha utilizado un secador solar indirecto con flujo forzado para reducir el tiempo de secado y mejorar las características del producto.

En los procesos de secado se han obtenido resultados satisfactorios. El coeficiente de difusividad efectiva ha obtenido parámetros muy cercanos a los reportados en la literatura los D_{eff} obtenidos de las muestras en este estudio son 5.673×10^{-9} , 2.644×10^{-9} , 2.133×10^{-8} . La variación del coeficiente de efectividad se ve afectada por la temperatura y el espesor de la muestra. Además, las propiedades fisicoquímicas están presentes. Tal es así que el pH en cada una de las muestras secas mejora su alcalinidad. Estos parámetros han sido comparados con otros estudios en el rango (Nikola y Rosemary, 2006) y otros muy cercanos (Ribeiro et al., 2021). Sin embargo, la densidad y concentración de las muestras secas se presentan con un aumento considerable; esto se debe al aumento de la temperatura del flujo de aire dentro de la cámara de secado este flujo atraviesa los espacios intersticiales, provocando la evaporación del agua, reduciendo el peso y la humedad, y consecuentemente aumentando la concentración de sales.

Se ha comparado la cecina seca artesanal y la cecina seca con equipos solares los resultados han demostrado que tienen características fisicoquímicas similares mientras que, con el uso del secador solar, brinda mejores características de apariencia, tanto en color, grosor, como en la presencia de grasa intramuscular, además, el olor parece tener una mayor concentración.

El secador solar utilizado ha alcanzado temperaturas entre 30 a 35 °C dentro de la cámara de secado, para radiación solar R_{12nov} , R_{16nov} , y R_{29nov} y temperatura ambiente $T_{a,12nov}$, $T_{a,16nov}$, y $T_{a,29nov}$ entre 20 y 25 °C, Figura 6. Las condiciones climáticas fueron para un día con nubosidad parcial.

La radiación solar, la velocidad del flujo de aire y la temperatura ambiente juegan un papel fundamental en el proceso de secado con equipos solares. Los resultados han demostrado que las características ideales de apariencia no se obtienen con el

método de secado abierto. Al mismo tiempo, se ha demostrado que los equipos solares tienen una capacidad de secado considerablemente mejor. El uso de tecnología, como la de este trabajo, puede reducir la contaminación por polvo y la infestación de insectos en la cecina.

El secador solar se convierte en una buena opción para el secado de carnes, como la cecina de Yecapixtla. Los resultados muestran que el secado tradicional (método abierto) puede reemplazarse, sin embargo, los tiempos de secado pueden reducirse cuando el sol es abundante, sin nubosidad y lluvia.

7.2 Recomendaciones

Realizar otras pruebas de secado para diferentes épocas del año, considerando las condiciones ambientales.

Se considera realizar un estudio del cambio en las propiedades organolépticas y elementos nutricionales de la cecina antes y después del secado para garantizar la calidad del producto en sustitución del método artesanal de secado con equipos solares, asimismo, realizar estudios de la capacidad de rehidratación y comparación con otros métodos de secado.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- 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.
- 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.
- A. Sharma, S. Kumar, and K. Editors, "Green Energy and Technology Energy Sustainability Through Green Energy." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8059>
- Ahmat, T., Barka, M., Aregba, A. W., & Bruneau, D. (2015). Convective drying kinetics of fresh beef: an experimental and modeling approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2581–2595. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12508>
- Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., & Kayacan, S. (2019). Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. *Foods*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/foods8060216>
- Apata, E. S., Osidibo, O. O., Apata, O. C., & Okubanjo, A. O. (2013). Effects of different solar drying methods on quality attributes of dried meat product (Kilishi). *Journal of Food Research*, 2(1), 80. <https://doi.org/10.5539/jfr.v2n1p80>
- 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.

- Bala, B. K., & Debnath, N. (2012). Solar drying technology: potentials and developments. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 2, 1–5. <https://doi.org/10.4303/jfrea/r120302>
- Chaouch, W. B., Khellaf, A., Mediani, A., Slimani, M. E. A., Loumani, A., & Hamid, A. (2018). Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment. *Solar Energy*, 174, 328–341. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.037>
- Çiftçioğlu, G. A., Kadırgan, F., Kadırgan, M. A. N., & Kaynak, G. (2020). Smart agriculture through using cost-effective and high-efficiency solar drying. *Heliyon*, 6(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03357>
- Dufera, L. T., Hofacker, W., Esper, A., & Hensel, O. (2021). Physicochemical quality of twin layer solar tunnel dried tomato slices. *Heliyon*, 7(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07127>
- Ekechukwu, V., Norton, B., Anyanwu, E. E., Onyegegbu, S., Ekechukwu, O. v, & Norton, B. (1995). Review of solar-energy drying systems ii: an overview of solar drying technology. *Energy conversion & Management*, 40(99), 615-655. <https://www.researchgate.net/publication/283089795>
- El-Beltagy, A., Gamea, G. R., & Essa, A. H. A. (2007). Solar drying characteristics of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.015>
- Elmas, F., Bodruk, A., Köprüalan, Ö., Arikaya, Ş., Koca, N., Serdaroğlu, F. M., Kaymak-Ertekin, F., & Koç, M. (2020). Drying kinetics behavior of turkey breast meat in different drying methods. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13487>
- Félix Urieta, L., Félix Urieta, D., De, M., Salud, L., Lozano, R., Danilo, R., Medina, M., Manuel, A., & García, T. (n.d.). Análisis comparativo de carne y productos cárnicos de cabrito Alpino Francés y Alpino Francés. *Técnica Pecuaria en México* 39(3) 237-244.

- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M. H., Ruslan, M. H., Gabbasa, M., & Kazem, H. A. (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili. *Solar Energy*, 99, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.019>
- Fuentes-Salinas, M., Luna-Sánchez, D., Osorio-Suárez, J., & Corona-Islas, J. (2003). Construcción y validación de un secador solar para madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2), 171-176.
- 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.
- García, A.L., Brugnini, G., Rodríguez, S. and Mir, A. (2015). Vida útil de carne fresca de res envasada al vacío a 0°C y +4°C. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible* 4, 27-45.
- Jha, A., & Tripathy, P. P. (2021). Recent Advancements in Design, Application, and Simulation Studies of Hybrid Solar Drying Technology. In *Food Engineering Reviews* 13(2) 375–410. Springer. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09223-2>
- Kamil Salihoglu, N., Pinarli, V., & Salihoglu, G. (2007). Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy* 32(10), 1661–1675. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.08.001>
- Kučerová, I., Marek, Š., & Banout, J. (2018). Solar Drying and Sensory Attributes of Eland (*Taurotragus oryx*) Jerky. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1067672>
- Lingayat, A., Chandramohan, V. P., & Raju, V. R. K. (2017). Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying. *Energy Procedia*, 109, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.041>
- Mewa, E. A., Okoth, M. W., Kunyanga, C. N., & Rugiri, M. N. (2018). Drying modelling, moisture diffusivity and sensory quality of thin layer dried beef. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6(2), 552–565. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.2.29>

- Mewa, E. A., Okoth, M. W., Kunyanga, C. N., & Rugiri, M. N. (2019). Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 139, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.067>
- Nelli, S.S., Mantulak, M.L. Feltan, C.M and Bresciani, J.C. (2021). Medición de variables de experimentación en un prototipo de secador solar para madera. *Revista de Ciencia Tecnología e Innovación*, 3(2), 9-21.
- Nguyen, H.-B., & Nguyen, H. (2014). A study on beef drying regime towards sustainable energy. *Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food and Energy (APJSAFE)*, 2(2), 41-46. Journal online <http://journal.bakrie.ac.id/index.php/APJSAFE>
- Nikola, L.K. and Rosemary, W. (2006). Does It Look Cooked? A Review of Factors That Influence Cooked Meat Color. *Journal of Food Science*, 71(4), 31-40.
- Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A., & Rahim, N. A. (2014). A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.052>
- Pruengam, P., Pathaveerat, S., & Pukdeewong, P. (2021). Fabrication and testing of double-sided solar collector dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101335>
- Ribeiro, F. A., Lau, S. K., Furbeck, R. A., Herrera, N. J., Henriott, M. L., Bland, N. A., Fernando, S. C., Subbiah, J., Sullivan, G. A., & Calkins, C. R. (2021). Ultimate pH effects on dry-aged beef quality. *Meat Science*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108365>
- Sahoo, M., Titikshya, S., Aradwad, P., Kumar, V., & Naik, S. N. (2022). Study of the drying behaviour and color kinetics of convective drying of yam (*Dioscorea hispida*) slices. *Industrial Crops and Products*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114258>
- Sharma, A., Kumar, S., & Editors, K. (n.d.). *Green Energy and Technology Energy Sustainability Through Green Energy*. <http://www.springer.com/series/8059>

- Solís Rodríguez, L. E., Cerón Cardeña, M. A., & Ahumada, I. G. (2003). Diseño y operación de una estufa solar para secar madera. *Ingeniería, Revista Académica* 7(3), 35-48.
- Subbian, V., Nadanakumar, V., Christupaul, R., & Kalidasa Murugavel, & K. (2019). Mathematical and experimental analysis of solar tunnel dryer for drying beef as a biological product. *International Journal of Mechanical and Production* 9(4), 489-498.
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002>
- 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>