

Evaluación de un deshidratador solar térmico para frutas y legumbres

Evaluation of a solar thermal dehydrator for fruits and places

Santos Ramón Valdivia Espinoza

santosrvaldivi@yahoo.com

Keybing Caleb Alaníz Alaníz

ealaniz873@gmail.com

Edwin Antonio Reyes Aguilera

edwinra11@gmail.com

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de deshidratación de frutas y legumbres mediante el aprovechamiento de energía solar térmica. Se realizó un estudio de tipo experimental, descriptivo, correlacional. El prototipo se diseñó en el programa Sketchup, se creó en Excel una hoja de recolección de datos que contenía todas las variables de interés. Para las mediciones de las variables se colocaron sensores en diferentes partes del prototipo. Los resultados demuestran efecto significativo de la radiación solar para disminuir el tiempo de secado de la cebolla, así mismo se demostró correlación significativa entre la temperatura, velocidad del viento, radiación y el tiempo de secado ($r= 0.81$; $p = 0.0001$), ($r= 0.59$ $p = 0.0039$), ($r= 0.60$; $p = 0.0221$). Se concluye que el tiempo de secado de la cebolla es aceptable tomando en cuenta que las pruebas se realizaron en días con poca radiación y con presencia de lluvia, las propiedades físicas del aire húmedo evaluadas coinciden con lo reportado por otros autores y el tiempo de secado estuvo determinado por la correlación significativa entre la radiación, velocidad del viento y la temperatura de la cámara.

Palabras clave: deshidratación, energía solar térmica, tiempo de secado

The purpose of this research was the design, construction and evaluation of a prototype of dehydration of fruits and vegetables by taking advantage of solar thermal energy. An experimental, descriptive, correlational study was carried out. The prototype was designed in the Sketchup program, a data collection sheet was created in Excel containing all the variables of interest. For the measurements of the variables, sensors were placed in different parts of the prototype. The results show a significant effect of solar radiation to reduce the drying time of the onion, as well as a significant correlation between temperature, wind speed, radiation and drying time ($r= 0.81$; $p = 0.0001$), ($r= 0.59$ $p = 0.0039$), ($r= 0.60$; $p = 0.0221$). It is concluded that the drying time of the onion is acceptable taking into account that the tests were carried out on non-sunny days and with the presence of rain, the physical properties of the evaluated humid air coincide with that reported by other authors and the drying time was determined by the significant correlation between radiation, wind speed, and chamber temperature.

Keywords: dehydration, solar thermal energy, drying time

Introducción

En la sociedad actual la agricultura es una actividad económica primordial para la economía mundial, dedicándose a ella gran parte de la población, constituyéndose para los agricultores como su única fuente de ingreso. Varios productos agrícolas necesariamente requieren un secado post-cosecha, para mantener sus características naturales, incluso en los productos que se pueden comercializar en forma fresca, el secado es una excelente opción para el agricultor, concretamente si hay una sobreproducción del producto la cual hace que se devalué el precio del producto fresco.

De acuerdo a Bejarano Martinez, (2018) se investigó la tecnología de deshidratación solar como alternativa de transformación para los productores de la región el Tequendama, debido a que, en épocas de cosecha, los productores se ven expuestos a una inestabilidad económica por la regulación de precios de los intermediarios, y en la mayoría de casos el precio al que le pagan a los productores es inferior a los costos de producción.

Los resultados muestran que la deshidratación solar en el lugar de montaje, es una alternativa viable para los productores porque genera un producto de calidad al conservar las propiedades fisicoquímicas y es rentable su implementación. Adicionalmente, presenta una gran posibilidad para el desarrollo de nuevas investigaciones en la ciencia y tecnología de alimentos, e ingeniería agrícola para mejorar el desempeño del proceso de deshidratación solar en Colombia.

En un estudio realizado por Nevarez & Cuzme, (2016) La meta de esta investigación fue determinar los efectos de temperatura de congelación y tiempo de deshidratación en el proceso de deshidrocongelación, en las características físicas y sensoriales de cebolla perla (*Allium cepa L*) en polvo. Concluyeron que el tiempo de deshidrocongelación idóneo para obtener polvo de cebolla (*Allium cepa L*) es, en el cual se emplea ocho horas; mediante el uso de este tiempo se reduce este proceso provocando variaciones en las variables físicas estudiadas.

El secado de frutas y legumbres ha sido una práctica habitual de conservación en el campo para asegurar la disponibilidad de los productos alimenticios y medicinales durante todo el año, por esto se presentan la búsqueda de alternativas para satisfacer las demandas energéticas, estudiando y analizando la energía solar de manera intensiva y extensiva

En nuestro país no existen industrias estables, desarrolladas, capaz de satisfacer la demanda de producción de estas frutas, por lo tanto, están son pérdidas que se originan en la producción y el mercado con grandes acumulaciones que se generan por falta de consumo en el país, en el cual también se causan muchos daños en la transportación para ser explotadas.

La problemática principal se debe a las pérdidas de cosechas de frutas y legumbres que muchas veces causan pérdidas económicas a los productores por no conservar la vida útil, valor nutritivo y disponibilidad, sumado a esto la falta de valor agregado a la producción frutícola nicaragüense, como suele observarse en los supermercados la mayoría de los productos con valor agregado son de origen extranjero.

En los últimos años, la recolecta de algunas frutas para la venta a empresas procesadoras de alimentos, ha cobrado importancia en nuestro país, sin embargo, los productores de las áreas rurales, se beneficiarán con la tecnología necesaria para la deshidratación de las frutas y semillas, de tal manera que puedan incrementar la vida útil de sus productos.

Este estudio permitirá la utilización de energía sustentable, con lo cual podrían los productores reducir costos en el secado como parte de un beneficio económico; el prototipo de deshidratador planteado en la presente investigación puede ser utilizado por comunidades alejadas que no cuentan con energía eléctrica.

La evaluación del prototipo de deshidratación a estudiar, brindará una alternativa para reducir las pérdidas que se generan durante la postcosecha que son causadas por contaminación microbiana, transformando las frutas y legumbres en un deshidratado para uso gastronómico, de esta la aplicación del prototipo podría contribuir a la búsqueda del cambio de la matriz productiva.

En este proyecto se evidencia la importancia de un diseño propio de un deshidratador de frutas y legumbres que se adapte a las necesidades y capacidades tanto económicas como productivas, de una micro empresa, de tal manera que se logre un mayor almacenamiento y la reducción en costos de transporte, buscando que la vida útil de la cebolla se alargue y que no pierda ni su sabor característico ni sus propiedades nutricionales. A partir de la conservación de la cebolla, inicia el origen del reto de innovación propuesto por el Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa de Nicaragua (MEFCCA) al Centro de Innovación Abierta de la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM) Estelí.

Tomando en cuenta lo anterior, surge la principal interrogante para poder dar la solución a la problemática: ¿Cómo se evaluará el secador solar mediante el aprovechamiento de energía solar para el deshidratado de frutas y legumbres en la ciudad de Estelí?

Radiación solar

Según Moncayo, Roa M, & Ortega Torres, (2011), La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la Ley de Planck, a una temperatura de unos 6000K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

La radiación importante para las aplicaciones de energía solar, está constituida por las emisiones entre el ultravioleta visible y la región del infrarrojo. De esta forma, para este tipo de aplicaciones, las longitudes de ondas importantes van desde el $0.15\mu\text{m}$ a $3\mu\text{m}$.

Como se mencionó la radiación solar es absorbida por la atmosfera, nubes y partículas suspendidas en la atmósfera, cierta cantidad de radiación es reflejada y devuelta al espacio, y, parte de esta es absorbida por la superficie de la Tierra.

Como resultado de la influencia de la cubierta de nubes y de la dispersión de la luz solar, la radiación recibida en cualquier punto es la combinación de radiación directa, reflejada, y, difusa.

Deshidratador solar:

Según ecoteca, (2020), los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera. Ya que han sido deshidratados, los alimentos pueden conservarse secos hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas. La deshidratación solar es una alternativa renovable para la micro-industria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas.

Proceso deshidratación solar

Según Martínez, (2018), en la deshidratación, la remoción de humedad es el proceso de interés porque relaciona la transferencia de masa y transferencia de calor, y determina las condiciones del producto final. Los alimentos, particularmente frutas y hortalizas requieren aire caliente con rango de temperaturas entre 45 y 60 °C, para una deshidratación segura, es decir, que los productos conserven la mayoría de sus propiedades nutricionales y organolépticas.

La función es eliminar el grado de humedad del producto a deshidratar aprovechando la energía solar que calienta el aire que entra por convección natural.

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro lisa, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental ingresa por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla de metal tipo cedazo, y se calienta gradualmente hasta una temperatura superior a la temperatura ambiental. Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas ejerciendo su poder secador provocando por convección, una corriente de aire caliente que pasa entre los productos colocados en su camino, secándolos, y arrastrando la humedad al exterior por una chimenea.

Factores que influyen en el tiempo de secado

Según Martínez, (2018), el tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son:

- Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo)
- Tamaño de los trozos del producto (más grande, mayor tiempo)
- Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo)
- Humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo)
- Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo)

De acuerdo a Calero, (2014), el criterio más importante para definir el fin del secado es el contenido residual de humedad, que no tiene que superar los valores indicados en la tabla de anexos. Podemos determinar el momento justo para finalizar el secado a través de la evolución de la masa de una muestra de producto que se está secando. Para el efecto se requiere una balanza de precisión y realizar los cálculos utilizando las fórmulas que a continuación se describen.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM-ESTELI) específicamente en el área solar, aquí se construyó y evaluó el prototipo de deshidratación solar.

Según el enfoque filosófico de la investigación es cuantitativo, su medio principal es la medición y el cálculo. Acorde al método de investigación el estudio es Experimental, porque se provocan manipulaciones, donde se puede modificar las variables independientes. De acuerdo a su propósito la presente investigación es Aplicada o Tecnológica Perteneciente al “contexto de la aplicación”. Se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas del conocimiento; es decir, “orientada hacia un objetivo práctico determinado, conducente a la creación de nuevos dispositivos, productos y procedimientos”, en este caso es un deshidratador solar.

Según el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo, de acuerdo a su clasificación es correlacional, debido a que este estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más variables.

Según al tiempo de ocurrencia de los hechos y el registro de la información, el estudio es prospectivo debido a que se registra la información según van ocurriendo los fenómenos.

Por periodo y secuencia del estudio es longitudinal., debido a que estudia una o más variables a lo largo de un período, que varía según el problema investigado y las características de la variable que se estudia.

En este experimento la muestra representativa se circunscribe al espacio inferencial representativo que le corresponde definido por el número de repeticiones y el número de tratamientos, de los cuales contara con cuatro repeticiones para la determinación del tiempo de secado de los tratamientos: cebolla, por tanto, se constituirá 1 unidad experimental. Las unidades experimentales (material receptor, al cual se aplican los tratamientos en un solo ensayo) será un deshidratador solar indirecto.

El procedimiento que se siguió para la recolección de los datos e información se presenta de acuerdo al compromiso de cada objetivo planteado en esta investigación. La unidad experimental que consta de un deshidratador solar indirecto, con capacidad de 0.24 m³ se diseñó en el programa SketchUp, el cual es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras.

Se diseñó en Excel una hoja de recolección de datos que contenía todas las variables de interés. Las pruebas de secado se realizaron en los meses de junio y julio de 2020, desde

9:00 hasta las 15:00 horas. Para las mediciones de las variables se colocaron cuatro sensores de temperatura: colector, cámara de secado, salida de chimenea y al aire libre, para esto se utilizó un equipo de medición dataloggers el que se configuró para medidas cada 15 minutos. La velocidad de aire se midió cada 15 minutos comprendida de 9 a 3 de la tarde usándose un anemómetro de hilo caliente de la marca PCE.

La humedad relativa de la cámara de secado se midió con un equipo dataloggers de humedad, presión y temperatura en el mismo período de tiempo de las demás variables. Con los datos obtenidos se procedió al cálculo de las propiedades del aire: calor específico, densidad, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, conductividad térmica, coeficiente de expansión térmica.

A través de las mediciones de radiación solar, temperatura, velocidad del aire, humedad, tiempo de deshidratado, realizadas en la cámara de secado, se procedió determinar estadísticamente el efecto de estas variables sobre el tiempo de secado.

El producto a utilizar en el secado fue adquirido en un mercado municipal de la ciudad, luego se procedió a realizar su inspección y comprobar que esté en buen estado y seguir los siguientes pasos:

1. Pesar las cebollas hasta 453 gramos. Se utilizó una balanza analítica KERN con una precisión de 0,001 g.
2. Cortar las cebollas en anillos de 1cm aproximadamente.
3. Colocarlas en las bandejas, separadas entre sí, luego introducirlas a la cámara de secado.
4. Las mediciones de secado de acuerdo al peso se realizaron dos veces al día, esto permitió se elaboraran las curvas de secado y conocer el tiempo de deshidratación del producto realizándose cuatro replicas diferentes.
5. El análisis organoléptico (olor, color y textura) se realizó al finalizar el secado, mediante la observación y comparación con el producto fresco.

Análisis y discusión de resultados

Como punto de inicio del proyecto, se diseñó la estructura del prototipo utilizando la herramienta de diseño Sketchup, (figura 1) y posteriormente se realizó la construcción con las medidas específicas determinadas dentro del programa, tomando en cuenta las dimensiones del deshidratador (figura 2).

El colector solar construido tiene un área de 0.56 m^2 , en la parte superior, tiene una cubierta transparente de vidrio de 6 mm de espesor que permite la reducción de la emisión calorífica por convección desde el absorbedor al ambiente y protegerlo, a la vez, de agentes externos. Se colocó una placa absorbidora hecha de zinc liso calibre 26 pintada en color negro, es el encargado de absorber primero la radiación solar y transformarla después en radiación térmica para transferirla por conducción al fluido circulante, la carcasa que sostiene el vidrio y la placa captadora está hecha de aluminio para mejor resistencia a la intemperie y los efectos corrosivos de la atmósfera, esta carcasa se encarga de proteger y soportar a los elementos que conforman el colector. Se encuentra fabricada en aluminio y

está unida en los costados, debajo de la placa captadora se ha colocado un aislante de fibra de vidrio para evitar pérdidas de calor hacia el exterior y mantener mayor tiempo la temperatura que será arrastrada hacia la cámara donde estarán ubicadas las cebollas. En la entrada de aire del colector se colocó una malla con la finalidad de evitar la entrada de insectos.

La cámara de deshidratado está cubierta con láminas metálicas de zinc liso calibre 26 con estructura de tubo de hierro cuadrado de 1 pulgada, se ha colocado alrededor de toda la cámara aislante térmico (aislante de doble burbuja de aluminio y aislante de fibra de vidrio) con el fin de evitar pérdidas de calor y mejorar la eficiencia térmica del deshidratador.

La cámara debe situarse a cierta altura, para permitir que la salida superior del calentador quede a la misma altura que la base de la cámara, por lo que se construyó sobre un pedestal de 30 cm de alto. La capacidad de la cámara es de 0.24 m^3 totalmente cubierta en su interior por aislante térmico, las bandejas quedan con una separación de 15 cm que resulta cómoda para introducirlas y sacarlas sin dificultad.

La cámara tiene en la parte inferior una abertura donde se conecta el calentador solar y una puerta que permite introducir y sacar las bandejas pero lo suficientemente segura de modo que evita la entrada de insectos.

En la cámara de deshidratado se acomodaron las bandejas a modo de repisas. Se construyeron de marco de aluminio y se les colocó una malla plástica resistente (tipo mosquitero). Estas tienen una superficie de 0.31 m^2 cada una. El secador posee 3 bandejas por lo que la superficie total es de 0.93 m^2 .

La bandeja utilizada fue de malla plástica de 1/8 que es de fácil limpieza, pues con frecuencia las hortalizas desprenden jugos que se pegan a la bandeja y que aguanta como mínimo 70°C sin deformarse, pues esa es la temperatura que puntualmente se puede alcanzar en el interior del deshidratador.

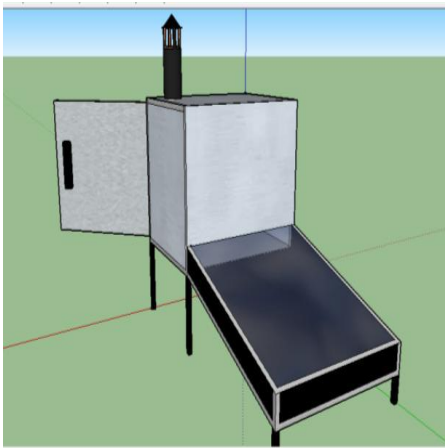


Figura 1. deshidratador solar



Figura 2. deshidratador solar construido

La determinación del tiempo de secado de la cebolla sometida al proceso de deshidratación en el prototipo de deshidratador solar térmico, se realizó de la siguiente manera:

Se procedió a calcular la disminución de humedad que la cebolla experimentará durante el proceso de secado, así:

Ecuación 1

$$\Delta H = \frac{H_o - H_f}{100 - H_f} * 100$$

Primero se midió el porcentaje de humedad de la cebolla, dando como resultado $H_o = 90\%$, de acuerdo a la literatura consultada para el deshidratado esta debe llevarse hasta el 12% . Aplicando la ecuación 1 se obtiene que el 88% de humedad debe retirarse en el proceso de deshidratación. Este resultado coincide con Collado *et al.*, (2006), quien reporta que composición química de las cebollas difiere entre las distintas variedades pero en general, se caracterizan por un gran contenido en agua, con un 92% como término medio.

Se realizaron cuatro replicas en el cual se introdujeron 438 gramos de masa total y luego del proceso de secado resultó 50 g de producto seco. A continuación se muestran las curvas de secado de acuerdo a cada replica las que se puede observar que se produce un calentamiento inicial de la cebolla y luego aumenta la velocidad del secado producto de la temperatura de la cámara de secado.

En este proceso se utiliza la energía solar únicamente, por lo tanto se observaron variaciones de secado por la noche en el cual el secado es más lento pero no se detiene, esta observación coincidió con lo reportado por Pulfer (2008) que refiere que cuando se seca un producto con energía solar en forma exclusiva y sin dispositivo de almacenamiento de calor, el proceso de secado sufre una interrupción durante la noche.

Se puede observar en los gráficos que las tres primeras pruebas deshidrataron la cebolla en seis días y la prueba cuatro el tiempo de deshidratación fue de cuatro días, es decir hay una diferencia significativa de dos días, esto debido a la relación entre la temperatura, la radiación solar incidente en el plano del colector y la velocidad del aire.

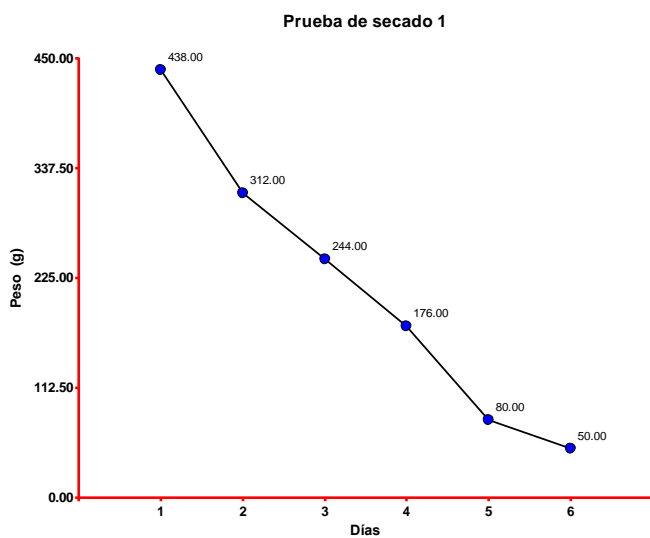


Figura 3. Prueba de secado 1.

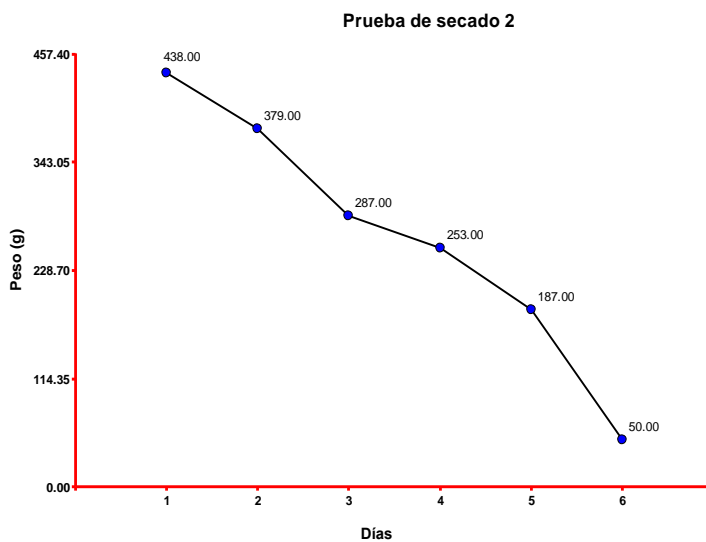


Figura 4. Prueba de secado 2.

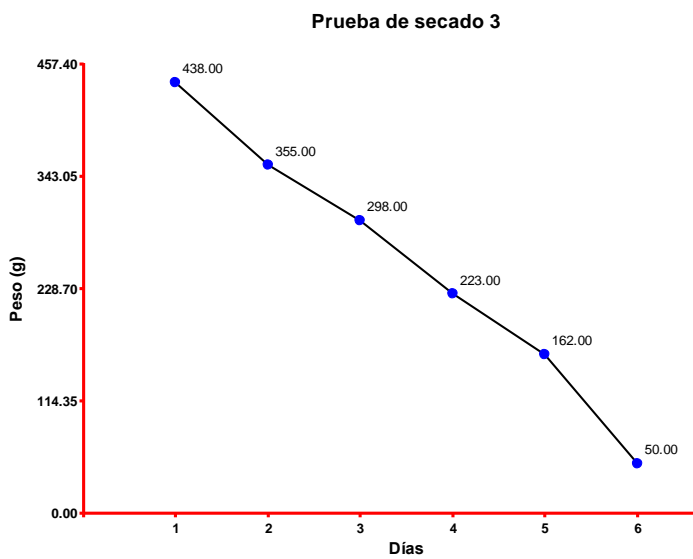


Figura 5. Prueba de secado 3.

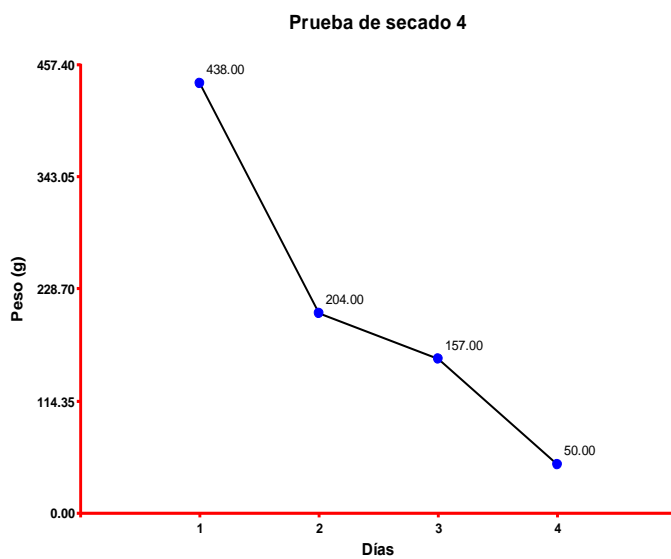


Figura 6. Prueba de secado 4.

Se evaluaron las propiedades físicas del aire húmedo que influyen en el secado de deshidratación solar por convección natural obteniendo los siguientes resultados:

A continuación se presenta la dependencia de sus principales propiedades físicas a una temperatura media del fluido de 44°C obtenida durante 150 mediciones.

Todos los valores encontrados coinciden con las propiedades del aire propuesto por Keanan, Chao y Keyes (1970)

Calor específico

Propiedad que explica la variación de temperatura de un material en función de la cantidad de calor en él almacenada. Al igual que en el caso anterior, por una amplia operación a presiones constantes, se habla de calor específico como una propiedad a presión constante.

$$\text{Ecuación 2} \quad C_{pas} = 999,2 + 0,1434 * T_{fm} + 1,101 * 10^{-4} * T_{fm}^2 - 6,7581 * 10^{-8} * T_{fm}^3$$

$$C_{pas} = 1004 \text{ J/kg.K}$$

Densidad

La densidad se define como la masa por unidad de volumen. La unidad de densidad en el sistema internacional es el [kg/m³].

Ecuación 3

$$\rho = \frac{353,44}{T_{mf} + 273,15}$$

$$\rho = 1107 \text{ kg/m}^3$$

Viscosidad Dinámica

Cuantifica la transmisión del impulso a través de una capa S de fluido, debido al intercambio molecular entre las capas del fluido a ambos lados de S, según la dirección normal y. El valor del esfuerzo cortante F, producido por el movimiento relativo generado por estos impulsos es:

Ecuación 4

$$\mu = 1,718 * 10^{-5} + 4,62 * 10^{-8} * T_{mf}$$

$$\mu = 1.941 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

Es decir, a medida que una molécula excitada térmicamente atraviese un plano o capa S transmitirá una cantidad de movimiento proporcional a la velocidad del fluido entre el punto desde el que la molécula inicia su desplazamiento hasta en el que choca con otra. De

acuerdo con la ley de Newton esta variación de cantidad de movimiento debe ir acompañada de una fuerza resultante en la misma dirección, su resistencia viscosa a la deformación.

Viscosidad Cinemática

Propiedad que cuantifica la resistencia a la deformación. En el caso de sólidos su resistencia es proporcional a la deformación, mientras que en líquidos y gases (fluidos) esta es proporcional a la velocidad de la misma.

Este gradiente de velocidades existe siempre en fluidos en mecanismos de convección debido al movimiento relativo entre sus distintas partes. Ante este movimiento se oponen unas fuerzas de resistencia, que es necesario delimitar para el estudio de ciertos fenómenos de transmisión calor.

Para ello se precisa expresar las fuerzas de resistencia en función del campo velocidad del fluido, fundamentalmente la resistencia al esfuerzo cortante que es la delimitada por la viscosidad.

Dado que las fuerzas de viscosidad actúan directamente sobre un fluido y que la inercia de éste se opone a dichas fuerzas, la relación entre ambas fuerzas representa un parámetro de importancia para el análisis del movimiento fluido. Se trata de la viscosidad cinemática definida como:

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 5} \quad \nu_c &= \frac{\mu}{\rho} \\ &= 1.740 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Conductividad Térmica

La transmisión de calor es un proceso de transmisión de energía por movimiento molecular; así, la conductividad es la propiedad física que mide la facilidad con la que una sustancia puede realizar esta transmisión.

Esta conductividad depende de:

- Composición química de los componentes del material.
- Del estado de agregación (gaseosa, líquida, sólida) en el que se encuentre la materia.
- De su estructura cristalina.
- Temperatura y presión.
- Homogeneidad del material.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 6} \quad K_v &= 0,244 + 0,7673 * 10^{-4} * Tfm \\ &= 0.02593 \text{ W/m.k} \end{aligned}$$

Coefficiente de Expansión Térmica

Parte del proceso de transmisión de calor convectivo se justifica por la existencia de la gravedad actuando sobre las diferentes regiones de un fluido. Estas regiones se han formado por dilatación térmica diferencial, al existir diferencias de temperatura dentro del fluido.

Ecuación 7

$$\beta_t = \frac{1}{T_{mf} + 273,15} = 3.153 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Se determino el efecto de la radiación solar, la temperatura, velocidad del viento en el tiempo de secado del producto sometido al proceso de deshidratación obteniéndose los siguientes resultados:

El ANACORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, o calificar tal relación, lo cual se mide por el coeficiente de correlación “r” de Pearson y se realiza bajo la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$ (Casanoves, 2007).

A continuación, se presenta el procedimiento del ANACORR realizado con IS para determinar la correlación entre las variables, tiempo de secado de la cebolla, peso final obtenido, radiación solar, temperatura de la cámara de secado, velocidad del viento y la humedad en la chimenea para determinar si estas variables están correlacionadas o no, lo cual aportará pistas para estudiar las causas de la deshidratación.

Tabla 1. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Peso Final (g)	22	0.88	0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,88, indicando que se tiene una asociación fuerte positiva entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0001$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y peso final de la cebolla deshidratada.

Referente a la segunda correlación realizada entre las variables, temperatura y producción de biogás para saber si estas están correlacionadas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y radiación solar

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Radiación solar	22	0.60	0.0221

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y radiación solar, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,60, indicando que se tiene una asociación moderada positiva entre las variables. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0221$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y radiación solar. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la radiación solar incidente en el plano del colector del deshidratador.

Referente a la tercera correlación realizada entre las variables, tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado para saber si estas están correlacionadas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Temperatura de cámara	22	0.81	0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,81, indicando que se tiene una asociación fuerte positiva entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0001$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y temperatura en la cámara de secado. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la temperatura a la que se encuentre la cámara del deshidratador, es decir a mayor temperatura menor tiempo de secado de los productos.

Se realizó una última correlación entre las variables, tiempo de secado y velocidad del viento para saber si estas están correlacionadas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4. Correlaciones de Pearson, tiempo de secado y velocidad del viento

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tiempo de secado (Días)	Velocidad de viento	22	0.59	0.0039

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables tiempo de secado y velocidad del viento, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,59, indicando que se tiene una asociación moderada positiva entre las variables. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0039$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables tiempo de secado y velocidad del viento. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el tiempo de secado de los productos está asociado con la velocidad del viento a la que se encuentre la cámara del deshidratador.

Conclusiones.

Se diseñó el prototipo mediante el programa Sketchup y se construyó en aproximadamente un mes, la mayoría de los materiales fueron reutilizados de otras estructuras y prototipos que se encontraban en la facultad, otros materiales fueron asumidos por el equipo investigador.

El tiempo de secado de la cebolla es aceptable tomando en cuenta que las pruebas se realizaron en días no soleados y con presencia de lluvia.

Las propiedades físicas del aire húmedo evaluadas a través de cálculos matemáticos coinciden con lo reportado por otros autores que ya establecen valores normales para el aire.

El tiempo de deshidratación de la cebolla estuvo determinado por la correlación significativa entre la radiación, velocidad del viento y la temperatura de la cámara.

La cebolla en el proceso de deshidratación no perdió su textura, color, sabor y olor.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad Multidisciplinaria FAREM-ESTELI por facilitar los equipos e instrumentos de mediciones, la infraestructura, las máquinas y herramientas de trabajo para la construcción y evaluación del prototipo de deshidratación solar.

A nuestro tutor Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera por guiarnos y apoyarnos en el transcurso de la investigación.

Referencias

- Bejarano Martinez, c. a. (2018). *Evaluacion del Efecto de Uso de un Deshidratador Solar pasivo Indirecto de flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar pasivo en Propiedades Fisioquimicas y Organolecticas de mango, Naranjas y mandarinas* . Tesis de Maestria, Tocaima. Recuperado el 19 de Mayo de 2020
- Calero, L. C. (2014). *Estudio de un secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua*. Leon.
- Castellon , J., & Espinoza, W. (2009). *Validación del uso de un secador Solar de Café*. Tesis de grado , Esteli. Recuperado el 12 de Junio de 2020
- ecoteca. (2020). *ECOTEC*. (Virtual, Editor) Recuperado el 11 de 10 de 2020, de <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>
- Martínez, C. A. (2018). *Evaluación del Efecto del Uso de un Deshidratador Solar Pasivo Indirecto de Flujo Turbulento y de un Deshidratador Solar Pasivo en Propiedades Fisicoquímicas y Organolépticas de Mango, Naranja y Mandarina*. Colombia.
- Moncayo, M. V., Roa M, G. L., & Ortega Torres, D. B. (2011). *Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja*. Loja.
- Moraga Castro, J. J. (2013). *Evaluación del proceso de secado de café pergamino en Beneficio Sajonia S.A. Matagalpa 2012*. tesis de grado. Recuperado el 5 de mayo de 2020
- Nevarez , R., & Cuzme, X. (2016). *EFFECTOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN, EN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SENSORIALES DE CEBOLLA PERLA (Allium cepa L) EN POLVO*. Tesis de grado, Calceta. Recuperado el 12 de Mayo de 2020
- Pulfer, J. C. (2008). *Cocinas y secadores solares* (Segunda edición ed.). Barcelona: UPC.
- Sampier Hernandez, R., Fernandez Collado, C., & Lucio Baptista, P. (2007). En R. Sampier Hernandez, C. Fernandez Collado, & P. Lucio Baptista, *Metodologia de la investigacion*. McGraw-Hill Interamericana.